

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALKOL KATKILI ASPIR YAĞI BİYODİZELİNİN BİR DİZEL MOTORUNDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Nurettin DOĞANAY
(151136101)**

**Anabilim Dalı: Otomotiv Mühendisliği
Programı: Taşıt Tasarım**

Danışman: Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 3 Temmuz 2019

AĞUSTOS-2019

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALKOL KATKILI ASPİR YAĞI BİYODİZELİNİN BİR DİZEL MOTORUNDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nurettin DOĞANAY

(151136101)

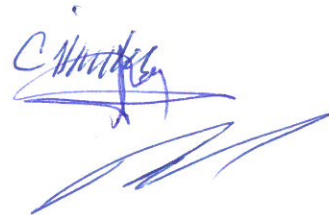
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03 Temmuz 2019

Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Ağustos 2019

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Rasim BEHÇET

Prof. Dr. Hanbey HAZAR



AĞUSTOS-2019

ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimime başladığımdan bu yana çalışmalarımın tamamında bilgi, tecrübe ve desteğini esirgemeyen çok değerli hocam Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ' a

Beni yetiştiren, hayatımın her anında sürekli yanımda olan, benden maddi ve manevi hiçbir fedakârlığı esirgemeyen ve çalışmalarım boyunca bana sabır ve anlayış gösteren sevgili aileme

Çalışmalarım esnasında yanımda olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan başta Arş. Gör. Hüseyin SEVİNÇ, Mahmut Nedim Tansu, Mehmet Şah Saraç ve tüm arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Nurettin DOĞANAY

ELAZIĞ-2019

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	X
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XI
1.GİRİŞ.....	1
2.DİZEL MOTORLARDA YAKIT OLARAK BİYODİZEL	3
2.1 Dizel ve Biyodizel Yakıtlarının Karşılaştırılması	4
2.2. Türkiye’de ve Dünyada Biyodizelin Durumu	5
2.3. Biyoyakıtın Avantajları	6
2.4. Biyoyakıtın Dezavantajları.....	8
2.5. Aspir Bitkisi	8
2.6. Türkiye’de Aspir Bitkisi Üretimi	9
2.7. Biyodizel Üretim Yöntemleri.....	10
2.7.1.Mikroemülsiyon Yöntemi	11
2.7.2.Seyreltme Yöntemi.....	11
2.7.3.Süper Kritik Yöntemi	11
2.7.4.Transesterifikasyon Yöntemi	11
2.7.5. Piroliz (Isıl kesim) Yöntemi	12
2.7.5.1. Geleneksel Piroliz	13
2.7.5.2. Yavaş Piroliz	13
2.7.5.3. Hızlı ve Flaş Piroliz.....	13
2.8. Metanol	14
2.9. Etanol	15
3. EGZOZ EMİSYONLARI VE PERFORMANS PARAMETRELERİ	16
3.1. Karbon Dioksit (CO ₂).....	16

3.2. Azot Oksitler (NO _x).....	17
3.3. Hidrokarbonlar (HC).....	17
3.4. Karbon Monoksit (CO)	18
3.5. Duman (İs) Yoğunluğu.....	18
3.6. Motorun Döndürme Momenti	19
3.7. Ortalama Efektif Basınç	19
3.8. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT).....	20
3.9. Egzoz Gaz Sıcaklığı (EGS).....	20
4. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	21
5. MATERYAL VE METOT	24
5.1. Deneysel Çalışma.....	24
5.2. Deneylerde Kullanılan Dizel Motorun Özellikleri	25
5.3. Dizel Motor Test Düzenegi	26
5.4.Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı	27
5.5. Termometre	27
5.6. Metanol (M)	28
5.7. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Malzemeler	28
5.7.1.Damıtma Balonu	29
5.7.2.Toplama kabı.....	29
5.7.3.Fraksiyon kolonu.....	29
5.7.4.Elektrikli Isıtıcı.....	30
5.7.5.Vakum pompası	31
5.7.6.Cam termometre.....	31
5.8. Deneysel Çalışmalar.....	31
5.9. Piroliz Yöntemi ile Ham Aspir Yağından Biyodizel Elde Edilmesi	32
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	36
6.1. Deneylerin Yapılışı	36
6.2. Motor Momenti (Tork) Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	37
6.3. Ortalama Efektif Güç Sonuçlarının Değerlendirilmesi	39
6.4. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT) Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	41
6.5. Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGS) Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	43
6.6. Karbon Monoksit (CO) Emisyonlarının Değerlendirilmesi	45
6.7. Hidrokarbon (HC) Emisyonlarının Değerlendirilmesi.....	46
6.8. Azot Oksit (NO _x) Emisyonlarının Değerlendirilmesi.....	49
6.9. Karbondioksit (CO ₂) Emisyonlarının Değerlendirilmesi	51

6.10. Duman (İs) Yoğunluğu Sonuçlarının Değerlendirilmesi	53
7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	55
8.ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	68



ÖZET

Sera gazı etkisinden kaynaklanan küresel ısınma, günümüzde dünyanın en önemli ortak çevre sorunu olarak gösterilmektedir. Sera gazı etkisi; buzulların erimesi ve buna bağlı olarak deniz seviyesinde yükselmeler, küresel ölçekli ısınma ve iklimsel değişikliklere neden olmaktadır. Oluşan sorunlara çözüm bulabilmek amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artış göstermektedir. Bu kaynaklar arasında en kullanışlı en ideal olanlarından biri de biyodizeldir. Biyodizel, dizel motorlarda kullanılabilen bitkisel yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilen sürdürülebilir, çevre dostu, toksik etkisi olmayan ve dizel motorlarda modifikasyona gidilmeden kullanılabilen bir alternatif yakıttır.

Bu çalışma mevcut dizel motorlarında önemli bir değişikliğe gidilmeden motorda petrol esaslı yakıtlar yerine bitkisel yağlardan üretilen biyoyakıtların kullanılmasını sağlamaktadır. Bitkisel kökenli yağların petrol kökenli dizel yakıtı yakın özelliklerinin olması bu çalışmaların yapılmasında önemli bir faktördür. Çalışmada bir bitkisel yağ olan aspir yağından piroliz yöntemi ile elde edilen biyoyakıtın dizel motorlarında kullanım olanakları test edilmiştir. Ayrıca petrol kaynaklarındaki azalma ve fiyat artışlarına önlem olarak, dizel motorlarda kullanılabilecek yenilenebilirlik payı bulunan ve çevre ile daha uyumlu olan bir alternatif yakıtın tespiti sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasında bitkisel yağ olan ham aspir yağından piroliz yöntemi ile biyodizel yakıt elde edilmiştir. Elde edilen biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Biyodizel ve mentollü karışımlarının, dizel motora sahip bir deney düzeneğinde farklı devir aralıklarında deneyleri yapılmıştır. Performans ve emisyon sonuçları dizel yakıt ile karşılaştırılıp sonuçlar değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda, biyodizel karışımlarının alternatif yakıt olarak kullanılmasının çevre açısından olumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Dizel motor, Aspir yağı, Metil Ester, Piroliz, Emisyon, Metanol

SUMMARY

Investigation Of The Usability Of Alcohol Additive Aspral Oil Biodiesel On A Diesel Engine

The global warming caused by the greenhouse gas effect is now regarded as the most important common environmental problem in the world. Greenhouse gas effect; The melting of the glaciers and consequently sea level elevations lead to global warming and climatic changes. In order to find solutions to the problems, there is an increasing interest in renewable energy sources. One of the most useful of these resources and the most ideal one is biodiesel . Biodiesel is produced from renewable sources such as vegetable oils which can be used in d- motors; sustainable, environmentally friendly, non-toxic and an alternative fuel for diesel engines that can be used without modification.

This study uses biofuels produced from vegetable oils instead of petroleum-based fuels in the engine without a significant change in existing diesel engines provides. The fact that plant-based oils have close properties to oil-derived diesel fuel is an important factor in making these studies. In the study, bioavailability of bio fuel obtained by pyrolysis method, which is a vegetable oil, was tested in diesel engines. In addition, as a precaution against the decrease in oil resources and price increases, an alternative fuel that has renewable share that can be used in diesel engines and which is more compatible with the environment has been determined. In this thesis, biodiesel fuel was obtained from raw safflower oil which is vegetable oil by pyrolysis method. Obtained biodiesel and chemical properties were determined. Biodiesel and ethanol mixtures were tested at different speed intervals in a test setup with diesel engine. Performance and emission results are compared with diesel fuel and the results are evaluated. As a result of the study, it was concluded that using biodiesel mixtures as an alternative fuel is positive for the environment.

Key words: Diesel engine, Safflower oil, Methyl ester, Pyrolysis, Emission, Methanol

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Aspir bitkisi çeşitleri	9
Şekil 2.2. Biyoyağın metanol ile transesterifikasyonu.	12
Şekil 5.1. Antor 6LD 400 dizel motor	26
Şekil 5.2. Cussons P8160 motor test düzeneği.....	26
Şekil 5.3. Gaz Analiz Cihazı	27
Şekil 5.4. Extech Instruments 421502 Model K/J tipi termometre	28
Şekil 5.5. Metanol (M)	28
Şekil 5.6. Damıtma balonu	29
Şekil 5.7. Toplama kabı.....	29
Şekil 5.8. Vakumlu fraksiyon kolonu.....	30
Şekil 5.9. SamheungSH-SM-500ML-R Model elektrikli balon ısıtıcı.....	30
Şekil 5.10. Value VE115N/ VE115N Model vakum pompası.....	31
Şekil 5.11. Cam termometre	31
Şekil 5.12. Damıtma düzeneği.....	34
Şekil 5.13. Ürün alma işlemi	35
Şekil 6.1. Standart Dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının motor momentine etkisi	38
Şekil 6.2. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının efektif güce etkisi.....	40
Şekil 6.3. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının özgül yakıt tüketimine etkisi	42
Şekil 6.4. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının EGS’e değerlerine etkisi	44
Şekil 6.5. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının CO emisyonuna etkisi.. ..	46
Şekil 6.6. Standart dizel, B100 , BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının HC emisyonuna etkisi.	48
Şekil 6.7. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının NOx emisyonuna etkisi	50
Şekil 6.8. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının CO ₂ emisyonuna etkisi	52
Şekil 6.9. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının duman emisyonuna etkisi	54

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Biyoyakıt ve dizel yakıtların yakıt özellikleri	5
Tablo 5.1. Deneylerde kullanılan Antor 6LD 400 dizel motorun teknik özellikleri	25
Tablo 5.2. Gaz Analiz Cihazının Özellikleri	27
Tablo 5.3. Aspir yağı, Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının kimyasal ve fiziksel özellikleri	35
Tablo 6.1. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtları ile elde edilen motor momenti değerleri (Nm)	37
Tablo 6.2. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtları ile elde edilen motorun efektif güç değerleri (kW)	40
Tablo 6.3. Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtları ile elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri (g/kWh)	41
Tablo 6.4. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10' yakıtları EGS değerleri (°C).....	43
Tablo 6.5. Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtları ile elde edilen CO emisyon değerleri (%)	45
Tablo 6.6. Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtları ile elde edilen HC emisyon değerleri (ppm).....	47
Tablo 6.7. Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtları ile elde edilen NOx emisyon değerleri (ppm).....	49
Tablo 6.8. Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtları ile elde edilen CO ₂ emisyon değerleri (%)	51
Tablo 6.9. Standart dizel , B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının Duman yoğunluğu değerleri(%).....	53

KISALTMALAR LİSTESİ

EGS	: Egzoz Gaz Sıcaklığı
ÖYT	: Özgöl Yakıt Tüketimi
PPM	: Milyondaki Partikül Miktarı
B100	: %100 biyodizel
BM5	: %5 metanol +%95 biyodizel (hacimsel)
BM7	: %7 metanol +%93 biyodizel (hacimsel)
BM10	: %10 metanol +%90 biyodizel (hacimsel)
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu(American Society For Testing and Materials)
AB	: Avrupa Birliği
YAME	: Yağ Asidi Metil Esteri
BASF	: Badische Anilin-& Soda -Fabrik

SEMBOLLER LİSTESİ

CO : Karbon Monoksit

CO₂ : Karbondioksit

HC : Hidrokarbon

NO_x : Azot oksit

H₂O : Su

SO₂ : Kükürt Dioksit



1. GİRİŞ

Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bilgi İdaresinin 2016 uluslararası enerji görünümü raporunda, dünyada toplam enerji tüketiminin önemli ölçüde arttığını belirtmiştir. Bu raporda, 2012'den 2040'a kadar 28 yıllık dönem boyunca dünya çapında enerji tüketimi önemli ölçüde artacağını öngörmüştür[1]. Hızla büyüyen ve gelişmekte olan ülkelerde, yaşam standartlarının artması ve gittikçe daha fazla enerji isteyen daha ekonomik faaliyetlerin ortaya çıkması ile birlikte enerji talebi de hızla artış göstermektedir. Ham petrol, kömür ve gaz gibi fosil yakıtlar dünya enerji talebinin ana kaynaklarıdır. Bununla birlikte, fosil yakıtların bir süre sonra tükenecek olması ve asit yağmuru, sera etkisi gibi kullanımlarından kaynaklanan çevre sorunları sebebiyle yenilenebilir enerji kaynakları ve biyodizel yakıtlar üzerine çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Biyokütle ile elde edilen yenilenebilir biyodizel yakıtlar önemli bir potansiyele sahiptir ve dünyanın mevcut enerji potansiyelini karşılayabilmektedir. Önemli biyoyakıtlardan biri de biyodizeldir ve gelecekte petrol dizelinin yerini alabilir [2].

Günümüz dünyasının ihtiyacı olan enerjinin büyük bölümü petrol ürünlerinden karşılanmakta. Petrol ürünlerinin büyük bir bölümü ise taşıt teknolojisinde yakıt olarak tüketilmektedir. Artış gösteren nüfusla orantılı olarak, gelişmekte olan teknoloji ve yeniliklerden kaynaklı çok fazla kullanımdan dolayı petrol rezervleri hızlı şekilde tükenme göstermektedir. Aynı zamanda bu artışla birlikte egzoz emisyonları da artış görülmektedir. Artan bu egzoz emisyonları hava kirliliğini etkileyen faktörlerin başında yer almaktadır[3].

Hızla azalan fosil yakıt kaynakları ve artan emisyon miktarları ile birlikte, insanlık bu sorunların çözümüne yönelik araştırmalara öncelik vermektedir. Günümüzde bu konuda, içten yanmalı motorların; yakıt tüketimini azaltmaya, verimlerini arttırmaya, daha az hammadde ile üretimlerini gerçekleştirmeye yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir[4].

Son yıllarda, çeşitli araştırmacılar tarafından mevcut dizel motorlarda yakıt olarak farklı enerji kaynakları kullanmak için ciddi çaba göstermektedirler. Dizel araçlarda seçenek olarak biyoyakıt, alkoller, hidrojen doğal gaz ve türevleri kullanılmaktadır.

Özellikle metanol, etanol, bütanol gibi alkoller temiz bir yakıt olmaları nedeniyle dizel motorlarda dizel yakıtına belirli oranlarda katılarak kullanılmaktadır[5]. Alternatif yakıtlara ilave olarak, içten yanmalı motorların egzoz emisyonlarını azaltmak, yanma verimini yükseltmek ve fosil yakıtlara bağılılığı en aza indirmek amacıyla asıl ve alternatif yakıtlara eklenmek üzere çeşitli yakıt katkıları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır[6].

Hızla azalan fosil yakıt kaynakları ve artan emisyon miktarların zararlı etkilerinin azaltılması için yapılmakta olan çalışmalar bazı olumlu sonuçlar elde etmektedir. Bu çalışmalar petrol kökenli yakıtlara alternatif olabilecek yakıt çalışmalarıdır. Bunların başında dizel motorlarda alternatif olarak kullanılacak biyokökenli yakıtların üretimi, kullanım imkan ve şekilleri, yakıtın geliştirilmesi ve motorda emisyon ve performans değerleri üzerine ARGE çalışmaları yapılmaktadır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde tez konusuna giriş yapılmış, ikinci bölümünde biyodizel yakıtlar, biyodizel üretim yöntemleri ve aspir bitkisi ilgili bilgilendirmeye yer verilmiştir. Üçüncü bölümde egzoz emisyonları, Motor Momenti, ÖYT ve EGS ilgili bilgilendirme yapılmıştır. Dördüncü bölümde literatür taraması yapılmıştır. Beşinci bölümde çalışmanın materyal metot kısmı anlatılmıştır; deneysel çalışmalarda kullanılan ölçüm araçlarından bahsedilmiştir, biyodizel üretimi ve üretimde kullanılan malzemelerle ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir. Altıncı bölümde deney çalışma bulguları grafik biçiminde oluşturularak yorumlanmıştır ve bu grafikler üzerinden çıkan sonuçlar analiz edilmiştir. Sonuç ve öneriler bölümünde ise yapılan çalışmanın sonuçları irdelenerek tez sonuçlandırılmıştır.

2. DİZEL MOTORLARDA YAKIT OLARAK BİYODİZEL

Biyodizel; ham bitki yağlarından kullanılmış bitkisel atık yağlardan ya da hayvansal yağlar ve kimyasal yöntemlerle üretilen yakıtlar kapsamına giren, çevreyle uyumlu ve alternatif nitelikli sıvı yakıttır. Çalışmalarda, biyoyakıt, temiz enerji ve yağ mazotu gibi farklı isimlerle anılmaktadır[7].

ASTM, biyoyakıtı yenilenebilir bir bitkisel ya da hayvansal ürünlerden üretilen uzun zincirli yağ asitlerinin mono alkil esterleri olarak ifade eder. Biyodizel kelimesi “Biyo” ve “Dizel” kelimelerinin birleşmesinden türetilmiştir. “Biyo” kelimesi isminden de anlaşılacak üzere geleneksel petrol esaslı dizel yakıtların tersine yenilenebilir ve biyolojik kaynak anlamına gelirken; “Dizel” kelimesi de dizel motorlarda kullanıldığı anlamı ifade etmektedir[8].

Bitki kökenli yağlar kullanılarak elde edilen dizel yakıtlarının geçmişine gidildiğinde, tarihteki yerinin eski zamanlara dayandığı görülüyor. 1930’lu ve 1940’lı yıllarda bitki kökenli yağların sadece acil durumlar söz konusu olduğunda dizel yakıtı olarak kullanıldığı bilinilmektedir. Fakat 1970 ve 1980’lerin başlarında meydana gelen enerji krizleri standart dizel yakıtlara alternatif bir yenilenebilir yakıt bulma gereksinimini arttırmaktadır. Bu arayış bitki veya hayvan ürünleri kaynaklı yeni alternatif yakıtları keşfetmek için yapılan araştırmalara ilgiyi arttırmış ve biyodizeli popüler hale getirmektedir. Rudolph Diesel (1858-1913) biyoyakıtlarla yapılan araştırmalar için çok önemli kişilerden biri olmaktadır[9]. Rudolph Diesel yer fıstığı yağı kullanarak biyoyakıt üretmeyi denemiş ve bu konularda başarılı olmuş bitki kökenli yağların alternatif yakıt üretiminde hammadde olarak kullanılabileceği ipuçlarını vermektedir[10]. Kazanılan bu bulgular o dönemlerde yaşanan farklı nedenlerden dolayı biyoyakıtın genişlemesi ve geliştirilmesinde başarılı olmamıştır.

İkinci Dünya Savaşı döneminde yaşanan petrol krizleri sonrasında fiyatların yükselmesi, fosil kökenli yakıtların sınırlı sayıya düşmesi ve aynı zamanda çevre bilinci duyarlılığının artması yenilenebilir yakıtların üretilmesine olan ilgiyi yeniden artırmıştır[11].

2.1. Dizel ve Biyodizel Yakıtlarının Karşılaştırılması

Dizel yakıtlarla biyoyakıtlar karşılaştırıldığında önemli parametrelerden bazıları yoğunluk ve viskoziteleri olmaktadır. Viskozitenin yüksek olması, yakıtların motorun yakıt besleme sistemindeki borularda ve pompasında akışı daha zor bir duruma getirmektedir. Aynı zamanda pompa tarafından yanma odasına püskürtülen yakıt parçacıklarının boyutu da performans açısından önem arz etmektedir. Daha küçük parçacıkların elde edilmesi, ısıtma, ateşleme ve havayı karıştırma da çok daha fayda sağlamaktadır. Sıcaklığın düşük olduğu değerlerde, yakıtın viskozitesinde meydana gelen artış, yakıtın enjeksiyon sistemini etkilemekte ve püskürtme sisteminde farklı sorunlara sebep olmaktadır. Biyoyakıtın yoğunluk ve viskozitesindeki değerler dizel yakıtların yoğunluk ve viskozitesinden yüksek çıkmaktadır[12].

Oksijeni zengin olan yakıtlar, diğer yakıtlara oranla nispeten çok daha iyi yanma verimliliğine sahip olmaktadır. Biyoyakıtların yapısında mevcut olan oksijen miktarı yaklaşık % 11 iken; bu durum dizel yakıtlar için % 5 ile % 8 arasında değişmekte. Biyoyakıtlar düşük ısı değerlerine sahip olmalarından yapılarında bulunan oksijen içeriğinin yüksek olması sayesinde dizel yakıtların sahip oldukları spesifik tüketim değerlerine ulaşabilmektedirler. Biyodizelin termal değeri dizel yakıtlara nispeten daha düşük olmaktadır. Biyodizel yakıtlar dizel yakıtlarla aynı çalışma şartlarında daha düşük güç ve torka sahiptirler[13].

