

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

**ETANOL KATKILI MİKROALG YAĞININ BİR DİZEL MOTORUNDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gönenç DURAN

(10514528)

Anabilim Dalı: Otomotiv Mühendisliği

Programı: Taşıt Tasarımı

Danışman: Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 15 Ağustos 2017

ARALIK – 2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ETANOL KATKILI MİKROALG YAĞININ BİR DİZEL MOTORUNDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

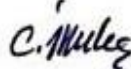
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gönenç DURAN

(10514528)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Ağustos 2017

Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Aralık 2017

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ (F.Ü) 

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cengiz ÖNER (F.Ü) 

Doç. Dr. Rasim BEHÇET (İ.Ü) 

ARALIK – 2017

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamda desteğini, bilgisini benden esirgemeyen çok kıymetli, danışman hocam Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ'a, çalışmalarım boyunca yol gösteren sayın hocam Doç. Dr. Rasim BEHÇET'e, Fırat Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği bölüm başkanımız sayın hocam Prof. Dr. Cengiz ÖNER'e, biyodizel üretimi deneylerinin yürütülmesine olanak sağlayan İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Dekanlığı'na, laboratuvar deneylerinde bilgi ve tecrübelerini paylaşan kıymetli hocam Prof. Dr. Bülent ALICI ve tüm kimyager ekibine, emeği ve bilgisiyle yardımcı olan Ümran KIZRAK hanımefendiye, yakıt analizlerinde yardımcı olan Mehmet BALKESSEN'e, deney yakıtlarının motor testlerinde bilgi ve deneyimlerini paylaşan Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Müdürü Yrd. Doç. Dr. Faruk ORAL'a, Öğr. Gör. Doğan ŞİMŞEK'e, Öğr. Gör. Niyazi Y. ÇOLAK'a, genç ustalarım Mikail İPEKEŞEN, Süleyman KARABULUT ve Bedrettin ZİNGİLOĞLU'na, bu süreçte emeği geçen ve teşekkürü bir borç bildiğim herkese, tez dönemimde kazandığım bütün dostlarıma, desteğiyle Öğr. Gör. Seda YETKİN'e, Öğr. Gör. Çetin YAVUZ'a, Arş. Gör. Halil İbrahim YAMAÇ'a, Arş. Gör. Dr. Mert GÜRTÜRK'e, Arş. Gör. Ali TAŞKIRAN'a, yanımda olan emektar aileme canı gönülden minnetimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmamın zorlu sürecinde rahmetli olan amcama, hayatımın ilerleyen dönemlerinde var olmalarını umut ettiğim ve yaşamımı daha da anlamlı kılacağına inandığım evlat/evlatlarıma bu tez çalışmam adanmıştır.

Bu tez çalışması Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu tarafından 2211 Yurt İçi Lisansüstü Burs Programı kapsamında desteklenmiştir. TÜBİTAK'a tezime verdiği bu önemli destekten dolayı çok teşekkür ederim.

Gönenç DURAN

ELAZIĞ – 2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET.....	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLolar LİSTESİ	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ	1
1.1 Dizel Motorlarda Yanma ve Emisyon.....	2
1.1.1 Dizel Motorlarda Yanma.....	2
1.1.2 Dizel Motorlarda Egzoz Gazı Emisyonları.....	3
1.1.3 Dizel Yakıt.....	3
1.1.4 Dizel Yakıtın Motor Performansı ve Emisyonları.....	5
1.2 Etanol.....	5
1.2.1 Yakıt Olarak Etanol.....	5
1.2.2 Etanolün Motor Performansı ve Emisyonları.....	6
1.3 Biyodizel.....	6
1.3.1 Biodizel Üretimi.....	7
1.3.2 Transesterifikasyon Yöntemi ile Biyodizel Üretimi.....	8
1.3.3 Biyodizel Standartları.....	8
1.3.4 Biyodizel Yakıtının Özellikleri.....	10
1.3.4.1 Ester İçeriği.....	10
1.3.4.2 İyot ve Asit Sayısı.....	10
1.3.4.3 Su ve Tortu İçeriği.....	11
1.3.4.4 Parlama Noktası.....	11
1.3.4.5 Akma - Bulutlanma Noktası ve Soğuk Filtre Tıkanma Noktası.....	11
1.3.4.6 Yoğunluk.....	12
1.3.4.7 Viskozite.....	12
1.3.4.8 Bakır Çubuk Korozyonu.....	12
1.3.4.9 Isıl değer.....	13
1.3.4.10 Setan sayısı.....	13
1.3.5 Biyodizel Yakıtının Motor Performansı ve Emisyonları.....	13
1.4 Mikroalgler.....	15
1.4.1 Mikroalg Yetiştiriciliği.....	16
1.4.2 Mikroalg Türleri.....	17
1.4.3 Mikroalglerden Biyoyakıt Üretimi.....	19
1.5 Literatür Araştırması.....	20
2. MATERYAL ve METOT.....	27
2.1 Mikroalg Yağından Biyodizel Üretimi.....	27
2.1.1 Mikroalg Yağının Özellikleri.....	27
2.1.2 Biyodizel Üretimi İçin Öncelikli Deneyler.....	29
2.1.3 Biyodizel Üretimi İçin Optimizasyon Deneyleri.....	30
2.1.4 Uygun Biyodizelin Üretimi.....	32
2.1.4.1 Yağın Isıtılması.....	32
2.1.4.2 Sodyum Metilat - Alkol Karışımının Hazırlanması.....	33
2.1.4.3 Reaksiyon Düzenegi.....	33

2.1.4.4	Faz Ayrıştırma.....	34
2.1.4.5	Ester Yıkama İşlemi.....	35
2.1.4.6	Distilasyon İşlemi.....	36
2.1.4.7	Sentetik Toprak Katma İşlemi.....	36
2.1.4.8	Filtreleme.....	37
2.2	Mikroalg Biyodizel Yakıtının Analizi.....	38
2.2.1	Yağ Asidi Metil Esteri - Ester İçeriğinin Tayini.....	38
2.2.2	İyot Sayısı Tayini.....	39
2.2.3	Asit Sayısının Tayini.....	40
2.2.4	Sabun Tayini.....	41
2.2.5	Su Tayini.....	42
2.2.6	Kirlilik Tayini.....	43
2.2.7	Parlama Noktası Tayini.....	45
2.2.8	Soğuk Filtre Tıkanma Noktası Tayini.....	46
2.2.9	Akma - Bulutlanma Noktası Tayini.....	46
2.2.10	Yoğunluk Tayini.....	47
2.2.11	Viskozite Tayini.....	48
2.2.12	Isıl Değer	49
2.2.13	Bakır Şerit Korozyonu Testi.....	49
2.3	Motor Deneyleri.....	50
2.3.1	Deneyde Kullanılan Yakıtlar.....	51
2.3.2	Motor Deney Düzenegi.....	51
2.3.2.1	Deney Motoru.....	52
2.3.2.2	Motor Test Cihazı (Dinamometre).....	53
2.3.2.3	Yakıt Deposu ve Ölçüm Düzenegi.....	53
2.3.2.4	Bilgisayarlı Kontrol Paneli.....	54
2.3.2.5	Egzoz Gazı Emisyon Cihazı ve Ölçümü.....	54
2.3.3	Motor Performans Parametrelerinin Hesaplamansı.....	55
2.3.3.1	Motor Gücü ve Momentinin Hesaplamansı.....	55
2.3.3.2	Özgül Yakıt Tüketiminin Hesaplamansı.....	56
3.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	57
3.1	Deneyde Kullanılan Yakıtların Özellikleri.....	57
3.1.1	Mikroalg Biyodizel Yakıtının Özellikleri.....	58
3.1.1.1	YAME - Ester İçeriği.....	59
3.1.1.2	İyot Sayısı.....	59
3.1.1.3	Asit sayısı	59
3.1.1.4	Su Miktarı.....	59
3.1.1.5	Toplam Kirlilik.....	60
3.1.1.6	Parlama Noktası.....	60
3.1.1.7	Soğuk Filtre Tıkanma Noktası	60
3.1.1.8	Akma - Bulutlanma noktası.....	60
3.1.1.9	Yoğunluk.....	60
3.1.1.10	Viskozite.....	61
3.1.1.11	Isıl Değer.....	62
3.1.1.12	Bakır Çubuk Korozyonu.....	62
3.2	Motor Performans ve Egzoz Emisyon Deneyleri Sonuçları.....	63
3.2.1	Motor Torku.....	63
3.2.2	Motor Gücü.....	65
3.2.3	Özgül Yakıt Tüketimi.....	67

3.2.4	Egzoz Gazı Sıcaklığı.....	68
3.2.5	Karbonmonoksit Emisyon Değerleri.....	70
3.2.6	Karbondioksit Emisyon Değerleri.....	72
3.2.7	Hidrokarbon Emisyon Değerleri.....	74
3.2.8	Oksijen Emisyon Değerleri.....	76
3.2.9	İs Değerleri ve Işık Absorpsiyon Katsayısı (IAK) Değerleri.....	78
4.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	82
	KAYNAKLAR.....	87
	ÖZGEÇMİŞ.....	101



ÖZET

Ülkemizin yakıt ihtiyacı için dışa bağıllığını en aza indirecek pek çok çalışmalar mevcuttur. Mikroalglerin yüksek verimlilikte biyodizel sunması ve çevreye duyarlı oluşu bu tez çalışmasında tetikleyici unsur olmuştur. Ülkemizin petrol ihtiyacını azaltmak, yerli üretimi geliştirmek ve ülkemiz ekonomisini daha da artırmak için yapılan pek çok çalışmalara ek katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada transesterifikasyon yöntemi ile *Chlorella protothecoides* türü mikroalg yağından metil ester elde edilmiştir. Optimizasyon çalışmaları yapıp, yüksek verimli uygun biyodizel üretimi için analizler yapılmıştır. Hammadde olarak mikroalg yağı, katalizör olarak sodyum metilat ve metanol kullanılarak transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. En düşük %99.8 saflıkta etanol %5, %10 ve %15 oranlarında biyodizel (*Chlorella protothecoides* mikroalg metil esteri) ile harmanlanmıştır. Mikroalg metil esterinin yakıt özellikleri TS EN 14214 biyodizel standartlarına uygun olarak test edilmiştir ve biyodizel-etanol karışımları da analiz edilmiştir. Biyodizel ve biyodizel etanol karışımlarının egzoz emisyonlarına ve dizel motor performansına etkileri araştırılıp, dizel yakıtı ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Biyodizel-etanol yakıt karışımlarının kullanımı ile genel olarak tork ve motor gücü değerlerinde bir artış, mikroalg biyodizeli ve yakıt karışımları kullanımı ile de egzoz emisyon değerleri iyileştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Etanol, Metil Ester, *Chlorella Protothecoides*, Mikroalg, Transesterifikasyon, Dizel Motor.

SUMMARY

The Investigation of The Usability of Ethanol Additive Microalgae Oil In A Diesel Engine

There are a lot of studies to reduce the external dependency of our country for fuel demand. The microalgae's ability to present biodiesel at high efficiency and to be environmentally sensitive is a trigger for this thesis study. It is aimed to provide additional contribution to our country's petroleum needs, to improve domestic production and to increase the economy of our country.

In this thesis, methyl ester was produced from microalgae (*Chlorella protothecoides*) oil. In the Production processing, transesterification method was used by the author. Optimization studies were carried out and analyzed for optimal high yield biodiesel production. Biodiesel production was carried out by transesterification reaction was performed by using microalgae oil as feedstock, sodium methylate as the catalyst and methanol. Ethanol with purity min. 99.8% was blended with biodiesel (*Chlorella protothecoides* microalgae methyl ester) with the volumetric ratio of 5%, 10% and 15%. Fuel properties of microalgae methyl ester was tested in TS EN 14214 biodiesel standards and biodiesel-ethanol blends were analysed. Investigated of effects of biodiesel and biodiesel-ethanol blends on exhaust emissions and diesel engine performance and they were compared with diesel fuel. Generally biodiesel-ethanol blended fuels caused a increase in engine power and torque values, the emission values of the engine using microalgae biodiesel and blended fuels were improved.

Keywords: Biodiesel, Etanol, Methyl Ester, *Chlorella Protothecoides*, Microalgae, Transesterification, Diesel Engine.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1	Trigliseridin metanol ile yağ asidinin transesterifikasyon reaksiyonu..... 8
Şekil 2.1	Deneylerde kullanılan mikroalg yağı..... 27
Şekil 2.2	Optimizasyon deneyleri numunesinin reaksiyon düzeneği..... 30
Şekil 2.3	Sodyum metilat numunesi..... 31
Şekil 2.4	Deneylerde kullanılan çeşitli ekipmanlar..... 32
Şekil 2.5	Mikroalg yağının karıştırılarak ısıtılması..... 32
Şekil 2.6	Hassas terazi..... 33
Şekil 2.7	Reaksiyon düzeneği..... 33
Şekil 2.8	Faz ayrımı..... 34
Şekil 2.9	(a) Ayrışmada gliserine ester geçmesi, (b) Geçen esterin tekrar değerlendirilmesi..... 34
Şekil 2.10	Santrifüj cihazı..... 35
Şekil 2.11	Ester yıkama sonrası..... 35
Şekil 2.12	Distilasyon işlemi..... 36
Şekil 2.13	(a) Sentetik toprak katılması, (b) Toprağın ester ile aktifleşmesi..... 36
Şekil 2.14	Filtreleme işlemi..... 37
Şekil 2.15	Biyodizel üretim akış şeması..... 37
Şekil 2.16	(a) Agilent 6890N, (b) Agilent 7890A GC cihazları..... 38
Şekil 2.17	İyot sayısı tayininin ilk aşaması..... 39
Şekil 2.18	İyot sayısı tayininin titrasyon işlemi..... 40
Şekil 2.19	İyot sayısı tayininin son aşaması..... 40
Şekil 2.20	Asit sayısı tayini titrasyon sonu..... 41
Şekil 2.21	Sabun tayini deney sonu..... 42
Şekil 2.22	Su tayini için Karl Firscher cihazı..... 43
Şekil 2.23	Kirlilik tayini deney düzeneği..... 43
Şekil 2.24	Kirlilik tayininde kullanılan etüv..... 44
Şekil 2.25	Kirlilik tayininde kullanılan desikatör..... 44
Şekil 2.26	Kirlilik tayini için numune tartımı..... 45
Şekil 2.27	Parlama noktasının bulunması..... 45
Şekil 2.28	SFTN'nin bulunması..... 46
Şekil 2.29	Akma - Bulutlanma noktası tayin cihazı..... 47
Şekil 2.30	(a) Otomatik yoğunluk cihazı, (b) Yoğunluk tayini..... 48
Şekil 2.31	(a) Viskozite tayin cihazı, (b) Otomatik viskozite tayin cihazı..... 48
Şekil 2.32	Isıl değer tayin cihazları..... 49
Şekil 2.33	Bakır şerit korozyonu cihazı..... 49
Şekil 2.34	TS 2741 EN ISO 2160 referans korozyon şeritlerinin derecelendirilmesi... 50
Şekil 2.35	Deney düzeneği şematik görünüm..... 51
Şekil 2.36	Deney düzeneği..... 52
Şekil 2.37	Deney motoru ve dinanometre..... 53
Şekil 2.38	Yakıt deposu ve ölçüm düzeneği..... 53
Şekil 2.39	Bilgisayarlı kontrol paneli..... 54
Şekil 3.1	Deney yakıtlarının motor momenti değişimleri..... 63
Şekil 3.2	Deney yakıtlarının motor momentine etkisi..... 64
Şekil 3.3	Deney yakıtlarının motor gücü değişimleri..... 65
Şekil 3.4	Deney yakıtlarının motor gücüne etkisi..... 66

Şekil 3.5	Deney yakıtlarının ÖYT değişimleri.....	67
Şekil 3.6	Deney yakıtlarının ÖYT'ye etkisi.....	68
Şekil 3.7	Deney yakıtlarının EGS değişimleri.....	69
Şekil 3.8	Deney yakıtlarının EGS'ye etkisi.....	69
Şekil 3.9	Deney yakıtlarının CO gazı emisyon değişimleri.....	71
Şekil 3.10	Deney yakıtlarının CO gazı emisyonuna etkisi.....	71
Şekil 3.11	Deney yakıtlarının CO ₂ gazı emisyon değişimleri.....	72
Şekil 3.12	Deney yakıtlarının CO ₂ gazı emisyonuna etkisi.....	73
Şekil 3.13	Deney yakıtlarının HC gazı emisyon değişimleri.....	75
Şekil 3.14	Deney yakıtlarının HC gazı emisyonuna etkisi.....	75
Şekil 3.15	Deney yakıtlarının O ₂ gazı emisyon değişimleri.....	76
Şekil 3.16	Deney yakıtlarının O ₂ gazı emisyonuna etkisi.....	77
Şekil 3.17	Deney yakıtlarının is emisyon değişimleri.....	78
Şekil 3.18	Deney yakıtlarının is emisyonuna etkisi.....	79
Şekil 3.19	Deney yakıtlarının IAK'ya etkisi.....	80

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1	Avrupa Birliği emisyon standardı (M1 kategori - Dizel motor binek araçlar için) g/km.....
Tablo 1.2	Dizel yakıtı için TS EN 590 standardı.....
Tablo 1.3	Yağ asidi metil esterlerinin standart özellikleri.....
Tablo 1.4	Mikroalgler için gerekli yetiştirme parametreleri.....
Tablo 1.5	Bazı mikroalg çeşitlerinin lipit verimi ve içeriği, biyokütlenin alansal ve hacimsel verimleri.....
Tablo 1.6	Çeşitli biyodizel kaynakları değerlerinin karşılaştırması.....
Tablo 2.1	Mikroalg yağı yağ asitleri.....
Tablo 2.2	Mikroalg yağı karbon bileşimi.....
Tablo 2.3	Mikroalg yağı özellikleri.....
Tablo 2.4	Deney yakıtlarının karışım oranları.....
Tablo 2.5	Deney motorunun teknik özellikleri.....
Tablo 2.6	Egzoz gazı emisyon cihazının teknik özellikleri.....
Tablo 3.1	Dizel, etanol ve mikroalg biyodizeli yakıtının özellikleri.....
Tablo 3.2	Mikroalg biyodizelinin özellikleri.....
Tablo 3.3	Deney yakıtı karışımlarının yoğunlukları.....
Tablo 3.4	Deney yakıtı karışımlarının viskoziteleri.....
Tablo 3.5	Deney yakıtı karışımlarının ısı değerleri.....

SEMBOLLER ve KISALTMALAR LİSTESİ

C	: Karbon
H	: Hidrojen
O₂	: Oksijen
N	: Azot
NO_x	: Azotoksit
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
HC	: Hidrokarbon
PM	: Partikül Madde
C₂H₅OH	: Etanol
CH₃OH	: Metanol
SO₂	: Kükürtdioksit
NaOH	: Sodyum Hidroksit
KOH	: Potasyum Hidroksit
NaOCH₃	: Sodyum Metilat
KI	: Potasyum İyodür
HCl	: Hidroklorik Asit
BG	: Beygir
kW	: Kilowatt
d/dk	: Devir/Dakika
ppm	: Milyonda Bir Parçacık
µm	: Mikrometre
TS	: Türk Standartları
EN	: Avrupa Birliği Standartları
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
ISO	: Uluslararası Standart Organizasyonu
FFA	: Serbest Yağ Asitleri
SFTN	: Soğuk Filtre Tıkanma Noktası
YAME	: Yağ Asidi Metil Esteri
FYME	: Fındık Yağı Metil Esteri
BYME	: Balık Yağı Metil Esteri
GC	: Gaz Kromatografisi
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
EGS	: Egzoz Gazı Sıcaklığı
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
IAK	: Işık Absorban Katsayısı
M100	: Saf Mikroalg Biyodizel Yakıtı
ME5	: %95 Mikroalg Biyodizeli, %5 Etanol Yakıt Karışımı
ME10	: %90 Mikroalg Biyodizeli, %10 Etanol Yakıt Karışımı
ME15	: %85 Mikroalg Biyodizeli, %25 Etanol Yakıt Karışımı

1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlarda termik verim ve egzoz emisyonlarının birlikte iyileştirilmesi zor bir süreçtir. Bu süreçte içten yanmalı motorlarda, gerekli görüldüğü takdirde verim artırıcı küçük optimizasyonlar yapılarak biyoyakıt kullanımı uygun hale getirilebilmektedir. Biyoyakıt kullanımı egzoz gazı emisyonlarını azaltmaktadır. Bu sebeple termik verimi artırıcı biyoyakıt üretimi ve tam uygun motor tipleri gelişime açıktır. Biyoyakıtlı motorlar, günümüz ve yakın gelecekte uygun bir avantaj sağlayabilmektedir. Biyoyakıt üretimi ve uygun motor ayar parametreleri üzerine literatürde pek çok çalışmalar yapılmaktadır [1-3].

Günümüzde petrol rezervelerinin giderek azalması, petrol fiyatlarının artmasıyla yenilenebilir enerji ve biyokütle çalışmaları her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmalar doğrultusunda 3. nesil biyoyakıt teknolojisi olan algler, alternatif enerji üretiminin hammaddesi olarak kullanımında yüksek potansiyele sahiptir. Küçük ölçekli üretimlerde iyi sonuçlar veren alglerden büyük ölçekli çalışmalarda verim alınabilmesi için uygun ve etkili proseslerin oluşturulması gerekmektedir [4-7].

Otomotiv endüstrisinin gelecek planlaması elektrikli ve hibrit araçlar için büyük gelişmeler içermekte ve yenilenmektedir. Bu geçiş sürecinde yakın gelecek için alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemizde dizel motorlu araçlar yüksek bir paya sahip olmakla birlikte üretim bandından yola çıkış sayısı her geçen gün artmaktadır. Otomotiv endüstrisinin yakın gelecek planlanması ise; yakıt ihtiyacının karşılanması için yenilenebilir, verimli alternatif yakıt çalışmalarını ve yakıt tüketimini azaltan bütünleşik motor geliştirmelerini içermektedir. Biyodizel yakıtlı iyileştirilmiş motor tipleri, petrol kullanımının azaltmakla beraber çevre koruma koşullarına düşük emisyonlar ile katkı sağlamaktadır.

Yenilenebilir, alternatif yakıt olan biyodizelin kullanımı, günümüz ve yakın gelecekteki “son kullanıcılar” tarafından kabul edilebilirliği yeni nesil motor tiplerine göre daha yüksektir. Elektrikli ve hibrit motorlar, içten yanmalı motorların kullanımı devam ettiği sürece üretim planlamalarında, otomotiv pazarlarında son kullanıcılar tarafından alternatif araç tipleri olarak düşünülmektedir.

Dünya genelinde satış rakamları göz önüne alındığında elektrikli ve hibrit araçların üretim bandında yaygınlaşacağı zamana kadar verimli biyodizel yakıtların ülkemizde üretilip kullanılması; petrol yakıtı tüketiminin ve kirletici emisyonların en aza indirilmesi için önemli bir geçiş süreci planlaması olabilir.

Bu tez çalışmasında, ülkemizin petrol ihtiyacını azaltıp, çevre dostu yerli üretimi canlandırmak ve ülkemiz ekonomisini daha da artırmak için yapılan pek çok çalışmalara ek katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Bu çalışmanın amacı mevcut dizel motorlarında önemli bir değişikliğe gidilmeden mikroalglerden elde edilen yağın, yakıt olarak kullanılabilmesi için üretilen biyodizelin TS EN 14214 [8] standardına uygunluğunun test edilip, %5, %10 ve %15 oranlarıyla etanol ile karıştırılıp analiz edilmesi ve bir dizel motorda yakıt olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Mikroalg biyoyakıtının etanol ile karıştırılması sonucu dizel motorlarda kullanım olanakları, motor performans karakteristikleri ve egzoz emisyonlarının hava kirliliğine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

1.1 Dizel Motorlarda Yanma ve Emisyon

1.1.1 Dizel Motorlarda Yanma

Dizel motorlar, enerji ihtiyacı olan çeşitli alanlarda; termik santrallerde, lokomotif, küçük hacimli hava araçlarında, deniz ve kara taşımacılığında kullanılan motorlardır [9]. Dizel motorlarda gerekli olan yeterli sıcaklığın, yakıt ve oksijenin (O_2) karşılanmasıyla, silindir içerisinde havanın sıkıştırılarak sıcaklık ve hava basıncının artmasıyla yanma gerçekleşmektedir. Yanma 4 aşamadan oluşmaktadır. Tutuşma gecikmesi, ani yanma, difüzyon kontrollü yanma ve art yanma olarak adlandırılan aşamalar bulunmaktadır. Bu yanma süreci, yakıtın enjektör yardımıyla silindir içeresine püskürtülerek içerdeki havaya nüfuz etmesi ile yakıt zerrecikleri oksijenle birleşerek yanmaya başlar. Dış yüzeyden buharlaşır ve yanma sonrası oluşan egzoz gazlarının dışa atılmasıyla yanma süreci tamamlanır [10,11].

1.1.2 Dizel Motorlarda Egzoz Gazı Emisyonları

Yüksek sıcaklıkta yanma sırasında hava içerisindeki O₂ ve azot (N) tepkimesi ile azot oksitler (NO_x) oluşmaktadır. Benzinli motorlara kıyasla dizel motorlarda, daha yüksek sıkıştırma oranı ve hava fazlalık katsayısı kullanıldığından partikül maddeler (PM) ve NO_x emisyonları daha fazla olup, karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonları daha düşüktür [11-14]. Ayrıca kükürt, çinko, oksijen, fosfor, kobalt, magnezyum ve potasyum gibi düşük miktarda egzoz gazı emisyonları da bulunmaktadır [15]. En yüksek yanma sıcaklıklarını düşürmek için çeşitli emisyon kontrol yöntemleri kullanılmaktadır. Bu kontrol yöntemleri aynı zamanda yakıt tüketiminin artmasına neden olabilmektedir [16].

İçten yanmalı motorlarda, yanma sonucu oluşan emisyonları en aza indirmek, çevreyi korumak ve insan sağlığı için hazırlanmış emisyon standartları bulunmaktadır. Motor üreticilerinin bu standartlara uymaları ve geliştirmeleri önemli bir sorumluluktur. Yapılan çalışmalar sonucunda emisyon sınırları belirtilerek şartlandırılmıştır. Bu şartlar geliştirilerek standartlar belirlenmiştir. PM, HC, CO, NO_x vb. gazların emisyon kontrolü için bu standartlar mevcuttur. Dizel motor binek araçlar için (M1 kategori) Avrupa Birliği emisyon standartları Tablo1.1’de verilmiştir.

Tablo1.1. Avrupa Birliği emisyon standardı (M1 kategori - dizel motor binek araçlar için) g/km [17].

Evreler	Tarih	CO	NO_x	HC	HC+NO_x	PM
Euro 1	07.1992	2.72(3.16)	-	-	0.97 (1.13)	0.14 (0.18)
Euro 2, IDI	01.1996	1.0	-	-	0.7	0.08
Euro 2, DI	01.1996	1.0	-	-	0.9	0.10
Euro 3	01.2000	0.64	0.50	-	0.56	0.05
Euro 4	01.2005	0.50	0.25	-	0.30	0.025
Euro 5a	09.2009	0.50	0.18	-	0.23	0.005
Euro 5b	09.2011	0.50	0.18	-	0.23	0.005
Euro 6	09.2014	0.50	0.08	-	0.17	0.005

1.1.3 Dizel Yakıt

Ham petrolün damıtılması sırasına göre 3. ana ürün olan dizel yakıtı, damıtma işleminin 200 – 300°C aralığındaki kaynama noktası sırasında alınır. Bir yakıt grubu olan dizel yakıtlar, kullanım alanına en uygun tür seçilerek çeşitli motorlarda kullanılır [18,19].

Yakıt türlerine göre farklılıklar gösteren, güvenliğin ön planda olduğu, motor çeşitlerine göre de değişiklik gösterebilen, doğaya daha az zararlı olması için gelişen ve çevresel faktörlere uygunluk sağlaması gereken standartlar bulunmaktadır [19]. Standartlara göre yakıtlar üretildikten sonra motorlarda kullanılmaktadır. Ülkemizde TS EN 590 [20] standardı geçerli olup, bazı özellikleri Tablo 1.2’de gösterilmiştir.

Tablo1.2. Dizel yakıtı için TS EN 590 standardı [21].

Özellik	Birim	TS EN 590 Sınırlar		Deney Metodu
		En az	En çok	
Viskozite 40°C’de	mm ² /s	2,0	4,5	TS 1451 EN ISO 3104
Yoğunluk 15°C’de	kg/m ³	820	845	TS1013 EN ISO 3675 TS EN ISO 12185
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	% (m/m)	-	8,0	TS EN 12916
Oksidasyon kararlılığı	g/m ³	-	25	TS EN ISO 12205
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	TS EN 12662
Su	mg/kg	-	200	TS 6147 EN ISO 12937
Parlama noktası	°C	55	-	TS EN ISO 2719
Setan sayısı	-	51	-	TS 10317 EN ISO 5165 TS EN 15195
Setan indisi	-	46	-	TS EN ISO 4264
Kükürt	mg/kg	-	10	TS EN ISO 20846 TS EN ISO 20884
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (SFTN)	°C	-	+5 (Yaz) -15 (Kış)	TS EN 116
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	% (m/m)	-	0,3	TS 6148 EN ISO 10370
Kül	% (m/m)	-	0,010	TS EN ISO 6245
Yağlama özelliği (wsd 1,4) 60°C’de Düzeltilmiş aşınma izi çapı	µm	-	460	TS EN ISO 12156-1
Damıtma 250 °C	% (V/V)	-	65	TS EN ISO 3405
Damıtma 350 °C	% (V/V)	85	-	TS EN ISO 3405
Damıtma %95’in (V/V) Elde edildiği sıcaklık	°C	-	360	TS EN ISO 3405
Bakır şerit korozyonu (50°C, 3s)	Derece	Sınıf 1		TS 2741 EN ISO 2160

1.1.4 Dizel Yakıtın Motor Performansı ve Emisyonları

Dizel motorlarda performans; yakıtın karakteristik özelliklerine, kalitesine ve aynı zamanda motorun çalışma şekli ile yanma verimliliğine bağlıdır. Bu komplike durumlar motor performansında değişiklikler göstermektedir. Yakıtın özellikleri arasında yer alan setan sayısının yüksek oluşu, tutuşma gecikmesi periyodunu azaltıp, kolay tutuşma sağlayabilmektedir. Emisyonları da etkileyen bu zincirleme durum, soğuk havada motorun çalışmasını kolaylaştırır, yanma gürültüsünü, sarsıntısını azaltır ve daha temiz bir yanma gerçekleşmiş olur [15, 22-25]. Dolayısıyla yakıtın kimyasal yapısı egzoz emisyonlarını ve motor performansını önemli derecede etkilemektedir. Yakıtın fiziksel özellikleri de yanma sürecini etkilemektedir. Aromatik yüzde ve yakıtın yoğunluğu yakıtın önemli özellikleri arasında yer alır. Yakıtın uçuculuğu yanan karışımının oluşma hızını değiştirdiği gibi viskozitesi ve yüzey gerilmesi de yakıt atomlarının parçalanma direncini etkilemektedir [26,27].

1.2 Etanol

Bitkisel ürünlerden üretilen, kimyasal formülü C_2H_5OH olan etanol ve diğer bir alkol türü olan CH_3OH yani metanol, ulaştırma endüstrisinde kullanılabilen alkol türleridir. Etanol yani etil alkol renksiz olup su ile karışabilmektedir. Şeker hammaddesinden maya ile fermantasyon sonucu biyoetanol elde edilmektedir. Üretilen etil alkol yaklaşık %96 saflıkta olup motorlu araçlarda kullanılması için uygun değildir. Yakıt olarak en az %99.5 saflıkta kullanılması gereken etil alkole saflaştırma ve sudan uzaklaştırma işlemleri yapılmalıdır [28, 29].

1.2.1 Yakıt Olarak Etanol

Dizel yakıtına alkollerin eklenmesi alt ısı değerinde, viskozitede ve setan sayısı gibi dizel yakıtının özelliklerinde fiziksel ve kimyasal değişmelere neden olmaktadır. Bu özelliklerin değişmesinden dolayı, dizel motorlarda kullanılmasında zorluklarla karşılaşmaktadır. Çeşitli deneylerle, alkollerin uygun şekilde kullanılıp, dizel motorunda sorunsuz çalışması için teknikler uygulanıp geliştirilmektedir.

Genel olarak bu teknikler bu başlıklarda toplanabilir [9]: Hava emme hattından alkolün püskürtülmesi [30-32], Alkol dizel karışımının püskürtmeden önce kullanılması [31-35], 2'li püskürtme sisteminin kullanılması [36], Alkol - Dizel Emülsiyonu (Katkı maddesi ilave edilerek ayrışmayı önlenmek) [9,34,37,38]. Bu teknikler dikkate alındığında etanol üretimi kolaylaşıp maliyeti azaldıkça, yakıt olarak etanol kullanımı artacaktır. Dizel motorlarda herhangi bir değişikliğe gidilmeden %20 oranına kadar dizel yakıtına eklenen etil alkol kullanımı ekonomik ve avantajlı olmaktadır [39].

1.2.2 Etanolün Motor Performansı ve Emisyonları

Yapılan pek çok çalışmada motorlu araçlarda ek bir katkı maddesi kullanımına gerek kalmadan yakıt olarak etanollü yakıt karışımlarının kullanılmasından olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu sayede zararlı emisyonların önemli ölçüde azaldığı belirtilmiştir [40-43].

Etanolün içerisinde O_2 oluşu, dizel yakıtına kıyasla ağır metaller, kükürt ve kanserojen maddeler bulunmaması ve dizele göre daha küçük moleküler yapıya sahip olması, egzoz emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. Oktan sayısının yüksek olması, etil alkolün benzine ek bir alternatif yenilenebilir yakıt olduğunu göstermektedir [42].

Etanolün ateşleme direnci kendi kendine olduğundan dolayı, kolaylıkla benzinli motorlarda da kullanılabilir. Soğuk havalarda yüksek buharlaşma ısisına sahip olduğundan, motorun çalışmasını zorlaştırmaktadır [43].

1.3 Biyodizel

Biyodizel, bitkisel yağların veya hayvansal iç yağların hammadde olarak kullanılmasıyla alkol ve katalizör ile reaksiyon sonucunda elde edilen yakıttır. Evsel ve endüstriyel kullanılmış atık yağların geri dönüşümünden de biyodizel elde edilebilmektedir. Biyodizel petrol kaynaklı değildir; fakat petrol kökenli yakıta katılarak ya da direkt olarak uygun motorlarda kullanılabilir. Bir dizel motorunda önemli bir değişikliğe gidilmeden belirli oranlarda biyodizel-dizel yakıt karışımları ve direkt biyodizel yakıtı kullanılmaktadır [44].

Biyodizel üretiminde hayvansal yağlar yani iç yağlar, balık yağları ve kanatlı hayvan yağları kullanılabilir. Her türlü endüstriyel yağlar ve arındırılmış yağlar; hurda yağı, gres yağı endüstriyel ve evsel gıdada kullanılan atık kızartma yağları, bitki kökenli kolza, aspir, palmiye, soya, ayçiçek vb. yağlar ve biyodizel üretimi üzerine yeni çalışmaların olduğu alger biyodizel üretiminde kullanılan hammadde yağlardır [45]. Biyolojik çözünebilirliği kolay ve zehirsiz oluşu petrol yakıtlarına göre daha güvenli yakıt türüdür. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan biyodizelin üretimi ise yerli olarak yapılabilmektedir [46].

1.3.1 Biodizel Üretimi

Pek çok kimyasal yöntem kullanılarak biyodizel üretilmektedir. Biyodizel tesislerinde günümüz maliyetleri ve yaygın teknolojiler kullanımından dolayı genellikle transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi tercih edilmektedir. Bu tesislerde üretimi hızlandıracak, alkol geri dönüşümünü sağlayacak, distilasyon işlemlerini kolaylaştıracak ve katalizör verimini artırıp maliyeti düşürecek çalışmalar söz konusudur.

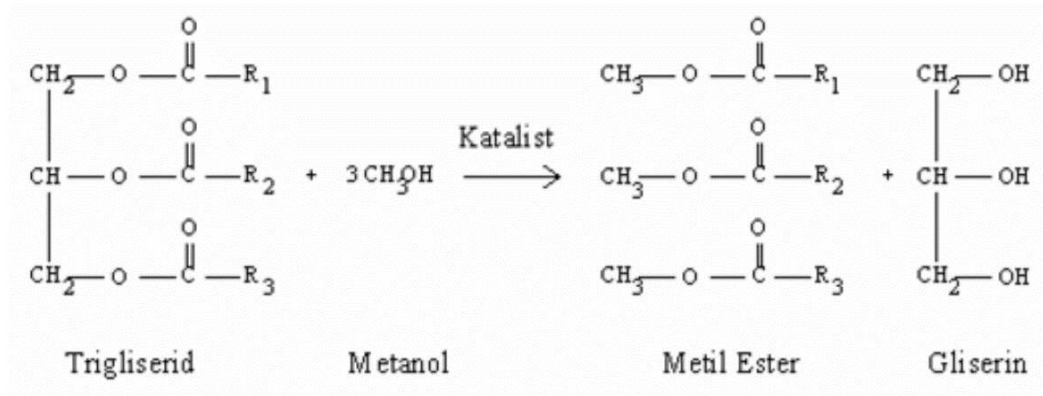
Biyodizel üretiminde kullanılan bazı kimyasal yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan biri olan piroliz yönteminde ısı artıtılarak yağ molekülleri küçük moleküllere parçalanmaktadır. Bu işlem sayesinde viskozitesi düşürölüp biyodizel elde edilir [47].

Mikroemülsiyon yönteminde organik kısa zincirli alifatik alkolleler kullanılarak birbirine karışmayan iki sıvının organik karışımlarla oluşturulan kolloidal çözelti elde edilir [48]. Seyreltme yönteminde, dizel yakıt ya da bir çözücünün yağlar ile karıştırılarak seyreltilir [49].

Yeni ve gelişmekte olan ultrasonik yöntem ile de biyodizel üretilmektedir [50]. Mikrodalga yönteminde ise mikrodalgaın hızlı ısıtma özelliğini kullanarak kimyasal sentezleme yapılmaktadır. Bu yöntem reaksiyonun verimini ileri derecede artırmakta ve hızlı bir biçimde üretilmesini kolaylaştırmaktadır [51]. Süper kritik yöntemde ise yaklaşık 240sn ve 350°C gibi sıcaklıkta katalizör kullanmadan biyodizel elde edilmektedir [52].

1.3.2 Transesterifikasyon Yöntemi ile Biyodizel Üretimi

Bitkisel, hayvansal ve atık yağların metanol ya da etanol alkolü belirli oranlarda karıştırılıp katalizör yardımıyla reaksiyon oluşturma yöntemidir. Bu yöntem viskoziteyi önemli derecede azaltmaktadır. Bu reaksiyonda yağ asidi esteri ve gliserin oluşarak, esterleşme gerçekleştirilerek biyodizel elde edilir [53,54]. Bu tez çalışmasında transesterifikasyon yöntemi kullanılmış olup Şekil 1.1’de trigliseridin metanol ile yağ asidinin reaksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Trigliseridin metanol ile yağ asidinin transesterifikasyon reaksiyonu [55].

Bu reaksiyon sürecince çeşitli katalizörler (bazik, asidik ve enzimatik) kullanılmaktadır. Metanol ve bazik katalizörler genellikle tercih edilmektedir. Reaksiyon süresini kısaltması, bazik katalizörlü tepkimenin daha verimli oluşu, korozif direncinin fazla olması ve asidik katalizör için uygun ortamın maliyetinin fazlalığı nedeniyle bu tercihler avantaj sağlamaktadır [45]. Ayrıca bu reaksiyonda karıştırma hızı, süre, sıcaklık, basınç, yağdaki su ve serbest yağ asitleri (FFA) içeriği biyodizel kalitesi için önemli parametrelerdir [56].

1.3.3 Biyodizel Standartları

Yağ asidi metil esteri (YAME) olan biyodizelin ülkemizde TS EN 14214 standardı dahilinde üretimi mevcuttur [8, 57-61]. Bu nedenle standartlara uygun, yüksek verimde ve kalitede biyodizel elde edebilmek için her bir parametre ve hassas ölçüm önem arz etmektedir. TS EN 14214 biyodizel standardı Tablo 1.3’de gösterilmiştir.

Tablo1.3. Yağ asidi metil esterlerinin standart özellikleri [61].

Özellik		Birim	Sınır Değerleri		Deney Yöntemi
			En az	En çok	
Viskozite		mm ² /s	3,50	5,00	TS 1451 EN ISO 3104
Yoğunluk		kg/m ³	860	900	TS EN ISO 12185
Toplam kirlilik		mg/kg	-	24	TS EN 12662
Oksidasyon kararlılığı		Saat	8,0	-	TS EN 14112
Parlama noktası		°C	101	-	TS EN ISO 3679
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (SFTN)		°C	-	+5 (Yaz) -15 (Kış)	TS EN 116
Metanol içeriği		% (m/m)	-	0,20	TS EN 14110
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)		mg/kg	-	0,3	TS 6148 EN ISO 10370
Su içeriği		mg/kg	-	500	TS 6147 EN ISO 12937
Sülfatlanmış Kül		% (m/m)	-	0,02	TS 1985
Kükürt içeriği		mg/kg	-	10,0	TS EN ISO 20846
Fosfor içeriği		mg/kg	-	4,0	TS EN 14107
Sodyum		mg/kg	-	5,0	TS EN 14108, TS EN 14538
Potasyum		mg/kg	-	5,0	TS EN 14109
Kalsiyum		mg/kg	-	5,0	TS EN 14538
Magnezyum		mg/kg	-	5,0	TS EN 14538
İyot sayısı		g. iyot/100g	-	120	TS EN 14111
Gliserit	Monogliserit	% (m/m)	-	0,70	TS EN 14105
	Digliserit	% (m/m)	-	0,20	TS EN 14105
	Triglisrit	% (m/m)	-	0,20	TS EN 14105
Gliserol	Serbest gliserin	% (m/m)	-	0,02	TS EN 14105
	Toplam gliserin	% (m/m)	-	0,25	TS EN 14105
Ester		% (m/m)	96,5	-	TS EN 14103
Linolenik asit metil esteri		% (m/m)	-	12,0	TS EN 14103
Asit sayısı		mg KOH/g	-	0,50	TS EN 14104
Çoklu doymamış yağ asidi metil esterleri		% (m/m)	-	-	TS EN 15779
Çoklu doymamış metil esterleri		% (m/m)	-	1,0	TS EN 14103
Setan sayısı		-	51,0	-	TS EN 15195
Bakır şerit korozyonu		Derece	Sınıf 1		TS 2741 EN ISO 2160

1.3.4 Biyodizel Yakıtının Özellikleri

Biyodizel yakıtı ile dizel yakıtı benzer özelliklere sahip olduğu söylenebilir. Motorda önemli değişikliğe gidilmeden biyodizel-dizel ve saf biyodizel kullanılabilmesi biyodizelin özelliklerinin standartlara uygunluğu ile sağlanmaktadır.

1.3.4.1 Ester İçeriği

Yağlardan iyi kalitede biyodizel elde edilmesi için sadece yüksek lipit içeriği değil; uygun yağ asidi bileşimi de önemlidir. Bu nedenle elde edilen biyodizelin kalitesi yağ asidinin profiline de bağlı olmaktadır. Ester yüzdesi yağ türlerine göre de farklılıklar göstermekte olup bununla birlikte biyodizel üretim yöntemlerine ve bu yöntemlerin süreçlerinde yapılan işlemlere göre de değişmektedir. Ester içeriği, çeşitli işlemler sonucu bir yağdan elde edilen esterlerin biyodizel niteliğinde olup olmadığının ölçüsüdür denilebilir.

Ester sayısının yüksek olması için yağ asidi profilini etkileyen transesterifikasyon reaksiyonunda uygun parametreler de yağ, alkol ve katalizör miktarı oranları belirlenmelidir. Reaksiyonun süresi, hızı ve sıcaklığı ester sayısını etkilemektedir. Oluşan esterin biyodizel niteliğinde olması için TS EN 14214 standardına göre en az %96.5 ester içeriğine sahip olmalıdır.

1.3.4.2 İyot ve Asit Sayısı

Yakıtın tortulu oluşu ve depolama düzeninin yetersizliği çeşitli sorunlar meydana getirmektedir. Yüksek doymamış yağ asidi miktarı, iyot sayısını belirtmektedir. Yetersiz YAME'nin kullanımında yakıtın viskozitesinin dengesiz biçimde azalır ve motor yağı polimerleşerek inceli ve oksidasyon artarak motor yağının özelliklerini bozar. Karbon (C) kalıntısı iyot sayısı artıkça fazlalaşmaktadır [61].

Serbest yağ asitlerinin seviyesini bilmek için de asit sayısına bakılmaktadır. Asit sayısının fazla olması, tortulaşmaya ve korozyon etkiye neden olacağından belirlenmiş standart sınırlar içerisinde olması gerekmektedir [62-65].

1.3.4.4 Su ve Tortu İçeriği

Yakıtın motor performansını düşürücü etkide bulunmaması, motorun ömrünü koruması ve motor parçalarına zararını en aza indirebilmek için temiz olması önemli bir olgudur. Aynı zamanda tortu ve suyun yakıtta olmaması gerekmektedir. Bu durumun tersi mevcut olduğunda su; enjeksiyon sistemini aşındırıp, motor parçalarının paslanmasına ve motorun sarsıntılı çalışmasına neden olmaktadır. Tortu ise yakıtın geçtiği yerlerde birikime, enjektör sisteminin ve filtrelerin tıkanmasına sebep olup zamanla diğer motor arızalarını da tetiklemektedir [66,67].

1.3.4.5 Parlama Noktası

Isınmış olan yakıtın parlama noktası ateş ile ilk parlamaya başlayıp tutuşmaya geçtiği en düşük sıcaklıktır. Bulundukları ortama göre kendi kendine tutuşma olayını göstermektedir. Tutuşmanın tükenmeden devam ettiği sıcaklık alevlenme noktasını belirtir. Alevlenme noktası parlama noktasından daha yüksek bir sıcaklığa sahiptir [68].

Dizel yakıtların buharlaşma sıcaklıkları benzine göre daha yüksektir ve açık havada benzin sıcaklığın etkisiyle erken bir sürede alevlenmektedir. Bu nedenle dizel yakıtının kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek oluşu dizel yakıtını daha güvenilir yapmaktadır. Hafif dizel yakıtlarında alevlenme sıcaklığı deniz seviyesinde yaklaşık 340-420°K arasında değişmektedir [68].

1.3.4.6 Akma - Bulutlanma ve Soğuk Filtre Tıkanma Noktası

Biyodizelin akma sınır sıcaklığı akma noktasını belirtmektedir. Biyodizel içeriğinde doymuş yağ asitleri fazla olduğunda daha erken kristalize olmaya başlar. Biyodizelde sislenme bulutlanma noktasının pozitif sıcaklıklarda olabileceğini de göstermektedir. Hızlı donmaya, yakıtın akma problemlerine ve yakıtın depolamasında iklim değışiklerine göre sorunlar meydana gelmektedir. İklim koşullarına uyum sağlayıp sağlamadığının kontrolü için yakıtın soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) ya da bulutlanma ve akma noktası bilinmelidir [62].

1.3.4.7 Yoğunluk

Birim hacimdeki kütle miktarı olan yoğunluk bilinir ise biyodizeldeki karbon ve hidrojen (H) oranı, yakıtın dağılma eğilimi ve dağılan yakıtın yanma yeteneği hakkında tahminler yapılabilir [69]. Yakıtın kolay tutuşabilmesi için de yoğunluğun düşük olması gerekmektedir [70].

Dizel yakıtına göre daha fazla yoğunluğa sahip olan biyodizel, yanma ısısına ve yakıt tüketimine etki etmektedir. Hidrokarbon zincirinin uzaması ile yoğunluk azalmakta ve çift bağ sayısının artmasıyla yoğunlukta artmaktadır [71].

1.3.4.8 Viskozite

Akışkan olan yakıtın akmaya karşı gösterdiği direnç ve iç sürtünmelerinin ölçüsü, viskozite olarak adlandırılmaktadır. Yakıtın önemli bir karakteristik özelliği olan viskozitenin, yüksek atomizasyona sahip olması için düşük viskozitede olması gerekmektedir. Viskozitenin sıcaklığa bağlı oluşu da önemli bir ölçüdür. Yüksek viskozite ile beraber yakıtın enjektörden püskürtülmesi ve pompalanması zorlaşır. Bu nedenle enjektörden geçemeyip tıkanmaya, sorunlu ve eksik püskürtmeye neden olmasıyla segmanlarda karbon birikintileri oluşabilir ve yağlama yağının özelliğini bozabilmektedir. Biyodizel yakıtının viskozitesi 40°C’de 3,5-6 mm²/s arasındadır. Viskozite, hidrokarbon zincirinin uzamasıyla artmaktadır ve çift bağ sayısı fazlaştıkça azalmaktadır [72,73].

1.3.4.9 Bakır Çubuk Korozyonu

Biyodizelin korozyon etkisinin ölçülebilmesi için yakıtın geçtiği ve kullanıldığı alanlardaki bakır, bronz ve pirinçten üretilen parçaların korozyona uğrayıp uğramadığının öğrenilmesi için bakır şerit korozyonu testi yapılmaktadır [74].

Motorun çalışma anında gerçekleşen silindir içi yanma işlemi sonucunda motor parçalarının korozyona uğramaması için üretilen biyodizelin standardına göre belirtilen sınıf ve derecede olması gerekmektedir.

1.3.4.10 Isıl değ er

 nemli bir özellik olan ısı l değ er, birim k t le/hacim oranında alınan enerji miktarını belirtir. Isı l değ er, doymu   hidrokarbon zincirinin uzamasıyla artmaktadır ve hidrojen sayısı azaldıkça yani doymamı  lık sayısı artmasıyla azalmaktadır. Oksijen içeren biyodizelin dizele kıyasla genellikle daha az bir ısı l değ ere sahiptir [75].