Biyodizeller içerdiği yağ miktarı sebebiyle daha iyi yağlama özelliğine sahiptirler. Bu sebeple, biyoyakıt kullanılan motorlarda piston, halka, yakıt pompası ve enjektörlerde aşınma dizel yakıtların kullanıldığı motorlara göre daha az olmaktadır. Aynı zamanda, biyoyakıtın yanması ve parlama noktası petrol kökenli dizel yakıtlara nazaran daha fazladır. Bu nedenle biyodizelin depolama ve taşınması daha güvenlidir. Biyoyakıt ve dizel yakıtların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2.1'de belirtilmektedir[14].

Tablo 2.1. Biyoyakıt ve dizel yakıtların yakıt özellikleri[14].

Özellikler	Petrol Bazlı Dizel	Biyodizel
Formül	C12.226 H23.29 SO.0575	C19H35, O2
Molekül Ağırlığı (g/mol)	120-320	296
Düşük Isıl Değer (kJ/kg)	42700 35500	37100 32600
Molar Volumetrik (kJ/L)		
Yoğunluk, 15°C (kg/mL)	820-860	875-880
Kinematik Viskozite, 40°C (mm ² /s)	2,50-3,50	4,3
Alevlenme Noktası, (°C)	>55	>100
Sülfür İçeriği (ağırlıkça %)	<0,05	<0,01
Setan Numarası	49-55	>55
Sülfatlanmış Kül İçeriği (ağırlıkça %)	<0,01	<0,01
Su İçeriği (mg/kg)	<200	<300

2.2. Türkiye’de ve Dünyada Biyodizelin Durumu

1970 yılından buyana görülmekte olan petrol krizleri, bilim insanlarını alternatif yakıt araştırmalarına yönlendirdi[15]. Alternatif yakıt, dizel motorlarda petrol kökenli olan ve yenilenme özelliği olmayan enerji kaynağı ve tüketildikçe dünyada ki rezervleri azalmakta olan yakıtların yerine; yenilenmekte olan ve rezervleri tüketildikçe eksilmeyen yakıt olarak ifade edilebilmektedir. Güneş, rüzgâr, jeotermal gibi enerji kaynakları, biyoyakıt ve biyogazdan elde edilmekte olan enerjiler alternatif yakıtlara örnek olarak verilebilmektedir. Biyoyakıtlar yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer almakta ve uygulama alanlarıyla ülkelerin ticari alanlarında büyük öneme sahip olmaktadır. İçeriğinde çevreye zararlı madde bulundurmeyen bu ürünler "biyokökenli ürünler" olarak ifade edilmektedir[16]. Bitki kökenli yağlar yağlı tohum bitkileri olarak isimlendirilmiş olan ve tohumlarından yağ çıkartılabilen aspir, kanola, haşhaş, soya, kolza, mısır, ayçiçeği, pamuk, fıstık, palm gibi bitkilerden elde edilmektedir. Kullanılmayan ülke arazilerimize ekilebilecek uygun yağlı tohum bitkilerinin tohumlarından elde edilebilecek yağlardan kimyasal prosesler ile biyoyağ imal edilmektedir[17].

Biyodizel üretiminde ülkemiz 1.5 milyon tonla dünyada ikinci sırada yer almaktadır. Biyoyakıta yatırım yapanların tarımda gelişmiş tesisleri ülkenin çoğunluğuna yayılmış durumdadır. Biyoyakıt üretim tesislerinin bu kadar çok yaygın olması sebebiyle enerji verimliliği bakımından kullanılmamakta olan ülke arazilerimiz değerlendirilmesi sağlanılarak, ihtiyaç duyduğumuz dizel yakıtın bir bölümünün bu şekilde üretilmesi için büyük önem arz etmektedir. Üretilmekte olan biyoyakıtlardan en iyi verimi sağlamak motorlarda kullanımı ve etkilerinin incelenmesi bu çalışmanın temel hedefini oluşturmaktadır[18].

Petrolde üretilen yakıtların en önemli sorunu çevre kirliliği olmasına karşın, bu yakıtların fiyatlamasındaki artış da sorun olarak ortaya çıkabilmektedir. Araçlardan kaynaklanan hava kirliliği (özellikle NOx, CO, CO₂, HC ve is emisyonları) önemli sorunlar olarak görülebilmektedir[19].

2005 sonunda AB'nin 2003/30/EC yönetmeliği ile petrol ürünü dizel yakıtlara %2 oranında biyoyakıt ilavesi zorunlu kılınmış bulunmaktadır. Aynı anda, 27 Eylül 2011 tarih ve 28067 sayılı resmi gazetede yayımlanan "Motorin Türlerine İlişkin Teknik Düzenleme Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ"e göre akaryakıt olarak kullanılmak üzere piyasaya sürülen motorin türlerinin, YAME içeriğinin en az %3 olması ve bunun yerli tarım mahsullerinden temin edilmesi zorunlu hale getirilmiştir [17].

2.3. Biyoyakıtın Avantajları

Biyodizel yakıtının dizel yakıtına göre bazı avantajları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- ❖ Yenilenebilir hammaddelerden elde edilebilmektedir[20].
- ❖ Alternatif bir enerji kaynağı sayılmaktadır[20].
- ❖ Çevrecidir[20].

❖ Yanmamış hidrokarbon miktarı, dizel yakıtı göre %90, kanserojen etkisi bulunan aromatik hidrokarbonlara göre ise %75 - %90 miktarında daha azdır[20].

❖ Daha az zararlı emisyon bulundurmaktadır. Çünkü çok az kükürt içerir[20].

❖ Dizel motorlarında hiçbir tasarım değişikliğine gidilmeden kullanılabilir[21].

❖ Setan sayısının dizel yakıtına kıyasla yüksek olmasından, motor daha gürültüsüz ve vuruntusuz çalışır[22, 23].

❖ Petrol dizeli ile aynı depolanma koşullarında depolanabilir[24].

❖ Dizel yakıtı ile her miktarda karıştırılabilir veya saf olarak kullanılabilir[24].

❖ Biyoyakıt dizel yakıtına kıyasla daha iyi yağlayıcı özelliğine sahip olduğu için motorun ömrünü uzatmaktadır[25].

❖ Biyodizel kullanıldığında yakıt tüketimi, erken alev alma, güç çıktısı ve motor gücü performansında dizel yakıtına kıyasla olumsuzluk teşkil etmez[26].

❖ Biyoyakıtın taşınması ve depolanması oldukça güvenlidir. Aynı zamanda yüksek alevlenme noktasına (149°C) sahip olmaktadır. Dizel yakıtı için bu değer 125°C'dir[24].

❖ Biyoyakıtın yağlı bitki tohumlarından üretiliyor olması ekonomik bakımından katkıda bulunmakta ve işsizliğin azalmasına vesile olup yeni iş fırsatları sağlamaktadır[27].

❖ Biyoyakıt ağırlıkça %11 oksijen içermektedir. Oksijen miktarı fazla olduğundan yanma verimi daha yüksek olmaktadır[28].

❖ Biyodizelin iyot sayısı da oldukça düşüktür, kurum oluşturmamaktadır[27].

2.4. Biyoyakıtın Dezavantajları

Biyoyakıtın dizel yakıtına göre bazı dezavantajları bulunmaktadır, bunlar aşağıda sıralanmıştır.

- ❖ Uçuculuğu dizel yakıtına oranla daha düşüktür[29].
- ❖ Akma ve bulutlanma noktalarının daha yüksek olması nedeniyle soğuk hava şartlarından dizel yakıtına göre daha kısa sürede etkilenmektedir. Bundan dolayı, soğuk iklim bölgelerinde biyodizelin kullanımı sınırlandırıcı bir faktör görülmektedir[24].
- ❖ Çift bağ ve doymamış yağ oranına sahip olduğunda dolayı iyot sayısı dizel yakıtına kıyasla daha yüksektir[30].
- ❖ Daha düşük ısı değerine sahip olduğundan dizel yakıtına göre yakıt tüketimi daha fazladır[31].
- ❖ Motor elemanları (piston başı, segman, segman yuvası, silindir başı, supaplar, supap kılavuzları ve enjektör memesi) gibi elemanlarda karbon birikmesine neden olmaktadır[32].
- ❖ Dizel yakıtına göre daha yüksek viskoziteye sahiptir[33].
- ❖ Günümüzde biyodizel standart dizel yakıtlarından 1.5 kat daha pahalıdır[20].
- ❖ Biyodizel yakıt dağıtım sistemi alt yapısının daha fazla geliştirilmesi gerekliliği bulunmaktadır[20].

2.5. Aspir Bitkisi

Aspir bitkisi takriben 110-140 günde yetişen ve kuraklığa oldukça dayanıklı bir yağ bitkisidir. Kır safranı, papağan yemi, boyacı asperi ve haspir gibi birçok farklı adla da anılmaktadır. Benzer özelliği nedeninden safran bitkisiyle sıkça karıştırılmakta yalancı safran olarak da isimlendirilmektedir[34-36].

Aspir bitki, ayçiçeği bitkisi ile aynı familyada (Compositae) bulunan ve tohumlarından %24-35 miktarında ham yağ, %12-16 ham protein ve %19-20 ham selüloz bulunmakta olan bir bitki olmaktadır[37]. Dallanan bu bitki çeşitleri sarı, turuncu, kırmızı veya krem çiçek rengine sahiptir. Bu bitkinin dikenli ve dikensiz türleri de bulunmakta. Aspir bitkisinden elde edilen yağ yemeklik ve endüstriyel yağ

sanayinde, renkli çiçekleri gıda ve kumaş boyası olarak, ayrıca küspesi ise hayvan yemi olarak değerlendirilmekte. Kök yapısı derinlere inildiği için kuraklığa oldukça dayanıklı olan adaptasyon sınırları yaygın olan bir türdür. Aspir yağının besin değeri yüksek oranda linolenik veya oleik asit içerdiği için, zeytinyağıyla benzer sayılır. Yüksek kapasite nedeniyle boya ve vernik sanayiinde tercih edilmekte. Yağı alındıktan sonra geriye kalan kısmı yem sanayinde kullanılmaktadır[24]. Aspir bitkisinden elde edilen yağ aynı zamanda biyodizel üretiminde de önem arz etmektedir.

Ayrıca ülkemizin yağ ihtiyacının gün geçtikçe artması, şeker pancarı alanlarında azalan yerlere alternatif bitki arayışından Tarım ve Köy işleri Bakanlığı bünyesinde Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsünde aspir çalışmaları tekrar başlamıştır. 2005 yılında Remzibey-05 adında bir çeşidi tescil ettirilmiştir. Yenice ve Dinçer çeşitleri dikensiz, Remzibey-05 çeşidi ise dikenli bir çeşittir ve Şekil 2.1’de bu Aspir bitkisi çeşitleri görülmekte[38].



Şekil 2.1. Aspir bitkisi çeşitleri[117].

2.6. Türkiye’de Aspir Bitkisi Üretimi

Dünya genelinde 2012 yılı itibarı ile yaklaşık 834 bin ton üretimi yapılmakta olan aspir bitkisi son zamanlarda üreticisinin yoğun ilgi göstermesiyle Türkiye, aspir üretimi yapan ülkeler içerisinde 7.sıraya yükselmiştir. Yaklaşık 110-140 günde yetişen tek yıllık uzun gün yağ bitkisi olan aspir bitkisi, kuraklığa ve soğuğa dayanıklı, kıraç alanlarda

yetiştirilebilen ve ilkbaharda ekimi yapılabilir olmasından üreticiler tarafından tercih edilmeye başlanmıştır. Ülkemiz coğrafyasında en çok aspir üretimi, İç Anadolu Bölgesi'nde üretilmekte ve il bazında ise Ankara, Şanlıurfa ve Eskişehir'de ilk sıralarda yer almaktadır. Aspir üretimi yapılan diğer iller ise, Konya, Kırıkkale, Aksaray, Muş, Kayseri, Yozgat, Amasya, Afyon ve Karaman olarak sıralanmaktadır. Ülkemiz aspir ihtiyacının yüzde 55'ini yaklaşık 25 bin ton üretimi ile Ankara karşılayabilmektedir[39].

1930'lu yıllarda Eskişehir Geçit Kuşağı Araştırma Enstitüsünde başlayan aspir tescil işlemleri sonucu 1931 yılında Yenice, 1977 yılında Dinçer, 2005 yılında Remzi bey, 2011 yılında Balcı çeşidi tescil edilmiştir. Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından ise 2013 yılında linas, 2015 yılında olas çeşitleri tescil edilmiştir[40].

Ülkemiz mutfak yağı, gıda, kimya, kozmetik sanayisinde ve biyo yakıt üretiminde kullanılan aspir üretiminde hedef büyütülmüştür. Bakanlıkça yağlı tohumlu bitkilerin üretimi için verilen teşviklerin artırılmasından, aspir üretimi de rekor düzeyde artmıştır. 2002 'te 25 ton olan aspir üretimi, 2013'te 45 bin tona yükselmiştir[39].

2.7. Biyodizel Üretim Yöntemleri

Alternatif yakıt olarak biyodizel bitki ve hayvansal kökenli yağların dizel yakıtı olarak değerlendirilmesi için öncelikle yüksek viskozite sorununun çözülmesi gerekmekte. Bu sorunun çözümüne beş kimyasal yöntem tavsiye edilmektedir[24].

- a. Mikroemülsiyon
- b. Seyreltme
- c. Süper kritik yöntem
- d. Transesterifikasyon
- e. Piroliz (Isıl kesim)

2.7.1. Mikroemülsiyon Yöntemi

Bu yöntem kısa zincirli alkoller ile bitkisel yağın mikro emülsiyon durumuna getirilmesi ile viskozitesinin düşürülmesi işlemi olanağı sağlamaktadır. Bu metotla, alkol türevlerinin setan sayılarının düşük olmasından mikro emülsiyonun da setan sayısının düşük olması, düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğilimi göstermesi sakıncaları olarak görülmüştür[41].

2.7.2. Seyreltme Yöntemi

Bitkisel yağların doğrudan kullanımları, genel olarak tatminkâr ve pratik değildir. Bu modifikasyon tekniğinin uygulamalarında bitkisel kökenli yağlara belli oranlar doğrultusunda dizel yakıta eklenerek yağın viskozitesi düşürülebilmekte. Seyreltme metodu uygulama alanları içerisinde, en fazla tercih edilmekte olan bitkisel yağlara örnek olarak aspir yağı, ay çiçek yağı, soya yağı, kolza yağı, yer fıstığı yağı ve kullanılmış atık kızartma yağları verilebilmektedir[42,43].

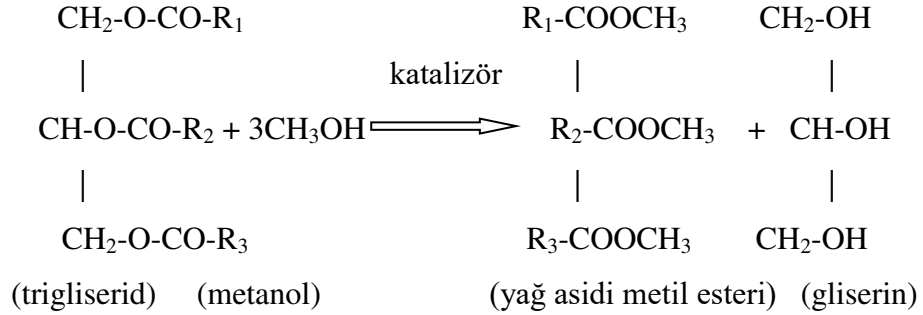
2.7.3. Süper Kritik Yöntemi

Bu yöntemle biyodizel üretimi, başka biyodizel üretim yöntemlerinden farklı şekilde, katalizör kullanmadan 350°C gibi yüksek sıcaklık ve 240 saniye gibi kısa sürede gerçekleştirilebilmektedir[44].

2.7.4. Transesterifikasyon Yöntemi

Bu yöntem, bitkisel yağların alkolle (metanol, etanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ve enzimler) varlığında esas ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek yeniden esterleştirilmesi sürecidir. Reaksiyon ürünü olarak biyoyakıt elde edilmektedir. Bir tür esterlin başka tür estere dönüştürülebilmesi işlemi olarak da ifade

edilebilmektedir[45]. Şekil 2.2’de Biyoyağın metanol ile transesterifikasyonu gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Biyoyağın metanol ile transesterifikasyonu[41].

2.7.5. Piroliz (Isıl kesim) Yöntemi

Piroliz, hava ya da oksijen yokluğunda termal enerji uygulamasından ya da bir katalizör varlığında ısı uygulamasından kaynaklanan, bağların parçalanmasına ve çeşitli küçük moleküllerin oluşmasına neden olan bir kimyasal değişimdir[46]. Farklı bir ifadeyle, büyük moleküllu polimerlerin, inert, vakum, indirgen veya yükseltgen durumlarda katalizörlü veya katalizörsüz olarak, ısı etkisi ile parçalanması işlemidir. Bu süreçte polimerin yapısında bağ kopmaları veya zincir kırılmaları oluşmakta ve çok miktarda reaktif radikaller oluşmaktadır. Bu radikaller kararlı hale geçmek için bir seri tepkimeye girerek gaz, biyo-yağ ve katı ürünler oluşturmaktadır. Pirolizi etkileyen parametreler ise, ısıtma hızı, maddenin cinsi, sıcaklık, basınç, parçacık büyüklüğü ve ortam gibi parametreler olarak görülmektedir. Piroliz sonucu meydana gelen mahsuller enerji ve çeşitli kompozit ürünlerin üretiminde kullanılabilmektedir[47].

Bitkisel yağlardan piroliz yöntemi ile ürün elde etmek için iki farklı metot vardır. Bunlardan birisi kapalı bir kapta ısı etkisi ile bitkisel yağı parçalamak diğeri ise standart ASTM distilasyonla ısıl bozunmaya maruz bırakma yöntemidir[30].

Çalışma koşullarına bağlı olarak, piroliz işlemi üç alt sınıfa ayrılabilir: geleneksel piroliz, yavaş piroliz ve hızlı ve flaş piroliz[46].

2.7.5.1. Geleneksel Piroliz

Bu yöntem, verimi yüksek, düşük maliyetli ve sürekli sistemler olan ürünler; gaz, sıvı ve katıdır. Bu yöntem genelde yüksek katı verimi elde etmek için uygulanmaktadır. Gazın ürün verimini arttırabilmek için 650°C'nin üzerindeki sıcaklıklar tercih edilmekte. Ayrıca bu yöntemde ısıtma hızı düşük olduğundan ve açığa çıkan gazlar hızlı pirolizdeki gibi hızlı şekilde ortamdan uzaklaştırılmaz[48].

2.7.5.2. Yavaş Piroliz

Bu yöntem “kömür ocakları” olarak bilinen ya da biyokütleyi, uzun alıkonma sürelerinde, oksijensiz yavaşça (1–10°C/dk.) 400°C ve üstüne ısıtan sürekli sistem olmaktadır. Çoğunlukla çar üretimi için kullanışlı olan bu yöntemde nem içeriği ve parçacık boyutu düşük ölçüde azaltılabilmesi, optimal sonuçlar alabilmek için yeterli olmakta, fakat aynı süreç diğer piroliz yöntemleri için geçerli olmamaktadır. Örneğin; nem ve parçacık boyutu, hızlı piroliz işlemlerinde ürün verimi için oldukça önem arz eder. Çağımızda özellikle metal endüstrisi için gereken katı yakıt üretilmesinde yavaş pirolizden faydalanılır[49]. Yavaş pirolizden kütlece yaklaşık %35 çar, %30 piroliz sıvısı ve %35 kadar sentez gaz elde edilir[50].

2.7.5.3. Hızlı ve Flaş Piroliz

Piroliz sıvısının verimi özellikle, hammaddelerinin özelliklerine ve piroliz parametrelerine bağlı olmaktadır[51]. Hızlı piroliz yönteminde, piroliz sıvısı, çar, sentez ve gaz verimleri ayrıca parçacık boyutu ve biyokütle türüne göre farklılık göstermektedir. Parçacık boyutunun artması, ısı aktarım hızını düşürür, çar üretimi artarken piroliz sıvısı ve sentez gaz veriminde düşmektedir[52]. Hızlı pirolizde biyokütle genelde buhar, aerosol ve odun kömürü üretmek için çok hızlı şekilde bozunmaktadır. Yüksek sıvı ürün veriminin sağlandığı biyokütle örnekleri genellikle düşük kül içerikli olurlar. Biyokütle parçacıkları termal iletim katsayısı düşük olmasından yüksek sıcaklık transferi sağlanmak istenirse, biyokütle parçacıklarının genellikle 3 mm'den daha küçük

olacak şekilde öğütülmesi gerekmektedir. Çoğu biyokütleden maksimum sıvı ürün verimi elde edilebilmesi için, parçacıklar 500°C civarlarında pirolize uğratılmalı. 2 s'den daha kısa alıkonma süreleri ikincil reaksiyonları düşürerek sıvı ürün veriminin artmasına sebep olmaktadır. Meydana gelen çarın süratli bir şekilde uzaklaştırılması buharların parçalanma tepkimelerini önlemektedir[46].

Yüksek sıcaklık ve ısıtma hızında gerçekleşebilen flaş pirolizde parçalanma reaksiyonları yeterince hızlı olmaktadır (103-104°C/s). Flaş piroliz 0,5 saniyeden daha düşük alıkonma zamanlarında gerçekleşmekte ve sıvı verimi %80-85'e kadar çıkabilmektedir[53]. Flash piroliz işlemleri genellikle yüksek sıcaklıklarda kısa alıkonma sürelerinde gerçekleştirilmektedir. Bu piroliz genellikle atmosfer basıncında, hidropiroliz ise genellikle 20 MPa'lık bir basınç altında gerçekleştirilmektedir.