Isı l değ erinin yüksek olması yakıt enerjisi miktarının yüksek olduğunu belirtir, fakat yanma sonucu olu  an egzoz gazlarının sıcaklığında su, buhar halinde olduğundan ısı l değ er olarak bu kayıp çıkarılarak alt ısı l değ eri de hesaplanır [10,69]. Özgül yakıt tüketiminin artış nedenlerinden biri de, ısı l değ erinin düşük olmasıdır [76].

1.3.4.11 Setan sayısı

Yakıtın önemli bir karakteristlik özelliği olan setan sayısı, kendi kendine tutu  ma özelliğini belirten bir tanımdır. Setan sayısı, kullanılan yakıtın emisyon değ erlerini ve motorun gürültülü  alı  ma düzeyini etkilemektedir. Motorun sarsıntılı  alı  ması ve motor performansının değişmesi de setan sayısının etkisinden de kaynaklanabilmektedir. Yüksek setan sayısı, yanmayı hızlandırır fakat tutu  ma gecikme süresini azaltır. Bu durumda emisyon değ erlerini azaltıcı bir etkisi bulunmaktadır [19,77-81].

Binek araç dizel motorlarda kullanılan yakıtın yüksek setan sayısına sahip olması motor sesini azalmaktadır [82]. Setan sayısının ideal yükseklikte olu u dizel vurultusunun az olmasını sa lar [83,84]. Aynı zamanda dizel motorun soğuk havada ilk  alı  ma faaliyetini kolaylaştırır [15,22-25].

1.3.5 Biyodizel Yakıtının Motor Performansı ve Emisyonları

Gerekli parametrelerin sabit kaldığı motor sistemlerinde biyodizel kullanımdan kaynaklanan bir tork ve güç kaybı söz konusudur. Biyodizel kullanımı yakıt tüketiminin fazla  masına neden olmasına rağmen enjeksiyon hacmini artırarak motor performans kayıpları en aza indirebilmektedir [75]. Çeşitli biyodizel kullanımında belirli oranlarda verim kaybı oluşmaktadır [85].

Biyodizel, dizel yakıtından daha yüksek setan sayısı içerebilmektedir. Isıl değer ise, dizel yakıtı ısı değerine yakındır. Dizel motorlarda biyodizel kullanımı motorun termik veriminde az da olsa bir kayıp oluşturmalarına rağmen dizel yakıtına göre motor daha az sarsıntılı çalışmaktadır [58]. Biyodizel ile dizel yakıtı arasında biyodizel kullanımı ile azalan bir ısı değer söz konusudur. İki yakıt arasındaki motor verimi birbirine yakındır, fakat biyodizel kullanımı ile özgül yakıt tüketiminde dizel yakıtına göre genellikle bir artış olmaktadır [86]. Bir dizel motorunda aynı deney koşullarında, özgül yakıt tüketiminin artması ve motor gücünün azalmasının nedeni biyodizel yakıtının alt ısı değeri, motorine kıyasla daha düşük olması ile açıklanmıştır [87].

Biyodizel iyi bir yağlayıcı olduğundan motor temizlenerek bakım ihtiyacı azalır. Bu nedenle daha temiz çalışan motorun ömrü uzar. Biyodizelin dizel yakıtına kıyasla yüksek alevlenme noktası bulunmaktadır. Az emisyon oluşmasıyla beraber az zehirli maddeler içerdiğinden daha da güvenlidir [88].

Biyodizelin havayla teması sonucu polimerleşme ve oksidasyon olabileceğinden enjektörde yakıt birikmesine neden olarak yanma kalitesini azaltmaktadır. Viskozitenin yüksek olması durumunda segmanlarda karbon birikintisi oluşumuna, yağlama yağının kalitesini düşürdüğünden motor yağının bozulmasına, enjektör tıkanmalarına ve enjektörün eşit yakıt püskürtememesine neden olarak yanmayı kötüleştirmektedir [85]. Biyodizel yakıtının viskozitesi düşük olduğu durumlarda, yanma sırasında yağlama yağının farklı etkilediğinden kullanımdan kaynaklanan yağlama yağının bir miktar azaldığı ve viskozitesinin düştüğü bazı çalışmalarda gözlemlenmiştir [87].

Yükleme ve yanma sürecinde oksidasyon ve polimerleşmeden dolayı yapışkan sıvı oluşumu, yağlayıcı yağ tabakasının artması ve karbon çözeltilisinin oluşumunun nedeni asit dağılımı, yüksek viskozite ve serbest yağ asit bileşimlerinden kaynaklanmaktadır [88]. Standart sınırları içerisinde olmayan yüksek viskozite ile püskürtülen yakıt parçacıklarını genişleteceğinden ve yüksek karbon ihtiva edeceğinden yanma kötüleşmektedir. Bu nedenle motor parçalarında is ve partiküller oluşacağından kalıntılar meydana gelmektedir. Temizlenmesi zor olan bu kalıntılar piston, enjektör, supap ve yanma odasında oluşmaktadır [89]. Sera etkisini arttırmada herhangi bir olumsuz etkisi olmayan biyodizel, fotosentez etkisiyle karbondioksiti (CO₂) dönüştürmede karbon döngüsünü hızlandırmaktadır [90].

Biyodizelin genel emisyonları diğer yakıtların emisyonlarında olduğu gibi karbondioksit, azot oksit, karbonmonoksit emisyonları önem arz etmektedir [11]. Bu emisyonlardan biyodizelin direkt veya dizel yakıtına biyodizel katılması ile PM, CO azalır. Buna karşılık azot oksit emisyonları ise genellikle artar. Biyodizelde genellikle kükürt ve bileşenleri ise genellikle bulunmaz [90,91]. Soğuk havalarda biyodizel ve biyodizel-dizel karışımları daha erken sıcaklıkta donmaktadır ve bitkisel yağların direkt ya da dizelle karışım halinde kullanılması sorun teşkil etmektedir [88]. Soğuk havalarda biyodizelin elverişli olmayışı, motoru ilk çalıştırmada sorunlar oluşturabilir. Yakıt deposunu ve yakıt hattı borularını tıkalabilir [85].

1.4 Mikroalgler

Mikroalgler, gelişmiş bitki türlerinden farklı olarak doğanın pek çok koşullarında suda ve karada yaşayabilen aynı zamanda fotosentez yapabilen basit canlı olup çeşitli türleri bulunmaktadır. Klorofil taşıyan mikroalglerin cazip olan özelliği ise sentez sonucu oluşan ürünleri, büyük ölçekte yağ olarak depo etmesidir. Bu özellikliğe sahip alglerden elde edilen yağ dönüşümü ile dizel motorlarda organik ve çevreye duyarlı nitelik taşıyan biyodizel ya da biyoyakıt olarak kullanılabilir [92].

Karbonhidrat, vitamin, protein ve lipid içeren mikroorganizma olan mikroalgler; türlerine göre farklılıklar göstererek bünyesinde yaklaşık %15 ile %77 oranları arasında yağ bulundurlar [7,93,94]. Algler, bol miktarda organik maddeler ve karbondioksit gazıyla beslenirse, elde edilen yağ miktarında yaklaşık olarak %40 artış sağlandığı bazı çalışmaların laboratuvar deneylerinde belirtilmiştir [92].

Biyokütlesinin toplam kuru ağırlığından %80 ve daha üstü yağ elde edilebilen mikroalglerin üretiminde küçük ölçekli arazi alanına ihtiyaç duyması da, mikroalglerden biyodizel eldesi için önemli bir etkidir [95]. Mikroalglerden yüksek verimde yağ elde edilmesi ve uygun yetiştirme parametreleri sayesinde yağ elde edilebilen pek çok bitkilerden daha fazla biyodizel üretim potansiyeline sahiptir. Aynı zamanda mikroalglerden biyodizel üretimi ile yenilebilir enerji üretimine büyük katkı sağlamakla birlikte fotosentez aracılığıyla CO₂'yi verimli kullanarak küresel ısınmayı engellemede yardımcı olmaktadır [7].

Mikroalgler, tek hücreli olup fagositoz ya da fotosentez yapan kırmızı, mavi, yeşil vb. renklere sahip olan türleri mevcuttur. Sulu ortamda yaşayan mikroalgler çevresel döngüde biyokütle enerjisine sahip en değerli canlılardır. Mikroalglerin üretimi ile güneş enerjisini biyokütle enerjisine dönüştürmek; hem ekonomiktir hem de en etkili yöntemler arasındadır [3].

Fotosentetik organizmalar arasında mikroalgler, ilk sırada yer almaktadırlar. Her bir alg hücresi lipid içermekte olup tohum hasatı yapılan ve belirli yağ oranına sahip kara bitkilerine göre mikroalglerin biyokütlesinden, daha çok ürün verimi kazanılmaktadır [96]. Aynı zamanda dünyadaki atmosferik oksijenin %50'sini karşılamaktadırlar [97].

Algal biyokütle üretimde bir kilogramı için yaklaşık 1.8 kg karbondioksit ihtiyacı duyulmaktadır. Dolayısıyla mikroalgler, çevresel sorunlar arasında yer alan atmosferde barınan CO₂ birikintisini kullanarak, seviyenin azalmasında yardımcı olmaktadır. Diğer bir özelliği de yüksek doymuşluğa sahip mikroalg lipidleri, mikroalg yağlarını potansiyel bir yakıt konumuna taşımaktadır [98].

1.4.1 Mikroalg Yetiştiriciliği

Çeşitlerine ve türlerine göre farklılıklar gösterebilen mikroalgler, ışığın bulunduğu ortamlarda büyüyüp gelişebilmektedirler [99]. Açık sistemler ve fotobiyoreaktörler olarak adlandırılan iki farklı sistemlerde mikroalgler yetiştirilmektedir [100].

Havuzlar, doğal su kaynakları vb. sistemler mikroalg yetiştiriciliği için açık sistemlerdir [3]. Alg yetiştirmek için verimli topraklar, tatlı sular gibi özel ihtiyaç ortamları gerekmez, yıllık hasat miktarı yüksek olup küçük ölçekli alanlarda bol miktarda yetiştirilmektedir [6].

Fotobiyoreaktör sisteminde hücrelere yeterli seviyede ışık ve gaz değişimi yolları sağlanmalıdır. Aynı zamanda fotobiyoreaktör sistemleri, bütün hücrelere iletilen ışık miktarının bolluğu için ışık yollarını az ve yeterli olacak şekilde tasarlanmalıdır. Mikroalgler için gerekli yetiştirme parametreleri Tablo 1.4'de verilmektedir [3].

Tablo 1.4. Mikroalgler için gerekli yetiştirme parametreleri [3].

Parametreler	Sınır Değerleri	Optimum Şartlar
Işık yoğunluğu (Ix)	1000-10000	2500-5000
Sıcaklık(°C)	16-27	18-24
Işıklanma süresi (Gündüz:Gece h)	-	16:8 en az 24:0 en çok
Tuzluluk (g/l)	12-40	20-24
pH	7-9	8.2-8.7

1.4.2 Mikroalg Türleri

Yaklaşık olarak 400.000 farklı türleri bulunan mikroalglerin biyokütlelerinden suni gübre ve biyoyakıt elde edilebilmektedir [101]. Aynı zamanda gıda, yem, ilaç, kozmetik ve diğer yararlı ürünler için de kullanılmaktadır [3].

Bu tez çalışmasında *Chlorella Protothecoides* mikroalg türü kullanılmıştır. Yeşil renge yakın olup *Trebouxiophyta* sınıfında yer almaktadır. Atık suları arıtmada kullanılması ve heterotrofik şartlarda yetiştirilmesi gibi yeteneklere sahiptir. 1965 yılında farkına varılan bu türün biyodizel üretimi açısından değerlendirildiğinde hızlı büyümesi, yüksek lipitli yağ içeriği ve 108 hücre/ml kültür hücresi yoğunluğuna sahip oluşu büyük önem arz etmektedir. *Chlorella*, *Phaeodactylum*, *Dunaliella*, *Nannochloris*, *Nannochloropsis Oculata*, *Isochrysis*, *Neochloris*, *Nitzschia* ve *Porphyridium spp.* gibi mikroalg türlerinin %20-50 arasında değişen yağ içerikleri mevcuttur. Bu nedenle yaygın olarak biyodizel üretiminde kullanılmaktadırlar. Çalışmada kullanılan *Chlorella protothecoides* türü olan mikroalglerin %14.6 - 57.8 aralığında kuru ağırlığa sahiptir. Büyük ölçekte lipit içeriğine sahip olmakla birlikte 2 - 7.70 mg/l/gün aralığında büyük bir biyokütle hacmine sahiptir. Aynı zamanda bu mikroalg türü 1214 mg/l/gün değerinde çok yüksek lipit bir verimine sahiptir [102-107]. Bu sebeplerle mikroalg türlerinden *Chlorella protothecoides*'in biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılmasını cazip kılmaktadır.

Bazı mikroalg çeşitlerinin lipit verimi ve içeriği, biyokütlenin alansal ve hacimsel verimleri Tablo 1.5'de gösterilmiştir.

Tablo1.5. Bazı mikroalg çeşitlerinin lipit verimi ve içeriği, biyokütlenin alansal ve hacimsel verimleri [108].

Mikroalg Türü	Lipit İçeriği (%) (KuruAğırlık)	Lipit Verimi (mg/L/gün)	Biyokütlenin Hacimsel Verimi (mg/L/gün)	Biyokütlenin Alansal Verimi (mg/m²/gün)
Ankistrodesmus sp.	24-31	-	-	11.5-17.4
Botryococcus braunii	25-5	-	0.02	3.0
Chaetoceros muelleri	33.6	21.8	0.07	-
Chaetoceros calcitrans	14.6-16.4	17.6	0.04	-
Chlorella emersonii	25-63	10.3-50	0.036-0.041	0.91-0.97
Chlorella protothecoides	14.6-57.8	1214	2-7.70	-
Chlorella sorokiniana	19-22	44.7	0.23-1.47	-
Chlorella vulgaris	5-58	11.2-40	0.02-0.20	0.57-0.95
Chlorella sp.	10-48	42.1	0.02-2.5	1.61-16.4
Chlorella pyrenoidosa	2	-	2.90-3.64	72.5-130
Chlorella	18-57	18.7	-	3.5-13.9
Chlorococcum sp.	19.3	53.7	0.28	-
Cryptocodinium cohnii	20-51.1	-	10	-
Dunaliella salina	6-25	116	0.22-0.34	1.6-3.5/20-38
Dunaliella primolecta	23.1	-	0.09	14
Dunaliella tertiolecta	16.7-71	-	0.12	-
Dunaliella sp.	17.5-67	33.5	-	-
Ellipsoidion sp.	27.4	47.3	0.17	-
Euglena gracilis	14-20	-	7.7	-
Haematococcus pluvialis	25	-	0.05-0.06	10.2-36.4
Isochrysis galbana	7-40	-	0.32-1.6	-
Isochrysis sp.	7.1-33	37.8	0.08-0.17	-
Monodus subterraneus	16	30.4	0.19	-
Monallanthus salina	20-22	-	0.08	12
Nannochloris sp.	20-56	60.9-76.5	0.17-0.51	-
Nannochloropsis oculata	22.7-29.7	84-142	0.37-0.48	-
Nannochloropsis sp.	12-53	37.6-90	0.17-1.43	1.9-5.3
Neochloris oleoabundans	29-65	90-134	-	-
Nitzschia sp.	16-47	-	-	8.8-21.6
Oocystis pusilla	10-5	-	-	40.6-45.8
Pavlova salina	30.9	49.4	0.16	-
Pavlova lutheri	35.5	40.2	0.14	-
Phaeodactylum tricornutum	18-57	44.8	0.003-1.9	2.4-21
Porphyridium cruentum	9-18.8	34.8	0.36-1.50	25
Scenedesmus obliquus	11-55	-	0.004-0.74	-
Scenedesmus quadricauda	1.9-18.4	35.1	0.19	-
Scenedesmus sp.	19.6-21.1	40.8-53.9	0.03-0.26	2.43-13.52
Skeletonema sp.	13.3-31.8	27.3	0.09	-
Skeletonema costatum	13.5-51.5	17.4	0.08	-
Spirulina platensis	4-16.6	-	0.06-4.3	1.5-14.5/24-51
Spirulina maxima	4-9	-	0.21-0.25	25
Thalassiosira pseudonana	20.6	17.4	0.08	-
Tetraselmis suecica	8.5-23	27-36.4	0.12-0.32	19
Tetraselmis sp.	12.6-14.7	43.4	0.30	-

1.4.3 Mikroalglerden Biyoyakıt Üretimi

Petrol rezervlerin azalması ile birlikte çeşitli biyoyakıtların üretimi pek çok ülkede artmaktadır. Brezilya, Avrupa ve Amerika’da biyodizel üretimi yasalarla desteklenmekte olup alternatif yakıt olarak fayda sağlanması amaçlanmıştır. Amerika’da yüksek verim sağlanabilmesi için mikroalglerden, Brezilya’da ise şeker kamışından biyoyakıt üretimine odaklanmışlardır [108-110].

Küresel anlamda ekonomi ve çevre duyarlılığı için katkılar sağlayan mikroalg biyodizel üretimi karbondioksitin geri kullanımında da önemli fayda sağlamaktadır. Pratik yollardan kaynakların kullanımı için jeotermal alanlar önemli bir değere sahiptirler. Jeotermal alanlarda enerji darboğaz sorununu çözmekte katkı sağlayacak mikroalg biyodizel üretimi gelecekte önemli bir çözüm yolu olabilmektedir. Bu sayede çevreye duyarlı prosesler geliştirilip karbondioksit atığını kolay yoldan tedarik etmeyi sağlayacak, geri dönüşümü kolaylaştırarak kısa zamanda ve düşük maliyetlerle üretim sağlanmaktadır. Kullanılmayan arazilerin değerlendirilmesinde ve atık suların geri kazandırılmasında da önemli faydalar sağlayabilirler [6]. Bu sebepler ile alglerden biyodizel üretiminde daha yüksek verimde enerji sağlayabilmek için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır [107,111-116]. Çeşitli biyodizel kaynaklarının ve mikroalglerin karşılaştırılması Tablo1.6’da listelenmiştir.

Tablo1.6. Çeşitli biyodizel kaynakları değerlerinin karşılaştırması [93].

Bitkiler	Yağ Verimi (L/ha)	Gerekli Alan (Mha)*	Toplam Alanda Mevcut Ekin Alanı Yüzdesi *
Mısır	172	1540	846
Soya fasülyesi	446	594	326
Kanola	1190	223	122
Jatropha	1892	140	77
Hindistan cevizi	2689	99	54
Palmiye	5950	45	24
%70 yağ içerikli Mikroalg	136900	2	1.1
%30 yağ içerikli Mikroalg	58700	4.5	2.5

* (ABD ulaşımı için gerekli olan yakıtın yarısını karşılamak için)

1.5. Literatür Araştırması

Tez çalışmasına başlamadan önce biyodizel üretimi ve dizel motor deneyleri hakkında yapılan çalışmalar incelenerek bazı bilgiler sunulmuştur. Biyodizel üretimi ve hammaddeleri incelendikten sonra etanol karışımlı yakıtlar ve mikroalg biyodizeli ile ilgili çalışmalar incelenmiştir.

İlkılıç [117], yaptığı çalışmada tek silindirli bir motorda pamuk yağı ve ayçiçek yağından elde edilen biyodizelin hacimsel olarak %50 dizel ile karıştırılarak kullanılmıştır. Tam gaz, çeşitli enjeksiyon basınçlarında ve motor devirlerinde bu karışımların egzoz gazı emisyonları ve motor performansı ölçülmüştür. Çalışmalar sonucunda düşük emisyon basınçlarında ayçiçek yağı ve pamuk yağı biyodizelinin dizel yakıtına eşit moment ve güç değerleri vermiştir. Diğer basınçlarda da dizel yakıtına yaklaşan moment ve güç değerleri elde edilmiştir. Kullanılan biyodizel, tüm enjeksiyon basınçlarında dizel yakıtına kıyasla daha az emisyon değerleri verdiğini belirtmiş ve pamuk yağı ve ayçiçek yağından elde edilen biyodizelin çevre kirliliğini azaltıcı yönde etkisi olduğunu göstermiştir.

İlkılıç [118], çalışmasında pamuk yağından elde biyodizel %30, %50 ve %70 oranında dizel ile karıştırılarak tek silindirli bir dizel motorda 1500 ile 3700 devir/dakika (d/dk) aralığında denenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda dizel yakıtına kıyasla özgül yakıt tüketimin arttığını belirtilmiş fakat düşük ve yüksek motor devirlerinde, dizel yakıtına yakın güç değerleri elde edilmiştir. Yüksek motor hızlarında ise dizel yakıtına benzer tork değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak bu karışımların alternatif yakıt olarak kullanılabilir olduğu söylenmiştir.

Jeong vd. [119], çalışmalarında kanola, soya, palmiye ve hayvansal yağ gibi farklı kaynaklardan elde ettikleri biyodizellerin yakıt karışımlarının, soğuk filtre tıkanma noktasını düşürdüğünü, böylece kışın yaşanan motor ısınma sorununun azalacağını belirtmişlerdir. Soğuk filtre tıkanma noktasındaki etkiler sonucunda biyodizeller ve yakıt karışımları arasındaki oransal ilişki incelenmiştir. Doymuş yağ asidi kompozisyonu temel alınarak, soğuk filtre tıkanma noktasına etkileri hakkında tahminde bulunmuşlardır. Tüm bu sonuçlar dikkate alındığında, farklı hammaddelerden elde edilen biyodizellerin ve karışımlarının soğuk akış özelliklerini iyileştirmede fayda sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

Yaşar [102], yaptığı çalışmada *Chlorella protothecoides* türü yosun yağından biyodizel eldesini transesterifikasyon yöntemi ile elde ederek bir dizel motorda kullanılabilirliği incelenmiştir. Transesterifikasyon işleminde 6:1 molar oranında metanol/yağ ve kütleli olarak yağın %0.5, %0.75 ve %1 oranında potasyum hidroksit katalizörü kullanılmıştır. En uygun şartları %0.75 katalizörü kullanarak %98.67 verimlilikte biyodizel elde edilmiştir. Biyodizelin özelliklerinin kullanılabilir olduğu belirtilmiş ve yüksek setan sayısı elde edilmiştir. %20 oranında biyodizel, dizel yakıtıyla karıştırılmış saf biyodizel ve dizel yakıtları ile karşılaştırılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda efektif verimde dizel yakıtına kıyasla biraz bir düşüş, özgül yakıt sarfiyatında artış gözlemlenmiştir. Yüksek ısı salınımı ve yüksek silindir gaz basıncı elde edilmiştir. Yanmamış HC ve duman koyuluğunda ciddi azalmalar meydana gelmiş fakat NO_x egzoz gazı emisyonlarının arttığı belirtilmiştir.

Cılgın ve İlkılıç [120], yaptıkları çalışmada mikroalg yağı kullanarak biyodizel üretmişlerdir. Transesterifikasyon yöntemi kullanarak biyodizel elde edilmiş ve dizel yakıtı ile karıştırılarak bir dizel motorunda deneyler yapılmıştır. Bu karışımın efektif motor gücü ve motor momenti dizel yakıtına kıyasla daha az olduğu ve özgül yakıt sarfiyatının arttığı belirtilmiştir. Daha az zararlı emisyonların elde edildiği sonuçlarda, HC, CO ve CO₂ emisyonlarının azaldığı fakat NO_x ve O₂ egzoz gazı emisyonlarının yükseldiğini açıklanmıştır.

Baydan [121], çalışmasında aspir yağından elde edilen metil esteri ve biyoetanol, dizel ile karıştırılarak kullanılmıştır. %20 oranda metil ester %5, %10 ve %15 oranında biyoetanol, dizel ile faz oluşumu engellenerek karıştırılmıştır. Bu karışımlar 4D39T tümösan test motorunda denenmiştir. Yapılan deney sonuçlarında yakıtına yakın performans elde edilmiştir. Biyoetanolün eklenmesiyle yoğunluk azalmış ve viskozite değeri iyileşmiştir. Dizel yakıtına kıyasla diğer yakıt karışımlarında çok fazla bir ısı değeri kaybı olmamıştır. Dizel yakıtına %5 biyoetanol ve %20 aspir yağı metil esteri karışımlarında, dizel yakıtına yakın güç ve tork performansı ve yakıt tüketimi olmuştur. Birbirlerine yakın sonuçların elde edildiği bu çalışmada, bütün test yakıt karışımlarının dizel motorlarda kullanılabileceği belirtilmiştir.

Lui [122], çalışmasında mikroalg yağından süper kritik metanol kullanarak transesterikasyon gerçekleştirmede uygun şartların belirlenmesi için çalışmıştır. 6:1 ile 12:1 metanol-yağ molar oranında, 150 ile 300 bar basınçlarında, 350°C ile 400°C sıcaklıklarda ve 3 ile 12 dakika arasındaki uygun reaksiyon şartını belirlemek için deneyler yapmıştır. Ayrıca bu parametrelerin serbest gliserol içeriğine etkileri de incelenmiştir. Bu çalışmada, transesterifikasyon reaksiyonunun kinetiğini daha iyi anlamak için, çeşitli reaksiyon koşulları altında trigliserit bileşiği olan triolein için bir kinetik model önerilmiştir. Bu modeldeki değerlerin 385°C, 9:1 molar oran ve 200 bardaki reaksiyon dönüşümü olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda süper kritik metanol ile elde edilen mikroalg yağı biyodizelinin kullanıma uygun olduğunu belirtmiştir.

Chen vd. yaptıkları [123], çalışmada *Chlorella protothecoides* türü mikroalg yağından biyodizel kabiliyetinin değerlendirilmesi için yakıt özellikleri ve dizel ile karışımlarının özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre uygun özelliklerde biyodizel elde edilmiştir ve ağırlıkça %65.2 metil oleat ve %18.5 metil linoleat ölçülmüştür. Mikroalg yağından elde ettikleri metil esterin soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) -13°C, 40°C’de 4.43 mm²/s kinematik viskozitesi ve 112.2 g. iyot/100g iyot sayısı gibi özelliklerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Dizel yakıtı ile karıştırılmasıyla SFTN ve oksidasyon kararlılığının azaldığını tespit etmişlerdir.

Tüccar çalışmasında [124], *Chlorella vulgaris* mikroalg yağının özelliklerini incelemiş, transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretmiştir. Elde edilen biyodizelin bir dizel motorda yakıt olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Transesterifikasyon işleminde mikroalg yağının %0.4 oranında sodyum hidroksit (NaOH) katalizörü ve metanol kullanılarak reaksiyon yapılmıştır. Üretilen biyodizel, %5, %10, %20 ve %50 hacimsel oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılmıştır. Saf biyodizelin ve bu karışımların özellikleri belirlenerek bir dizel motorunda motor performansı ve egzoz gazı emisyonları ölçülmüştür. Deneyler sonucunda fren ve tork gücünün bir miktar azaldığını ve egzoz gazı emisyonlarında iyileştğini belirtmiştir.

Krohn vd. [125], çalışmasında *Nannochloropsis oculata*, *Dunaliella tertiolecta* alglerinden biyodizel eldesi için esterifikasyon ve transesterifikasyon yöntemlerini kullanarak serbest yağ asitleri ve trigliseritlerden %85 verimlilikle alkil ester elde edilmiştir.

Yücesu vd. [126], çalışmalarında benzin yakıtına %40 ve %60 oranlarında etanol karıştırılarak 8:1 sıkıştırma oranından 13:1 sıkıştırma oranlarına kadar deneyler yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda yüksek sıkıştırma oranlarında vuruntu olmadan benzin-etanol karışımlarının kullanılabilirliğini ve aynı zamanda en yüksek momentte %14'lük bir artışın olduğu belirtmiştir. Bu karışımlarının CO ve yanmamış HC gazları emisyonlarında yaklaşık olarak %10 ile %16 arasında azalmanın olduğu gözlenmiştir.

Masoud Zabeti vd. [127], çalışmalarında metal oksit ve metal oksitle desteklenmiş birçok katı baz ve asit katalizörlerinin katalitik aktivitelerini incelemişlerdir. Homojen olmayanların aksine heterojen katalizörlerinin çevreye karşı zararsız, tekrar ve sürekli işlemlerde kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir. Bu bağlamda bitkisel yağların transesterifikasyonu ile biyodizel üretiminde heterojen katalizörlerin kullanılması incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda biyodizel üretmek için heterojen katalizörler kullanıldığında; alkol ile yağın yüksek mol oranının, fazla miktarda katalizörün, yüksek sıcaklığın ve basıncın gerektiğini bildirmişlerdir. Bunlarla birlikte reaksiyon hızının katı baz katalizörler varlığında daha hızlı olduğunu da bildirmişlerdir. Ayrıca katalizör verimliliği; gözenek büyüklüğü ve hacmi, aktif bölge konsantrasyonu ve de spesifik yüzey alanı gibi birçok faktöre bağlı olduğunu iletmışlerdir. Katalizör olarak katı asitler kullanımında transesterifikasyon ve esterifikasyon reaksiyonlarını eş zamanlı gerçekleştirerek yüksek miktardaki serbest yağ asidi içeren yağları dönüştürebilmişlerdir.

Zuleta vd. [128], çalışmalarında farklı kaynaklardan (hint, palmiye, sachainchi ve jatropha yağından) biyodizeller üretilmiştir. SFTN değerlerinin ve oksidatif kararlılığın metil ester çeşidinin özelliklerine bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca çoklu doymamış içeriği yüksek olan metil esterlerin oksidatif kararlılığı düşürebileceğini, doymuş metil ester içeriğinin yüksek olduğu durumlarda da SFTN değerini yükseltebileceğini gözlenmiştir. Çeşitli deneyler sonucunda oksidasyon kararlılığı derecesi sırasıyla hint, palmiye, jatropha, sachainchi olduğu belirtilmiştir. Soğuk akış özelliklerinden olan soğuk filtre tıkanma noktası da sırasıyla palmiye, jatropha, hint ve sachainchi şeklinde yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ek olarak %75 oranında hint yağı metil ester ve %25 oranında jatropha yağı metil ester karışımlarının, indüksiyon zamanının 7.54 saat ve -12°C'de soğuk filtre tıkanma noktasına sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Bilgin vd. [35], çalışmasında uygun değerdeki motor performansını sağlamak amacıyla etanol-dizel yakıtı karışımlarını farklı sıkıştırma oranlarında denemişlerdir. Deneylerde 19:1, 21:1 ve 23:1 sıkıştırma oranlarında, dizel yakıtı ile %2 , %4, %6 oranlarında etanol ile karıştırmışlardır. Bu karışımların, motor performansını düşürecek etkinin azalmasını sağlayabilecek uygun sıkıştırma oranını tespit etmeyi amaçlamışlardır. Yapılan deneyleri değerlendirerek, sıkıştırma oranının 21:1 olduğu ve %4'lük kullanımının en uygun değerlerle sonuçlandığını ve bu şartlarda termik verimde %3,5'lik bir artış olduğunu gözlemişlerdir.

Patil ve arkadaşları [129], çalışmalarında alg biyokütlesinden süper kritik metanol kullanılarak *Nannochloropsis* türü mikroalglerden mikrodalga yöntemli transesterifikasyon işleminden direkt olarak biyodizel elde edilmesi incelemiştirler. Proses parametreleri optimize edilerek reaksiyonda, katalitik olmayan süper kritik metanol yönteminde zararlı olan çözücülerden ve katalizör kalıntılarından arınmış olması avantaj sağlamıştır. Mikroalglerden yüksek oranda saflaştırılmış ekstraktlar üretmiş olup saflaştırma ve ayırma işlemlerinde enerji tüketimi azalmıştır.

Can [130], çalışmasında *Botryococcus braunii* ve *Spirulina platensis* mikroalglerinden farklı sıcaklık ve sodyum nitratlı besin ile kültür ortamında yetiştirtirmiş ve bu parametrelerin lipit ve biyokütleyle yaptığı değişimi incelemiştir. Bu çalışma sonucunda üretilen biyodizelin ASTM standartlarına göre, parlama noktası ve vizkositesinin uygun olup yoğunluğunun ise standarda uygun olmadığını iletmiştir. Aynı zamanda mikroalg yetiştirmede sodyum nitrat miktarı azaldıkça biyokütlenin de azaldığını lipitin ise arttığı gözlenmiştir.

Behçet yaptığı [131], çalışmada Karadeniz Bölgesinden temin edilen fındık ve balık yağından, fındık yağı metil esteri (FYME) ve balık yağı metil esteri (BYME) transesterifikasyon yöntemi ile elde etmiştir. Dizel yakıtıyla hacimsel olarak %50 oranında karıştırılan metil esterler ile yakıt karışımları elde edilmiştir. Hava soğutma sistemli, dört zamanlı, tek silindirli ve direkt püskürtme sistemli bir dizel motorda elde edilen karışım yakıtlarının her biri yakıt olarak kullanılarak egzoz emisyonları ve motor performansları değerlendirmiştir. Yakıt karışımlarının, egzoz gazı emisyonu ve motor performans üzerindeki etkilerinin farklı motor devirlerindeki değişimi de incelemiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, %50 BYME – Dizel karışımı ve %50 FYME – Dizel yakıt karışımlarının motor gücü, motor torku, kükürtdioksit (SO₂), CO ve HC egzoz gazı emisyon değerleri dizel yakıtı göre azalmıştır. Özgül yakıt tüketimi ve NO_x egzoz gazı emisyonlarında ise artış gösterdiğini belirtmiştir.

Şimşek ve arkadaşının [132], yaptığı çalışmada keten yağından elde edilen biyodizelin dizel ile karışımları bir dizel motorda test etmişlerdir. 1000 - 4000 d/dk motor devri aralıklarında performanslar değerlendirilmiş ve dizel yakıtına göre karşılaştırmalar yapılmıştır. İlk aşamada transesterifikasyon yöntemi ile ham ketencik yağından biyodizel elde edilip, saf olarak ve %20, %50 oranlarında dizel yakıt ile karıştırılarak deneyler yapılmıştır. Yapılan analizlerde dizel yakıtına göre biyodizel, %10'luk daha düşük alt ısı değere sahip olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda da motor güç ve tork değerlerinin azaldığı, özgül yakıt tüketiminin ise arttığı belirtilmiştir.

Young [133], çalışmasında *Chlorella* sp. ArM0029B, ESP-6, *Chlorella vulgaris* C-27, ESP-31 ve *Chlorella variabilis* mikroalg türlerinin ülkemizdeki çeşitli volkanik göllerden izole ederek çeşitli şartlar ve değişken parametrelerle kontrol altında mikroalg ve biyodizel verimliliğini inceleyerek en verimli türü belirlemek için çalışmıştır. Yapılan çalışma sonucunda *Chlorella vulgaris* ESP-31, C-27 mikroalglerinin diğer türlere kıyasla daha yüksek verimli olduğunu göstermiştir.

Johnson vd. [134], yaptıkları çalışmada biyodizel üretiminde kullanılan *Chlorella* sp. türü mikroalgleri daha verimli yetiştirmek için kültür sistemi geliştirmişlerdir. Yaptıkları araştırmalar ve deneyler sonucunda biyokütle üretimi hasat iyileştirmeleri ve biyodizel üretim için polistiren köpüklü kültür sisteminin yetenekli olduğunu belirtmişlerdir.

Felizardo vd. [135], çalışmalarında transesterifikasyon yöntemi kullanılarak atık kızartma yağından biyodizel üretimini gerçekleştirmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonu bir saat sürede yapılmıştır. Katalizör olarak sodyumhidroksit kullanılmıştır. Biyodizel üretiminde uygun koşulların belirlenmesi için yapılan deneylerde metanol/yağ ve katalizör/yağ oranları çeşitli düzeylerde denenmiştir. 4.8 molar metanol/yağ oranı ve %0.6 katalizör/yağ oranı koşullarında metil esterlerinin yüksek verimde elde edildiğini belirtmişlerdir.

Yapılan deneyler sonucunda metanol ya da katalizör miktarında meydana gelen artışın metil ester fazının daha rahat ayrılmasına neden olduğu, viskoziteyi azalttığı ve %98'in üzerinde saflığın elde edilebileceği belirtilmiştir.

Boran vd. [136], çalışmalarında metanolün çapraz bağlı *Thermomyces lanuginosus* lipazı kullanılarak transesterifikasyon metodu ile *Chlorella protothecoides* türü mikroalg yağında biyodizel elde edilmesinde isooktan, ter-bütanol ve n-hekzan çözücü olarak kullanılmıştır. Çözücülerin farklı reaksiyon karıştırma hızlarında, sıcaklığının reaksiyondaki etkileri incelenmiştir. 200 d/dk reaksiyon karıştırma hızında ve 35 °C'de çözücü kullanılmadan %90 yağ asidi metil ester içeriği elde etmiştir. Bu bulgulara ek olarak deneylerde kullanılan çözücülerle daha az yağ asidi metil ester içeriği tespit edildiği, çözücüsüz üretimin çevreye duyarlı ve daha düşük maliyetli olacağını gerçekleştirmişlerdir.

Gülyurt [137], yaptığı çalışmada *Chlorella protothecoides* türü mikroalg yağı ile transesterifikasyon reaksiyonda katalizör olarak potasyum hidroksit (KOH) kullanarak ultrasonik ve mikrodalga yöntemi ile biyodizel elde etmiştir. Reaksiyon süresinin ve katalizör / yağ oranının önemli bir parametre olduğunu ifade etmiştir. Uygun maliyette ve yüksek verimlilikte mikroalglerden biyodizel eldesi için ultrasonik yöntemin daha uygun olabileceğini belirtmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasının bu bölümünde biyodizel üretmek için kullanılan malzemeler ve yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir. Üretilen biyodizelin özelliklerinin belirlenmesinde yapılan deney yöntemleri de yer almaktadır. Son olarak elde edilen biyodizelin ve yakıt karışımlarının motor performans ve egzoz emisyon testleri için kullanılan deney düzeneği ve bulguların hesaplama yöntemi gösterilmiştir.

2.1 Mikroalg Yağından Biyodizel Üretimi

Bu çalışmada transesterifikasyon yöntemi kullanılarak mikroalg biyodizeli üretilmiştir. İnönü Üniversitesi Kimya Labrotuarında gerçekleşen ön deneylerde Soley Enstitüsü [138] tarafından temin edilen Şekil 2.1’de gösterilen *Chlorella protothecoides* - Heterotrofik Mikroalglerden üretilen yağ kullanılmıştır. Biyodizel üretim çalışmaları iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.1 Deneylerde kullanılan mikroalg yağı

2.1.1 Mikroalg Yağının Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan Soley Enstitüsü [138] analiz ve özgünlük raporlarına göre mikroalg yağının yağ asidi profilinin yüzdesel oranları Tablo 2.1’de verilmiştir. Yağ asidi profiline bakıldığında palmitik yağ asidi %51 oranla en yüksek orana sahiptir.

İkinci yüksek yüzdesel orana baktığımızda %39 oran ile oleik yağ asidi, sırasıyla %7 linoleik yağ asidi, %2'lik oranla stearik yağ asidi ve geri kalan %1'lik oran içersin de ise diğer yağ asitlerini bulunmaktadır.

Tablo 2.1. Mikroalg yağı yağ asitleri [138].

Yağ Asidi Profili (%)			
Yağ Asidi	C Bileşimi	Kimyasal Formülü	Yüzdesel Oranı (%)
Palmitik	C 16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	51
Oleik	C 18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	39
Linoleik	C 18:2	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	7
Stearik	C 18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	2
Diğer	-	-	1

Karbon bileşimlerine baktığımızda, C21'den C33'e kadar yüzdesel oranlar Tablo 2.2'de gösterilmiştir. Bu tabloya göre en yüksek karbon bileşimi %18 oranla C24 karbon bileşimi ve en az karbon bileşimleri %1'lik yüzdesel oranla C32 ve C33 karbon bileşimlerinde olduğunu belirtilmiştir.

Tablo 2.2. Mikroalg yağı karbon bileşimi [138].

Karbon Bileşimi	Yüzdesel Oranı (%)
C21	5
C22	12
C23	9
C24	18
C25	12
C26	11
C27	10
C28	15
C29	4
C30	2
C31	2
C32	1
C33	1

Biyodizel optimizasyon çalışmalarında ve biyodizel üretiminde kullanılan yüksek teknoloji piramidi fotobiyoreaktöründe yetiştirilen Heterotrofik (*Chlorella protothecoides*) mikroalg yağının Tablo 2.3'de özellikleri listelenmiştir.

Tablo 2.3. Mikroalg yağı özellikleri [138].

Organik Kaynak: Heterotrofik Mikroalgler (<i>Chlorella protothecoides</i>)		
Yetiştirme Yöntemi: Yüksek Teknoloji Piramidi Fotobiyoreaktörü		
Özellikler	Mikroalg Yağı Değerleri	Birimi
Renk	Yeşilimsi / Açık Sarı	-
Görünüş	Berrak	-
Yoğunluk	912	kg/m ³
Özgül ağırlık (25°C)	0,91 – 0,92	-
Toplam Kirlilik	2	mg/kg
Peroksit Değeri	0,5 (mak.)	-
Parlama Noktası	220	°C
Viskozite	3,6	mm ² /s
Isıl Değer	35.8	Mj/kg
Su	140	mg/kg
İyot	67	mg. iyot/100g
Karbon Kalıntısı	0,1	%(m/m)
Fosfor	0,0008	%(mg/kg)
Asit Sayısı	0,2	mg KOH/g
Sülfür	2	mg/kg

2.1.2 Biyodizel Üretimi İçin Öncelikli Deneyler

Transesterifikasyon reaksiyonu alkali katalizör vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Ancak reaksiyona giren alkali katalizör ile serbest yağ asitleri, su ve sabun oluşumuna neden olur. Kullanılan alkolün su içermemesine ve bitkisel yağdaki serbest yağ asitleri miktarı ağırlıkça %0.5'in altında olmasına dikkat edildiğinde, transesterifikasyon reaksiyonu başarıyla sonuçlanıp ticari anlamda da geçerli bir yöntem olmaktadır [102]. Aynı zamanda sabunlaşma reaksiyonu ile transesterleşme reaksiyonu birbirleri ile uyum içinde olmamakta ve birbirlerini yok etmeye çalışmaktadırlar. Reaksiyon ortamında suyun miktarındaki artış veya tüm katalizörlerin hızlı bir şekilde sabunlaşmasını sağlayacak kadar serbest asit oluşu, reaksiyonun sabunlaşma yönünde ilerlemesine neden olur. Bunun sonucunda tüm katalizörler sabun hale geçer. Bu durumda reaksiyon hızı düşerek yetersiz transesterleşme meydana gelir. Yetersiz transesterleşmesi sonucunda oluşan mono ve digliseritler kuvvetli emisyonla neden olup, ortamdaki safsızlıkların yıkanarak uzaklaşmasını güçlendirir. Bu durum ürün kalitesini ve verimini olumsuz yönde etkilemektedir [3]. Bu hususlar dikkate alınarak deneylerden önce tortu ve partikül varsa arınması için filtreleme işlemi yapılmıştır. Bu işlemin ardından mikroalg yağının reaksiyon işlemlerine hazır olması için çeşitli analizler yapılmıştır.

Yapılan asit tayininde mikroalg yağının asit sayısı 0.28 mg KOH/g, yoğunluğu ise 908 kg/m³ olarak bulunmuştur. Asit sayısının uygunluğu tespitinden sonra su tayini yapılmıştır. Yağ içerisindeki su miktarı 1585.7 ppm olarak ölçülmüştür. Mikroalg yağı ısıtıcı cihazında ısıtılıp karıştırılarak sıcaklığı artırılmıştır. Ding Hwa marka vakum pompası kullanılarak yağ içerisindeki su ve sudan önce uçan, kullanılan yağın %0.8 gramı kadar bir sıvı daha buharlaşmıştır. Bu sıvı yanıcı olup mikroalglerden yağ elde edilmesinde kullanılan bir madde olduğu düşünülmektedir. Mikroalg türleri ile ilgili yapılan bir çalışmada böyle bir maddenin karbon sayısı yüksek ve yüksek mol kütleli maddelerin yağ asitleri olabileceği de söz konusu olmuştur [139]. İşlem sonrası su tayini tekrar yapılarak 245.4 ppm olarak ölçülmüştür. Son olarak mikroalg yağı transesterifikasyona hazır hale getirilmiştir.

2.1.3 Biyodizel Üretimi İçin Optimizasyon Deneyleri

İlk aşamada yüksek oranda ester sayısı elde etmek için belirli oranlarda, farklı katalizörler kullanılarak elde edilen biyodizel numunelerinin ester sayısı ve verimleri incelenmiştir. Mikroalg yağından numuneler hazırlandıktan sonra üretilen biyodizellerin metil ester içeriği tayini yapılmıştır. Şekil 2.2’de optimizasyon deneyleri numunesinin reaksiyon düzeneği gösterilmiştir. Bu numunelerin ester sayılarının karşılaştırmaları yapılarak en uygun proseste (yakıt kalitesi yüksek, çevreye duyarlı, maliyeti düşük, zaman tasarruf sağlayan ve üretimi kolay) deneyler yapılmıştır. Uygun katalizör ve miktarı için 6:1 alkol/yağ oranında sadece katalizör çeşitleri, saflık oranları ve miktarları değiştirilerek deneyler yapılmıştır.



Şekil 2.2 Optimizasyon deneyleri numunesinin reaksiyon düzeneği

Deneyin ilk aşamasında Sigma marka %98-100 saflıkta ve Tekkim marka %99.0 saflıkta sodyum hidroksit, Sigma marka %99.9 saflıkta ve Emboy marka %99.5 saflıkta potasyum hidroksit katalizörleri kullanılmıştır. Yapılan deneylerde esterleşme için potasyum hidroksit katalizörünün sodyum hidroksite göre daha fazla kullanılmasına ihtiyaç oluşmuştur. Mikroalg yağının %20 oranında %99.9 saflıkta Sigma marka metanol ile NaOH, KOH ve %30 seyreltilmiş sodyum metilat (NaOCH_3) ayrı ayrı katılarak çözeltiler hazırlanmıştır. Katalizör olarak NaOH ve KOH kullanılarak yapılan transesterifikasyon sonrasında ortalama 8-9 saat sonunda faz ayrımı tamamlanırken, sodyum metilat kullanımında ise bu süre 1,5-2 saate indirilerek çok daha verimli biyodizel elde edilmiştir. Bu nedenle düşük işletme maliyetleri gibi pek çok yönden yararlıdır [140,141]. Sodyum metilatın susuz üretimi, çevreye duyarlı oluşu ve atık oluşumunu azaltması gibi faydaları sayesinde biyodizel üretimi yapılan tesislerde daha çok tercih edilmektedir. Deneyler sonunda faz ayrılma süresini yaklaşık olarak %80 oranında azalmıştır. Şekil 2.3’de sodyum metilat numunesi gösterilmiştir. NaOH içinde metanol çözülme zorluğu ve NaOH miktarından yaklaşık %50 daha fazla KOH kullanılmasından kaynaklı artan maliyet gibi sorunlar bulunmaktadır [142]. GC (gaz kromatografisi) cihazından tayini yapılan ester sayısının yüksek çıkmasından dolayı katalizör olarak sodyum metilat seçilmiştir. Sodyum metilat katalizörü kullanımında daha fazla verim elde edilene kadar deneyler yapılmıştır.



Şekil 2.3 Sodyum metilat numunesi

Deney düzeneğinde Şekil 2.4’de gösterilen balon jojeler, beherler, ayırma hunileri, geri soğutucu vakum pompası, hassas terazi, terazi, sıcaklık ölçerler, kağıt filtreler, püskürtmeli su kapları, manyetik karıştırıcı, parafin, M-Tpo marka ve Velp marka ısıtıcı, etüv gibi yardımcı cihazlar ve aparatlar kullanılmıştır.



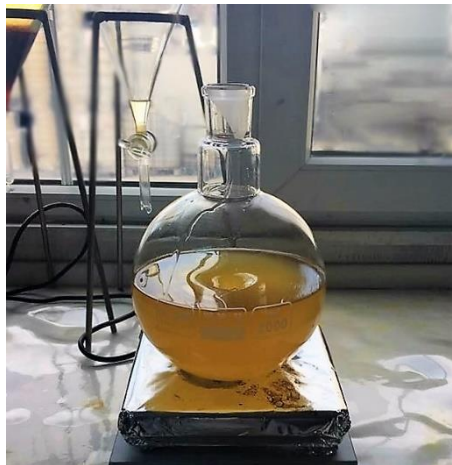
Şekil 2.4 Deneylerde kullanılan çeşitli ekipmanlar

2.1.4 Uygun Biyodizel Üretimi

Yapılan yeni deneylerde uygun sıcaklık, NaOCH_3 miktarı ve reaksiyon süresi belirlendikten sonra 2. aşama olan biyodizel üretimine geçilmiştir. Bu optimasyon çalışmalarından sonra deney motorunda kullanılacak biyodizelin üretimi aşağıdaki aşamalara göre yapılmıştır.

2.1.4.1 Yağın ısıtılması

Mikroalg yağının ısıtılarak karıştırılması Şekil 2.5’de gösterilmiştir. Bir balon jojeye, ön işlemi tamamlanmış 1000 gram mikroalg yağı aktarılmıştır. Manyetik karıştırıcı 600 d/dk’ya ayarlanarak sıcaklığının 55°C oluncaya kadar ısıtılmış ve karıştırılmıştır. 40°C ’deki su banyosu içerisinde ısıtıcı üzerine tekrar konularak sıcaklığın 50°C sabit olduğunda reaksiyon aşamasına geçilmiştir.



Şekil 2.5 Mikroalg yağının karıştırılarak ısıtılması

2.1.4.2 Sodyum Metilat – Alkol Karışımının Hazırlanması

Ölçümler için Denver marka hassas terazi dengesi ayarlandıktan sonra kullanılmıştır. Bu terazi Şekil 2.6’da gösterilmektedir. Reaksiyonda %20 oranında metanol ve yaklaşık 20gr %30 seyreltilmiş sodyum metilat tartıldıktan sonra metanole eklenip hafifçe çalkalanmıştır. Homojen bir karışım gözlenmiş olup istenilen sıcaklığa ulaşan yağın devir hızı düşürüldükten sonra bu karışım yağa yavaşça eklenerek reaksiyon işlemi başlatılmıştır.