2.8. Metanol

Metanol, fosil yakıtların yüksek sıcaklık altında su buharı ile ısıtma işlemleri, doğalgaza birtakım damıtma işlemleri uygulanması, CO ve H₂'nin katalitik ortamda sentezleri gibi birçok teknik kullanılarak elde edilir. Hafif kokulu renksiz, saydam, bir sıvı olup kimyasal formülü CH₃OH'dır. Metil alkolün ısıtma değeri 20,1 MJ/kg'dır. Kendi kendine tutuşma trendi düşüktür. Buharlaştırma ısısı yüksektir. Metil alkolün nem tutma özelliği sonucu içerisinde bulunabilecek su nedeniyle yakıt sisteminde ve donanımlarında korozyona neden olur. Korozyonun oluşumunu önlemek için yakıt donanımı koruyucu maddelerle kaplanabilir[54,55]. Metil alkolün yanması sonucunda su buharı, karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve azot oksit (NO_x) emisyonları açığa çıkar. Metil alkolün yanma sonu sıcaklığı düşüktür. Bu sebeple yanma ürünleri içinde daha az oranda CO ve NO_x'ler bulunur. Metil alkol, dizel motorlarda emisyon değerlerini azaltmak amacıyla dizel yakıtına belirli oranlarda katılarak kullanılabilir[56, 57].

Metil alkolün moleküler ağırlığı 32.04 g/mol'dür. Molekül olarak ağırlıkça karbon (C) yüzdesi %37.49, hidrojen (H) yüzdesi %12.58 ve oksijen (O) yüzdesi %49.94'dür[58].

2.9. Etanol

Etanol; etilenin hidratlanması ve şekerli bitki türlerinin(patates, tahıllar, şeker kamışı ve pancarı vb.) mayalanması sonucu ile endüstriyel ölçüde üretilmektedir. Hafif kokulu saydam, renksiz, bir sıvıdır. Aynı zamanda etanol temiz yanan bir yakıttır. Yapısında oksijen bulundurması ve yanma sonu sıcaklıklarının düşük olması sebebi ile yanma sonu ürünleri içersin de daha düşük oranda karbon monoksit ve azot oksitler bulundurur[59,54].



3. EGZOZ EMİSYONLARI VE PERFORMANS PARAMETRELERİ

Dizel motorlar oksijen içeren gazın ve yakıtın silindir içerisinde karıştırıldığı ve tutuşmasının kendi kendine gerçekleştiği motorlar olarak ifade edilmektedir. Yakıtın yanması için ihtiyaç duyulan hava, yanma odasında sıkıştırılır. Yüksek basınçlarda sıkıştırılmakta olan bu oksijen içeren gazın üzerine motorin püskürtülerek, yakıtın kendi kendine tutuşması sağlanmakta ve bu tutuşma sonucunda dizel yakıtının içerdiği kimyasal enerjinin açığa çıkması sağlanmış olur. Kimyasal enerjinin ortaya çıkması sonucu oluşan bu ısı enerjisi, mekanik enerjiye dönüştürülerek bir iş elde edilir. Diğer yakıt türlerinde olduğu gibi dizel yakıtlarda içeriğinde fazla miktarda karbon ve hidrojen elementlerini barındırır. Yanmanın tam olduğu reaksiyonda, motorinin yanması sonucu, yanma odasında sadece CO_2 ve H_2O açığa çıkar. Ancak bazı sebepler(hava-yakıt karışımı, tutuşma süresi, yanma odasındaki türbülans, hava-yakıt konsantrasyonu, yanma sıcaklığı vb.) bu durumu imkânsız kılmakta ve yanma esnasında birçok zararlı ürünü oluşturmaktadır. Zararlı olan bu emisyon gazlarından en fazla açığa çıkanlar CO, HC, NO_x ve PM'dır. Meydana gelen kirletici emisyonların egzoz gazındaki oranının %1'den daha düşük olduğu görülmüştür. NO_x emisyonu dizel motorlardaki kirletici emisyonlar arasındaki yeri %50 oranla en yüksek değere sahip olmaktadır. PM emisyonları NO_x emisyonlarının ardından ikinci en yüksek orana sahip kirletici emisyon türüdür[60]. Dizel motorlar benzinli motorlara kıyasla fakir karışımli motorlar olduğu için CO ve HC emisyon değerleri daha düşük oranda çıkmaktadır. Bu emisyon çeşidi dizel yakıtının bünyesinde bulunan kükürttten dolayı oluşur[4].

3.1. Karbon Dioksit (CO_2)

Egzoz emisyonlarının bir türevi olan CO_2 emisyonu oranı, tam yanmayı ifade eden bir değerdir. Kokusuz, renksiz ve zararsız bir gaz olan CO_2 , normal yanma süreçlerinin bütününde açığa çıkar. CO_2 'nin sınır değerlerinin üstüne çıkması, sera etkisine sebep olur[61]. Yanma sırasında yakıtın içerisinde mevcut olan karbon ve hidrojen bileşenlerinin birbirlerinden ayrışması ile beraber, hidrojen bileşeni suya dönüşür. Karbonsa, oksidasyon esnasında yeterli oksijenle etkileşime girmesi durumunda CO_2 bulamaması durumundaysa CO veya dumana dönüşür[62].

3.2. Azot Oksitler (NOx)

Azot oksitler, yanma sonucunda ulaşılan yüksek sıcaklıklarda, havanın içerisindeki azotun oksijen ile birleşmesi sonucu oluşmaktadır. n yanma odalı ve direkt püskürtmeli dizel motorlar yüksek sıkıştırma oranına sahip oldukları için, daha fazla sıcaklık ve basınç üretmektedirler. Bu nedenle dizel motorlarda benzinli motorlara kıyasla NOx oluşum seviyesi daha yüksek olmaktadır[63,64,65]. İçten yanmalı motorlardaki yanma odasındaki sıcaklık değeri 1800°K'nin üzerine çıktığı zaman, havanın içerisindeki azot ve oksijen kimyasal olarak birleşerek, insan sağlığına ve çevreye zararlı azot oksitlere dönüşmektedir. Dizel motorlardaki hava miktarının fazla olması ve bu durumda çalışması, azot oksit oluşturma potansiyelini artırmaktadırlar[66].

3.3. Hidrokarbonlar (HC)

Bu emisyon türü yakıtın tam olarak yakılamaması sonucu meydana gelen bir eksik yanma ürünü sayılır. Bu emisyonun oluşmasının asıl sebebi, silindir içi sıcaklıkların veya oksijenin yetersiz olması sonucu yanmanın tam olarak gerçekleşememesi durumudur[67]. Dizel motorlar çoğunlukla az miktarda HC emisyonu yaymaktadır. Bunların ortaya çıkardığı HC emisyonları özellikle düşük ve yüksek motor yüklerinde hava-yakıt karışımından kaynaklı meydana gelir. Karışımların fakir olduğu düşük yüklerde, yanmanın, iş zamanında tamamlanabilmesi için alev hızı oldukça zayıf olmakta ve bunun sonucunda yanma sağlanamaya bilmektedir. Motor yüklerinin fazla olması durumunda karışımın zenginleşmesinden kaynaklı bir miktar yakıt yakılamadan dışarı atılır. Bu durum, yüksek miktarda hidrokarbon emisyonlarının oluşmasına sebep olur[68]. Ayrıca egzoz gazı bünyesinde olan HC emisyonları iyi olmayan çalışma şartlarından da oluşabilir[69].

Egzoz gazı bünyesinde hidrokarbonlar toplam HC emisyonlarının %50-60'nı oluştururken, karter havalandırma ve buharlaşmanın sebep olduğu HC emisyonları sırasıyla %20-35 ve %15-25 aralığında değişim gösterir[70].

Hidrokarbon gazları insan ve çevre sağlığında oldukça zararlı bir etkiye sahiptirler. Farklı kirletici emisyonların birleşmesiyle sera etkisinin tahribatında önemli bir rol oynarlar[71].

3.4. Karbon Monoksit (CO)

Yanma ürünlerinde CO emisyonu oluşmasının ana sebebi oksijen miktarının az olmasındandır. Yanma odası tamamı ile değeriendirildiğinde, oksijenin genel olarak yetersiz olabilmesiyle birlikte, karışımın tamamen homojen olmamasından yanma odasında lokal olarak da oksijen yetersizliği olabilmektedir. Asıl olarak CO oluşumu hava fazlalık katsayısının güçlü bir fonksiyon olarak değışebilmektedir. CO emisyonu motorlarda kullanılmayan kaybedilen kimyasal enerjiyi ifade ettiği için önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Ayrıca CO bir yakıt sayılmaktadır ve oksijenle reaksiyona girerek CO₂ oluşturmaktadır[63,65].

Oksidasyon süreci tam olarak gerekleşemediğinde eksik yanma sonucunda CO emisyonları oluşur[72].

3.5. Duman (İs) Yoğunluğu

İçten yanmalı motorlarda yanma alanındaki karbonlar CO₂'e dönüşecek kadar oksijen bulamazsa yakıtça zengin alanlarda katı karbon parçacıklarını oluşturmaktadır. Bu da egzoz dumanı ve koku olarak meydana çıkar. Partikül emisyonları yoğunluk olarak motor yüküne bağlı değışmektedir. Motor yükü arttıkça partikül emisyonu da artmaktadır. Dizel motorlarda fazla güç elde etmek için fazlaca miktar yakıt gönderildiği zaman, yeterli oranda oksijen bulunmadığından egzoz gazlarındaki is miktarı artmaktadır[64,73].

İs aynı zamanda siyah duman olarak da bilinmekte, yanma odasında hava miktarı yetersiz olduğuunda oluşmaktadır[74].

3.6. Motorun Döndürme Momenti

Moment ya da diğer adıyla tork, motor devriyle birlikte bir motorun iş yapabilme kabiliyetini belirleyen bir parametredir. Motor momenti, motorun krank miline uygulanan döndürme momenti olarak tanımlanabilmektedir. Bu hesaplamalarda aşağıda ki formül (3.1) kullanılmıştır.

$$Md = \frac{9549.Pe}{n} \quad (3.1)$$

Md = Döndürme momenti (Nm)

Pe = Efektif güç (kW)

n = Motorun devir sayısı(*dev/dk*)

3.7. Ortalama Efektif Basınç

Motorun gerçek çevrimdekine eşdeğer motor gücünü vermesi için bir strok boyunca pistonu etki etmesi gereken basınç olarak tanımlanabilmektedir. Deneyler esnasında motorun devrine bağlı olarak oluşan efektif basınç değerleri aşağıdaki formül (3.2) ile hesaplanmıştır.

$$P_{me} = \frac{60Pe}{V_H . n . \dot{I}} \quad (3.2)$$

P_{me} : Ortalama efektif basınç (*kPa*)

V_H : Toplam strok hacmi (*m³*)

n = Motorun devir sayısı(*dev/dk*)

$\dot{I}$: çevrim/devir (dört zamanlı motorlarda ½)

3.8. Özgöl Yakıt Tüketimi (ÖYT)

Motorun birim güç için harcadığı yakıt miktarı ÖYT olarak tanımlanabilmektedir. Başka bir ifadeyle, herhangi bir güçteki çalışma esnasında, saatte tüketilen yakıt miktarının üretilen güce oranı olarak ifade edilebilir. ÖYT aşağıdaki formül (3.3) ile hesaplanmıştır[4].

$$be = \frac{B \times 1000}{Ne} \quad (3.3)$$

Bu formülde;

be: Özgöl yakıt tüketimi (gr/kWh),

B: Ölçülen saatlik yakıt tüketimi (gr/h),

Ne: Efektif motor gücüdür.

Bir motorun en avantajlı çalıştığı durumlar; maksimum güç ($P_{e_{max}}$), maksimum tork ($M_{e_{max}}$), veya en az ÖYT (be_{min})'i sağladığı durumlar gösterilebilir. Bu çalışma durumlarını, motorun kullanım amacı veya yaptığı işin özelliklerince belirlenebilir[4].

3.9. Egzoz Gaz Sıcaklığı (EGS)

EGS, motorlarda önemli bir faktör olarak görülebilmektedir. Bu durum yanma odasında gerçekleşen yanma olayı verimi hakkında önemli bilgiler vermektedir. Motorun egzoz çıkışında, egzoz manifoldunda veya yanma odası çıkışında ölçülebilmekte EGS'ye bağlı olarak, yanma odasındaki sıcaklık parametresinden; yanmanın iyileşmesi veya kötüleşmesi durumu egzoz emisyonlarının oluşumu hakkında yorum yapılabilmektedir[4].

4. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Erdoğan Namal (2018), yaptığı bir çalışma doğrultusunda, park-bahçe ve mutfak atıkları karışımı biyokütle malzemesi olarak kullanmışlardır. Partikül büyüklüğü 1-1.5 mm olan toplam 15 g biyokütle örneği kullanılmıştır. Dolomit, kalsit ve zeolit olmak üzere üç farklı doğal katalizör; üç farklı piroliz sıcaklığı (450, 500, 550°C) ve sabit taşıyıcı gaz (azot) akış hızında (500 mL/dak) hızlı piroliz deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, biochar ve biyoyağ açısından her üç katalizörün verim ortalaması birbirine yakın, ancak gaz verimi açısından zeolite katalizörünün ortalaması daha yüksek bulunmuştur. Elde edilen biyoyağ bileşenlerini belirlemek amacıyla GC-MS analizi yapılmış ve asetik asit biyoyağ içerisinde en fazla miktarda belirlenmiştir.

Kar (2018), çalışmalarında örnek olarak seçilmiş olan biyokütle fındık kabuğu, çay çalısı ve fındık budağı örnekleri, belirli oranlarda karışımı sağlanarak bu biyokütlenin hızlı pirolizi sabit yataklı bir piroliz reaktöründe yapmıştır. Aynı zamanda bu ürünlerinin verimliliğini arttırmak için katalizör olarak ağırlıkça %2 V₂O₅ katalizörü kullanmıştır. Katalizörlü veya katalizörsüz durumlarda piroliz ürün verimleri üzerine sıcaklık, ısıtma hızı ve parçacık boyutunun etkileri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuçlar katalizör eklemesiyle sıvı ürünlerin veriminde artış gözlenirken katı ürün veriminde ise düşüş görülmüştür. Sıcaklık ve ısıtma hızı değişkenlerinin sıvı ürünün veriminde oldukça etkili olduğu belirtmişlerdir. Her iki durumda da deneylerde en yüksek sıvı ürün verimi 450°C ve 450°C/dk. ısıtma hızında ve 1-0,500 mm parçacık boyutunda elde edilmiştir. En iyi sıvı ürün verimi katalizörlü pirolizden elde edilmiş ve bu değer ağırlıkça %60,58'dir. Bu deneylerde elde edilen sıvı ürünlere ve bunların alt fraksiyonlarına uygulanan karakterize işlemlerinden sonra bu ürünlerin sıvı yakıt olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Özellikle katalizörün kullanılmasında elde ettikleri piroliz sıvısının petrol türevi yakıtların %75'ine yaklaşan bir termal değere sahip olduğu gözlenmiştir.

Jeong ve diğ. (2014), yaptıkları deneysel çalışmalarında kabarcıklı olan akışkan yataklı piroliz reaktöründe domuz gübresiyle çalışmalar yapmış ve ürünler karakterize edilmiş. Ham ürünün karakteristiği ve ürün verimi çeşitli sıcaklıkta incelemiştir. Ürünün ham verimi için optimum sıcaklık 600°C olarak bulunmuş, ürün verimi ağırlıkça %18.48, enerji değeri kilogram başına 13,59 MJ olarak tespiti sağlanmıştır. Ürünün

düşük verimi ve yüksek su içeriği sebebiyle domuz gübresi, diğer biyokütle örnekleri ile karıştırılmış ürün verimi ve enerji içeriği bakımından daha verimli piroliz sıvısı üretimi gerçekleştirileceğini ifade edilmişlerdir.

Kaya (2006), deneysel çalışmalarında ham bitki yağları ve atık bitki yağlarından transesterifikasyon ile biyodizel elde etmiştir. Değişebilen ideal koşullarda (sıcaklık durumu, uygun reaktant ve uygun saflaştırma metodu), maksimum verim ve yüksek kalitede biyoyakıt elde etmek için uygun bir metot seçilmiştir. Sonuç olarak ta ham bitki yağlarının ve atık bitki yağlarının metil esterleri karakterize edilmiştir. Sağlanan verilere göre biyoyakıtın dizel motorlardaki özellikleri; viskozluk, tutuşma sıcaklığı, bulutlanma noktasını, akma noktasını, yoğunluğunu, setan sayısını ve asit değerleri karakterize edilmiştir.

Örs (2016), yaptığı bir çalışmada direkt püskürtmeli tek silindirli bir dizel motorda; sadece biyoyakıt ve biyoyakıt-bütanol karışımların performans ve emisyonlara etkisi deneysel olarak incelemiştir. Karışım yakıtlarını biyodizel yakıtına %5, %10 ve %15 oranlarında bütanol katılmasıyla elde edilmiştir. Testler sabit bir hızlarda ve farklı yüklerde yapılmıştır. Dizel yakıtına %15 oranında bütanol eklenmesiyle NO_x, ve CO emisyonlarında sırasıyla %16, %24 ve %49 oranlarında azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Bütanol kullanımının HC emisyonunu artırdığını tespit edilmiştir. Biyodizel yakıtına %15 bütanol ilavesiyle ÖYT'nin ortalama olarak %10 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Aydoğan (2008), çalışmasında kanola, atık bitkisel yağlar, tütün tohumu yağı ve sabun stoklarından katalizör olarak sodyum hidroksit sülfürik asit, alkol olarak da metanol kullanarak laboratuvarında biyodizel üretimlerini sağlamıştır. Elde edilen biyoyakıtları farklı oranlarda oda sıcaklığında dizel yakıt ile karıştırmıştır. Karışımları, dizel bir motorda tam yükte farklı devirlerde test edilmiştir. Motorin ile biyodizel karışımlarının NO_x, CO, SO₂ is ve motor performansını incelemiştir. Ayrıca sıkıştırma ateşlemeli motorlarda NO_x azaltma yöntemleri üzerinde araştırmalar yapmıştır.

İlkılıç ve diğ. (2011), yaptıkları deneysel çalışmalarında transesterifikasyon yöntemi ile aspir yağından katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) ve metanol kullanılarak biyodizel üretmişlerdir. Üretilmiş olan biyodizel, dizel yakıtı ile hacimsel

olarak %5 (B5), %20 (B20) ve %50 (B50) oranlarında karıştırmışlardır. Sonrasında dizel yakıtı, %100 biyodizel yakıtı ve karışım yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemişlerdir. Motor performansı ve egzoz emisyon testlerini tüm yakıtlarda tek silindirli bir dizel motorda yapmışlardır. Sonuçlar, ortalama performans değerleri incelendiğinde dizel yakıtının değerlerine göre B5, B20 ve B50 yakıtlarında sırasıyla %2,2 , %6,3 , %11,2 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Özgül yakıt tüketimi değerleri ise dizel yakıtının değerlerine göre B5, B20 ve B50 yakıtlarında sırasıyla %2,8, %3,9 ve %7,8 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir. Egzoz emisyonu verilerine bakıldığında ise dizel yakıtına göre biyodizel karışımli yakıtlarda karbon monoksit (CO) ve partikül madde (PM) değerlerinde azalma, azot oksit (NO_x) ve hidrokarbon (HC) değerlerinde ise artış olduğu görülmüştür. Sonuç ise aspir yağından elde edilen biyodizelin, motor performansı ve egzoz emisyonları bakımından petrol esaslı dizel yakıtına göre dizel motorda hiçbir değişikliğe gidilmeden kullanılabileceği görülmüştür.

Öztürk (2008), bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak kanola yağı metil esterini incelemiştir. Deneylerde % 100 biyodizel, % 50 dizel yakıtı + % 50 biyodizel ve % 100 dizel yakıtı için aynı şartlar altında dört zamanlı ve dört silindirli bir dizel motorda değişik devirlerde ve yüklerde deneyler yapılmıştır. Deneysel bulgularından elde edilen sonuçlara göre dizel motorlarında teknik olarak bir değişiklik yapılmadan bu motorlarda, alternatif yakıt olarak dizel ve biyodizel karışımlarının kullanılmasının uygun olduğunu, kanola yağı metil esterinin yakıt özellikleri ve yanma ürünleri açısından olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Öğüt ve diğ. (2005), çalışmalarında Avrupa Birliği Ülkelerinde 2005 yılında yürürlüğe giren benzin ve motorine %2 oranında biyoetanol ve biyodizel katma mecburiyetinin ülkemizde de uygulanması için gerekli çalışmaların devam ettiğini ve Türkiye'nin benzin tüketiminin 4.5 milyon m³, %2'lik karışım oranında 90 000 m³'lük biyoetanol, 12 milyon m³'lük motorin ve tüketimimiz içinde 240 000 m³, biyodizelin yoğunluğunun 0.86 ile 0.90 g/cm³'lük biyoyakıtı ihtiyaç olduğunu vurgulamışlar.

Öğüt ve diğ. (2007), yaptıkları çalışmalarında, özellikle tarımsal kesimde “Bitkisel Yağın Uygun Traktörlerde Yakıt Olarak Kullanılabilmesi” için “Yakıt Amaçlı Bitkisel Yağ Standardının” oluşturulmasının gerekliliğini, bu düzenlemenin aynı zamanda yağ bitkileri tarımını da yaygınlaştırabileceğini belirtmişlerdir.

5. MATERYAL VE METOT

5.1. Deneysel Çalışma

Bu tez çalışması, Antor 6LD 400 marka, dört zamanlı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, hava soğutmalı bir dizel motorda, 5 farklı yakıt kullanılarak; egzoz emisyon ve motor performans parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışma beş aşamada gerçekleştirilmiştir.

Birinci deneysel aşamada, belirlenen tek silindirli bir dizel motorda; 1800, 2100, 2400 ve 3000 motor devirlerinde ve yarım yük (%50) altında, standart dizel yakıtı kullanılarak, CO, CO₂, NO_x, HC, Duman Yoğunluğu, Motor Momenti, Ortalama Efektif Güç, ÖYT, EGS değerleri kayıt altına alınmıştır.

İkinci aşamada, aynı dizel motorda hiçbir değişikliğe gidilmeden aynı şartlarda, 1800, 2100, 2400 ve 3000 motor devirlerinde ve yarım yük (%50) altında, piroliz yöntemiyle ham aspir yağından üretilen % 100 biyodizel kullanılarak CO, CO₂, NO_x, HC, Duman Yoğunluğu, Motor Momenti, Ortalama Efektif Güç, ÖYT, EGS değerleri kayıt altına alınmıştır.

Üçüncü aşamada, aynı dizel motorda hiçbir değişikliğe gidilmeden aynı şartlarda, 1800, 2100, 2400 ve 3000 motor devirlerinde ve yarım yük (%50) altında, Biyodizel Metanol (BM) %5 oranda karıştırılarak CO, CO₂, NO_x, HC, Duman Yoğunluğu, Motor Momenti, Ortalama Efektif Güç, ÖYT, EGS değerleri kayıt altına alınmıştır.

Dördüncü aşamada, aynı dizel motorda hiçbir değişikliğe gidilmeden aynı şartlarda 1800, 2100, 2400 ve 3000 motor devirlerinde ve yarım yük (%50) altında, Biyodizel Metanol (BM) %7 oranda karıştırılarak CO, CO₂, NO_x, HC, Duman Yoğunluğu, Motor Momenti, Ortalama Efektif Güç, ÖYT, EGS değerleri kayıt altına alınmıştır.

Beşinci aşamada, aynı dizel motorda hiçbir değişikliğe gidilmeden aynı şartlarda, 1800, 2100, 2400 ve 3000 motor devirlerinde ve yarım yük (%50) altında, Biyodizel Metanol (BM) %10 oranda karıştırılarak CO, CO₂, NO_x, HC, Duman Yoğunluğu, Motor Momenti, Ortalama Efektif Güç, ÖYT, EGS değerleri kayıt altına alınmıştır.

Altıncı aşamada, Egzoz emisyon ve motor performans değişimleri, içten yanmalı motordaki yanma yapısına ve değişkenlere göre yorumlanmıştır. Deneysel çalışmalar sırasında kayıt altına alınan egzoz emisyon verileri; CO (%), CO₂ (%), HC (ppm), NO_x (ppm), Duman Yoğunluğu (%) olarak belirlenmiştir. Performans verileri ise; Motor Momenti (Nm), Ortalama Efektif Güç (kW), ÖYT (gr/kWh), EGS (°C) olarak belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada alınan veriler, Antor 6LD 400 marka, dört zamanlı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, hava soğutmalı bir dizel motorda, yarım yük (%50) altında çalıştırılarak alınmıştır. Yapılmış olan bütün deneyler 1800, 2100, 2400,2700 ve 3000 motor devirlerinde tekrar edilmiştir.

5.2. Deneylerde Kullanılan Dizel Motorun Özellikleri

Yapılan çalışmalarda, Antor 6LD 400 marka, dört zamanlı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, hava soğutmalı dizel motor kullanılmıştır. Deney motoruna ait teknik özellikler ise aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 5.1. Deneylerde kullanılan Antor 6LD 400 dizel motorun teknik özellikleri

Motorun Markası ve Modeli	6LD 400 Antor Dizel Motor
Strok Sayısı	4
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	86 mm
Silindir Hacmi	395 cm ³
Strok	68 mm
Motor Gücü	8.5 HP / 2500 dev/dk / 6.25 kW
Maksimum Tork	19.6 Nm /2200 dev/dk
Ağırlık	45 Kg
Yağlama	Tam basınçlı
Püskürtme Şekli	Direkt enjeksiyonlu tam dizel
Püskürtme Basıncı	200 kg/cm ²
Soğutma Şekli	Hava soğutmalı
Devir	3600 d/d
Sıkıştırma Oranı	18:1
Yağ Tüketimi	11,5 gr/h
Karter Yağ Kapasitesi	1,2 lt

Deneysel çalışmada kullanılan dizel motoru Şekil 5.1’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Antor 6LD 400 dizel motor

5.3. Dizel Motor Test Düzeneği

Deneyisel çalışma, Cussons P8160 Model, elektrikli dinamometre düzeneğine sahip, motor test tezgâhında yapılmıştır. Deney düzeneğinde test motoru, egzoz emisyon cihazı, termometre, yakıt ölçüm tüpü, dinamometre, yakıt deposu ve kontrol ünitesi bulunmaktadır. Cussons P8160 Model motor test tezgahının görünümü Şekil 5.2’de gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Cussons P8160 motor test düzeneği

Deneyisel çalışmalarda kullanılan yakıt için ölçüm tüpü, hacimsel tipte, mekanik kontrollü, 10 ml ve 20 ml’lik iki boğumlu camdan silindirik bir yapıdadır. Dizel

motorun yakıt tüketimi, hacimsel ölçeklendirmeye sahip olan bu kapt, 20 ml’lik hazne tam dolu konumdan, tam boş konuma geçmesi için gerekli süre kronometre yardımıyla ölçülerek, hesaplanmıştır.

5.4. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Deneysel çalışmalar motorun farklı devirlerde yarım yük (%50) koşullarında çalışırken egzoz emisyonlarını ölçmede BOSCH BE250 marka egzoz emisyon cihazı, motorun egzoz çıkışına bağlanarak egzoz gazı emisyonlarının ölçümlerinin yapılmasında kullanılmıştır. Kullanılan bu cihazın teknik özellikleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Gaz Analiz Cihazının Özellikleri

Ölçülen Bileşen	Ölçme Aralığı	Ölçme Hassasiyeti
CO	0.000 – 10.00 % vol	0.001 % vol
CO ₂	0.00 – 18.00 % vol	0.01 % vol
HC	0 – 9999 ppm	1 ppm
O ₂	0.00 – 22.00 % vol	0.01 % vol
Lambda (λ)	0.500 – 9.999	0.001
NO	0 – 5000 ppm	< = 1 ppm



Şekil 5.3. Gaz Analiz Cihazı

5.5. Termometre

Deneylerde motorun egzoz gaz sıcaklıklarını ölçmek için Extech Instruments 421502 Model K/J tipi termometre kullanılmıştır. Termometrenin gövdesi motor test düzeneği üzerine, termometrenin ölçüm ucu ise motorun egzoz çıkışına belli bir konumda sabitlenerek ölçülmüştür, bu şekilde elde edilen verilerin daha kararlı olması sağlandı. Kullanılan Extech Instruments 421502 Model K/J tipi termometre Şekil 5.4’de görülmektedir.



Şekil 5.4. Extech Instruments 421502 Model K/J tipi termometre

5.6. Metanol (M)

Metanol, %5, %7 ve %10 oranlarında, biyodizel yakıt ile karıştırılarak, egzoz emisyon ve motor performans verileri kayıt altına alınmıştır. Deneylerde ISOLAB markalı %99.7 saflıkta metanol kullanılmıştır. Şekil 5.5’de kullanılan metanol görülmektedir.



Şekil 5.5. Metanol (M)

5.7. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Malzemeler

5.7.1. Damıtma Balonu

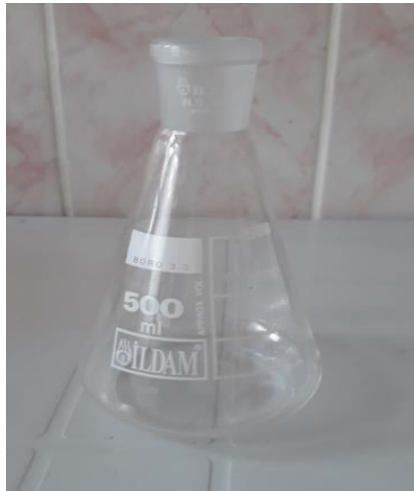
Deneylerde metil ester (biodizel) üretimi için 500 ml'lik 650 °C ısıya dayanıklı cam damıtma balonu kullanılmıştır. Damıtma balonu görüntüsü Şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.6. Damıtma balonu

5.7.2. Toplama kabı

Deneylerde metil ester (biodizel) üretimi için 500 ml'lik cam toplama kabı kullanılmıştır. Toplama kabı görüntüsü Şekil 5.7'de görülmektedir.



Şekil 5.7. Toplama kabı

5.7.3. Fraksiyon kolonu

Deneylerde metil ester (biodizel) üretimi için 650 °C ısıya dayanıklı vakumlu cam fraksiyon kolonu kullanılmıştır. Vakumlu fraksiyon kolonu görüntüsü Şekil 5.8’de görülmektedir.



Şekil 5.8. Vakumlu fraksiyon kolonu

5.7.4. Elektrikli Isıtıcı

Deneylerde SAMHEUNG markalı SH-SM-500ML-R Model 450°C’ye kadar ısıtma özelliği olan elektrikli balon ısıtıcı kullanılmıştır. Samheung SH-SM-500ML-R model elektrikli balon ısıtıcı görüntüsü Şekil 5.9’da görülmektedir.



Şekil 5.9. SamheungSH-SM-500ML-R Model elektrikli balon ısıtıcı

5.7.5. Vakum pompası

Deneylerde value markalı VE115N/VE115N model yağlı vakum pompası kullanılmıştır. Value VE115N/VE115N model vakum pompası görüntüsü Şekil 5.10’da görülmektedir.



Şekil 5.10. Value VE115N/ VE115N Model vakum pompası

5.7.6. Cam termometre

Deneylerde metil ester (biyodizel) üretimi için 360 °C kadar sıcaklık ölçme özelliği olan cam civa termometre kullanılmıştır. Cam termometre görüntüsü Şekil 5.11’de görülmektedir.



Şekil 5.11. Cam termometre

5.8. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmadaki asıl amaç ham aspir yağından piroliz yöntemi ile biyodizel elde ederek %5, %7, %10 metanol katkısı kullanmak suretiyle bir dizel motorda kullanılabilirliğini ve sonuçlarını incelemektir. Bu amaçla üretilen biyodizel yakıtı hacimsel olarak %5, %7 ve %10 oranlarında metanol ile karıştırılarak tek silindirli bir

dizel motorunda denenmiş, deney sonuçları dizel yakıtı, biyodizel ve biyodizel karışımı yakıtları karşılaştırılarak ve gerekli olan değerlendirmeler yapılmıştır. Deneysel çalışmalar Fırat Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği atölyesinde yapılmıştır.

5.9. Piroliz Yöntemi ile Ham Aspir Yağından Biyodizel Elde Edilmesi

Bu çalışmanın temel amacını, mevcut dizel motorlarında önemli bir değişikliğe gidilmeden motorda petrol esaslı yakıtlar yerine bitkisel yağlardan üretilen biyoyakıtların kullanılmasını sağlamaktır. Çalışmada, bir bitkisel yağ olan aspir yağından elde edilen biyoyakıtın dizel motorlarında kullanım olanakları amaçlanmıştır. Ayrıca petrol kaynaklarındaki azalmalar ve fiyat artışlarına tedbir olarak, dizel motorlarda kullanılabilecek kısmen de yenilenebilir payı bulunan çevre ile daha uyumlu bir alternatif yakıtın tespiti amaçlanmaktadır.

Ham aspir yağında alternatif yakıt olarak metil ester (biodizel) elde etmek için piroliz yöntemi seçilmiştir. Piroliz, hava ya da oksijen yokluğunda termal enerji uygulamasından ya da bir katalizör varlığında ısı uygulamasından kaynaklanan, bağların parçalanmasına ve çeşitli küçük moleküllerin oluşmasına neden olan bir kimyasal değişimi ifade etmektedir. Piroliz, genelde 400–600 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilir. İşlem, piroliz oranına bağlı olarak gazlar, biyo-yag ve bir kömür üretir[46].

Piroliz buharının soğutulmasıyla polar ve yüksek molekül ağırlıklı bileşikler sıvı halde piroliz sıvısı olarak yoğunlaşırken, düşük molekül ağırlıklı uçucu bileşikler gaz fazında (sentetik gaz) kalmaktadır. Piroliz reaksiyonları esnasında oluşan fiziksel ve kimyasal olaylar oldukça karmaşık olmaktadır, biyokütle çeşidine ve reaktör türüne göre de değişim göstermektedir[48].

Piroliz sürecini etkileyen faktörler ise, sıcaklık, maddenin cinsi, ısıtma hızı, basınç, parçacıkların büyüklüğü ve mevcut ortam gibi parametreler olmaktadır. Bu işlem sonucunda ortaya çıkan mahsuller enerjinin üretiminde ve çeşitli kompozit ürünlerin üretiminde kullanılabilmektedir[47].

Piroliz hızına bağılı olarak, proses sonunda gaz, biyoyağ ve char oluşur. Bitkisel yağların pirolizi sonucu oluşan, biyoyağ genelde dizel yakıtın özelliklerine yakındır. Yapılan bazı çalışmalarda, palmiye yağı gibi yağların pirolizi sonucu oluşan dizel fraksiyonların fosil yakıtlara benzer özellik gösterdikleri rapor edilmiştir[1].

Abbaszaadeh ve diğ.[83] ayrıca bir piroliz işlemi ile üretilen veya biyo-yağ olarak bilinen biyodizel yakıtının dizel motorlar için uygun olduğunu da bildirmişlerdir; ancak, işlem sırasında oksijenin ortadan kaldırılması nedeniyle düşük değerli malzemeler üretilir. Bu işlem sırasında üretilen biyodizelin uygulamasını kısıtlayan istenmeyen özellikler düşük ısıtma değeri, eksik uçuculuk ve kararsızlıktır[84]. Ancak, bir başka görüşe göre, Singh ve Singh[85], trigliseritlerin termal pirolizinin düşük işlem maliyeti, basitlik, daha az atık ve kirlilik olmaması gibi birçok avantaja sahip olduğunu belirtmiştir. Bu yöntem ile üretilen biyodizelin dezavantajları ise, düşük ısı değeri, düşük uçuculuk ve ürünün kararsız olmasıdır[84]. Birtakım piroliz süreçlerinde, üretilen ürünlerinin kalitesini iyileştirmek ve dönüşüm verimliliğini artırmak için katalizörler de kullanılabilir[86]. Bitkisel yağlarda piroliz yöntemi ile ürün sağlamak için iki farklı metot vardır. Birincisi kapalı kapta ısının etkisi ile bitkisel yağı parçalamak diğeri de standart ASTM, damıtmayla ısı bozunmaya maruz bırakmaktır[30]. Bu deneysel çalışma da ikinci yöntem, damıtma yöntemi kullanılmıştır.

Deneylere öncelikle ham aspir yağı ve vakumlu damıtma düzeneği temini ile başlanmıştır. Ardından literatürdeki yöntemlerden faydalanılarak piroliz işlemleri yapılmıştır. Piroliz yöntemi ile alternatif yakıt olarak yeterli miktarda metil ester (biodizel) elde edilmiştir.

1. Bu deneysel çalışma da piroliz yöntemi ile ürün elde etmek için damıtma düzeneği kurulumu yapıp hazır hale getirilmiştir. Bu işlem Şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12. Damıtma düzeneği

2. 500 ml hacimli damıtma balonuna 250 ml ham aspir yağı konulmuştur. Isıtıcı birinci kademede ortam sıcaklığında çalıştırılarak ısıtma süreci başlatılmıştır. Ham aspir yağının normal kaynama sıcaklığının altında kaynamasını sağlamak, ortamdaki oksijeni uzaklaştırmak ve atmosferik basıncı düşürmek için yağlı vakum pompası kullanılmıştır. Bu işlem ham aspir yağı kaynayana kadar devam etmiştir, ısıtıcı sıcaklığı ise kademeli olarak arttırılmıştır. Ortalama kaynamaya başlama süresi bir saat, kaynamaya başlama sıcaklığı ise 37-40°C'dir. Ürün kaynamaya başladıktan sonra vakum pompası çıkartılmıştır. Kaynamakta olan yağ yoğunlaşıp damıtma kolonu (fraksiyon)'dan soğutma haznesine oradan da soğutularak toplama kabında birikmiştir. Yoğunlaşıp azalmaya başlayan kaynamış aspir yağının sıcaklık düşüşünü engellemek ve daha yüksek sıcaklıklara ulaşmasını sağlamak için sıcaklık artışı işlem bitene kadar kademeli olarak devam etmiştir. Bu yoğunlaşma süreci bir saat sürmüştür. Ürün ≤ 350 °C'de üretilmiştir. Deney sonucunda elde edilen ürün miktarı yaklaşık 200 ml'dir. Deney sonucu elde edilen ürün Şekil 5.13'de görülmektedir. Bu işlem yeterli miktarda biyodizel elde edilene kadar tekrar edilmiştir.



Şekil 5.13. Ürün alma işlemi

Kimyasal işlemler sonucu ham aspir yağından biyodizel elde edilmiştir. Bu yakıta ait bazı özelliklerin standart dizel yakıtı ile karşılaştırılması için bu özelliklerin bilinmesi gerekmektedir. Bu özelliklerin tespit edilmesi için Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyodizel Laboratuvarından yararlanılmıştır. Tablo 5.3’de Aspir yağı, Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının kimyasal ve fiziksel bazı özellikleri belirtilmiştir.

Tablo 5.3. Aspir yağı, Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının kimyasal ve fiziksel özellikleri

Paremetreler	Aspir Yağı	Dizel Yakıtı	B100 Yakıtı	BM5 yakıtı	BM7 yakıtı	BM10 yakıtı
Kinematik Viskozite (mm ² /s) (40°C’de)	30,1	3,58	3,95	3,89	3,86	3,83
Isıl Değer (kJ/kg)	39,201	43,012	38,839	37,689	37,119	36,549
Yoğunluk(gr/cm ³) (20°C)	0,920	0,8401	0,8650	0,8632	0,8623	0,8614
Parlama noktası °C	200	58	65	62	61	60
Setan sayısı	47	49	-	-	-	-

Yakıtların kimyasal ve fiziksel özellikleri karşılaştırıldığında değerlerin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir.

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. Deneylerin Yapılışı

Deneylere başlamadan önce kullanılacak motor ve motor test tezgâhının gerekli bütün bakımları ve kontrolleri yapılarak, yardımcı aparatlar yerlerine takılıp çalışmaya hazır hale getirilmiştir.

Bu tez çalışması, Antor 6LD 400 marka, dört zamanlı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, hava soğutmalı bir dizel motorda, 5 farklı yakıt kullanılarak; egzoz emisyon ve motor performans parametreleri belirlenmeye çalışıldı. Bu deneysel çalışma beş aşamada gerçekleştirildi.

Birinci aşama olarak önce, motor rölanti devrinde yaklaşık 15 dakika çalıştırılarak, motorun uygun çalışma sıcaklığına ulaşması sağlanmıştır. Deney öncesinde motorun yakıt pompası ve enjektörlerin ayarları orijinal değerlere göre ayarlandı. Deneyler, yarım yük (%50) altında, standart dizel yakıtı kullanılarak, 1800, 2100, 2400, 2700 ve 3000 d/d motor devirlerinde gerçekleştirilerek her bir ölçüm parametresinden ölçümler alınmıştır.

İkinci aşamada, aynı dizel motorda hiçbir değişikliğe gidilmeden, motor rölanti devrinde yaklaşık 15 dakika çalıştırılarak motorun uygun çalışma sıcaklığına ulaşması sağlanmıştır. Deneyler 1800, 2100, 2400, 2700 ve 3000 d/d motor devirlerinde ve yarım yük (%50) altında, piroliz yöntemiyle ham aspir yağından üretilen biyodizel %100 olarak kullanılmak suretiyle her bir ölçüm parametresinden ölçümler alınmıştır.

Üçüncü aşamada aynı dizel motorda hiçbir değişikliğe gidilmeden, motor rölanti devrinde yaklaşık 15 dakika çalıştırılarak motorun uygun çalışma sıcaklığına ulaşması sağlanmıştır. Deneyler 1800, 2100, 2400, 2700 ve 3000 d/d motor devirlerinde yarım yük (%50) altında, Biyodizel Metanol (BM) %5 hacimsel oranda karıştırılmış olan yakıt kullanılarak her bir ölçüm parametresinden ölçümler alınmıştır.

Dördüncü aşamada, aynı dizel motorda hiçbir değişikliğe gidilmeden, motor rölanti devrinde yaklaşık 15 dakika çalıştırılarak motorun uygun çalışma sıcaklığına ulaşması sağlanmıştır. Deneyler 1800, 2100, 2400, 2700 ve 3000 d/d motor devirlerinde

yarım yük (%50) altında, Biyodizel Metanol (BM) %7 hacimsel oranda karıştırılmış olan yakıt kullanılarak her bir ölçüm parametresinden ölçümler alınmıştır.

Beşinci aşamada, aynı dizel motorda hiçbir değişikliğe gidilmeden, motor rölanti devrinde yaklaşık 15 dakika çalıştırılarak motorun uygun çalışma sıcaklığına ulaşması sağlanmıştır. Deneyler 1800, 2100, 2400, 2700 ve 3000 d/d motor devirlerinde yarım yük (%50) altında, Biyodizel Metanol (BM) %10 hacimsel oranda karıştırılmış olan yakıt kullanılarak her bir ölçüm parametresinden ölçümler alınmıştır.