Şekil 2.6 Hassas terazi

2.1.4.3. Reaksiyon Düzenegi

Transesterifikasyon için Şekil 2.7’de gösterilen gerekli düzenek kurulmuştur. Sıcaklık 50°C’de sabit tutulmuştur. 600 d/dk’da bir saat süre boyunca karıştırılmış bu sürenin sonunda reaksiyon sonlandırılmıştır.



Şekil 2.7 Reaksiyon düzenegi

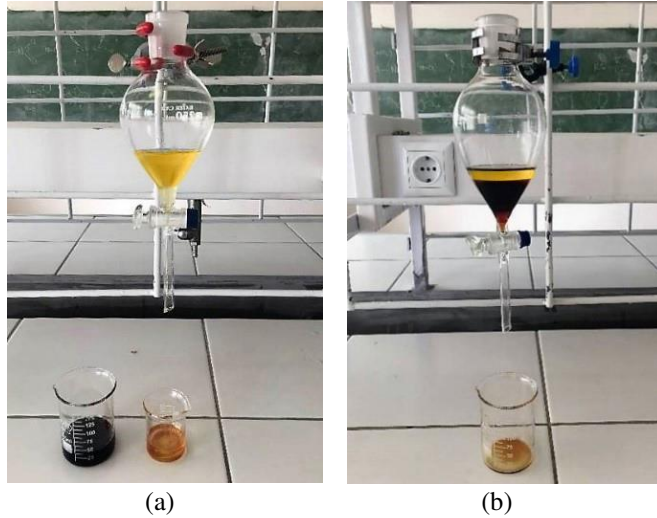
2.1.4.4 Faz Ayırıştırma

Reaksiyon süresinin sonunda elde edilen karışım daha önceden yıkanmış, etüvde kurulanmış temiz bir ayırma hunisine aktarılmıştır. Reaksiyon sonunda oluşan metil ester ve gliserinin faz farkını belirginleştirip ayırmak için bu işlem yapılmıştır. Metil ester ve gliserin faz ayrımı Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Gliserinin tamamen çökmesi yaklaşık 2 saatlik sürede tamamlandıktan sonra gliserin bir behere aktarılmıştır.



Şekil 2.8 Faz ayrımı

Bütün deney karışımlarının faz ayırma işleminde bir miktar biyodizel, gliserin kabında kalmıştır. Kalan biyodizeller biriktirilip ayırma hunisine alınarak tekrardan değerlendirilmek için işlem zincirine aktarılmıştır. Bu işlem Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 (a) Ayırışmada gliserine ester geçmesi, (b) Geçen esterlin tekrar değerlendirilmesi

Faz ayrımı işleminden sonra ayırma hunisinde kalan biyodizelden bölgesel numuneler alınarak Elektro-Mag marka Şekil 2.10'da gösterilen santrifüj cihazı kullanılarak 2000 devirde 2 dakika süre ile işleme tabii tutulmuştur. Belirgin gliserin kalmadığı anlaşıldıktan sonra yeni reaksiyonlarda bu işlem tekrarlanmamıştır.



Şekil 2.10 Santrifüj cihazı

2.1.4.5 Ester Yıkama İşlemi

Biyodizelde bulunan reaksiyona girmeyen bazı maddeleri, sabun ve gliserini uzaklaştırmak için, biyodizele saf su ile dört defa yıkama işlemi yapılmıştır. İlk iki yıkamada yağ ve saf suyun sıcaklığı yaklaşık 55°C'de spreyleme yapılarak yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Su zerreciklerinin daha iyi yayılması, yıkama işlemini kolaylaştırmıştır. Diğer yıkama işlemlerinde duş akış biçimi gibi yıkama yapılmış olup en son işlemde de oda sıcaklığında yıkama yapılarak işlemler tamamlanmıştır. Her defasında yıkanıp dinlendirilen biyodizelde Şekil 2.11'de gösterilen ester yıkama işlemi sonunda belirgin bir safsızlık kalmamıştır. Saf su fazının berraklığından dolayı bu işlem bitirilmiştir.



Şekil 2.11 Ester yıkama sonrası

2.1.4.6 Distilasyon İşlemi

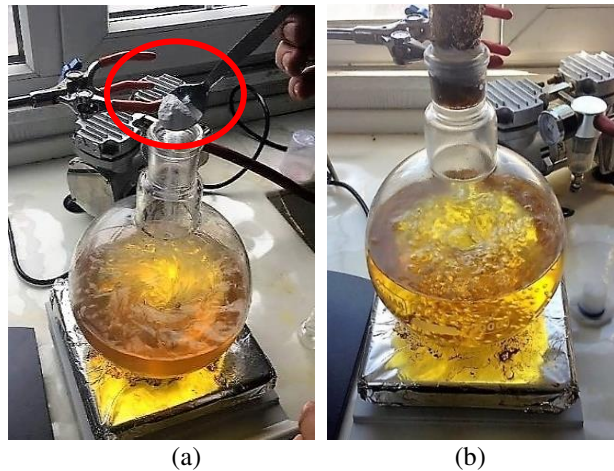
Yıkama suyunun fazı alındıktan sonra biyodizel bir balon jojeye aktarılmıştır. Kalan su ve alkolün uzaklaştırılması için ısıtılan biyodizele, vakum pompası yardımıyla Şekil 2.12’de görülen distilasyon işlemi uygulanmıştır.



Şekil 2.12 Distilasyon işlemi

2.1.4.7 Sentetik Toprak Katma İşlemi

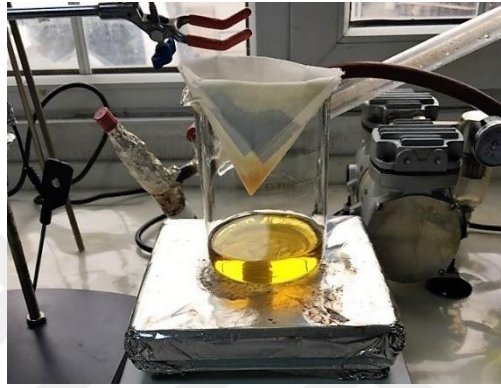
Distilasyon işleminden sonra karıştırılmaya devam eden biyodizele, Şekil 2.13’de görüldüğü gibi biyodizelin bazı safsızlıklarını absorbe edebilecek mikroalg biyodizele %0.3 oranında uygun nitelikteki sentetik toprak katılmıştır [143]. Sentetik toprak ilavesi ile yakıtın berraklığı sağlanmış olup bazı yağ asitleri ile birlikte yabancı ve aromatik bileşikler absorbe edilip toprağa geçerek gözeneklerde tutulmuştur. Sentetik toprak, bazı bileşikleri ve safsızlıkları gözeneklerine çektiğinden dolayı bu yardımcı işlem yapılmıştır.



Şekil 2.13 (a) Sentetik toprak katılması, (b) Toprağın ester ile aktifleşmesi

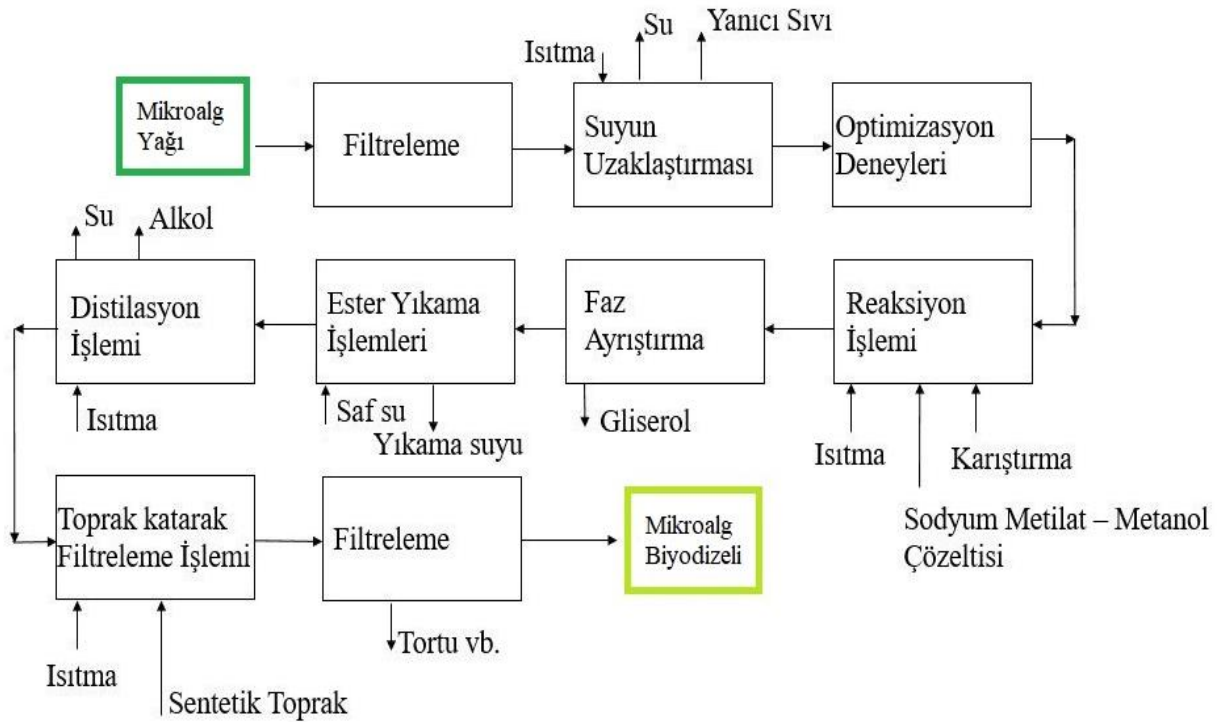
2.1.4.8 Filtreleme

İşlemler tamamlandıktan sonra atık toprağın alınması için nem kapmamış, kuru bir filtre kağıdı yardımıyla biyodizel süzdürülmüştür. Bu işlem Şekil 2.14’de gösterilmiştir. İlk filtreleme işlemi tamamlandıktan sonra yakıt kalitesinin artırmak için biyodizel tekrar filtre edilmiştir. Filtre işleminden sonra biyodizel tartıldığında yağın %99’u ağırlığında biyodizel elde edilmiştir.



Şekil 2.14 Filtreleme işlemi

Deney motorunda kullanılmaya hazır olan mikroalglerden üretilmiş biyodizel için uygun depolama işlemi yapılmıştır. Biyodizel üretiminin akış şeması Şekil 2.15’te verilmiştir.



Şekil 2.15 Biyodizel üretim akış şeması

2.2 Mikroalg Biyodizel Yakıtının Analizi

Mikroalg biyodizelinin TS EN 14214 [8] standardına göre uygunluğunu belirlemek için İnönü Üniversitesi ve Fırat Üniversitesi Kimya Laboratuvarlarında, Deha biyodizel, Tarımsal biyodizel enerji analiz laboratuvarlarında ve akredite olan İnönü Akaryakıt / Petrol Analiz Laboratuvarında yakıt analizleri yapılmıştır.

2.2.1 Yağ Asidi Metil Esteri - Ester İçeriğinin Tayini

Üretilen biyodizelin, standartta belirtilenen kalitede olması için %96.5 yağ asidi metil esteri içermesi gerekmektedir. TS EN 14103 [144] deney metoduna göre işlemler yapılmış olup Şekil 2.16 (a)'da gösterilen Agilent marka 6890N ve Şekilde 2.16 (b)'de gösterilen Agilent 7890A marka cihazları kullanılmıştır. Gaz kromatografisi cihazında YAME oranı %90'dan büyük ve lineolenik asit içeriği %1-15 olan biyodizeller için C6 ile C24 arasındaki metil esterler içeren numunelerin yüzdelik ester içeriğinin belirlenmesinde kullanılmıştır. İç standart olarak %99.5 saflıkta nanodekanoat reaktifi ve analitik saflıkta toluen kullanılmıştır. Deney yönteminde belirtilen iç standart hazırlanarak, 100 mg'lık numune, 100 mg nonadekanoat 0.1 mg hassasiyetle balon jojede tartılmıştır. Tartım sonunda karışım 10 ml toluen ile tamamlanıp, çalkalandıktan sonra cihaz bölmesine yerleştirilmiştir. FID dedektörüne sahip olan cihazda kapiler kolonu 0.25 mm iç çapında olup 30 m uzunluğunda 25µm film kalınlığındadır. Otomatik yapılan kromatografik analizinde belirli sürelerde yüksek sıcaklıklara çıkarak, gerekli gaz akış oranlarında analizler tamamlanmıştır. Cihazlarda analiz işlemini bitirdikten sonra oluşan gerekli pik değerleri kaydedilmiştir. Deney metodunda belirtilen formüle göre hesaplamalar yapılarak ester içeriği belirlenmiştir.



Şekil 2.16 (a) Agilent 6890N (b) Agilent 7890A GC cihazları

2.2.2 İyot Sayısı Tayini

Biyodizel standardında yer alan TS EN 14111 [145] nolu deney metoduna göre YAME'nin iyot sayısının titrimetrik olarak belirlenmesi için bu işlem yapılmıştır. Bu deney metoduna göre 100 gr YAME içerisinde iyodun gram cinsinden kütlesi, iyot sayısını belirtmektedir. Biyodizel numunesi tarafından harcanan iyot kütlesinin, numune kütlesine bölünmesi ile iyot sayısı hesaplanmaktadır.

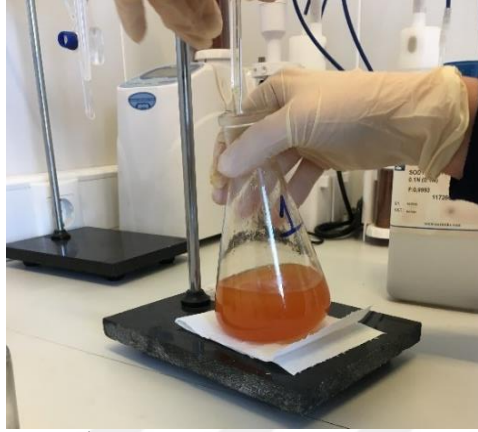
Deney metodunda belirtilen miktar ve oranlara göre reaktifler kullanılmıştır. Su ile hazırlanmış potasyum iyodür (KI), bir miktar nişasta ile karıştırılmıştır. Bu karışım, kaynar suyun içerisine eklenip 3 dakika boyunca kaynatılmış ardından soğutulmaya bırakılarak nişasta çözeltisinin hazırlanması tamamlanmıştır. Suda hazırlanmış sodyum tiyosülfat çözeltisi ve çözücü karışımı olarak da eşit hacimde siklohekzan ile susuz asetik asidin karıştırımı yani Wijs metoduna göre uygulanan reaktif hazırlanmıştır.

Biyodizel numunesi erlen içerisinde hassas terazide tartılmış ve tayinin yapımına başlanmıştır. Numune, çözücü kullanılarak çözülmüş ve pipet yardımıyla Wijs reaktifi eklenip çalkalanmıştır. Deney numunesinin kıyaslanması için başka bir erlen de çözücü ve reaktif ilavesi yapılarak bir şahit çözeltisi hazırlanmıştır. Erlen karanlık ortamda 1 saat süreyle bekletilmiştir. Tepkime süresinin sonunda potasyum iyodür çözeltisi ve su eklenmiştir. İyottan kaynaklanan sarı renk hemen hemen kayboluncaya kadar, Sodyum tiyosülfat çözeltisi ile titrasyon yapılmıştır. Şekil 2.17'de tayinin ilk aşaması gösterilmiştir.



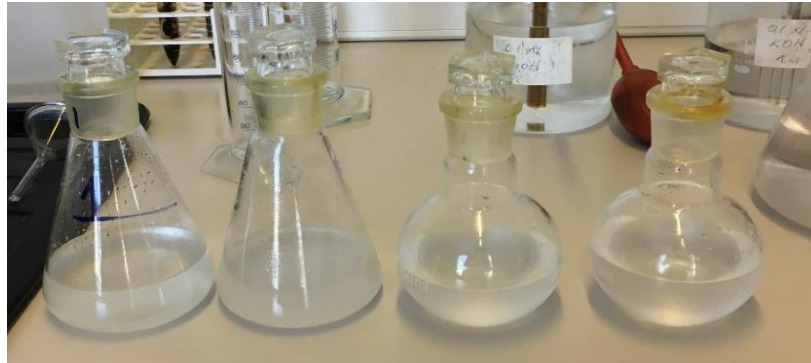
Şekil 2.17 İyot sayısı tayininin ilk aşaması

Nişasta çözeltisinden birkaç damla ilave edilip, çözelti hızlıca çalkalanmış ve ardından mavi rengin ilk yok olduğu ana kadar titrasyona devam edilmiştir. şekil 2.18 titrasyon işleminin bir bölümü gösterilmiştir.



şekil 2.18 İyot sayısı tayininde titrasyon yapılması

Yapılan işlemler özel tecrübe istediğinden pek çok kez tekrarı yapılmış ve ardından, şahit çözelti kullanarak aynı şekilde şahit deneyler gerçekleştirilmiştir. şekil 2.19’da titrasyon işleminin son durumu gösterilmiştir. İyot sayısı deneyleri tamamlandıktan sonra metotta belirtilen formüle göre iyot sayısı tayini hesaplanmıştır.



şekil 2.19 İyot sayısı tayinin son aşaması

2.2.3 Asit Sayısının Tayini

Standarda göre YAME’deki asit sayısının belirlenmesi için TS EN 14104 [146] titrimetrik olarak deney yöntemi uygulanmıştır. 1g YAME’de bulunan serbest yağ asitlerini ntrlenmesi için bu metot kullanılmıştır.

Asit sayısının tayini deneyinde titrant olarak potasyum hidroksit, etanol içerisindeki standart çözeltisi dietil eter-etanol karışım çözücüsü ve indikatör olarakta gerekli miktarda fenolftalein tartılıp etanol ile hazırlanan fenolftalein çözeltisi reaktifleri kullanılmıştır. Hassas terazi ve otobüret kullanılarak yapılan deneyde numune oda sıcaklığında olup filtre edilmemiştir. Metotta belirtilen miktar kadar biyodizel numunesi erlende tartılmıştır. Daha sonra KOH ile pembe renk elde edilene kadar titre edilmiş nötr olan bir çözücü hazırlanmıştır. Bu çözücüye, fenolftalein çözeltisi eklenmiş olup biyodizel numunesine üzerine nötr çözücü, ölçülerek ilave edilmiştir. Karışım KOH çözeltisi ile hafif çalkalanarak titre edilmiştir. Dönüm noktasında çözeltinin rengi en az 15 saniye boyunca pembe olması gerektiğinden, Şekil 2.20'deki gibi bu renk gözlemlendiğinde analize son verilmiştir. Harcama miktarı not alındıktan sonra metotta belirtilen hesaplama yapılmıştır.



Şekil 2.20 Asit sayısı tayini titrasyon sonrası

2.2.4 Sabun Tayini

Sabun tayinin yapılabilmesi için TS 5038 [147] deney metoduna göre işlem yapılmıştır. İşleme başlamadan önce deney metodunda belirtilen oran ve miktarlara göre damıtılmış aseton, su ile indikatörlü aseton çözeltisi, alkolle hazırlanmış bromfenol mavisi çözeltisi ve hidroklorik asit (HCl) çözeltisi hazırlanmış ve deneye başlanmıştır. Bir miktar biyodizel numunesi alınarak önceden indikatörlü aseton çözeltisi ile yıkanmış ve kurutulmuş erlen içerisinde tartılmıştır. Su eklendikten sonra su banyosu ısıtılıp hızlı bir şekilde çalkalanmıştır. Aseton çözeltisi de eklenerek bir önceki işlem uygulanmaktadır. Faz oluşuncaya kadar bekletilmiş olup üst faz incelenmiştir.

Biyodizel numunesi içerisinde sabun barındırıyorsa oluşan fazın üst kısmı mavi ya da yeşil renk olmalıdır, fakat renk değişmediğinden Şekil 2.21’de görüldüğü gibi sabunlaşma görülmemiştir. Tekrarlanan bu deneyde renk değişmesi olsaydı; sabun tayini için sarı renk oluşana kadar metotta belirtilen oranda HCl katıldıktan sonra ısıtılıp çalkalama işlemi yapıldığında üst faz sarı renkte sabit kalana kadar devam edilirdi. Daha sonra bu harcama kaydedilerek deney metotundaki formülüne göre hesaplama yapılması gerekirdi.



Şekil 2.21 Sabun tayini deney sonu

2.2.5 Su Tayini

Su miktarının belirlenmesi için TS 6147 EN ISO 12937 [148] deney metoduna göre tayin işlemi yapılmıştır. Kaynama sıcaklığı 390°C’den düşük olan yakıtlardaki, suyun miktarını öğrenmek için bu metot kullanılmakta olup su tayini Karl-Fischer kalorimetrik titrasyon metodu ile yapılmıştır. Bu metotta kütlece yüzdesi 0,003 - 0,100 aralığında olan suyun tayini yapılan Şekil 2.22’de gösterilen Kem Kyoto Electronics marka MKC-501 model cihaz kullanılmıştır. Deneyin ilk aşamasında biyodizel numunesi hızlıca çalkalanmıştır. Çalkalama sonucu oluşan kabarcıklar kaybolduktan sonra gözle muayene edilmiştir. Işığa karşı tutulup puslanma var mı kontrol edilmiştir. Berrak ve temiz olan numune işleme alınmıştır. Kullanılan cihaz çalıştırılmış ve hazır olması beklenmiştir. Cihaz hazır olunca hassas terazide ölçülen 1 ml’lik numune temiz bir şırıngayla çekilip, cihaza aktarılmıştır. Boş şırınganın tartımı da alınıp, analiz sonunda numunenin ilk tartım, son tartım değeri girilmiştir. Sonuç ppm cinsinden cihaz ekranında belirtilmiş ve kaydedilmiştir.

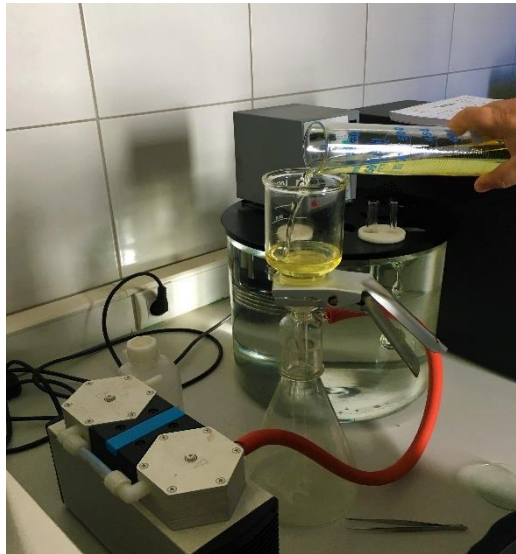


Şekil 2.22 Su tayini için Karl Firscher cihazı

2.2.6 Kirlilik Tayini

Yakıtın kirli olması yakıt filtresinin zamanla tıkanmasına neden olacağından, standarda uygunluğu için TS EN 12662 [149] deney metodu uygulanmıştır. Yapılan bu deney işleminde mikroalg yağ asidi metil esterlerinde kirlilik olarak adlandırılmış çözülmemiş maddelerin oranı belirlenmiştir. 40°C sıcaklık, 6-30 mg/kg ölçüm sınırı içerisinde ve vizkositesi 5 mm²/s'yi geçmeyen yakıtlar için bu deney metodu uygulanmaktadır.

Şekil 2.23'de gösterilen deney düzeneğinde etüv, hassas terazi, vakum düzeneği, nuçe erleni, 50 mm çapında, 0.7 µm gözenekli glassfibre, filtre kağıdı ve reaktif olarak %99 saflıkta 2- propanol ve %99 saflıkta heptan kullanılmıştır.



Şekil 2.23 Kirlilik tayini deney düzeneği

İlk olarak tüm cam malzemeler saf su ve 2-propanol ile temizlenip kurutulduktan sonra yaklaşık deney metotunda belirtilen ölçü kadar biyodizel numunesi alınmıştır. Membran süzgeç kullanılmadan önce cam üzerinde yaklaşık 112°C’de 45-50 dakika boyunca Şekil 2.24’de gösterilen Nukleon marka etüvde kurutulmaya bırakılmıştır.



Şekil 2.24 Kirlilik tayininde kullanılan etüv

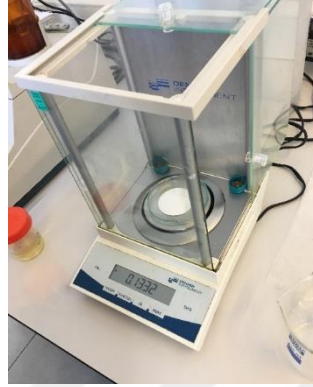
Etüvde kurutulduktan sonra Şekil 2.25’deki desikatörde 45 dakika süresince bekletilmiştir. Cam ve membran süzgeç tartılarak ilk kütle değeri yazılmıştır. Daha sonra süzgece heptan gezdirilmiştir. İlk tartımı yapılan numunede daha sonra 30 dakika boyunca 41°C’ye kadar ısıtılmıştır. Yaklaşık olarak 3 kPa basınçta düzenekteki süzgeçten süzölmüştür.



Şekil 2.25 Kirlilik tayininde kullanılan desikatör

Bütün kirleticileri süzgece aktarabilmek için beher, huni içi ve süzgeç heptan ile iyice yıkandıktan sonra vakumla kurutulmuştur. Vakumlama işleminden sonra membran süzgeç, düzenekten çıkartılmış ve cam üstüne konulmuştur. 112°C de 45-50 dakika süresince etüvde kurutulmuştur. Bu işlem tamamlandıktan sonra desikatörde aynı süre boyunca soğutulmuştur.

Soğutma işlemi de tamamlandıktan sonra süzgeç ve camın ikinci kütlesi Şekil 2.26’da gösterildiği gibi tartılmıştır. Filtrenin son tartımı ilk tartımı ile çıkarılarak, deney metodundaki hesap uygulanarak kirlilik miktarı belirlenmiştir.



Şekil 2.26 Kirlilik tayini için numune tartımı

2.2.7 Parlama Noktası Tayini

Standarda uygunluğunun ölçülmesi için YAME’nin parlama noktası tayini hızlı denge kapalı kap metodu TS EN ISO 3679 [150] deney metoduna göre yapılmıştır. Şekil 2.27’de gösterilen Seta Flash marka series 3 model cihaz kullanılmıştır. 2 ml biyodizel numunesi, bölümün tabanına aktarılmıştır. Belirli bir süre beklendikten sonra gaz kontrol vanası açılmış ve alevler yakılmıştır. Alev büyüklüğü talimata göre ayarlanmıştır. Biyodizel numunesi belirli bir sıcaklığa geldikten sonra parlama olup olmadığı kontrol edilmiştir. Deneyler parlama gözleninceye kadar 5°C’lik sıcaklık artışlarıyla tekrarlanmıştır. Sürgü çekilip parlama olup olmadığı kontrol edilmiştir. Parlama noktasını geçmemek için 1°C’lik sıcaklık artışlarla deney tekrarlanmış, parlama gerçekleşmiş ve cihaz parlama uyarısını verdiğinde ise parlama noktası tayini sonlandırılmıştır.



Şekil 2.27 Parlama noktasının bulunması

2.2.8 Soğuk Filtre Tıkanma Noktasının Tayini

Soğuk filtre tıkanma noktası tayininin doğru bir şekilde yapılması için TS EN 116 [151] deney metoduna uygun, Şekil 2.28’de gösterilen TANAKA marka AFP- 102 modeli otomatik SFTN cihazı kullanılmıştır. Bu işlemde deney kristallerin oluşarak akışı yavaşlatmaya yetecek ya da durduracak hale gelinceye kadar devam eder. Bir dakika süre içerisindeki pipet dolmuyor ise ya da pipetteki biyodizelin 1°C daha soğutulduktan sonra deney kabına tamamen dönmüyorsa; pipete alımın başladığı en son sıcaklık SFTN olarak kaydedilir. Bu çalışma teminine göre, SFTN cihaz hazır hale getirilmiş ve soğutma banyosunun -20°C’da olup olmadığı kontrol edilmiştir. Filtre edilmiş, oda sıcaklığındaki biyodizel, 45 ml’lik işaret çizgisine kadar deney kabına aktarılıp cihaz deneye başlamıştır. Cihazın işlem sonunda belirlediği sıcaklık SFTN olarak kaydedilmiştir.



Şekil 2.28 SFTN'nin bulunması

2.2.9 Akma - Bulutlanma Noktası Tayini

Biyodizelin en düşük sıcaklıkta akma noktasının tayini için TS 1233 ISO 3016 [152] deney metodu, bulutlanmaya başladığı sıcaklık noktası tayini için TS 2834 EN 23015 [153] deney metodu kullanılmaktadır. Şekil 2.29’da gösterilen -45°C kadar soğutabilen LABO marka cihazlar kullanılmıştır. İlk olarak biyodizel 48°C ısıtılmış ve soğumaya bırakılmıştır. Yaklaşık 50 ml’lik biyodizel numunesi kendi şişesinde iyice çalkalanıp, süzölmüştür. Daha sonra test tüpüne doldurulup, test tüpü cihaza yerleştirilmiş, gerekli önlemler alındıktan sonra hazır halde olan cihazda sırasıyla işlemler başlatılmıştır. Numunenin deney başlangıç sıcaklığı 16°C olup, belli bir zaman sonra bulutlanma başladığı sıcaklık kaydedilmiştir.



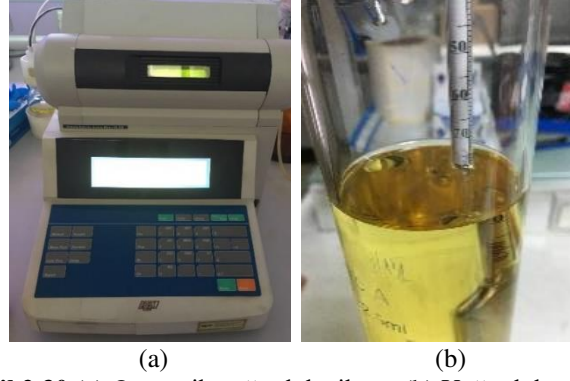
Şekil 2.29 Akma - Bulutlanma noktası tayin cihazı

2.2.10 Yoğunluk Tayini

Üretilen biyodizelin 15°C'deki yoğunluğu öğrenmek ve TS EN 14214 standardına uygunluğunun tespiti için TS EN ISO 12185 [154] deney metodu uygulanmıştır. Kem marka DA505 otomatik yoğunluk cihazından direkt sonuçlar alınmıştır. Bu cihaz Şekil 2.30 (a)'da gösterilmiştir.

Ek olarak TS 1013 EN ISO 3675 [155] deney yöntemi de uygulanmıştır. Bu deneyde mezür, hidrometre, termometre ve silindir kabı kullanılmıştır. 20°C'de olan deney numunesinin, analiz numunesini mümkün mertebe temsil etmesi gerektiğinden biyodizel numunesi silindire aktarılıp her yüzeyde aynı sıcaklığı ve yoğunluğu sağlamak için karıştırma çubuğu ile düşey ve dairesel hareketlerle karıştırılmıştır. İlk önce biyodizel numunesi deney sıcaklığına getirilmiştir. Biyodizel numunesini hava kabarcığı oluşturmayacak biçimde sıçratmadan, temiz ve kararlı sıcaklıktaki hidrometre, silindirine daldırılmıştır. Hidrometre dengeye geldiğinde serbest bırakılmıştır.

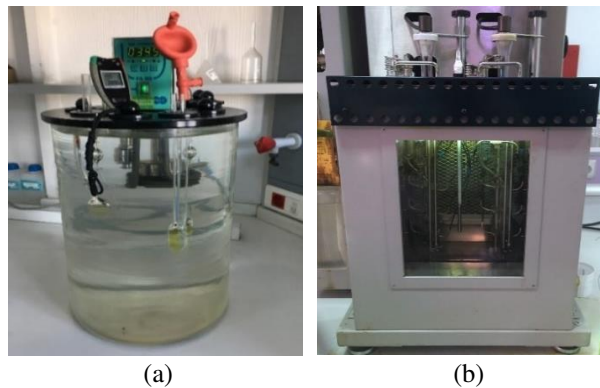
Ölçümlerde hidrometre gövdesinin, serbest halde yüzerken numune seviyesinin üstünde kalan kısmının ıslanmamasına dikkat edilmiştir. Hidrometre, denge durumundan yaklaşık iki ince çizgi uzunluğu kadar üretilen biyodizel numunesine bastırılıp serbest bırakılmıştır. Şekil 2.30 (b)'de gösterilen serbest kalan hidrometredeki biyodizel numunesinin bitişindeki değer okunarak yoğunluk ölçülmüştür. Deney metodunda belirtilen 15°C'deki yoğunluğun belirlenmesi için düzeltme faktörü ve formülü kullanılmış ISO 91-1 [156] çizelgesindeki 53/B tablosuna göre yoğunluk bulunmuştur.



Şekil 2.30 (a) Otomatik yoğunluk cihazı, (b) Yoğunluk tayini

2.2.11 Viskozite Tayini

Kinematik viskozitenin tayini için standarda uygun TS 1451 EN ISO 3104 deney metoduyla testler yapılmıştır [157]. Bu testler için Şekil 2.31 (a)'da gösterilen Falc marka FA90 model viskozite cihazı ve Şekil 2.31 (b)'de gösterilen Tanaka markasının AKV-202 modelli otomatik kinematik viskozite tayini yapan cihaz kullanılmıştır. Termometrelerin doğru kalibrasyonu için sertifikalarda belirtilmiş usul dikkate alınarak viskozimetre banyosu standartta belirtilen sıcaklığa ayarlanıp sıcaklık sabit tutulmuştur. Viskozimetre, kullanma talimatlarında belirtildiği miktarda biyodizel numunesi doldurulmuş ve banyoya yerleştirilmiştir. Numune, banyo içerisinde deney sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiştir. Numunenin hacmi, üst işaret çizgisini geçen yüksekliğe ayarlandıktan sonra işlemin tamamlanması için numune yerçekimi etkisiyle serbest olarak akarken ilk zaman çizgisinden ikinci çizgiye varış anındaki süre kronometre ile ölçülmüştür ve kinematik viskozite deney metodunda belirtilen formüle göre hesaplanmıştır. Viskozitenin doğruluğu için deney ve hesaplamalar tekrarlanıp aritmetik ortalaması alınmıştır. Ek olarak otomatik kinematik viskozite cihazından da direkt sonuçlar alınarak kaydedilmiştir.



Şekil 2.31 (a) Viskozite tayin cihazı, (b) Otomatik viskozite tayin cihazı

2.2.12 Isıl Değer

Deneyde kullanılan yakıtların TS EN 14213 [158] standardına göre ısı değerini öğrenmek için TS 1740 [159] gibi uygun deney metotları kullanılmaktadır. Şekil 2.32’de gösterilen IKA C200 marka adyabatik kalorimetre cihazı, Julius Peters 11350 marka cihaz ve çeşitli kalorimetre cihazları da kullanılarak deney metodlarına göre ölçümler yapılmıştır. Ölçülen değerler cal/g olarak okunmuş olup Mj/kg olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.32 Isıl değer tayin cihazları

2.2.13 Bakır Şerit Korozyonu

Bakır şerit korozyonu tayininin standarda göre uygun bir şekilde yapılması için deney metodu olan TS 2741 EN ISO 2160 [160] yöntemi kullanılmaktadır. Şekil 2.33’de Falc marka cihazın bakır şerit korozyon test düzeneği gösterilmiştir. Gerekli işlemlerin yapılması için bakır şerit parlatılmış belirli bir hacimdeki biyodizel numunesine daldırılmıştır.



Şekil 2.33 Bakır şerit korozyonu cihazı

Biyodizel numunesi metotta belirtilen süre ve sıcaklıkta bekletilmiştir. Yeterli ısıtma süresinin sonunda bakır şerit hızlı bir şekilde çıkartılıp kurulanmıştır. Şekil 2.34'deki referans korozyon şeritleri ve deney şeridi ışığın yaklaşık 45° açıyla yansması sağlanacak şekilde tutularak karşılaştırılmıştır. Renk değişikliği veya korozyon belirtileri bakımından kontrol edilmiştir. Deney sonunda biyodizel numunesinin korozyon yapma özelliği, karşılık gelen referans korozyon şeridinin numarası ve harfi kaydedilmiştir.



Şekil 2.34 TS 2741 EN ISO 2160 referans korozyon şeritlerinin derecelendirilmesi

3.3 MOTOR DENEYLERİ

Motor deneyleri Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü Otomotiv Laboratuvarı'nda bulunan motor test düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. TS1231 [161] standardına uygun olabilecek şekilde deneyler yapılmıştır. Lombardini marka 4 LD 640 model dizel motoru ile bilgisayar kontrollü elektrikli dinamometre kullanılarak motor çalıştırılıp, motor testleri için yeterli çalışma sıcaklık aralığına ulaşıncaya kadar deney motoru çalıştırılmaya devam edilmiştir. Deney motoru testlere hazır hale geldiğinde deney yakıtlarının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemek için motor maksimum devirde tam yükte çalıştırılıp deneylere başlanılmıştır. Her bir deney 3 kere tekrarlanmış olup deneyler tam yükte; 1000, 1400, 1800, 2200, 2600 ve 3000 d/dk motor hızı aralığında $\pm\%1$ belirsizliğine yakın, grafiksel kıyaslama üzerinde belirgin etkisi olmayan hata payına göre gerçekleştirilmiştir. Tekrarlı deneylerden elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Motor performans ve egzoz emisyon testleri tamamlandığında motorun torku, gücü, özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ve egzoz gazı sıcaklığı (EGS) hesaplamalarla kontrol edilip ölçümler alınmıştır. Egzoz emisyonları deneylerinde ise CO₂, CO, HC, O₂ ve is yoğunluğu ve ışık absorban katsayısı (IAK) ölçülmüştür.

2.3.1 Deneyde Kullanılan Yakıtlar

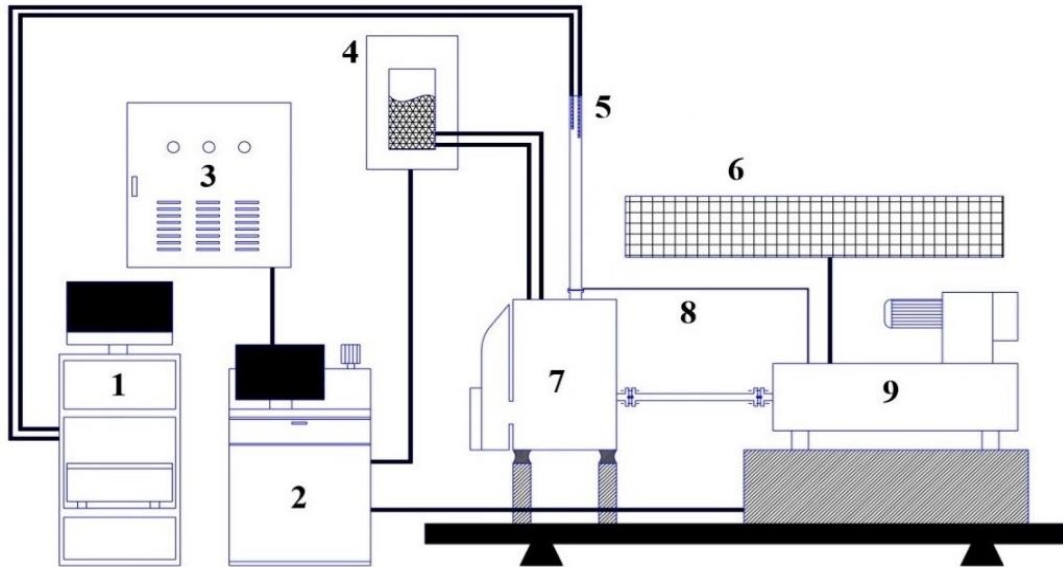
Bu çalışmada mikroalg yağından üretilen saf biyodizel (M100) ve bu biyodizele hacimsel olarak %5, %10 ve %15 oranlarında Sigma marka %99.8 saflıkta etanol ilave edilmiştir. Karışımlar sırasıyla ME5 (%95 biyodizel + %5 etil alkol), ME10 (%90 biyodizel + %10 etil alkol) ME15 (%85 biyodizel + %15 etil alkol) olarak adlandırılmış ve deney yakıtları hazırlanmıştır. Bu yakıtların motor performansı ve egzoz gazı emisyonlarının incelenmesi için deneyler yapılmıştır. Deney yakıtları bir akaryakıt istasyonundan temin edilen dizel yakıtı ile kıyaslanmıştır. Deneyde kullanılan yakıtların karışım oranları Tablo 2.4’de belirtilmiştir.

Tablo 2.4. Deney yakıtlarının karışım oranları

Yakıtlar	Mikroalg Biyodizel Oranı	Etanol Oranı	Dizel Yakıt Oranı
Dizel	-	-	%100
M100	%100	-	-
ME5	%95	%5	-
ME10	%90	%10	-
ME15	%85	%15	-

2.3.2 Motor Deney Düzeneği

Motor performans ve egzoz gazı emisyon ölçüm testleri için gerekli ekipmanların şematik görünümü Şekil 2.35’de verilen motor deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.35 Deney düzeneği şematik görünüm

Şematik görünümde: 1-Emisyon test cihazı, 2-Ölçüm kayıt ve test kontrol ünitesi, 3-Güç ünitesi, 4-Yakıt deposu, 5-Egzoz emisyon ölçüm problemleri, 6-Rezistans ünitesi, 7-Dizel motor, 8-Egzoz Gazı Sıcaklığı Ölçer ve 9-Dinamometre'dir. Şekil 2.36'da resmi görülen deney düzeneği kullanılarak testler yapılmıştır.



Şekil 2.36 Deney düzeneği

2.3.2.1 Deneylerde Kullanılan Motorun Teknik Özellikleri

Deneylerde tek silindirli, maksimum 13 beygir (BG) gücünde, direkt enjeksiyonlu ve hava soğutmalı Lombardini marka 4 LD 640 model dizel motor kullanılmıştır. Deney motorunun özellikleri Tablo 2.5'te verilmiştir. Deney motoru, minimum sarsıntıda çalışması için deney platformuna uygun motor takozu desteğiyle monte edilmiştir.

Tablo 2.5. Deney motorunun teknik özellikleri [162].

Özellik	Birim	Değer
Marka ve Model	Antor Lombardini	4 LD 640
Soğutma sistemi	-	Hava Soğutmalı
Püskürtme sistemi	-	Direkt
Silindir sayısı	-	1
Silindir hacmi	cm ³	638
Çap x Strok	mm	95 x 90
Sıkıştırma oranı	-	17:1
Maksimum tork (1800 d/dk)	Kg.m	3,5
Maksimum güç	BG	13
Maksimum motor devri	d/dk	3000

2.3.2.2. Motor Test Cihazı (Dinamometre)

Motor test düzeneğinde maksimum devri 5000 d/dk, maksimum gücü 26 kilowatt (kW) ve torku 83Nm olan T-T Elektrik marka bir elektrikli dinanometre kullanılarak testler yapılmıştır. Dinanometre rotor milinden motor volanına kardan mili kullanılarak monte edilmiştir. Yüksek mukavemete dayalı dinanometre sistemi devir sayısı ve döndürme momentini ölçerek, anlık olarak bilgisayara aktarır motor momenti ve motor gücü hesaplanmaktadır [163,164]. Şekil 2.37’de deney motoru ve dinanometre gösterilmiştir.



Şekil 2.37 Deney motoru ve dinanometre

2.3.2.3. Yakıt Deposu ve Ölçüm Düzeneği

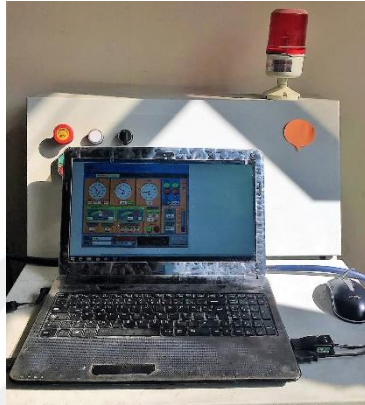
Motor testlerinde kullanılan yakıtların, sarfiyatlarının ölçülmesi için Şekil 2.38’de gösterilen büret yakıt deposu olarak kullanılmıştır. Yakıt deposundan dizel motorunun yakıt pompasına yakıt aktarılmış olup aynı zamanda tabanında bulunan yük hücresi, anlık olarak yakıt tüketim verilerinin bilgisayara iletilmesini sağlamıştır.



Şekil 2.38 Yakıt deposu ve ölçüm düzeneği

2.3.2.4. Bilgisayarlı Kontrol Paneli

Yapılan deneylerde sensörler aracılığı ile motor momenti, motor gücü, egzoz gazı sıcaklığı, yakıt sarfıyatı ve özgül yakıt tüketimi hesaplanarak elde edilen veriler kontrol panelinden bilgisayara port bağlantısı ile çeşitli motor devirlerinde NF motor test sistemi programında anlık olarak kaydedilmiştir. Şekil 2.39’da bilgisayarlı kontrol paneli gösterilmiştir.



Şekil 2.39 Bilgisayarlı kontrol paneli

2.3.2.5. Egzoz Gazı Emisyon Cihazı ve Ölçümü

Deneylerde egzoz gazları emisyon değerlerinin ölçülmesi için TS ISO 3930 [165] standardında Mobydic marka 5000 model egzoz emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Egzoz emisyon cihazını teknik özellikleri Tablo 2.6’da belirtilmiştir. Deney motorunun egzoz çıkışı ile egzoz tahliye bağlantı arasında egzoz gazı sıcaklığının ölçülebilmesi için ısılıçift bağlanmıştır. Egzoz gazlarının açık alanda tahliye olabilmesi için egzoz gazı tahliye hattı kurulmuştur.

Tablo 2.6. Egzoz gazı emisyon cihazının teknik özellikleri [166].

Emisyonlar	Birim	Ölçüm Değerleri
NO _x	ppm	0 – 5000
O ₂	% Vol	0 – 21
HC	ppm	0 – 20000
CO	% Vol	0 – 10
CO ₂	% Vol	0 – 20
Lambda	-	0 – 5
Partikül	mg/m ³	0 – 1000
N	%	0 – 100
k	1/m	0 – 20

2.3.3 Motor Performans Parametrelerinin Hesaplamansı

Motor deneylerinde ortaya çıkan performansın değerlendirilmesi için motor tarafından verilen döndürme momenti (motor torku) ve motor milinden alınan efektif güç (motor gücü) dinamometre düzeneği yardımıyla ölçülmüştür. Kontrol panelinde motor gücü beygir birim değerinde kaydedilip hesaplandığı için; kW yerine BG birimi ve değeri kullanılmıştır. Yakıt deposunun tabanında bulunan yük hücresi yardımıyla yakıt tüketim verilerinden motorun tükettiği yakıt miktarına göre özgül yakıt tüketimi ölçülmüştür. Bilgisayarlı kontrol paneline aktarılan değerlere göre ölçümler değerlendirilmiş olup motorun karakteristik yapısının avantajlı bir düzende çalışmasını incelemek için motor performansının hesaplanmasında elde edilen gerekli parametreler kullanılarak verilen ölçümlere göre de hesaplamalar yapılmaktadır.

2.3.3.1 Motor Gücü ve Momentinin Hesaplamansı

Bir motorun döndürme momenti ile iş yapabilme yeteneği belirlenebilmektedir [76]. Motor momentinin hesaplanması için sırasıyla aşağıda verilen denklemlere göre hesaplanmaktadır.

$$F = m \times g \quad (3.1)$$

F : Fren kuvveti (N - kgm/s²)

m : Load Cell'den okunan kuvvet (kg)

g : Yerçekimi ivmesi (m/s²)

$$Md = F \times L \quad (3.2)$$

Md : Döndürme momenti (Nm)

F : Fren kuvveti (N - kgm/s²)

L : Moment kolu uzunluğu (m)

$$P_e = \frac{Md \times n}{9549} \quad (3.3)$$

P_e : Efektif motor gücü (kW)

Md : Döndürme momenti (Nm)

n : Motor hızı (1/dk)

2.3.3.2 Özgül Yakıt Tüketiminin Hesaplamansı

Motorun çalışma anında tükettiği birim değerindeki yakıt miktarının oluşan motor gücüne oranının g/kW.h biriminden değeri özgül yakıt tüketimini vermektedir. Özgül yakıt tüketimi aşağıda verilen formüle göre hesaplanmaktadır.

$$be = \frac{3600 \times B}{P_e} \quad (3.4)$$

be : Özgül yakıt tüketimi (g/kW.h)

B : Yakıt tüketimi (g/s)

P_e : Efektif motor gücü (kW)

Bir dizel motorun maksimum tork, maksimum güç ve minimum özgül yakıt tüketiminin olduğu durumlarda motorun en avantajlı çalışma koşulu gerçekleşmiş olmaktadır. Motorun yaptığı işin özellikleri ve motorun kullanım amacına göre bu çalışma durumları belirlenir. Motor deneylerinde ortaya çıkan performansın değerlendirilmesi için motorun momenti, gücü ve yakıt tüketim değerleri bilinmelidir [76,167].

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde tez çalışmasının ilk aşamasında transesterifikasyon yöntemi ile elde edilen biyodizelin yakıt özelliklerinden; ester içeriği, yoğunluğu, viskozitesi, toplam kirliliği, ısıl değeri, parlama noktası, asit sayısı, iyot sayısı, su içeriği, akma - bulutlanma noktası, soğuk filtre tıkanma noktası, sabun tayini ve bakır şerit korozyonu incelenerek elde edilen bulgular açıklanmıştır.

Tez çalışmasının ikinci aşamasında elde edilen biyodizel ile ME5, ME10 ve ME15 deney yakıtlarının motor performansı (tork, güç ve özgül yakıt tüketimi) tek silindirli motor deney düzeneğinde test edilip dizel yakıtla kıyaslanmıştır. Aynı zamanda deney yakıtlarının egzoz gazı emisyonlarından karbonmonoksit, karbondioksit, hidrokarbon, oksijen, is yoğunluğu ve ışık absorban katsayısı ölçülerek değerlendirilmiştir. Ek olarak egzoz gazı sıcaklığında ölçülerek bulgulara kaydedilmiştir.

3.1 Deneyde Kullanılan Yakıtların Özellikleri

Deneylerde bir akaryakıt istasyonundan temin edilen dizel yakıtı ile kıyaslama yapılması için mikroalg biyodizeli ve %99.8 saflıkta etanol ile karışımları kullanılmıştır. Bu yakıtların özellikleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Dizel, etanol ve mikroalg biyodizeli yakıtının özellikleri [20,102,168-170].