Deneyisel çalışmalar; standart dizel yakıtı, % 100 biyodizel (B100), Biyodizel Metanol (BM) %5, Biyodizel Metanol (BM) %7 ve Biyodizel Metanol (BM) %10 yakıtları kullanılarak yarım yük (%50) yük koşulu altında 1800,2100,2400,2700 ve 3000 d/d motor devirlerinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde CO, CO₂, HC, NO_x, Duman Yoğunluğu, Egzoz Gaz Sıcaklığı (EGS), Motor Momenti (Tork), Ortalama Efektif Güç, Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT) ölçümleri alınmıştır.

Deneyisel çalışma sonucu elde edilen veriler grafikler haline getirilerek karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

6.2. Motor Momenti (Tork) Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının kullanımlarında elde edilen motor momentleri değerlerinin devir sayıları ile değişim eğrileri Şekil 6.1’de ve Tablo 6.1’de gösterilmiştir.

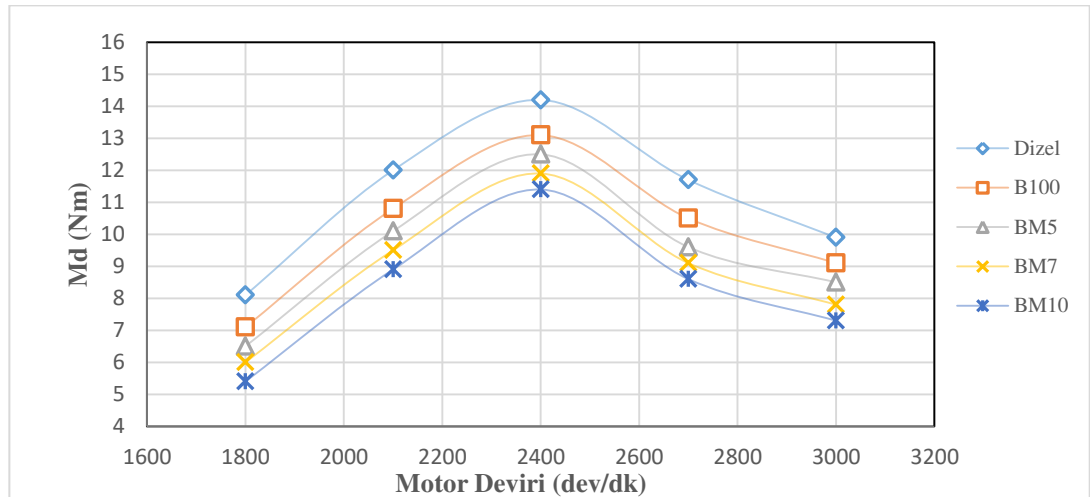
Tablo 6.1. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtları ile elde edilen motor momentleri değerleri (Nm)

Devir	Dizel Yakıtı	B100 Yakıtı	BM5 Yakıtı	BM7 Yakıtı	BM10 Yakıtı
3000	9,9	9,1	8,5	7,8	7,3
2700	11,7	10,5	9,6	9,1	8,6
2400	14,2	13,1	12,5	11,9	11,4
2100	12	10,8	10,1	9,5	8,9
1800	8,1	7,1	6,5	6	5,4

Tablo 6.1. incelendiğinde en yüksek motor momentinin standart dizel yakıtının kullanımı ile 2400 d/d motor hızında elde edildiği (14,2 Nm) görülmektedir. Standart

dizel yakıtından sonra B100 yakıtı ile motorun aynı hızında elde edilen moment değeri 13,1 Nm olarak elde edilmiştir. Diğer üç yakıt incelendiği zaman BM5 yakıtı ile aynı devirde 12,5 Nm, BM7 yakıtı ile 11,9 Nm ve BM10 yakıtı ile 11,4 Nm’lik moment elde edilmiştir. Biyodizel yakıtı içindeki metil alkol oranı yükseldikçe bu yakıtlardan elde edilen motor momentleri değerleri de düşmektedir.

Şekil 6.1. incelendiğinde bütün yakıtlar için motorun düşük devir sayılarında motor momentinin düşük olduğu, devir sayısının yükselmesiyle birlikte motor momentinin de yükseldiği, bir maksimumdan geçtiği ve sonra tekrar düştüğü görülmektedir. Bütün yakıtlar için devir sayısının artmasıyla motor momentinin artması birim zamandaki motor zamanlarının artışının bir sonucu olarak görülmektedir. Dizel motorlarında teorik hava oranından daha fazla hava kullanıldığından dolayı homojen bir karışım hemen sağlanamamaktadır. Alevin yayılma hızı karışımın yapısına bağlı olarak da değişim göstermektedir. Motor devrinin yükselmesiyle birlikte hava hareketleri de artacağından yanma iyileşmektedir. Bu nedenden dolayı yüksek devirlerde motor momentleri de artmaktadır. Devir sayılarının artmasıyla birlikte yanma odasına alınan yakıt miktarı da artar ve buna bağlı olarak piston hızı da artmaktadır. Pistonun iş süresinde, yanma daha uzun süre devam eder ve sonuç olarak ortalama efektif basınç düşmektedir. Motorun belirli bir devir sayısında momentin maksimum olması ve sonra tekrar düşmesi ortalama efektif basınca göre değiştiği söylenebilmektedir[87].



Şekil 6.1. Standart Dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının motor momentine etkisi

Ayrıca standart dizel yakıtı ile B100 ve metil alkol karışımları karşılaştırıldığında dizel yakıtının moment değerinin yüksek oluşu, B100 yakıtının viskozitesinin dizel yakıtına göre biraz yüksek olmasından dolayı da kaynaklanabilmektedir. Yüksek viskoziteden dolayı enjeksiyon sırasında daha küçük zerrelere ayıramayan yakıtın hava ile homojen karışması da zorlaşacak, dolayısıyla yanma kötüleşmektedir. Yanmanın kötüleşmesi motor verimini etkilediği için verim düşmekte ve motor momenti de azalmaktadır. Yakıtların ısı değerleri de moment artışını ve azalışını etkileyen başka faktörlerdir[87].

6.3. Ortalama Efektif Güç Sonuçlarının Değerlendirilmesi

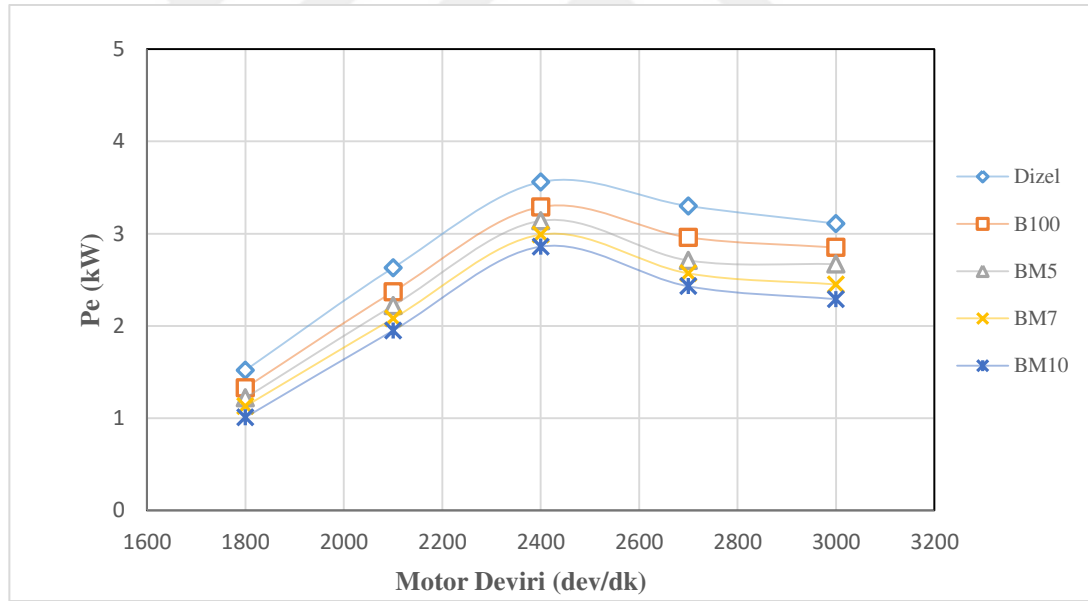
Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının kullanımlarında elde edilen motor momenti değerlerinin devir sayıları ile değişimi Tablo 6.2’de ve elde edilen eğriler Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

Motor gücü ile yakıt tüketimi arasında bir bağıntı vardır. Dizel motorlarında gücün artışı yakıt tüketiminin artmasıyla meydana gelmektedir. Tam gaz ve maksimum güçte iyi bir karışım elde edilemediği zaman egzoz gazı isli olmaktadır. Deneysel çalışmada düşük devirlerde bütün yakıtların güç değerleri bir birine yakın çıkmıştır. En düşük güç değeri BM10 yakıtının kullanılması ile elde edilmiştir. Bu durum yakıtların standart dizel yakıtına göre yüksek viskoziteli olmalarından püskürtme sırasında enjektörde daha iri damlalar şeklinde çıkması, yakıtın buharlaşması ve yanma süresinin uzaması ile tanımlanabilmektedir. Ayrıca B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtların ısı değerlerinin düşük oluşu da tork ve ortalama efektif güç değerlerini etkilemektedir. Yanmanın daha çok iş zamanında olması güç ve moment düşmesine sebep olmaktadır. Bundan dolayı B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlardan standart dizel yakıtına göre daha düşük güç elde edilmektedir.

Tablo 6.2. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtları ile elde edilen motorun efektif güç değerleri (kW)

Devir	Dizel Yakıtı	B100 Yakıtı	BM5 Yakıtı	BM7 Yakıtı	BM10 Yakıtı
3000	3,11	2,85	2,67	2,45	2,29
2700	3,3	2,96	2,71	2,57	2,43
2400	3,56	3,29	3,14	2,99	2,86
2100	2,63	2,37	2,22	2,08	1,95
1800	1,52	1,33	1,22	1,13	1,01

Tablo 6.2. incelendiği zaman en yüksek motor gücü motorun 2400 d/d hızında standart dizel yakıtı ile 3,56 kW güç elde edilmiştir. Standart dizel yakıtından sonra B100 yakıtı ile motorun aynı hızında elde edilen güç değeri 3,29 kW olarak elde edilmiştir. Diğer üç yakıt incelendiğinde BM5 yakıtı ile aynı devirde 3,14 kW, BM7 yakıtı ile 2,99 kW ve BM10 yakıtı ile 2,86 kW'lık güç elde edilmiştir. Biyodizelin viskozitesinin yüksek oluşu ve ısı değeri düşük olması elde edilen gücü de etkilediği söylenebilmektedir.



Şekil 6.2. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının efektif güce etkisi

Tablo 6.2. incelendiğinde maksimum güç devrinde dizel yakıtı için 3,56 kW elde edilirken diğer yakıtların bu devirdeki gücü 3,56 kW'ın altına düştüğü görülmektedir. Aynı çalışma koşullarında birim güç için tüketilen yakıt miktarının standart dizel yakıtı dışında yüksek olması yakıtların ısı değeri ile açıklanabilmektedir. Dizel

motorlarında güç artışı yakıt tüketiminin artmasıyla sağlanmaktadır. Belli bir motor devrine kadar gücün artışı ve sonra düşüşü motorun hareketli parçalarının atalet kuvvetlerinin artması ile mekanik sürtünmenin artması sonucu mekanik verimin düşmesi motor gücünün bu devirden sonra düşmesi ile açıklanır. Ayrıca yanma süresinin yüksek hızlarda kısalması ve hacimsel verimdeki düşüşten dolayı efektif basıncın düşmesi sonucu motor gücünde de düşüş meydana gelmektedir[87].

6.4. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT) Sonuçlarının Değerlendirilmesi

ÖYT içten yanmalı motorlarda kullanılan önemli bir performans parametresi olduğu bilinmektedir. ÖYT, birim güç başına birim zamanda tüketilmekte olan yakıt miktarı olarak tanımlanabilmektedir[4].

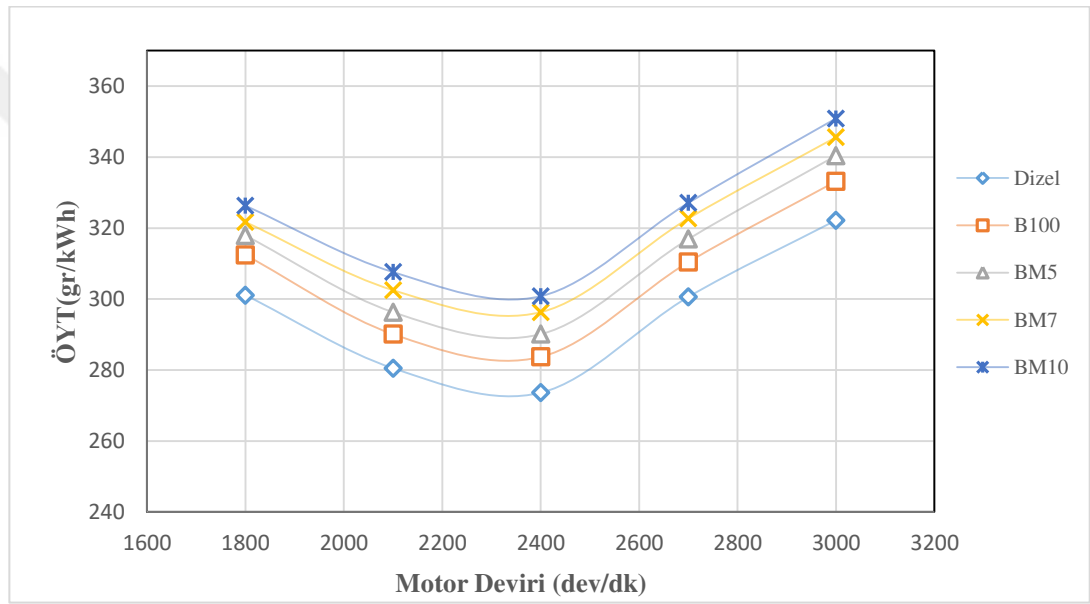
Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının kullanımlarında elde edilen özgül yakıt tüketimi değerlerinin devir sayıları ile değişimi Tablo 6.3’de ve grafik haline getirilerek Şekil 6.3’de gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtları ile elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri (g/kWh)

Devir	Dizel Yakıtı	B100 Yakıtı	BM5 Yakıtı	BM7 Yakıtı	BM10 Yakıtı
3000	322,2	333,2	340,4	345,6	350,9
2700	300,6	310,4	316,9	322,7	327,1
2400	273,6	283,7	290,1	296,3	300,8
2100	280,5	290,1	296,3	302,5	307,6
1800	301,1	312,4	317,9	321,7	326,3

Tablo 6.3. incelendiğinde en yüksek özgül yakıt tüketimi motorun 3000 d/d hızında BM10 yakıtı ile 350,9 g/kWh olarak elde edilmiştir. Aynı motor devrinde BM7 yakıtı ile 345,6 g/kWh, BM5 yakıtı ile 340,4 g/kWh, B100 yakıtı ile 333,2 g/kWh ve standart dizel yakıtı ile 322,2 g/kWh’lık özgül yakıt tüketimi elde edilmiştir. B100 ve Metil alkol karışımlı biyodizel yakıtlarının ısı değerleri dizel yakıtına göre düşük oluşu, dizel yakıtına yakın güç vermeleri için daha fazla yakıtın yanması gerektiğini göstermektedir. Bunun için karışımların özgül yakıt tüketimleri dizel yakıtına göre daha fazla çıkmaktadır.

Şekil 6.3. incelendiğinde B100 ve diğer metanol karışımlı yakıtların, standart dizel yakıtına göre ÖYT değerleri daha yüksektir. Bu durumun nedeni yakıtların ısı değerleri ile açıklanabilir. Düşük güç elde edilen yakıtların tüketimi yüksek çıkmıştır. Yüksek devirlerdeki yanma süresinin kısalığı yakıt tüketimini artırdığı için bütün yakıtlar belli bir devirden sonra devrin yükselmesi ile ÖYT değerleri artmıştır. Ayrıca standart dizel yakıtı dışındaki diğer yakıtların viskozitelerinin yüksek oluşu da özgül yakıt tüketiminin yükselmesine sebep olmuştur. Literatürde biyodizel yakıtların kullanımında standart dizel yakıtına göre ısı değerindeki kaybın karşılanması için ÖYT'nin artması en fazla bildirilen sonuçlardan biri olmaktadır[88].



Şekil 6.3. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının özgül yakıt tüketimine etkisi

Ayrıca bütün yakıt türleri için ÖYT motorun düşük devirlerinde yüksek ve motor devri artıkça düşmekte, daha sonra tekrar yükselmektedir. Özgül yakıt tüketiminin en düşük değerleri, 2400 d/d civarında ölçülmüştür. Daha düşük devirlerde Şekil 6.3'de görüldüğü gibi ÖYT değerleri artmıştır. Bu durumun nedeni, düşük devirlerde motorun çalışma sıcaklığının düşük olması ile birlikte yanma veriminin de düşük olmasındandır. Orta devirlere yaklaşılmaya ile ideal çalışma sıcaklığına gelen motor yanma veriminin artması ile ÖYT değerlerinde düşüş görülmüştür. Bununla beraber motor orta devirlerinde yakıt/hava karışımının stokiometrik orana çok daha yakın olması ÖYT değerlerini düşüren başka bir etken olarak görülür. Yüksek devir değerlerine

ulaşıldığında, sürtünme kayıpları ve ısı kayıplarının artması, yanma şartlarının kötüleşmesi ve yanma reaksiyonları için gereken sürenin azalması gibi olumsuz durumlar yanmayı olayını olumsuz yönde etkilemekte ve bu durum da yanma verimini düşürmektedir. Yanma veriminin düşmesi sebebiyle, motorun aynı gücü üretebilmesi için daha fazla yakıtı yanma odasına göndermesi gerekir ve bu durumda ÖYT değerleri yükselmektedir.

6.5. Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGS) Sonuçlarının Değerlendirilmesi

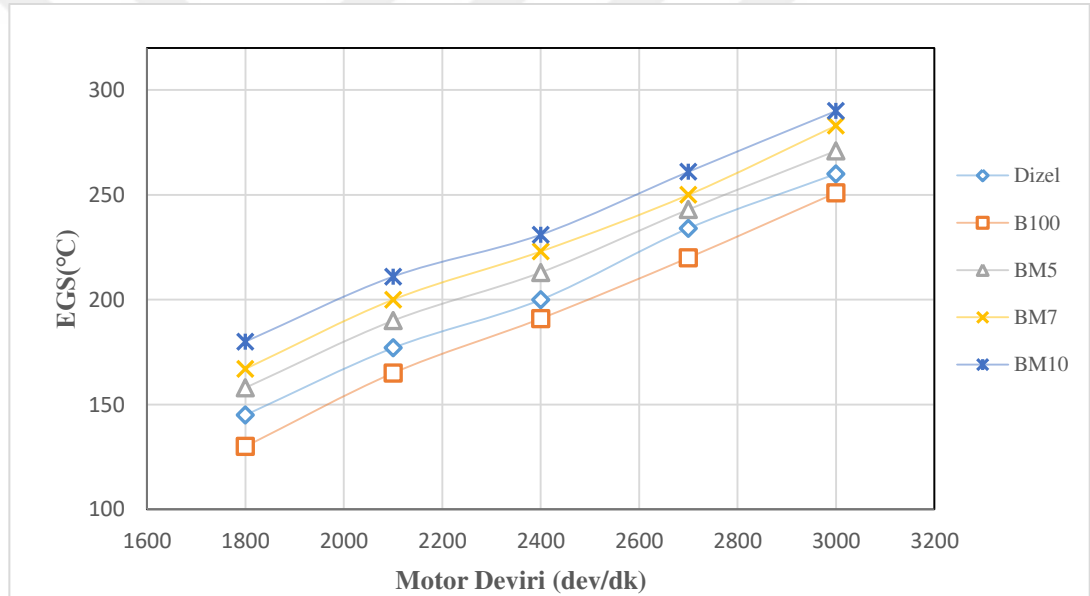
Hava soğutmalı motorlarda egzoz gazı sıcaklığı ile yanma reaksiyonu arasında doğrudan bir ilişki vardır. EGS, içten yanmalı motorlarda, motorun çalışma koşullarına göre, yük ve devir gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Devir sayısının yükselmesi silindir içerisinde yakılan yakıt miktarının artması sebebiyle yanma reaksiyonu boyunca ortaya çıkan ısı artacaktır. Bu durum EGS değerlerinin artışına sebep olmaktadır[4]. Yapılan çalışmalar sırasında EGS değerleri egzoz manifoldunun çıkışında bulunan yaklaşık 150 mm uzunluğundaki egzoz borusunun çıkışından alınmıştır, deneyler sırasında ölçüm yapan termometrenin ucu egzoz borusunun çıkışına sabitlenmiştir. Motor egzoz sıcaklığı, silindirdeki yanma işleminin bir dereceye kadar ısı yayılımı hakkında bilgi vermekte ve bu durum kirletici oluşumu üzerinde etkili bir parametre olmaktadır. Düşük egzoz sıcaklığı, NOx ve kurum oluşumunu engellemeye yardımcı olan düşük yanma sıcaklığı anlamı taşımaktadır[89].

Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıt olarak kullanımlarında yapılan testlerde elde edilen EGS değerlerinin devir sayıları ile değişim ile elde edilmiş olan değerler Tablo 6.4’de verilmiş ve bu değerlerin grafik haline dönüştürülmesi Şekil 6.4’de verilmiştir.

Tablo 6.4. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10’ yakıtları EGS değerleri (°C)

Devir	Dizel Yakıtı	B100 Yakıtı	BM5 Yakıtı	BM7 Yakıtı	BM10 Yakıtı
3000	260	251	271	283	290
2700	234	220	243	250	261
2400	200	191	213	223	231
2100	177	165	190	200	211
1800	145	130	158	167	180

Yapılan çalışmalarda elde edilen EGS verilerine göre; B100 yakıtının EGS değerleri standart dizel yakıtına göre düşük çıkmıştır. Bu durum yakıtların ısı değerleriyle alakalı olmaktadır. B100 yakıtını standart dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında daha düşük ısı değere sahiptir ve daha yüksek buharlaşma gizli ısıasına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu da yanma sonu sıcaklığını düşürmektedir. Bu sıcaklığın düşüşü silindir içerisindeki egzoz gazlarının sıcaklığında da bir düşüş meydana getirmektedir. Bu sebeplerden dolayı, EGS değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Biyodizel metil alkol karışımı yakıtların EGS değerleri diğer yakıtlara göre daha yüksek çıkmıştır. Karışımlardaki ek oksijenin varlığı her zaman egzoz gazlarında karbon partikül yakma olasılığını artırır, bu da yüksek egzoz gazı sıcaklığına neden olur ve aynı zamanda karışımların yüzdesindeki artışla artmaktadır[90].



Şekil 6.4. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının EGS'e değerlerine etkisi

Şekil 6.4. incelendiğinde EGS değerlerinin, motor devrinin yükselmesine paralel olarak artış gösterdiği görülmektedir. Bütün yakıtlar için motor hızı arttıkça egzoz gazı sıcaklığı artmaktadır. Bu durum, yanma odasında birim zamanında yakılan yakıt miktarının artması ve sonuç olarak motor ısısında artışa bağlı olarak üretilen ısı enerjisinin artmasıyla açıklanabilmektedir[91].

6.6. Karbon Monoksit (CO) Emisyonlarının Değerlendirilmesi

Yanma ürünlerinde CO bulunmasının ana sebebi oksijenin yetersizliğinden dolayı tam yanmanın gerçekleşmemesidir[92]. Karbonun, CO₂'e dönüşmesi için havanın ve dolayısıyla oksijenin yetersiz olduğu durumlarda CO emisyonu ortaya çıkmaktadır. CO emisyonlarını etkileyen en önemli faktör yakıt/hava eşdeğer oranı olmaktadır. CO oluşumuna etki eden diğer etmenler önem sırası olarak bu parametreden sonra gelmektedir. Bu parametreler hava ve yakıtın iyi karışmaması, lokal zengin karışım bölgelerinin ve eksik yanma sonucu oluşan CO emisyonlarının oluşmasına neden olmaktadır[93]. CO emisyonu motorda kullanılamayan kayıp kimyasal enerjiyi de ifade ettiğinden dolayı önemli bir parametre sayılmaktadır.

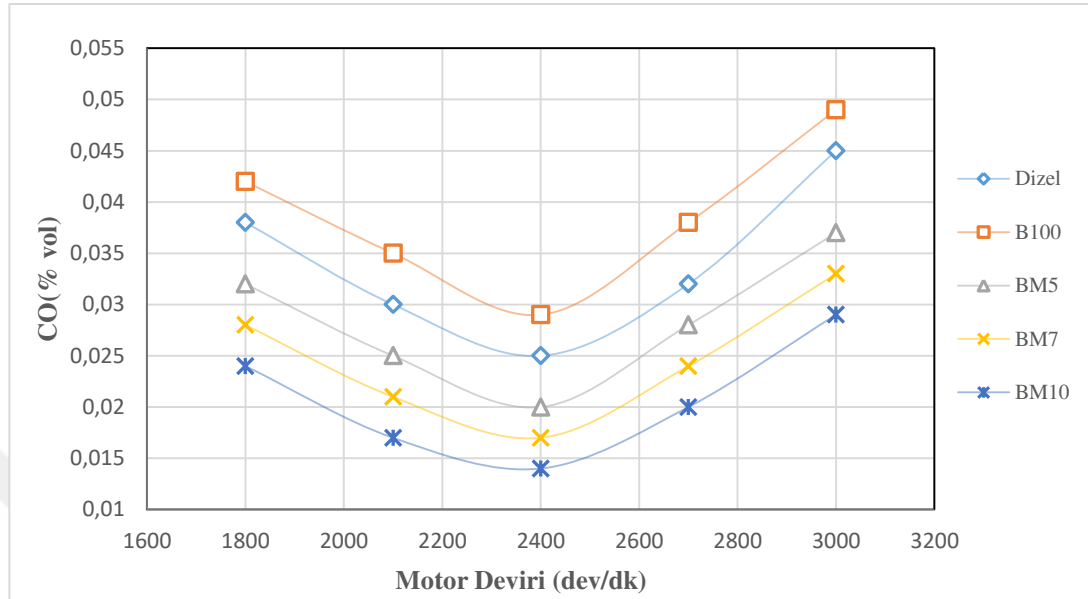
Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıt olarak kullanımlarında elde edilen karbon monoksit (CO) değerlerinin devir sayıları ile değişim değerleri de Tablo 6.5'de bu değerlerden elde edilen eğriler Şekil 6.5'de verilmiştir.

Tablo 6.5. Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtları ile elde edilen CO emisyon değerleri (%)

Devir (1/dak)	Dizel Yakıtı	B100 Yakıtı	BM5 Yakıtı	BM7 Yakıtı	BM10 Yakıtı
3000	0,045	0,049	0,037	0,033	0,029
2700	0,032	0,038	0,028	0,024	0,020
2400	0,025	0,029	0,020	0,017	0,014
2100	0,030	0,035	0,025	0,021	0,017
1800	0,038	0,042	0,032	0,028	0,024

Tablo 6.5. incelendiğinde elde edilen CO emisyon verilerine göre; ortalama değerlere bakıldığında B100 yakıtının CO değerleri azda olsa dizel yakıtına göre yüksek değerler almıştır. Bu durum B100 yakıtının moleküler yapılarındaki düşük oksijen konsantrasyonundan kaynaklanmaktadır. Biyodizel metanol karışımlarının CO emisyonları diğer yakıtlara göre daha düşük çıkmıştır, bu durum metil alkolün moleküler yapısında yüksek oranda oksijen içermesinden kaynaklanmaktadır. Biyodizel metil alkol karışımı yakıtların içeriğinde O₂'nin bulunması yanma sırasında standart dizel ve biyodizel yakıtına göre oksijen ihtiyacını karşıladığı ve bundan dolayı eksik yanmanın daha az olduğu şeklinde açıklanabilir. Ayrıca CO emisyonları bütün yakıtlarda, düşük motor hızlarında nispeten daha yüksek ölçülmüştür. Düşük motor

hızlarındaki, yanma odasında bulunan düşük gaz sıcaklığı sebebiyle CO'nun tamamen CO₂'ye dönüşmemesi, CO emisyonunun yüksek çıkmasına neden olmaktadır[94].



Şekil 6.5. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının CO emisyonuna etkisi

Şekil 6.5. incelendiğinde CO emisyonları bütün yakıtlar için motor devir sayısına bağlı olarak önce düşmüş ve sonra devir sayısı yükseldikçe tekrar yükselmeye başlamıştır. CO emisyonunun, dizel motordaki en düşük seviyelerinin 2400 d/d'da motorun orta devirlerinde elde edildiği, Şekil 6.5'de görülmektedir. Motorun orta devirlerindeki bu azalma; yanma odası içerisindeki gaz sıcaklığının artarak, CO₂ oluşumunun artmasından kaynaklanır. Motor devirlerindeki yükselme, C ve O atomlarının reaksiyon sürelerini kısaltarak, CO ve O₂'nin reaksiyon süresini azaltmaktadır. Bu sebeple CO emisyonlarında artış görülmüştür[95,96,94].

6.7. Hidrokarbon (HC) Emisyonlarının Değerlendirilmesi

HC yakıtların eksik yanması veya tutuşamaması sonucu meydana gelmektedir ve yaklaşık değer olarak motora giren yakıt miktarının %1–1,5'ini oluşturmaktadırlar. Dizel motorlardaki HC emisyonlarının yükselmesinin sebebi hava/yakıt oranının artması ile yanma odasındaki belirli bölgelerdeki karışımın çok fazla fakirleşmesi sonucunda, karışım oranının tutuşma ve yanma sınırının üzerine çıkması neticesinde

yanma alevinin sönmesinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Ayrıca düşük silindir sıcaklıkları ve yanma odası içerisindeki çiziklerin de HC emisyonunu artırdığı bilinmektedir[87, 4]. Dizel motorlarının neden olduğu HC emisyonlarının oluşumu, çoğunlukla yanma odası duvarlarında yanma alevinin sönmesi nedeniyle gerçekleşir[63]. HC emisyonu kısaca yanmamış yakıtı ifade etmektedir.

Daha önce yapılan bazı çalışmalarda; daha yüksek gizli buharlaşma ısısı, yanma odasında soğutma etkisine ve silindirin soğuk bölgelerinde alevin sönmesine yol açmakta ve bu da HC emisyonlarının oluşmasında önemli bir faktör olarak gösterilmektedir. Artan damlacık çapı, buharlaşma hızında ve HC oluşumunun yanı sıra tutuşma gecikmesinde de artışa neden olmaktadır. Aşırı zengin karışım veya yanma reaksiyonunun sönmesi ile sonuçlanan düşük buharlaşma oranı, eksik yanma ürünleri ve HC'nin egzoz gazlarında mevcut olmasına neden olmaktadır[97]. Yanma ürünleri içerisinde yanmamış HC'lerin bulunması, yakıtın tutuşma sıcaklığına ulaşamaması, ortamdaki oksijenin yetersiz olması sebebiyle yakıtın okside olamaması veya yarı oksitlenmesi durumudur[98].

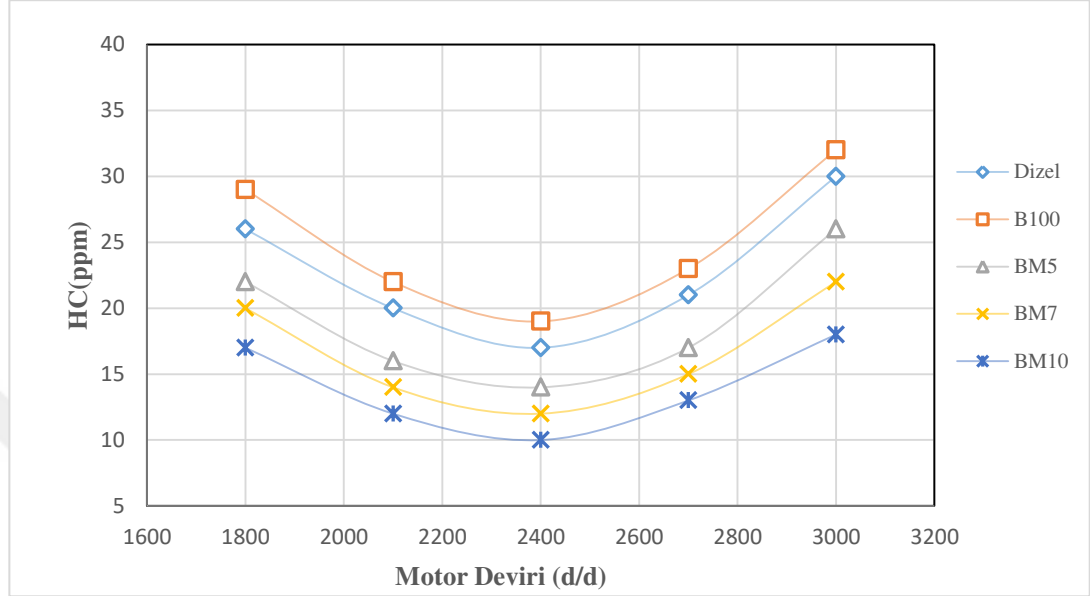
Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıt olarak kullanım deneylerinde elde edilen hidrokarbon (HC) değerleri de Tablo 6.6'da ve devir sayıları ile değişimi eğri haline getirilerek Şekil 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6. Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtları ile elde edilen HC emisyon değerleri (ppm)

Devir (1/dak)	Dizel Yakıtı	B100 Yakıtı	BM5 Yakıtı	BM7 Yakıtı	BM10 Yakıtı
3000	30	32	26	22	18
2700	21	23	17	15	13
2400	17	19	14	12	10
2100	20	22	16	14	12
1800	26	29	22	20	17

Deneyisel çalışmalarda elde edilen HC emisyon verilerine göre; B100 yakıtının HC değerleri dizel yakıtına göre yüksek çıkmıştır. Bu durum B100 yakıtının moleküler yapılarındaki düşük oksijen konsantrasyonundan kaynaklandığına inanılmaktadır. Biyodizel metanol karışımlarının HC emisyonları diğer yakıtlara göre daha düşük çıkmıştır bu durum metil alkolün moleküler yapısında oksijen içermesinden kaynaklanmaktadır. Biyodizel metil alkol karışımı yakıtların içeriğinde O₂'nin

bulunması yanma sırasında standart dizel ve biyodizel yakıtına göre oksijen ihtiyacını karşıladığı ve bundan dolayı eksik yanmanın daha az olduğu şeklinde açıklanabilmektedir.



Şekil 6.6. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının HC emisyonuna etkisi

Ayrıca Şekil 6.6. incelendiğinde HC emisyonu bütün yakıtlarda, düşük motor hızlarında nispeten daha yüksek ölçülmüştür. Düşük motor hızlarındaki, yanma odasında bulunan düşük gaz sıcaklığı sebebiyle HC emisyonlarının nispeten yüksek çıkmasına neden olmaktadır[99]. HC emisyonunu etkileyen diğer bir etken ise yanma için alınan hava akımının oluşturduğu girdap hızıdır. Girdap hızı, düşük bir motor hızında yavaştır, bu nedenle uzun bir tutuşma gecikmesine ve yüksek HC oluşumuna neden olmaktadır[100]. HC emisyonunun, dizel motordaki en düşük seviyelerinin 2400 d/d'da orta motor devirlerinde elde edildiği, Şekil 6.6'da görülmektedir. Motorun orta devirlerindeki bu azalma; yanma odası içerisindeki gaz sıcaklığının artmasından kaynaklanmaktadır. Maksimum moment devrinden sonra motor devrinin yükselmesi ile HC emisyonları artış göstermiştir. Bu durum yüksek devirlerde silindir içi sıcaklığın daha yüksek olmasına rağmen, yakıtın yanma süresinin kısalmasından dolayı, yanma veriminin düşmesi HC emisyonunun artış göstermesine neden olmaktadır[4].

6.8. Azot Oksit (NO_x) Emisyonlarının Değerlendirilmesi

Motorlarda yakıtın yanması sonucu meydana gelmekte olan yüksek ısı, havanın içerisindeki azotun oksijen ile birleşerek azot oksitleri oluşturmaktadır. Ayrıca çabuk tutuşan yakıtlarda yanma süresi uzadığından dolayı NO_x emisyonu oluşumunda artış olmaktadır[101].

Dizel motorlarda NO_x emisyonu oluşumunu etkileyen faktörler; ısı yayılım oranı, stokiometrik yanma, adyabatik alev sıcaklığı, tutuşma gecikme süresi, reaksiyon sıcaklığı, önceki devirden kalan karışım ve fazla oksijen olarak özetlenebilir[99]. NO_x oluşumunu etkileyen ana faktörler, yüksek sıcaklık, yüksek sıcaklık etki süresi ve O₂ konsantrasyonudur[89]. Bazı çalışmalarda ise NO_x oluşumu, maksimum ısı yayılım oranına ve tutuşma gecikmesine bağlı olduğu belirtilmektedir[102].

NO_x, havada nitrojen ve oksijen içeren zincir reaksiyonları ile oluşmaktadır. Bu reaksiyonlar yüksek sıcaklığa bağlı olmaktadır. Dizel motorlar sürekli fazla hava ile çalıştığından, NO_x emisyonları esas olarak gaz sıcaklığı ve kalma süresinin bir fonksiyonudur[103].

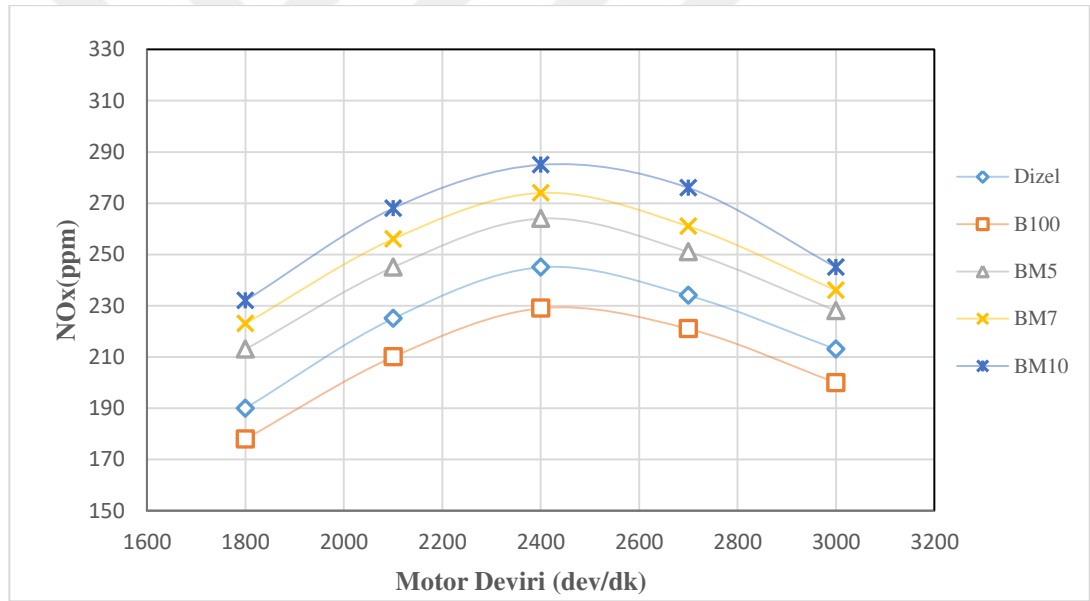
Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıt olarak kullanımlarında elde edilen azot oksit (NO_x) değerlerinin devir sayıları ile değişim Tablo 6.7’de ve bu değerlerin eğri haline getirilmesi Şekil 6.7’de verilmiştir.

Tablo 6.7. Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtları ile elde edilen NO_x emisyon değerleri (ppm)

Devir (1/dak)	Dizel Yakıtı	B100 Yakıtı	BM5 Yakıtı	BM7 Yakıtı	BM10 Yakıtı
3000	213	200	228	236	245
2700	234	221	251	261	276
2400	245	229	264	274	285
2100	225	210	245	256	268
1800	190	178	213	223	232

Yapılan çalışmada elde edilen NO_x emisyon verilerine göre, ortalama değerler incelendiğinde B100 yakıtının NO_x değerleri dizel yakıtına göre düşük çıkmıştır. Bu durum piroliz yöntemi ile üretilmiş olan biyodizel yakıtın bünyesindeki oksijen oranının düşük olmasına bağlı olarak NO_x emisyonları dizel yakıtına göre azalış eğilimleri

göstermektedir. Çünkü düşük oksijen miktarı yanma verimini etkilediği için yanma sonu sıcaklığını azalmakta ve azot gazının oksitlenmesini nispeten önleyerek NOx emisyonlarına dönüşmemesinde etkili olabilmektedir. Biyodizel metanol karışımlarının NOx emisyonları diğer yakıtlara göre daha yüksek çıkmaktadır. Bu durum metil alkolün moleküler yapısında oksijen içermesinden kaynaklanmaktadır. Motorda yakıtın yanması sonucu meydana gelmekte olan yüksek ısı, hava içerisindeki azotun oksijen ile birleşerek azot oksitler meydana getirir. Ayrıca çabuk tutuşan yakıtlarda yanma süresi uzadığı için NOx'lerde artış meydana gelir. Biyodizel metanol karışımı yakıtların içeriğindeki oksijen oranına bağlı olarak NOx emisyonları B100 ve dizel yakıtı değerlerine göre artış eğilimleri göstermektedir. Bu durum oksijen yanma verimini iyileştirdiği için yanma sonu sıcaklığında yükselmekte ve azot gazının oksitlenerek NOx emisyonlarına dönüşmesinde etkili olmaktadır[104].



Şekil 6.7. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının NOx emisyonuna etkisi

Ayrıca Şekil 6.7. incelendiğinde, bütün deney yakıtlarında elde edilen NOx miktarları düşük motor hızlarında nispeten daha düşük ölçülmüştür. Düşük motor hızlarındaki, yanma odasında bulunan düşük gaz sıcaklığı daha az NOx emisyonunun oluşumuna neden olmaktadır[100]. NOx emisyonunun en yüksek seviyelerini 2400 d/d'da, motorun orta devirlerinde elde edildiği, Şekil 6.7'de görülmektedir. Motorun orta devirlerindeki bu artış; silindir içi sıcaklığının artmasından kaynaklanmaktadır.

Motor devir sayısı yükseldikçe maksimum moment devri olan 2400 d/d'dan sonra NO_x emisyonlarında tekrar düşüş görülmektedir. Bu durum motor devrinin yükselmesi ile yüksek devirlerde silindir içi sıcaklığın daha yüksek olmasına rağmen, yakıtın yanma süresinin ve oksijenin azot atomları ile reaksiyon süresinin kısılmasından dolayı, NO_x değerleri de düşüş eğilimi göstermektedir.