Özellikler	Dizel	Etanol	Mikroalg Biyodizeli
Saflık (% v/v)	-	>99.8	98.9
Setan Sayısı	min 51	11	57.3
Isıl Değer (Mj/kg)	42.7	29.7	40.9
Yoğunluk 15°C’de (kg/m ³)	820-845	789	880
Viskozite 40°C’de (mm ² /s)	2 - 4.5 mm ² /s	1.13 mm ² /s	4.35 mm ² /s
Parlama Noktası (°C)	min 55	14	182

3.1.1 Mikroalg Biyodizel Yakıtının Özellikleri

Transesterifikasyon işlemi sonrasında elde edilen biyodizelin TS EN 14214 standardına uygunluğunun tespiti için gerekli deney metotlarına göre tayinler yapılmıştır. Biyodizel yakıtının ester içeriği, yoğunluğu, viskozitesi, toplam kirliliği, parlama noktası, asit sayısı, iyot sayısı, su içeriği, soğuk filtre tıkanma noktası, sabun tayini, bakır şerit korozyonu ve TS EN 14213 standardında yer alan akma - bulutlanma noktası ve ısıl değerinin analiz sonuçları yer almaktadır. Mikroalg yağ asidi metil esterlerinin (biyodizel) özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Mikroalg biyodizelinin özellikleri

Özellik	Kullanılan Deney Yöntemi	Sınır Değerleri (TS EN 14214)		Ölçüm Değeri	Birim
		En az	En çok		
Ester içeriği	TS EN 14103	96.5	-	98.9	% (m/m)
Yoğunluk (15°C)	TS EN ISO 12185	860	900	880	kg/m ³
Viskozite (40°C)	TS 1451 EN ISO 3104	3,5	5	4.35	mm ² /s
Toplam Kirlilik	TS EN 12662	-	24	4.2	mg/kg
Isıl Değer	TS 1740	-	-	40.9	Mj/kg
Parlama noktası	TS EN ISO 3679	101	-	182	°C
Asit sayısı	TS EN 14104	-	0.5	0.21	mg KOH/g
İyot sayısı	TS EN 14111	-	120	103	g. iyot/100 g
Su içeriği	TS 6147 EN ISO 12937	-	500	182.76	mg/kg
Akma Noktası	TS 1233 ISO 3016	-	-	-18	°C
Bulutlanma Noktası	TS 2834 EN 23015	-	-	-11	°C
SFTN	TS EN 116	-	+5(Yaz) -15(Kış)	-16	°C
Sabun Tayini	TS 5038	-	-	0	≈ % (m/m)
Bakır şerit korozyonu	TS 2741 EN ISO 2160	Sınıf 1		1A	Derece

3.1.1.1 YAME – Ester İçeriği

Bu çalışmanın metot kısmında belirtildiği gibi motor testinden önce metil esteri yüksek olan biyodizel numunesi seçilmiş ve pek çok denemeden sonra verimliliği ve uygulanabilirliği fazla olan biyodizel üretilmiştir. Biyodizel yakıtının ester içeriğinin belirlenmesi için TS EN 14103 deney yöntemi uygulanmıştır. Standarda göre biyodizelin, ester sayısı en az %96.5 (m/m) olması istenmektedir. Transesterifikasyon işleminde sodyum metilat katalizörü kullanılarak üretilen mikroalg biyodizelinin ester içeriği sonuçlarına göre minimum %96.9 ve iyileştirilmiş işlemler sonunda maksimum %98.9'luk ester içeriğine sahiptir. Bu sonuçlara göre biyodizel yakıtı standartın üstünde değer taşımaktadır.

3.1.1.2. İyot Sayısı

TS EN 14111 deney yöntemi ile yapılan iyot sayısı tayininde standarda göre st sınır değer 120 g. iyot/100g'dır. lm sonucunda biyodizelde iyot sayısı 103 g. iyot/100g olup, TS EN 14214 standardında belirtilen st sınırın altında bir ölçüm değerine sahiptir.

3.1.1.3 Asit sayısı

Biyodizelin asit sayısı tayininde TS EN 14104 deney yöntemi uygulanmıştır. Yakıttaki asidin fazlalığı zamanla motor parçalarına zarar vereceğinden standarda göre asit sayısı en çok 0.50 mg KOH/g sınır değerinin altında kalması gerekmektedir. Biyodizelin asit sayısı 0.21 mg KOH/g olarak ölçülmüş olup, standarda göre uygunluk göstermiştir.

3.1.1.4 Su Miktarı

TS 6147 EN ISO 12937 deney yöntemine göre yapılan biyodizeldeki su miktarı tayini yapılmıştır. Su miktarı yanma sıcaklığına ve motor parçalarına olumsuz etki edeceğinden dolayı TS EN 14214 standardında su miktarının en çok 500 mg/kg sınır değerinde olması gerektiği belirlenmiştir. Kullanılmaya hazır biyodizelin su miktarı 182.76 mg/kg olarak llmştir. Ölçülen bu değer standart sınırın altında kaldığından uygunluk göstermektedir.

3.1.1.5 Toplam Kirlilik

Biyodizelin toplam kirliliğın ölçümü TS EN 12662 deney yöntemine göre yapılmış olup standarda göre toplam kirlilik en çok 24 mg/kg olması gerekmektedir. Yapılan deney sonucunda toplam kirlilik 4.2 mg/kg olarak tespit edilmiş olup, standartta belirtilen üst sınırın çok altında bir sonuç vermiştir.

3.1.1.6 Parlama Noktası

Parlama noktası, TS EN ISO 3679 deney yöntemine göre belirlenmiştir. Standarda göre biyodizel yakıtının minimum 101°C sıcaklıkta parlaması istenmektedir. Üretilen biyodizelinin parlama noktası 182°C’de ölçülmüş ve standarda uygunluk göstermiştir.

3.1.1.7 Soğuk Filtre Tıkanma Noktası

Yaz ve kış mevsimleri için farklı değerleri referans alan SFTN’nın öğrenilebilmesi için TS EN 116 deney yöntemi kullanılmıştır. Biyodizel, standarda göre yazın en çok +5°C, kışın ise -15°C olması istenmektedir. Biyodizelin SFTN -16°C olarak ölçülmüştür. Bu sonuca göre üretilen bu biyodizelin mevsim şartlarına uygun olduğunu göstermiştir.

3.1.1.8 Akma - Bulutlanma Noktası

Kademeli olarak soğutulan biyodizel numunesinin kontrol muayenesi sonucunda biyodizelin bulutlanmaya başladığı sıcaklık yaklaşık -11°C’de, son akmanın olduğu nokta ise -18°C’de gözlenmiştir.

3.1.1.9 Yoğunluk

TS EN ISO 12185 deney yöntemine göre yapılan yoğunluk tayininde standarda göre yoğunluğun 15°C’de 860 - 900 kg/m³ aralığında olması gerekmektedir. Üretilen mikroalg biyodizelinin yoğunluğu 880 kg/m³ olan standartta uygun olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda yoğunluk tayini TS 1013 EN ISO 3675 metoduna göre de ölçülmüştür.

Dizel motorda denenmesi için mikroalg biyodizeline %5, %10 ve %15 oranlarında %99.8 saflıkta 0.789 kg/m³ yoğunlukta etanol karıştırılmış M100, ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarının yoğunlukları Tablo 3.3’de listelenmiştir. Sırasıyla 877.1 kg/m³, 874.2 kg/m³ ve 871.4 kg/m³ yoğunluklar ölçülmüştür. Biyodizele katılan etanol oranı artıkça yoğunluğu azalmasına rağmen %15’lik etanol karışımı standart sınır içerisinde kalmıştır.

Tablo 3.3. Deney yakıtı karışımlarının yoğunlukları

Deney Yakıtları	TS EN 14214 Sınır Değeri	Yoğunluk (kg/m ³)
M100	860-900	880
ME5		877.1
ME10		874.2
ME15		871.4

3.1.1.10 Viskozite

TS 1451 EN ISO 3104 deney yöntemine göre yapılan viskozite tayininde, standarda göre viskozite 40°C sıcaklıkta 3.5 - 5 mm²/s aralığında olması beklenmektedir. 4.35 mm²/s viskozitesi ölçülen mikroalg biyodizeli standartta uygun olduğu belirlenmiştir.

Dizel motorda denenmesi için üretilen mikroalg biyodizeline %5, %10 ve %15 oranlarında %99.8 saflıkta olan etanol karıştırılıp ölçümler alınmıştır. Tablo 3.4’de listelenen M100, ME5, ME10 ve ME15 deney yakıtlarının viskozitesi sırasıyla 4.024 mm²/s, 3.698 mm²/s ve 3.378 mm²/s olarak ölçülmüştür. Biyodizele katılan etanol oranı artıkça viskozitesi azalmış olup %15’lik etanol karışımı standart sınırın altında kalmıştır.

Tablo 3.4. Deney yakıtı karışımlarının viskoziteleri

Deney Yakıtları	TS EN 14214 Sınır Değeri	Viskozite (mm ² /s)
M100	3,5 – 5	4.35
ME5		4.024
ME10		3.698
ME15		3.378

3.1.1.11 Isıl Değer

Isıl değer, yanma sonucu açığa çıkan ısıyı belirtmektedir. Biyodizel yakıtının bir önceki standartı olan TS EN 14213 standardına göre ısı değerinin en az 35 Mj/kg olması istenmektedir. Yapılan ölçümler sonunca deney yakıtları olan M100, ME5, ME10 ve ME15 deney yakıtı karışımlarının yaklaşık ısı değerleri Tablo 3.5’de listelenmiştir. Sırasıyla deney yakıtları, 40.9 Mj/kg, 40.7 Mj/kg, 40.5 Mj/kg ve 40.2 Mj/kg ısı değerlerinde ölçülmüştür. Bu duruma göre biyodizelde etanol miktarı artıkça ısı değeri azalmıştır.

Tablo 3.5. Deney yakıtı karışımlarının ısı değerleri

Deney Yakıtları	TS EN 14213 Sınır Değeri	Isıl Değer (Mj/kg)
M100	35 (en az)	40.9
ME5		40.7
ME10		40.5
ME15		40.2

3.1.1.12 Bakır Çubuk Korozyonu

Bakır şerit korozyonu testi TS 2741 EN ISO 2160 deney yöntemine göre yapılmaktadır. Biyodizelin koroziv etkisinin ölçülmesi için bu deney yöntemi uygulanmaktadır. Yanma donanım parçalarının korozyona uğramaması için standarda göre üretilen biyodizelin sınıf 1 derecesinde olması istenmektedir. Yapılan analizin ölçüm değeri 1A olup renk gösterge çizelgesi kontrolü sonucunda renkte belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Biyodizel bu standarda da uygunluk göstermiştir.

Ek olarak TS 5038 deney yöntemine göre sabun tayini yapılmış olup sabun gözlenmemiştir. Mikroalglerden yağ elde etme işlemine göre renk ve ton farkı oluşabilmektedir. Heterotrofik mikroalg türü yağı kullanılması nedeniyle yağ; yeşilimsi sarı ve açık sarı renklerinde görülmektedir. Reaksiyonlarda kullanılan katalizör türüne göre elde edilen biyodizelde renk farklılıkları gözlemlenmiştir. NaOH katalizöründe sarı, KOH katalizöründe yeşilimsi sarı ve sodyum metilatlı biyodizel numunelerinde altın sarısına yakın canlı bir renk oluşmuştur.

3.2. Motor Performans ve Egzoz Emisyon Deneyleri Sonuçları

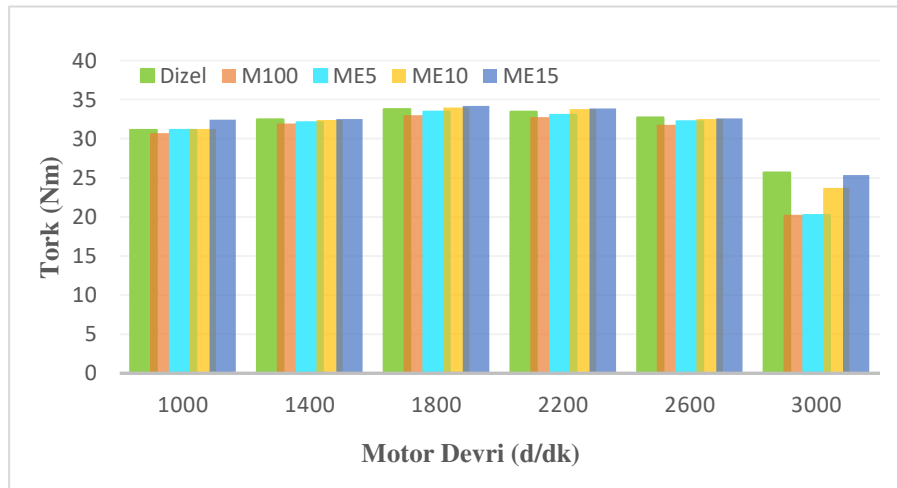
Motor testinde kullanılan yakıtlarda elde edilen değerler grafik haline getirilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen değerler, birbirlerine çok yakın oldukları için çizgi grafiklerin yanında çubuk grafikler de kullanılmıştır.

3.2.1 Motor Torku

Motorun döndürme momenti, motor torku olarak da adlandırılmaktadır. Motor devri arttıkça motor torkunun arttığı ve maksimum motor torku seviyesine ulaştıktan sonraki devirlerde motor torku tekrar azalmaktadır. Motor devrine bağlı olarak elde edilen değerlerin artış ve azalışları Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda kullanılan biyodizel ve biyodizel-etanol yakıt karışımlarının dizel yakıtına kıyasla yakın sonuçlar vermiştir. Her bir motor devrinde ortalama olarak motor torku M100, ME5 ve ME10 yakıtlarında dizel yakıtına kıyasla azalmış olup, ME15 yakıtında artış göstermiştir.

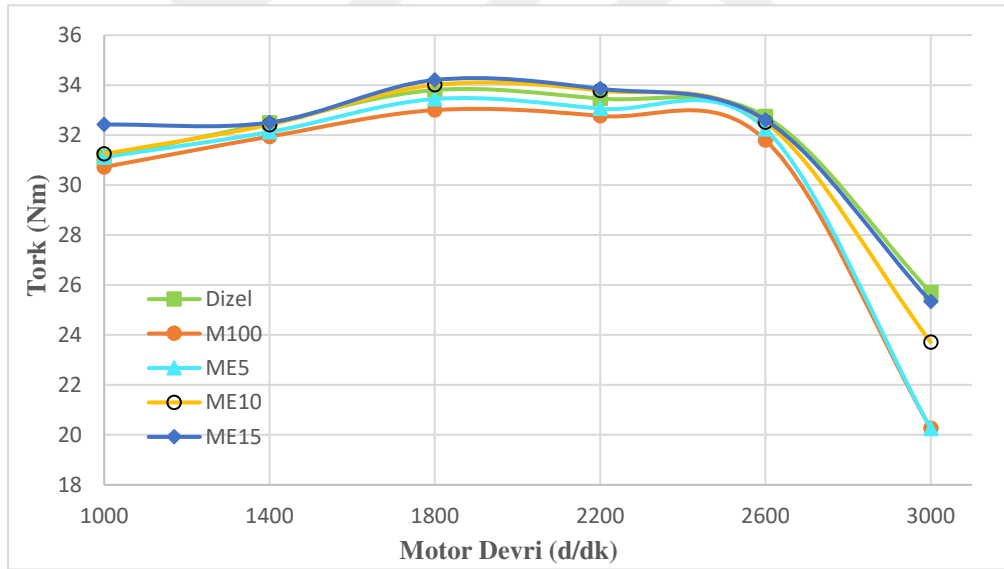
Her bir yakıtta maksimum tork 1800 d/dk’da elde edilmiştir. Bu motor devrinde sırasıyla ME15 yakıtı için tork 34.2 Nm, ME10 yakıtında 34 Nm, ME5 yakıtında 33.4 Nm, Dizel yakıtında 33.8 Nm ve M100 yakıtında ise motor torku 32.9 Nm olarak ölçülmüştür. M100 saf biyodizel yakıtına kıyasla karışımlarda etanol miktarı arttıkça tork değerlerinde artış meydana gelmiştir.



Şekil 3.1 Deney yakıtlarının motor momenti değişimleri

Her motor devirinde ortalama olarak tork değerleri dizel yakıtı kıyasla M100, ME5 ve ME10 yakıtlarında sırasıyla %4.6, %3.7 ve %0.8 oranlarında azalma, ME15 deney yakıtında ise %0.86 oranında bir artış gözlenmiştir. Mikroalg biyodizel ile etanol karışımı yakıtlarda (ME5, ME10 ve ME15) ise M100 yakıtına kıyasla sırasıyla %0.96, %3.9 ve %5.7 oranında artış meydana gelmiştir.

En düşük motor torku 3000 d/dk'da elde edilmiştir. Bu tork değeri dizel yakıtına kıyasla M100 yakıtı göre %0.05 farkla ME5 yakıtında olup %21'lik kayıpla 20.24 Nm ölçülmüştür. Şekil 3.2'de yakıt karışımlarının motor torkuna etkisi verilmiştir. Tork artışlarının nedeni, yakıtın içeriğinde bulunan oksijenin artması ile yanma sırasında oksijen ihtiyacı olmamakta ve iyi bir yanma sağlanması olarak ifade edilebilir. Aynı zamanda karışım içinde etanol miktarı artıkça yoğunluk ve viskozite değeri de azalmakta, buna bağlı olarak iyi bir atomizasyon sağlanmaktadır. Bu durumun sonucunda da iyi bir yanma elde edilmektedir.



Şekil 3.2 Deney yakıtlarının motor momentine etkisi

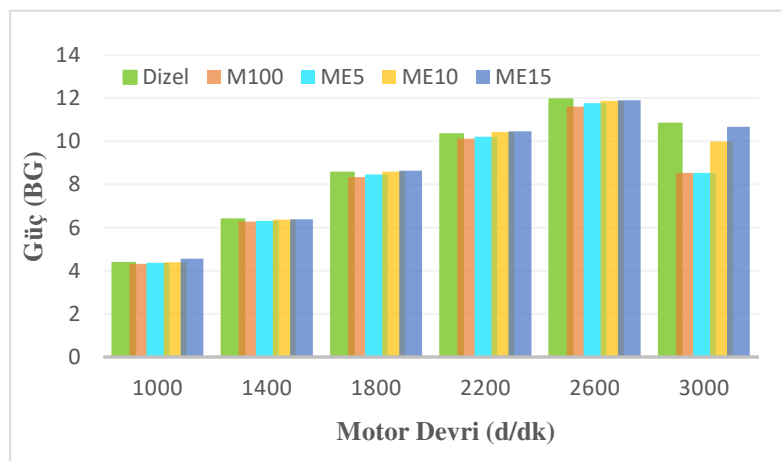
Mikroalg biyodizeline, etanol karıştırıldığında M100 yakıtına göre, motor torkunda artış meydana gelmiştir. Motor torklarındaki bu değişimlerin nedeni, dizel yakıtına kıyasla mikroalg biyodizelinin yoğunluğu ve viskozitesi yüksek, ısı değeri ise daha düşük olduğundan yanma kötüleşmekte ve yanma verimi azalmaktadır. Yanma verimi azaldıkça motor torkunda da azalma meydana gelmektedir. Biyodizele etanol kattıkça viskozitesi azalmakta ve buna bağlı olarak yakıt enjektörden, daha verimli püskürtülerek iyi bir karışım elde edilmektedir [41,42].

Mikroalg biyodizeline etanol ilavesi ile birlikte, oksijen miktarındaki artışın daha iyi bir yanma oluşumuna sebep olduğu ve biyodizelin kayganlığı sayesinde daha düşük mekanik güç kayıpları olduğu düşünülmektedir [169]. Al-lwayzy ve ark. [171] yaptıkları çalışmada mikroalg yağına ve %20 etanol ilavesiyle dizel yakıtına yakın tork değerleri elde ettikleri için bu çalışma ile benzerlik sağlanmıştır.

3.2.2 Motor Gücü

Motor gücü değerlerini belirlemek için dizel yakıtı, biyodizel ve karışım yakıtları motordan test edilerek elde edilen değerler grafik haline getirilmiş ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 incelendiği zaman motor devrinin artmasıyla motor gücünün de arttığı, fakat maksimum güç elde edildikten sonraki motor devirlerinde güç azalmaktadır. Motor gücü, biyodizel ve biyodizel-etanol yakıt karışımlarında dizel yakıtına kıyasla yakın sonuçlar vermiştir. Tam yükte devir sayısına bağlı olarak motor gücündeki artış azalışlar Şekil 3.3’de kıyaslanmıştır.

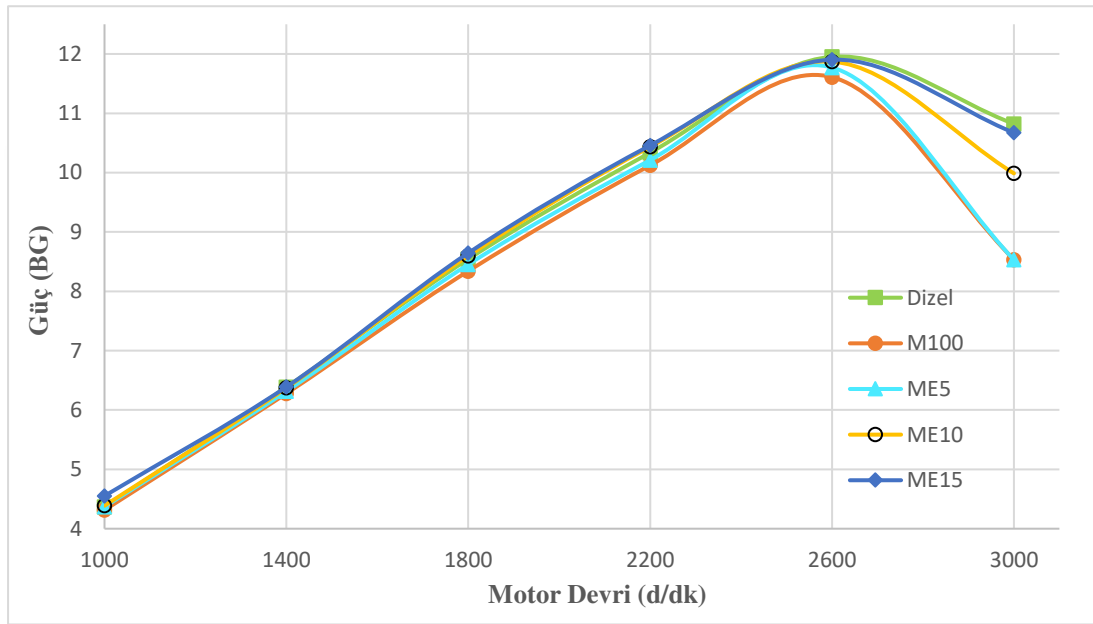
Ortalama olarak motor gücü, dizel yakıtına göre M100, ME5 ve ME10 yakıtlarında azalmıştır. ME15 yakıtında ise kısmi olarak azalış ve artış göstermiştir. Mikroalg biyodizeli yakıtına kıyasla yakıt karışımlarındaki etanol oranı arttıkça ortalama güç değerlerinde artış meydana gelmiştir. Ortalaması alınan her bir motor deney devirlerindeki güç değerleri dizel yakıtına kıyasla M100, ME5 ve ME10 yakıtlarında sırasıyla %6.1, %5.2 ve %1.4 oranlarında azalma ME15 yakıtında ise %0.4 oranında artış meydana gelmiştir. ME5, ME10 ve ME15 yakıt karışımlarında M100 yakıtına kıyasla sırasıyla %0.91, %4.9 ve %6,95’lik oranlarda motor gücü artışı meydana gelmiştir.



Şekil 3.3 Deney yakıtlarının motor gücü değişimleri

Her bir yakıt için maksimum motor gücü 2600 d/dk'da elde edilmiştir. Bu motor devrinde sırasıyla dizel yakıtında 11.95 BG, ME15 yakıtı için güç 11.9 BG, ME10 yakıtında 11.87 BG, ME5 yakıtında 11.7 BG ve M100 yakıtında ise motor gücü 11.6 BG olarak ölçülmüştür.

En düşük motor gücü 1000 d/dk'da dizel yakıtına göre %1.3 farkla mikroalg biyodizeli (M100) yakıtında olup 4.314 BG olarak ölçülmüştür. Şekil 3.4'de yakıt karışımlarının motor gücüne etkisi verilmiştir.