6.9. Karbondioksit (CO₂) Emisyonlarının Değerlendirilmesi

Yenilenebilir enerji orijinli yakıtların yanma sonucu meydana getirdiği CO₂, bitkiler tarafından tutulmaktadır. Bitkiler CO₂'i, karbon ve oksijene ayırmaktadırlar. Oksijen tekrar atmosfere bırakılmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımı bu şekilde CO₂ emisyonunda doğal dengenin oluşmasını sağlamaktadır. Egzoz emisyon ürünleri arasında bulunan CO₂ tam yanmayı ifade ettiği için önemli bir parametre sayılmaktadır[101].

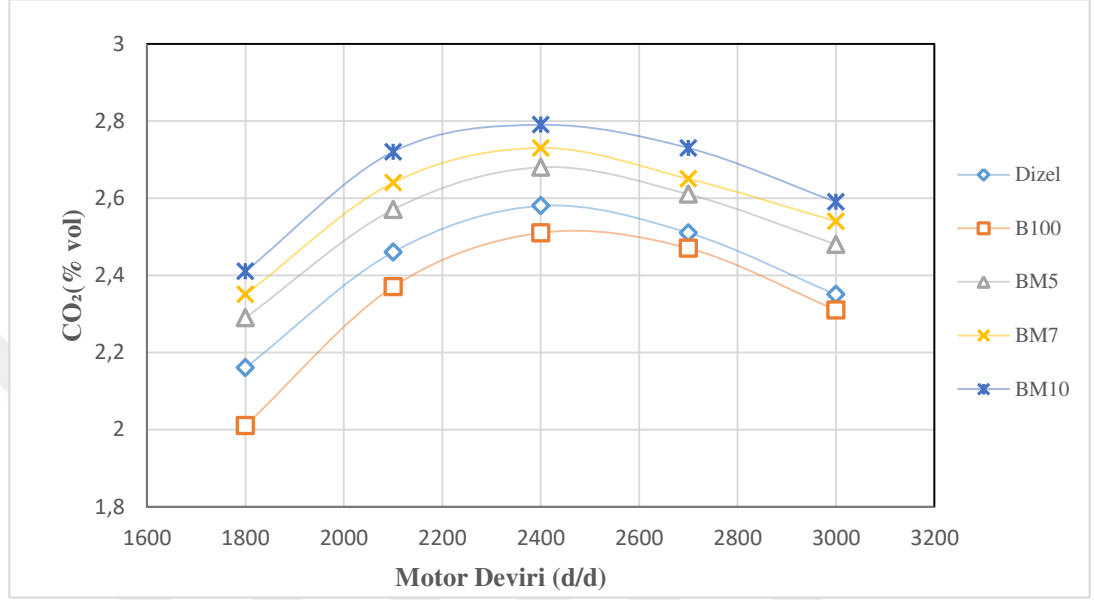
Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıt olarak kullanımlarında elde edilen karbondioksit (CO₂) değerlerinin devir sayıları ile elde edilen değerler Tablo 6.8'de değişim eğrileri Şekil 6.8.'de verilmiştir.

Tablo 6.8. Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtları ile elde edilen CO₂ emisyon değerleri (%)

Devir (1/dak)	Dizel Yakıtı	B100 Yakıtı	BM5 Yakıtı	BM7 Yakıtı	BM10 Yakıtı
3000	2,35	2,31	2,48	2,54	2,59
2700	2,51	2,47	2,61	2,65	2,73
2400	2,58	2,51	2,68	2,73	2,79
2100	2,46	2,37	2,57	2,64	2,72
1800	2,16	2,01	2,29	2,35	2,41

Deneysel çalışmalarda elde edilen CO₂ emisyon verilerine göre; B100 yakıtının CO₂ emisyonu değerleri standart dizel yakıtı değerlerine göre düşük çıkmıştır. Bu durum piroliz yöntemi ile üretilmiş olan biyodizel yakıtın bünyesindeki oksijen oranının düşük olmasına bağlı olarak CO₂ emisyonları diğer yakıt değerlerine göre azalış eğilimleri göstermektedir. Düşük oksijen miktarı yanma verimini etkilemektedir. CO₂ emisyonu tam yanmayı ifade etmektedir. CO₂ emisyonu değerinin düşük olması ideal

yanmanın tam oluşmadığına dair bilgi vermektedir. Biyodizel metanol karışımlarının CO₂ emisyonları diğer yakıtlara göre daha yüksek çıkmış olup bu durum metil alkolün moleküler yapısında oksijen içermesinden kaynaklanmaktadır. CO₂ emisyonu değerinin yüksek oluşu ideal bir yanmanın oluştuğuna dair bilgi vermektedir.



Şekil 6.8. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının CO₂ emisyonuna etkisi

Ayrıca Şekil 6.8. incelendiğinde, bütün deney yakıtlarında elde edilen CO₂ miktarları düşük motor hızlarında nispeten daha düşük ölçülmüştür. Düşük motor hızlarındaki, yanma odasında bulunan düşük gaz sıcaklığı sebebiyle CO'nun tamamen CO₂'ye dönüşmemesi, CO₂ emisyonunun düşük çıkmasına neden olmuştur. CO₂ emisyonunun, en yüksek seviyelerinin 2400 d/d'da motorun orta devirlerinde elde edildiği, Şekil 6.8'de görülmektedir. Orta devirlerdeki bu artış; yanma odası içerisindeki gaz sıcaklığının artarak, CO'nun CO₂'ye oksidasyonunun artmasından kaynaklanır, ayrıca CO₂ emisyonunun artış sebeplerinden biri olarak da silindir içine alınan oksijen miktarının en yüksek seviyeye çıkması şeklinde tanımlanabilir[105]. Motor devrinin orta devirlerin üzerine çıkması ile C ve O atomlarının reaksiyon sürelerini kısaltmakta, CO ve O₂'nin reaksiyon süresini azaltmaktadır, bununla birlikte yüksek devirlerdeki yakıt/hava karışımının zenginleşmesinde CO₂ oluşumunu azaltır. Bu nedenle CO₂ emisyonlarında düşüş görülmüştür.

6.10. Duman (İs) Yoğunluğu Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Dizel motorlarda siyah duman olarak da bilinen is, hava miktarı yetersiz olduğu zaman ortaya çıkmaktadır. İs oluşumuna, oksijence fakir ortamda bulunan yakıt moleküllerinin ısı parçalanması şeklinde bakılabilmektedir. Yakıtta bulunan hidrojen molekülleri ayrıldıktan sonra karbonca zengin büyük moleküller birleşmekte, bu birleşmeler artıkça is zerrecikleri de görünmektedir. Bu is zerrecikleri hava ile yeterli bir zaman ve sıcaklık içinde tekrar temas ederlerse yeniden yanabilirler[74]. Ayrıca duman oluşumunun başlıca nedenleri; yakıtın cinsi, bu yakıtın silindir içinde yeterli havayı bulamaması veya yakıtın püskürtülmesi sırasında hızla hava ile karışmaması ve buharlaşamamasıdır. Duman emisyonu oksijen eksikliğinde meydana gelmektedir. Oksijen eksikliği yanma odasında lokal olarak görülebilir ve azalan hava/yakıt oranı ile artabilmektedir. Yüksek viskozite ve yoğunlukta, yakıt atomizasyonunu ve yanmasını bozmaktadır[106].

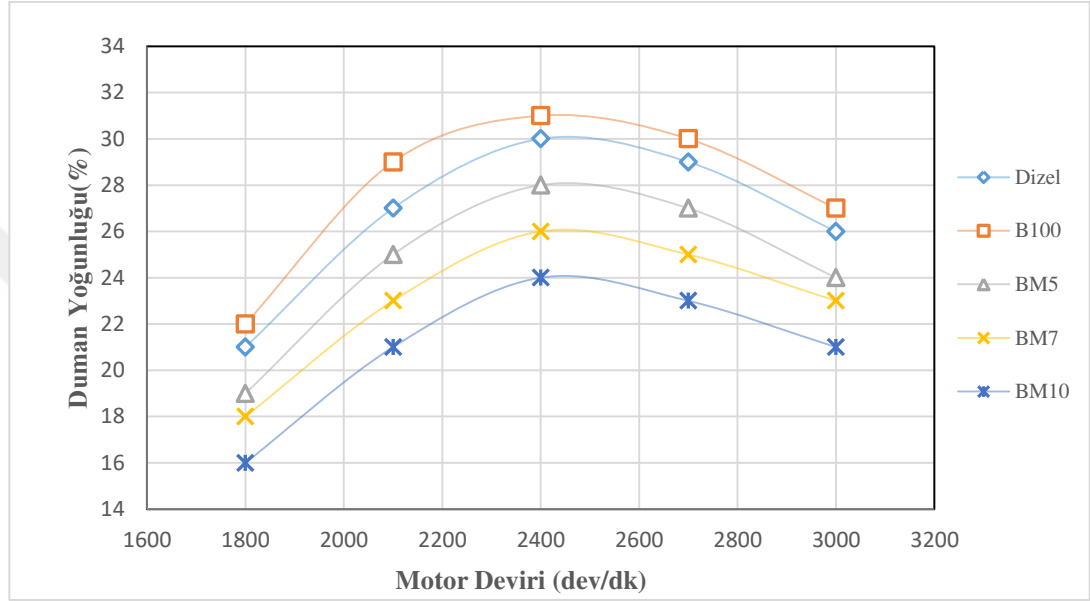
Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıt olarak kullanımlarında elde edilen duman yoğunluğu değerlerinin devir sayıları ile değişimi Tablo 6.9'da ve bu değerlerden elde edilen eğriler Şekil 6.9'da verilmiştir.

Tablo 6.9. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının Duman yoğunluğu değerleri(%)

Devir (1/dak)	Dizel Yakıtı	B100 Yakıtı	BM5 Yakıtı	BM7 Yakıtı	BM10 Yakıtı
3000	26	27	24	23	21
2700	29	30	27	25	23
2400	30	31	28	26	24
2100	27	29	25	23	21
1800	21	22	19	18	16

Yapılan çalışmalarda elde edilen duman emisyon verilerine göre; B100 yakıtının duman emisyonu değerleri genel olarak az da olsa standart dizel yakıtı değerlerine göre yüksek çıkmıştır. Bu durum piroliz yöntemi ile üretilmiş olan biyodizel yakıtın bünyesindeki oksijen oranının düşük olmasına bağlı olarak duman emisyonları standart dizel yakıtı değerlerine göre yükseliş eğilimleri göstermektedir. Düşük oksijen miktarı yanma verimini etkilemektedir. Duman emisyonunun oluşum nedeni, motor koşulluna, yanma odasının tipine ve yakıtın fiziksel-kimyasal özelliklerine bağlı olmaktadır[107].

Biyodizel metanol karışımlarının duman emisyonları diğer yakıtlara göre daha düşük çıkmıştır. Bu durum metil alkolün moleküler yapısında oksijen içermesinden kaynaklanmaktadır. Biyodizel metil alkol karışımı yakıtın içeriğinde oksijen bulunması yanma sırasında oksijen ihtiyacını karşıladığı ve bundan dolayı eksik yanmanın daha az olduğu şeklinde açıklanabilir. Alkollerin yüksek oksijen kütle içeriği yanmayı artırır ve egzoz gazındaki duman oluşumunu önler.



Şekil 6.9. Standart dizel, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtlarının duman emisyonuna etkisi

Ayrıca Şekil 6.9. incelendiğinde, bütün deney yakıtlarında elde edilen duman emisyon değerleri düşük motor hızlarında daha düşük ölçülmüştür. Bu durumun nedeni, düşük hava sirkülasyon hızları ve düşük hızlarda yanma odasında düşük sıcaklıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Duman emisyonunun en yüksek seviyelerini 2400 dev/dk'da, motorun orta devirlerinde elde edildiği, Şekil 6.9'da görülmektedir. Motorun orta devirlerindeki bu artış; silindir içi sıcaklığının artmasından kaynaklandığı söylenebilir. Şekil 6.9'da görüldüğü gibi, tüm yakıtlar için hız arttıkça duman emisyonları da artmaktadır. Yüksek hızlarda yanma için yetersiz zaman, düşük yanma verimi ve zengin karışım oluşumu duman emisyonlarının oluşumunu arttırdığı düşünülmektedir[91].

7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmanın temel amacı, mevcut dizel motorlarında önemli bir değişikliğe gidilmeden motorda yakın bir gelecekte tükenme problemi olan petrol esaslı yakıtlar yerine yenilenebilir özellikte olan bitkisel yağlardan üretilen biyoyakıtların kullanılmasını sağlamaktır. Çalışmada, bir bitkisel yağ olan ham aspir yağından elde edilen biyoyakıtın dizel motorlarında kullanım olanakları test edilmiştir. Ayrıca petrol kaynaklarındaki azalma ve fiyat artışlarına önlem olarak, dizel motorlarda kullanılabilecek kısmen de yenilenebilirlik payı bulunan ve çevre ile daha uyumlu bir alternatif yakıtın tespiti amaçlanmıştır.

Bu çalışmada ham aspir yağından piroliz yöntemi ile biyodizel elde edilerek belli oranlarda biyodizel yakıtına metil alkol katılmış ve dört zamanlı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, hava soğutmalı bir dizel motorda test edilmiştir. Standart dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtları dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerinin belirlenmesi amacıyla değişik motor devirlerinde test edilmiştir. Deneyler sonucunda aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.

Dizel yakıtı, B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtların motor performans değerleri veri ve grafikleri incelendiği zaman, dizel yakıtına göre diğer yakıtların güç ve moment değerleri düşük çıkmıştır. Bu da yakıtların ısı değerlerinden kaynaklandığı söylenebilir. Güç ve moment değerlerindeki bu düşüşün temel sebebi, aspir yağı biyodizeli ve metil alkol katkılı diğer yakıtların ısı değerinin dizel yakıtına göre düşük viskozite ve yoğunluğunun ise yüksek olmasıdır.

Özgül yakıt tüketimi standart dizel yakıtı ile kıyaslandığında B100, BM5, BM7 ve BM10 yakıtların özgül yakıt tüketimleri daha yüksek çıkmıştır. Yakıtların birbirine yakın güç ve moment değerlerini verebilmeleri için ısı değer başta olmak üzere viskozite ve yoğunluklarının da birbirlerine yakın olmaları gerekmektedir. Dizel yakıtının ısı değeri diğer yakıtlara göre yüksek oluşu, diğer yakıtların bu yakıtı yakın güç vermeleri için biraz daha fazla yanması gerektiğini göstermektedir. Bunun için karışımların özgül yakıt tüketimleri dizel yakıtına göre daha fazladır. Literatürde yapılan benzer çalışmalarda da aynı durumun söz konusu olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışmalarda elde edilen EGS verilerine göre; B100 yakıtının EGS değerleri standart dizel yakıtına göre düşük çıkmıştır. Bu durum yakıtların ısı değerleriyle alakalıdır. B100 yakıtının standart dizel yakıtına kıyasla daha düşük ısı değere ve daha yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu da yanma sonu sıcaklığını düşürmektedir. Bu düşüş silindir içerisindeki egzoz gazlarının sıcaklığında da düşüş anlamını taşımaktadır. Bu sebeplerden dolayı, EGS değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Biyodizel metil alkol karışımı yakıtların EGS değerleri diğer yakıtlara göre daha yüksek çıkmıştır. Karışımlardaki ek oksijenin varlığı her zaman egzoz gazlarında karbon partikül yakma olasılığını artırır, bu da yüksek egzoz gazı sıcaklığına neden olur ve aynı zamanda karışımların yüzdesindeki artışla artar.

Yapılan çalışmalarda elde edilen CO emisyon verilerine göre; ortalama değerlere bakıldığında B100 yakıtının CO değerleri azda olsa dizel yakıtına göre yüksek çıkmıştır. Bu durum B100 yakıtının moleküler yapılarındaki düşük oksijen konsantrasyonundan kaynaklanmaktadır. Biyodizel metanol karışımlarının CO emisyonları diğer yakıtlara göre daha düşük çıkmıştır bu durum metil alkolün moleküler yapısında yüksek oranda oksijen içermesinden kaynaklanmaktadır. Biyodizel metil alkol karışımı yakıtların içeriğinde O_2 'nin bulunması yanma sırasında standart dizel ve biyodizel yakıtına göre oksijen ihtiyacını karşıladığı ve bundan dolayı eksik yanmanın daha az olduğu şeklinde açıklanabilir. Ayrıca CO emisyonları bütün yakıtlarda, düşük motor hızlarında nispeten daha yüksek ölçülmüştür. Düşük motor hızlarındaki, yanma odasında bulunan düşük gaz sıcaklığı sebebiyle CO'nun tamamen CO_2 'ye dönüşmemesi, CO emisyonunun yüksek çıkmasına neden olmaktadır. Egzoz emisyonlarına bakıldığında BM10 yakıtının egzoz emisyonları açısından oldukça çevreci bir yakıt olduğu görülmüştür.

Deneyssel çalışmalarda elde edilen HC emisyon verilerine göre; B100 yakıtının HC değerleri standart dizel yakıtına göre yüksek çıkmıştır. Bu durum B100 yakıtının moleküler yapılarındaki düşük oksijen konsantrasyonundan kaynaklandığına inanılmaktadır. Biyodizel metanol karışımlarının HC emisyonları diğer yakıtlara göre daha düşük çıkmıştır. Bu durum metil alkolün moleküler yapısında oksijen içermesinden kaynaklanmaktadır. Biyodizel metil alkol karışımı yakıtların içeriğinde O_2 'nin bulunması yanma sırasında standart dizel ve biyodizel yakıtına göre oksijen

ihtiyacını karşıladığı ve bundan dolayı eksik yanmanın daha az olduğu şeklinde açıklanabilmektedir.

Yapılan çalışmada elde edilen NO_x emisyon verilerine göre, ortalama değerlere bakıldığında B100 yakıtının NO_x değerleri dizel yakıtına göre düşük çıkmıştır. Bu durum piroliz yöntemi ile üretilmiş olan biyodizel yakıtın bünyesindeki oksijen oranının düşük olmasına bağlı olarak NO_x emisyonları dizel yakıtına göre azalış eğilimleri göstermektedir. Çünkü düşük oksijen miktarı yanma verimini etkilediği için yanma sonu sıcaklığını azalmakta ve azot gazının oksitlenmesini nispeten önleyerek NO_x emisyonlarına dönüşmemesinde etkili olabilmektedir. Biyodizel metanol karışımlarının NO_x emisyonları diğer yakıtlara göre daha yüksek çıkmıştır bu durum metil alkolün moleküler yapısında oksijen içermesinden kaynaklanmaktadır. Motorda yakıtın yanması sonucu meydana gelen yüksek ısı, havanın içerisindeki azotun oksijen ile birleşerek azot oksitler meydana getirir. Ayrıca çabuk tutuşan yakıtlarda yanma süresi uzadığı için NO_x'lerde artış meydana gelir. Biyodizel metanol karışımı yakıtların bünyelerindeki oksijen oranına bağlı olarak NO_x emisyonları B100 ve dizel yakıtı değerlerine göre artış eğilimleri göstermektedir. Bu durum oksijen yanma verimini arttırdığı için yanma sonu sıcaklığını yükselmekte ve azot gazının oksitlenerek NO_x emisyonlarına dönüşmesinde etkili olmaktadır.

Deneyssel çalışmalarda elde edilen CO₂ emisyon verilerine göre; B100 yakıtının CO₂ emisyonu değerleri standart dizel yakıtı değerlerine göre düşük çıkmıştır. Bu durum piroliz yöntemi ile üretilmiş olan biyodizel yakıtın bünyesindeki oksijen oranının düşük olmasına bağlı olarak CO₂ emisyonları diğer yakıt değerlerine göre azalış eğilimleri göstermektedir. Düşük oksijen miktarı yanma verimini etkilemektedir. CO₂ emisyonu tam yanmayı ifade eder. CO₂ emisyonun değerinin düşük olması ideal yanmanın tam oluşmadığına dair bilgi vermektedir. Biyodizel metanol karışımlarının CO₂ emisyonları diğer yakıtlara göre daha yüksek çıkmıştır bu durum metil alkolün moleküler yapısında oksijen içermesinden kaynaklanmaktadır. CO₂ emisyonun değerinin yüksek olması ideal yanmanın oluştuğuna dair bilgi vermektedir.

Yapılan çalışmalarda elde edilen duman emisyon verilerine göre; B100 yakıtının duman emisyonu değerleri genel olarak az da olsa standart dizel yakıtı değerlerine göre yüksek çıkmıştır. Bu durum piroliz yöntemi ile üretilmiş olan biyodizel yakıtın bünyesindeki oksijen oranının düşük olmasına bağlı olarak duman emisyonları standart

dizel yakıtı değerlerine göre yükseliş eğilimleri göstermektedir. Düşük oksijen miktarı yanma verimini etkilemektedir. Duman emisyonunun oluşum nedeni, motor koşuluna, yanma odasının tipine ve yakıtın fiziksel-kimyasal özelliklerine bağlı olmaktadır. Biyodizel metanol karışımlarının duman emisyonları diğer yakıtlara göre daha düşük çıkmıştır. Bu durum metil alkolün moleküler yapısında oksijen içermesinden kaynaklanmaktadır. Biyodizel metil alkol karışımı yakıtın içeriğinde oksijen bulunması yanma sırasında oksijen ihtiyacını karşıladığı ve bundan dolayı eksik yanmanın daha az olduğu şeklinde açıklanabilir. Alkollerin yüksek oksijen kütle içeriği yanmayı artırır ve egzoz gazındaki duman oluşumunu önler.

Sonuç olarak ham aspir yağından piroliz yöntemi ile elde edilen biyoyakıtın ve bu yakıtta metil alkol ilavesi ile elde edilen yakıtların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinde olumlu yönde düzelmeler meydana gelmiş ve bu özellikler dizel yakıtına yakın değerler almıştır. Motorda kullanımı ile dizel yakıtına yakın motor performansı ve özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir. Ayrıca günümüzde hava kirliliğinin büyük bir problem haline gelmesi bakımından kullanılan BM5, BM7 ve BM10 yakıtları ile oluşan zararlı emisyon değerleri dizel yakıtına göre daha düşük bir seviyede elde edilmiştir. Bu çalışmalar, ham aspir yağından piroliz yöntemi ile elde edilen biyoyakıtın metanolle hacimsel oranlarda karıştırılarak dizel yakıtına alternatif bir yakıt olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

8. ÖNERİLER

Biyodizel yakıtının bazı özelliklerinin iyileştirilmesi açısından bazı kimyasal katkıların eklenmesi iyi sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Bunlardan biri metil alkol katkılı yakıtlara belli oranda dizel yakıtı karıştırılabilir. Diğer tarafta motor ayarları metil alkol katkılı yakıtlara göre düzenlenip daha iyi bir yanmanın sağlanması için araştırma çalışmaları yapılabilir.

Ayrıca piroliz ürününün kalitesini iyileştirmek, dönüşüm verimliliğini artırmak için ürün metoksit katalizör eşliğinde karıştırılıp emisyon yapan karbonlar bağlanıp farklı karbon yapılarında oluşmasını önlemek için daha kararlı hale getirilebilir.

Aspir yağından biyoyakıtın üretilmesi ve üretilen biyoyakıtın dizel motorlarında alternatif bir yakıt olarak kullanılabilmesi enerjide dışa olan bağımlılığın azaltılmasında olumlu bir etki oluşturacağından bu yakıtın kullanım imkânları araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Gebremariam, S.N. and Marchetti, J.M., (2017). Biodiesel production technologies: review. *AIMS Energy*, 5(3), 425-457.
- [2] Demirbas A., (2017). Tomorrow's biofuels: Goals and hopes. *Energy Sources. Part A Recover Util Environ Eff*, 39, 673–679.
- [3] E. Yılmaz, H. Solmaz, S. Polat, and M. Altın, (2013). “Üç-Fazlı Dizel Emülsiyon Yakıtlarının Motor Performansı Ve Egzoz Emisyonların Etkisi Efect of he Three-Plase Dişsel Emülsiyon Fulesi on Engine Performansça ant Eşhasta Emissions,” *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ. Cilt*, vol. 28, no. 1, pp. 127–134.
- [4] Sevinç, H., (2018). “Piston ve supapları Cr₂ O₃ kaplanmış ve farklı yakıt katkıları kullanılan bir dizel motorda performans ve emisyon değerlerinin yapay sinir ağıları ile belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- [5] M. BAYIK and M. B. ÇELİK, (2012). “Dizel Yakıtına İzobütanol İlavesinin Performans ve Emisyonlara Etkisi The Effect of Add of Isobutanol to Diesel Fuel on Performance and Exhaust Emissions,” *Electron. J. Veh. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 25–36.
- [6] X. Shi et al., (2006). “Emission reduction potential of using ethanol-biodiesel-diesel fuel blend on a heavy-duty diesel engine,” *Atmos. Environ.*, vol. 40, no. 14, pp. 2567– 2574.
- [7] Sağır, O., (2018). Trabzon ilinde atık yağların biyodizel eldesinde kullanılabilirliğinin araştırılması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon sayfa 17-18
- [8] Zhang, Y., Dub, M. A., McLean, D.D., ve Kates, M., (2003). “Biodiesel Production From Waste Cooking Oil: 1”, *Process Design And Technological Assessment*, 89:1–16.
- [9] Gerhard, K., Jon, V. G. ve Jürgen, K., (2005). *The Biodiesel Hand book*, Second Edition, AOCS Press, ABD.
- [10] Kutluk, T., (2013). Bitkisel Atık Yağlardan Tutuklanmış Lipaz Katalizli Biyodizel Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli.
- [11] Ma, F. ve Hanna, M. A., (1999). “Biodiesel Production: A Review”, *Bioresource Technology*, 70:1-15.
- [12] Gülyurt, M. O., (2016). “Optimization Study Of Novel Biodiesel Production Methods From Chlorella Protothecoides Oil”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- [13] Uzun, G., (2018). “Yağ asidi katkılı kolza yağından biyodizel üretimi ve üretilen biyodizellerin karakteristik özelliklerinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

- [14] Arslan, M., (2015). Laboratuvar Ölçekli Biyodizel Üretim Tesisinin Projelendirilerek İmal Edilmesi Ve Yabani Zeytinden (Oleaoleaster) Üretilen Biyodizelin Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [15] Yaşar, F., (2016). Yosun yağından biyodizel üretimi ve bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak kullanılması, Doktora Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- [16] İşler, A., Karaosmanoğlu F. (2007). Yakıt alkölü: Mevcut durumu ve geleceği. Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu, 12 -13 Aralık 2007, 123-132, Ankara.
- [17] Albayrak, S., (2014). Biyodizelin tek silindirli bir dizel motorunun performans, emisyon ve titreşimlerine olan etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- [18] (http://www.albiyobir.org.tr/trde_b3.htm).
- [19] Örs, A., (2016). Biyodizel bütanol karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [20] (<http://www.ekipmuhendislik.com.tr/biodizel-hakkinda.html>)
- [21] Aydın, S. Sayın, C. Balki, M. K. Yakut. R. (2016). Atık Hayvansal Yağ Kökenli Biyoyakıtın Jeneratörlü Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, International Engineering, Science and Education Conference, Diyarbakır/Türkiye.
- [22] Türkay, S., (2005). Biyoyakıt üretim teknolojileri, Türkiye’de biyoyakıt üretimindeki mevcut durum sorunlar ve öneriler çalıştay, 2 Aralık, Ankara/Türkiye.
- [23] Suresh, M. Jawahar, C.P. Richard, Arun., (2018). A review on biodiesel production, combustion, performance, and emission characteristics of non-edible oils in variable compression ratio diesel engine using biodiesel and its blends, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 92, Pages 38-49.
- [24] Ögüt, H., Oğuz, H., (2006). Üçüncü milenyumun yakıtı biyoyakıt, Kitap, 48-49. Nobel Yayın Dağıtım, 2. Baskı, ISBN 975-591-730-6, Konya.
- [25] Altun, Ş., Öner, C., (2013). Gaseous emission comparison of a compression–ignition engine fueled with different biodiesels, Int. J. Environ. Sci. Technol., 10, 371-376.
- [26] Mutlu, L., Yavuz, H., Bayrakçeken, H., (2006). Biyoyakıt yakıtların performanslarının karşılaştırılması, 9. Yanma Sempozyumu, 40-49, Kırıkkale/Türkiye
- [27] Nişancı, S., (2007). Biyoyakıt yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [28] Othman, M.F., Adam, A., Najafi, G., Mamat, R., (2017). Green fuel as alternative fuel for diesel engine: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 80, Pages 694-709.
- [29] Öztürk, Ö., (2007). Dizel motorlarında karışimsız olarak kullanılan biyodizellerin motor performansına olan etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [30] Koç, M., (2011). Biyoyakıt üretimine uygun Türkiye’de yetişen ve yetiştirilecek bitkilerin ve biyoyakıt teknolojilerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [31] Mazivila, S. J., (2018) Trends of non-destructive analytical methods for identification of biodiesel feedstock in diesel-biodiesel blend according to European Commission Directive 2012/0288/EC and detecting diesel-biodiesel blend adulteration: A brief review, *Talanta*, Volume 180, Pages 239-247.
- [32] Aydın, S., Sayın, C., Aydın H., (2015). Investigation of the usability of biodiesel obtained from residual frying oil in a diesel engine with thermal barrier coating, *Applied Thermal Engineering*, 80, 212-219
- [33] Seraç, M.R., (2018). Biyoyakıtın jeneratörlü bir dizel motorunda performans, emisyon ve yanma karakteristikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman
- [34] Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü, (2011). Kişisel görüşme.
- [35] Eskişehir Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü, (2011). Kişisel görüşme.
- [36] Dajue, L., Müdel, H., (1996). Safflower, *Carthamus tinctorius* L, Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops, 7, *Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute*, Rome, Italy.
- [37] Acaroğlu, M., (2007). Alternatif Enerji Kaynakları, Genişletilmiş 2. Baskı, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 339-474
- [38] Ögüt, H., Eryılmaz, T. ve Oğuz, H., (2007). Bazı Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Çeşitlerinden Üretilen Biyodizelin Yakıt Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak incelenmesi, 1.Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu, 28-31 Mayıs. Samsun, s13-19.
- [39] <http://www.milliyet.com.tr/turkiye-aspir-uretiminde-rekora-kosuyor-ankara-yerel-haber-463110>
- [40] Kobuk, M., (2018). Oleik ve linoleik asit zengini iki aspir hattından elde edilen biyodizelin traktör kuyruk mili performansına etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta
- [41] Srivastava, A., Prasad, R. (2000). Triglycerides-based Diesel Fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4, 111-113.

- [42] Oğuz, H., (2004). Tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarında fındık yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanım imkânlarının incelenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya.
- [43] <http://www.enerji.gov.tr/trTR/Sayfalar/Biyoyakit>
- [44] Kusdiana, D., Saka, S., (2000). A Novel Process of the Biodiesel Fuel Production in Supercritical Methanol. 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, 5-9 June, Sevilla, Spain.
- [45] Öztürk, U., (2015). “ Borlama yüzey kaplama teknolojisinin bir dizel motorun yanma odası elemanlarına uygulanması”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- [46] Czernik, S. ve Bridgwater, A.V., (2004). Overview of application of biomass fast pyrolysis oil, *Energy Fuels*, 18, 590-598.
- [47] Üçgül, İ., Elibüyük, U., (2014). Tekstil Atıklarının Piroлиз ile Değerlendirilmesi. *SDU Journal Of Technical Sciences*, (4) 2, 40-46.
- [48] Kar, T., (2018). Doğu Karadeniz bölgesindeki bazı atık biyokütle karışımlarının katalizörsüz ve katalizörlü pirolizi ve sıvı ürünlerin karakterizasyonu, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon,
- [49] Oktit, Ş., (2000). Fotovoltaik Güneş Pilleri ve Güç Sistemleri Dünyü, Bugünü, Yarını, Türkiye’de Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Gelişimi 8. Enerji Kongresi, Ankara, Bildiriler Kitabı II: 47-62
- [50] Goyal, H.B., Seal, D. ve Saxena, R.C., (2008). Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 504–517
- [51] Roy, P. ve Dias, G., (2017). Prospects for pyrolysis technologies in the bioenergy sector: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 59–69.
- [52] Sharma, A., Wang, S., Pareek, V., Yang, H. ve Zhang, D., (2015). Multi-fluid reactive modeling of fluidized bed pyrolysis process, *Chemical Engineering Science*, 123, 311–21.
- [53] Amutio, M., Lopez, G., Aguado, R., Bilbao, J. ve Olazar, M., (2012). Biomass oxidative flash pyrolysis: auto thermal operation, yields and product properties, *Energy Fuels*, 26, 1353–62.
- [54] Hışır, V., (2010). “Bütanol- benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli motorların performans ve egzoz emisyonlarına etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bi* Özer, S., “Butanol kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-87 (2010). *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-57.
- [55] Özer, S., (2010). “Butanol kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 1-87.

- [56] Yıldırım, S., (2003). “Dünyada ve Türkiye’de Petrol”, *T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Ekonomik Araştırmalar ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü Petrol Raporu*, 11-30.
- [57] Vezir, A., (2006). “Metanol – benzin karışımlarının MgO – ZrO₂ termal bariyer çemberli bir motorda performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 10-20, 53-92.
- [58] <http://slidepdf.com/reader/full/metanol-hakkinda-genel-bilgi/2/23>
- [59] Uyar T., (1992). “Organik kimya”, *Güneş Kitapevi*, 4. Baskı, Ankara, 286-288.
- [60] R. Prasad and V. R. Bella, (2011). “A Review on Diesel Soot Emission, its Effect and Control”, *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, vol. 5, no. 2.
- [61] M. P. Dorado, E. Ballesteros, J. M. Arnal, J. Gomez, F. J. Lopez, (2003). “Exhaust emission from a Diesel engine fuelled with transesterified waste olive oil,” *Fuel*, vol. 82, no. 11, pp. 1311-1315.
- [62] C. Haşımoğlu, (2005). “Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi,” Doktora Tezi, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Sakarya Üniversitesi.
- [63] John B Heywood, (1988). “Internal Combustion Engine Fundamentals,” McGraw Hill Int. Ed., vol. 5, pp. 491–566.
- [64] Borman, G.L., Ragland, K.W., (1998). *Combustion Engineering*, McGraw-Hill, New
- [65] Soruşbay, C., (1999). İçten yanmalı motorlarda egzoz gazları emisyonu, Ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [66] Haşımoğlu, C., İçingür, Y., Öğüt, H., (2002). Dizel motorlarında egzoz gazları sirkülasyonunun motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi, *Türkisch J. Engin Environ Sci.*, 26, 127-135
- [67] S. Machado Corrêa and G. Arbilla, (2008). “Carbonyl emissions in diesel and biodiesel exhaust,” *Atmos. Environ.*, vol. 42, no. 4, pp. 769–775.
- [68] M. Zheng, M. C. Mulenga, G. T. Reader, M. Wang, D. S. K. Ting, and J. Tjong, (2008). “Biodiesel engine performance and emissions in low temperature combustion,” *Fuel*, vol. 87, no. 6, pp. 714–722.
- [69] F. Payri, V. R. Bermúdez, B. Tormos, and W. G. Linares, (2009). “Hydrocarbon emissions speciation in diesel and biodiesel exhausts,” *Atmos. Environ.*, vol. 43, no. 6, pp. 1273– 1279.
- [70] H. C. Dhariwal, (1997). “Control of blowby emissions and lubricating oil consumption in I.C. engines,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 38, no. 10–13, pp. 1267–1274.

- [71] D. Diaz-Sanchez, (1997). "The role of diesel exhaust particles and their associated polyaromatic hydrocarbons in the induction of allergic airway disease," *Allergy Eur. J. Allergy Clin. Immunol.*, vol. 52, no. SUPPL. 38, pp. 52–56.
- [72] C. W. Wu, R. H. Chen, J. Y. Pu, and T. H. Lin, (2004). "The influence of air-fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasolineblended fuels," in *Atmospheric Environment*, vol. 38, no. 40 SPEC.ISS., pp. 7093–7100
- [73] Abdel-Rahman, A.A., (1998). On the emissions from internal-combustion engines: A Review, *International Journal of Energy Research*, 22, 483-513
- [74] Borat, O., Balcı, M., Sürmen A., (1995). İçten yanmalı motorlar, Kitap, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası, Ankara, 513
- [75] Erdoğan Namal, C., (2018). Organik Atıkların Hızlı Pirolyzi İle Biyoyağ Üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- [76] Jeong, W.Y., Choi, K.S., Choi, S.Y. ve Kim, J.S., (2014). Production of bio-crude oil from swine manure by fast pyrolysis and analysis of its characteristics, *Renewable Energy*, 79, 14-19
- [77] Kaya, C., (2006). Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- [78] Aydoğan, B., (2008). Biyodizel Kullanılan Dizel Motorlarda NOx Emisyonlarının Ve NOx Emisyonları Azaltma Yöntemlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [79] İlkılıç, C., Aydın, S., Behçet, R. and Aydın, H., (2011). Biodiesel From Safflower Oil And Its Application In A Diesel Engine, *Fuel Processing Technology*, 92, 356–362
- [80] Öztürk, M. G., (2008). Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Kullanılmasının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- [81] Ögüt, H., Eryılmaz, T., Akınerdem, F. ve Oğuz, H., (2005). Tarımsal Kaynaklı Biyoyakıtlar (Biyometanol ve Biyodizel), *Konya Ticaret Borsası Dergisi*, Konya, 8(19):26-29
- [82] Ögüt, H., Eryılmaz, T. ve Oğuz, H., (2007). Standartlara Uygun Bitkisel Yağların Tarım Traktörlerinde Doğrudan Yakıt Olarak Kullanımının Araştırılması, *Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu*, Ankara
- [83] Abbaszaadeh A, Ghobadian B, Omidkhah MR, vd., (2012). Mevcut biyodizel üretim teknolojileri: Karşılaştırmalı bir inceleme. *Energ Convers Yönet* 63: 138–148. __
- [84] Fransız R, Czernik S., (2010). Biyoyakıt üretimi için biyokütlenin katalitik pirolizi. *Yakıt Proses Teknosu* 91: 25–32.

- [85] Singh SS, Dipti, (2010). Farklı kaynakların kullanımı ve yağların ve bunların esterlerinin dizel yerine kullanımıyla karakterizasyonu yoluyla biyodizel üretimi: bir derleme. *Sust Energ Rev* 14: 200-216'yı yenileyin.
- [86] Dickerson, T. ve Soria, J., (2013). Catalytic fast pyrolysis: A review. *Energies*, 6, 514–538.
- [87] Gündüz,İ., (2017). “Etanol katkılı atık kızartma yağlarının bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- [88] Lapuerta M., Armas O., Rodríguez-Fernández J., (2008). Effects of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Prog. Energy Combust.* 34, 198-223.
- [89] R. Li, Z. Wang, P. Ni, Y. Zhao, M. Li, and L. Li, (2014). “Effects of cetane number improvers on the performance of diesel engine fuelled with methanol/biodiesel blend,” *Fuel*, vol. 128. pp. 180–187.
- [90] P. Baskar, K. Nanthagopal, and T. Elango, (2011). “The effect of two oxygenates on diesel engine emissions,” *ARN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 6, no. 3, pp. 55–60.
- [91] H. Hazar, (2010). “Cotton methyl ester usage in a diesel engine equipped with insulated combustion chamber,” *Appl. Energy*, vol. 87, no. 1, pp. 134–140, Jan.
- [92] Aydoğan, H., (2011). Biyoetanol - Dizel Yakıtı Karışımlarının (E-Dizel) Motor Performans Ve Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 35-37
- [93] Ferguson C.R, Kirkpatrick A.T., (2006). “Internal combustion engines: applied thermo sciences”, 2nd ed, John Wiley & Sons Inc, New York.
- [94] C. Y. Lin and H. A. Lin, (2006). “Diesel engine performance and emission characteristics of biodiesel produced by the peroxidation process,” *Fuel*, vol. 85, no. 3, pp. 298–305.
- [95] B. Çirak, (2012). “Yapay Sinir Ağları Kullanarak Dizel Motorlarda Termal Bariyer Kaplamanın Emisyonlara Etkilerinin İncelenmesi Neural Networks Using The Investigation Of The Effects Of Thermal Barrier Coating In Diesel Engines Abstract,” vol. 1, pp. 24–35.
- [96] F. Kelen, (1913). “Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri Fevzi,” *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 19, no. 1–2, p. 230.
- [97] A. Atmanlı, E. İleri, and B. Yüksel, (2014). “Experimental investigation of engine performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with diesel – n - butanol – vegetable oil blends,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 81, pp. 312–321.
- [98] B. Challen and R. Baranescu, *Diesel Engine Reference Book*, (1999).
- [99] H. Hazar, (2017). “Investigation of the effects of tripropylene glycol addition to diesel fuel on combustion and exhaust emissions at an isolated diesel engine,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 142, pp. 62–68.

- [100] H. K. Imdadul et al., (2016). “Influences of ignition improver additive on ternary (dieselbiodiesel-higher alcohol) blends thermal stability and diesel engine performance,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 123, pp. 252–264.
- [101] Özçelik, A.E., (2011). “Aspir biyodizelinin ve motorinle karışımlarının tek silindirli bir dizel motorda yağlama yağına etkilerinin belirlenmesi”, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- [102] G. Labeckas, S. Slavinskas, and I. Kanapkienė, (2017). “The individual effects of cetane number, oxygen content or fuel properties on performance efficiency, exhaust smoke and emissions of a turbocharged CRDI diesel engine – Part 2,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 149, pp. 442–466.
- [103] V. Garud et al., (2017). “Performance and Combustion Characteristics of Thermal Barrier Coated (YSZ) Low Heat Rejection Diesel Engine,” *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 2, pp. 188–194.
- [104] Hazar, H., Temizer, İ. ve Gür, F., (2011). Bir Dizel Motorunun Motor Performansı ve Motor Parçaları Üzerinde Katkı Maddelerinin Etkisinin incelenmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), Elazığ, 77-8
- [105] H. Hazar, S. Şap, and E. Şap, (2017). “Bir dizel motorda dışı plazma sprey yöntemiyle Cr 3 C 2 kaplanmış egzoz borusunun incelenmesi Investigation of Cr 3 C 2 coated exhaust pipe using a diesel engine exposed plasma spray method,” vol. 6, no. 1, pp. 11–18.
- [106] A. O. Emiroğlu and M. Şen, (2018). “Combustion, performance and emission characteristics of various alcohol blends in a single cylinder diesel engine,” *Fuel*, vol. 212, no. June 2017, pp. 34–40.
- [107] L. Siwale et al., (2013). “Combustion and emission characteristics of n-butanol/diesel fuel blend in a turbo-charged compression ignition engine,” *Fuel*, vol. 107, pp. 409–418.

ÖZGEÇMİŞ

1986 Aksaray doğumluyum. İlkokul, ortaokul ve lise eğitimimi Aksaray’da tamamladım. Lisans eğitimimi 2013 yılında Fırat Üniversitesinde bitirerek, Otomotiv Öğretmenliği Bölümünden mezun oldum. Yüksek lisans eğitimime 2015 yılında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği bölümünde başladım. Aynı zamanda kamu kurumunda otomotiv öğretmeni olarak görev yapmaktayım. Bekarım, Antalya’da ikamet etmekteyim.