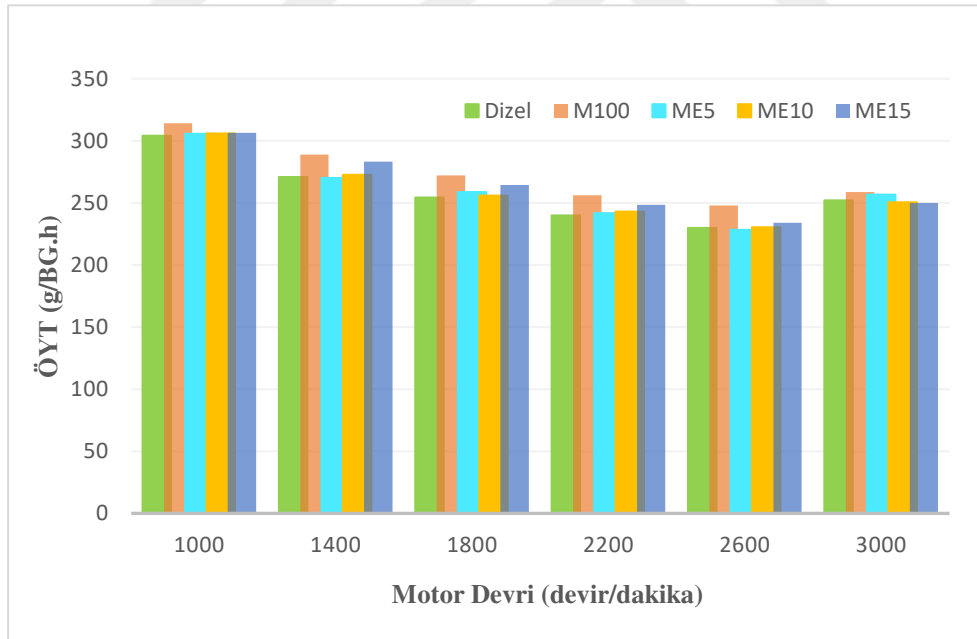
Şekil 3.4 Deney yakıtlarının motor gücüne etkisi

M100 yakıtının dizel yakıtına kıyasla ısı değeri düşük ve viskozitesinin yüksek oluşu yanmayı kötüleştirmiştir. Saflığı yüksek etanol ilavesi ile birlikte mikroalg biyodizel yakıt karışımlarının ısı değeri azalmıştır ve parlama noktası da düşmüştür. Setan sayısı yüksek olan biyodizele etanol ilavesi ile setan sayısı azalmış tutuşma gecikme süresi uzamıştır, fakat bu durumlara karşılık aynı zamanda viskozitesi ve yoğunluğunu da azalmıştır. Viskozite azaldığı için iyi bir atomizasyon ve dolayısıyla iyi bir karışım elde edilerek iyi bir yanma sağlanmıştır. Aynı zamanda karışım yakıtlarındaki oksijen zenginliği, tutuşma gecikmesi süresinin de kısalmasına neden olup yanmayı iyileştirmiş ve yanma veriminin artırmasına neden olmakla birlikte güç artışı da sağlamış olabilir. Bu verimdeki artış, bazı çalışmalarda motor gücünün dizel yakıtında elde edilen güce yakınlaşmasını sağlamıştır [41-43,169,172]. Aydın ve İlkılıç [169] yaptıkları bir çalışmada %20 etanolü biyodizel yakıtı kullanımında motorda güç artışı meydana gelmiş olup bu artış dizel yakıtına çok yakın bir değer olmuştur.

3.2.3 Özgöl Yakıt Tüketimi

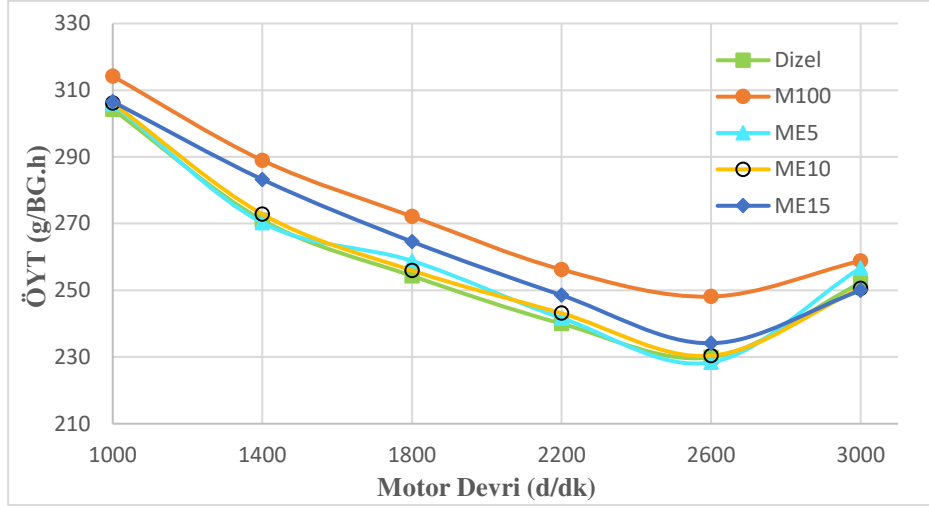
Motor özgül yakıt tüketimi değerlerini belirlemek için dizel yakıtı, biyodizel ve karışım yakıtları motordan test edilerek elde edilen değerler grafik haline getirilmiş ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Deney yakıtlarının ve dizel yakıtının, motorun tam yükte ve deney devirlerindeki özgül yakıt tüketimindeki artış ve azalışları Şekil 3.5 ile Şekil 3.6’da verilmiştir. En yüksek özgül yakıt tüketimi 1000 d/dk’da M100 yakıtı için 314 g/BG.h olarak ölçülmüştür. Özgül yakıt tüketimi motor devrine bağlı olarak motor devrinin yükselmesi ile düşmüş ve minimum ÖYT’nin gerçekleştiği motor devrinden sonra tekrar yükselmiştir.

En düşük özgül yakıt tüketimi değerleri maksimum gücün elde edildiği 2600 d/dk’da ölçülmüştür. Yapılan motor deneyinde, 2600 d/dk’daki ÖYT değerleri sırasıyla dizel yakıtı için 229 g/BG.h, M100 yakıtı için ise 248 g/BG.h, ME5 yakıtı için 228.3 g/BG.h, ME10 yakıtı için 230 g/BG.h ve ME15 yakıt için yakıt tüketimi 234 g/BG.h olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.5 Deney yakıtlarının ÖYT değişimleri

Her bir motor deney devirlerinde ortalama alınarak ÖYT değerleri dizel yakıtına kıyasla M100, ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarında sırasıyla %5.6, %0.64, %0.46 ve %2.27 oranlarında artış olduğu hesaplanmıştır. ME5, ME10 ve ME15 yakıt karışımlarında M100 yakıtına kıyasla sırasıyla %4.6, %4.85 ve %3 oranında özgül yakıt tüketiminde azalma meydana gelmiştir.

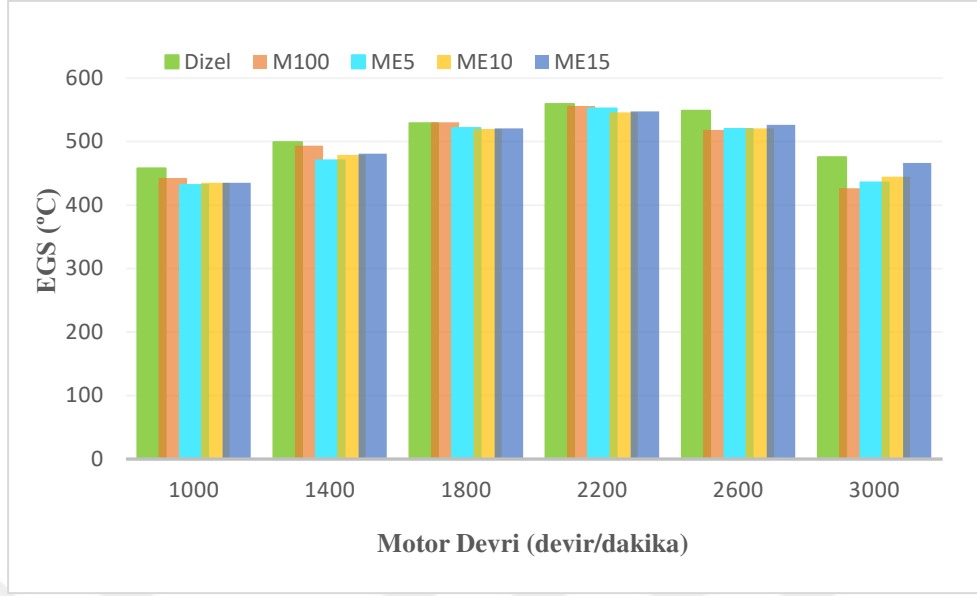


Şekil 3.6 Deney yakıtlarının ÖYT'ye etkisi

Mikroalg biyodizeline etanol ilavesi ile birlikte M100 yakıtına göre ısı değerinde düşüş meydana gelmiştir fakat ÖYT'de kullanılan yakıtın viskozitesi ısı değerine kıyasla daha önemli etkisi bulunabilir. Mikroalg biyodizelinin dizel yakıtına göre viskozitesinin yüksek oluşu aynı zamanda ısı değerinin daha düşük olması nedeniyle daha az yanması sonucunda ÖYT artmış olabilir. Mikroalg biyodizeline etanol ilavesi ile birlikte viskozitesi azalmış silindir içerisine enjektörden püskürtülen zerrecik sayısı artmıştır. Yoğunluğu da azalan yakıt karışımlarında kütleli olarak daha az yakıt kullanmıştır. ÖYT değerleri motorun her devrinde etanol karışım oranına bağlı olarak değişim göstermiştir. Artan sıcaklıkla birlikte motorun etkinliğinin ve yanma verimliliğinin artmasından dolayı M100 yakıtına kıyasla ME5, ME10 ve ME15 deney yakıtları özgül yakıt tüketimini azalttığı söylenebilir. Ayrıca düşük motor devirlerinde, motorun hareketli parçalarındaki atalet kuvvetinin fazla oluşuda özgül yakıt tüketimini artırmıştır [9,39,173].

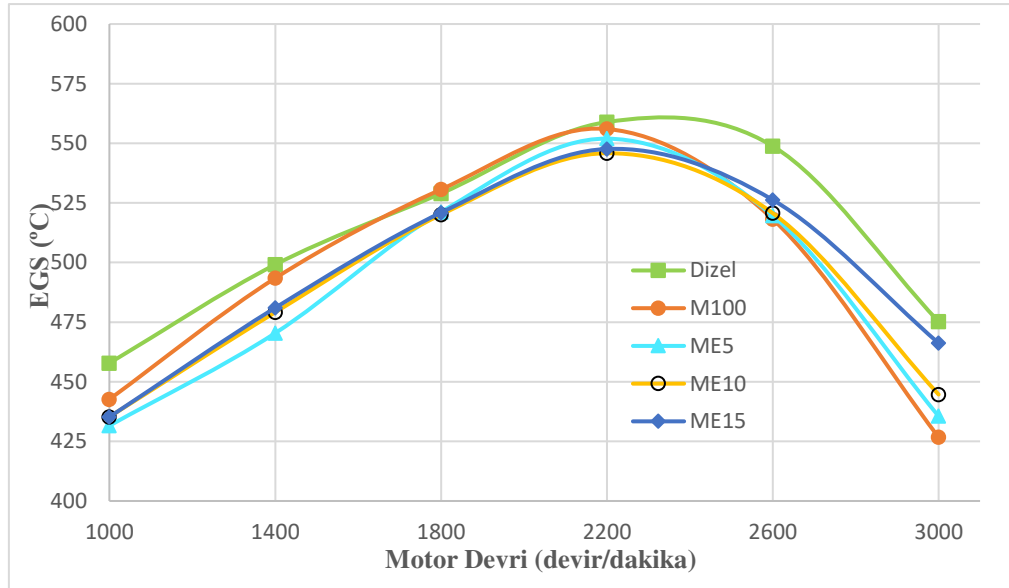
3.2.4 Egzoz Gazı Sıcaklığı

Motor egzoz gazı sıcaklığı değerlerini belirlemek için dizel yakıtı, biyodizel ve karışım yakıtları motordan test edilerek elde edilen değerler grafik haline getirilmiş ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 3.7'de motor test devirlerindeki egzoz gazı sıcaklık değişimleri verilmiştir. Grafik bir bütün olarak incelendiği zaman motor devrinin yükselmesi ile beraber egzoz gazı sıcaklığı artmakta ve belli devirden sonra da tekrar düşmektedir. En yüksek sıcaklık dizel yakıtı kullanarak 2200 d/dk'da 558°C, en düşük egzoz gazı sıcaklığı ise M100 yakıtında 3000 d/dk'da 426°C olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.7 Deney yakıtlarının EGS değişimleri

Ortalaması alınan her bir motor deney devirlerindeki egzoz gazı sıcaklıkları dizel yakıtında 511°C, M100, ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarında ise sıcaklıklar sırasıyla 494°C, 488°C, 491°C ve 496°C ölçülmüştür. Şekil 3.8’de her bir deney motor devirlerinde dizel, M100, ME5, ME10 ve ME15 deney yakıtlarının kullanımı ile birlikte egzoz gazı sıcaklığında meydana gelen etkinin grafiksel gösterimi verilmiştir. En yüksek egzoz gazı sıcaklıkları 2200 d/dk’da ölçülmüş olup daha sonra tekrar deney yakıtlarının egzoz gazı sıcaklıkları azalma göstermiştir.



Şekil 3.8 Deney yakıtlarının EGS’ye etkisi

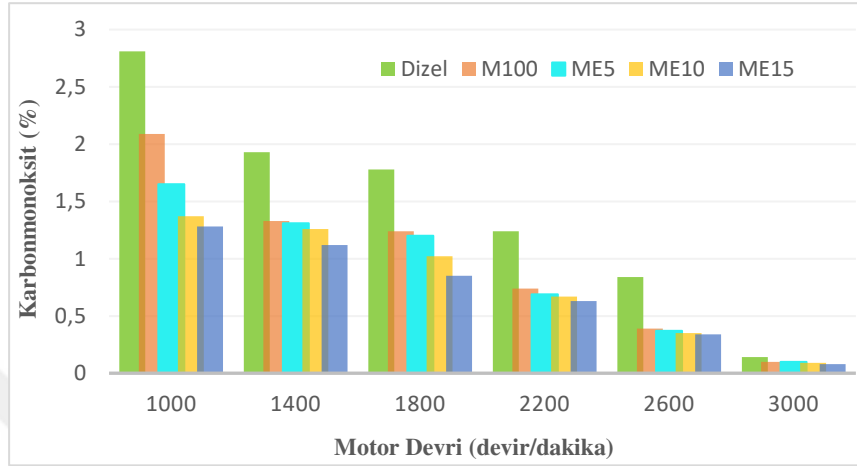
M100 yakıtında ısı verimliliğinin azalması ve ısı değerinin düşük oluşundan dolayı egzoz gazı sıcaklığının azaldığı düşünülmektedir. M100 ve etanol ile hazırlanan yakıt karışımlarında, etanol miktarı arttıkça egzoz gazı sıcaklığında motor devri 2200 – 2600 d/dk aralığına gelene kadar azalma daha sonra da artış meydana gelmiştir. Saf mikroalg biyodizeline yüksek saflıktaki etanol eklemekle birlikte etanollü yakıt karışımlarının, O₂ zenginliği sayesinde tutuşma gecikmesi süresinin kısılması ve termal verimliliğinin artırmasıyla daha gelişmiş yanma söz konusu olabilmektedir. Bu durumda egzoz gazı sıcaklığının, yakıt türünün ısı değeriyle birlikte termal verimlilikle de ilişkisi olduğu sonucuna da varılabilir. Yüksek EGS, yanma zamanında silindir içerisinde gerçekleşen tam yanmanın gerçekleşemediğinin ve egzoz supapları açıldığında halen yanmanın devam ettiğinin bir göstergesi olabilmektedir [67,169,174,175].

3.2.5 Karbonmonoksit Emisyon Değerleri

Motor egzoz gazında bulunan karbonmonoksit (CO) değerlerini belirlemek için dizel yakıtı, biyodizel ve karışım yakıtları motordan test edilerek elde edilen değerler grafik haline getirilmiş ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 3.9 ve Şekil 3.10’da motor test devirlerindeki CO emisyon değişimleri verilmiştir.

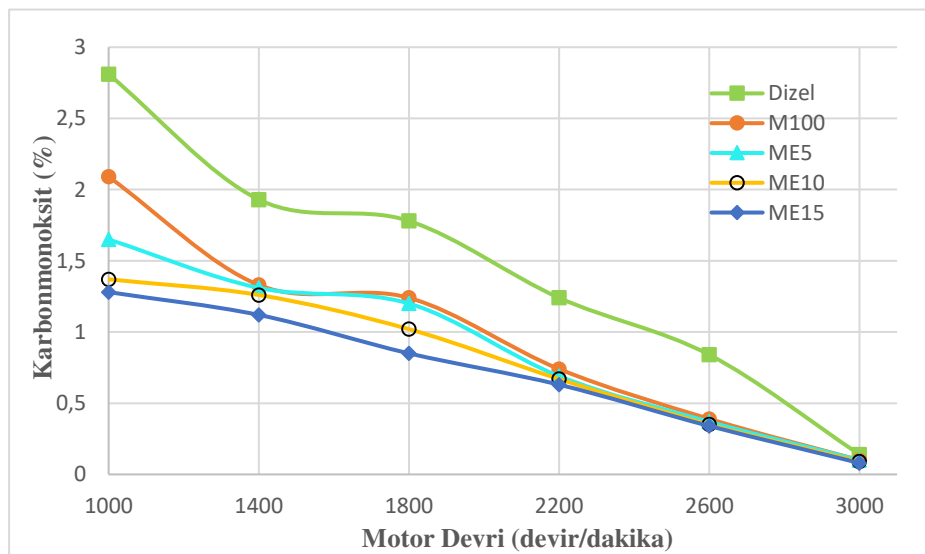
Karbonmonoksit gazı kısmi yanma sonucu oluşan çevreye ve insan sağlığına oldukça zararlı olan bir egzoz gazı emisyon ürünüdür. Yapısında karbon ve hidrojen bulunan yakıtların oksijenle oksidasyonu tam olarak gerçekleşmeyince tam yanma olmamakta ve bunun sonucunda CO emisyonu meydana gelmektedir. Karbonmonoksit gazının oluşmasında bir diğer önemli unsur yakıt – hava karışımının oranı olarak bilinen hava fazlalık katsayısıdır. Hava fazlalık katsayısı (HFK) 1’den küçük olduğu durumda, yani zengin karışımda yanma sırasında yeterli miktarda oksijen bulunmadığından yakıtın yapısında bulunan karbonun CO₂’e dönüşüm süresinin kısa olmasından dolayı yanma tamamlanmadığı için CO olarak oksitlenmektedir. Tüm silindir içi hava-yakıt karışımının yeterince homojen olmaması durumunda ya da kısmi yanmayı tetikleyecek bölgesel farklılıklar CO oluşumunun en önemli nedeni olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte fakir karışumlu yanmalarda CO miktarı az olmakta ve genellikle dizel motorlar fakir karışım oranlarında çalışmaktadır [176-179].

Deney devirlerine göre maksimum torkun elde edildiği 1800 d/dk'da dizel yakıtı göre mikroalg biyodizel kullanımında CO emisyonlarında %30, ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarının kullanımında ise sırasıyla %32.5 %42 ve %52 oranında azalış meydana gelmiştir.



Şekil 3.9 Deney yakıtlarının CO gazı emisyon değişimleri

Maksimum güç motorun 2600 d/dk'lık hızında elde edilmiştir. Bu devirde dizel yakıtına göre M100 yakıtı kullanımında CO emisyonlarında %53.5'lik oranda yüksek bir azalma olurken; ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarında sırasıyla; %56, %58.3 ve %59.5 oranında CO emisyon değerleri azalmıştır. Bu da etil alkoldeki oksijen mitarının yanmayı iyileştirdiği şeklinde açıklanabilir. Bütün motor deney devirlerinde ortalama alınarak CO emisyon değerleri dizel yakıtına kıyasla M100, ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarında sırasıyla %32.6, %39.1, %45.5 ve %50.8 oranlarında azalma olmuştur.

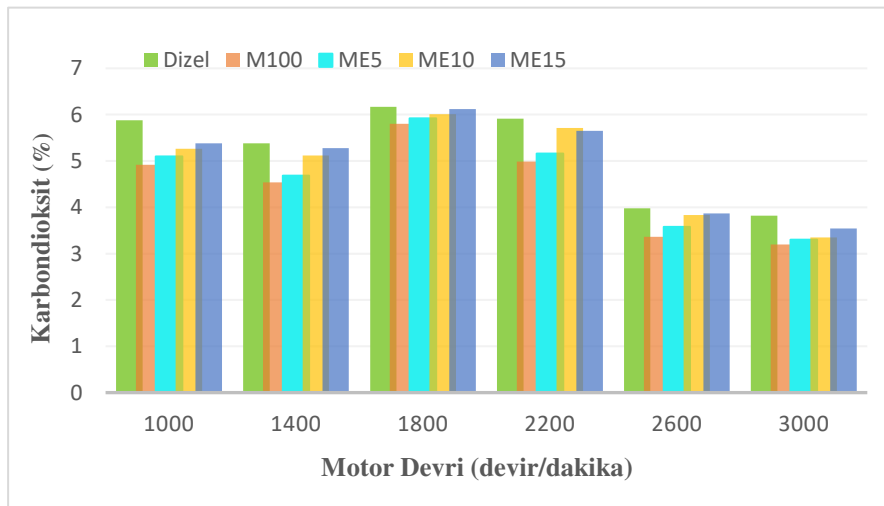


Şekil 3.10 Deney yakıtlarının CO gazı emisyonuna etkisi

Mikroalg biyodizeli yakıtının moleküler bünyesinde oksijen bulunması, hava fazlalık katsayılarının dizel yakıtına göre yüksek oluşu ve setan sayısının uygunluğu daha verimli bir yanmadan dolayı dizel yakıtı kıyasla CO emisyonlarında azalma meydana getirmiştir. Elde edilen biyodizele etanol ilavesi ile birlikte yanma odasında hava-yakıt karışım oranının iyileştiğinden ve de %99.8 saflıktaki etanolün bünyesinde daha az karbon bulunması ve daha fazla oksijen içermesinden dolayı, biyodizel-etanol karışımlı yakıtlarda etanol oranı artıkça CO emisyonlarında azalma gözlenmiştir [174,180]. Al-lwayzy ve arkadaşının [174] yaptıkları bir diğer farklı çalışmada mikroalg biyodizel yakıtının CO emisyonunu düşürdüğünü bildirmişlerdir. Zhu vd [181] yaptıkları çalışmada %5 etanolü biyodizel yakıt karışımı kullanımında CO egzoz gazı emisyonları iyileştiğini açıklamışlardır.

3.2.6 Karbondioksit Emisyon Değerleri

Karbon içerikli tüm yakıtların tam olarak yanmasıyla birlikte karbondioksit (CO₂) gazı emisyonları oluşmaktadır. CO₂ emisyonu tam yanma ürünü olarak bilinmektedir. CO₂ gazı atmosferde çok değişkenlik göstermektedir, çünkü bitkilerin solunum olayında da bu gaz artıp çoğalmaktadır. Karbondioksit salınımları atmosferde sera etkisi gösterdiğinden küresel ısınmanın temelini oluşturan bir emisyon ürünü olup iklim değişimi üzerinde büyük bir etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle CO₂ egzoz gazı emisyonu küresel ısınmada önemli bir parametredir [182,183]. Motor egzoz gazında bulunan karbondioksit değişimini belirlemek için dizel yakıtı, biyodizel ve karışım yakıtları motordan test edilerek elde edilen değerler grafik haline getirilmiş ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 3.11 ve 3.12’de motor test devirlerindeki CO₂ emisyon değişimleri verilmiştir.

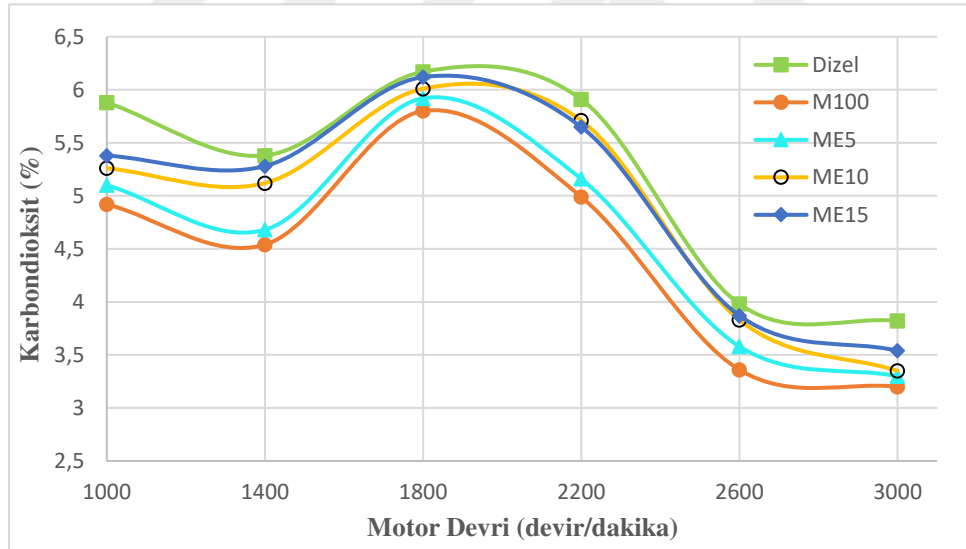


Şekil 3.11 Deney yakıtlarının CO₂ gazı emisyon değişimleri

Şekil 3.11 incelendiği zaman motorun bütün devirlerinde de M100 ve diğer karışım yakıtlarına göre dizel yakıtını kullanılması ile CO₂ değerleri yüksek çıktığı görülmektedir. Şekil 3.12’de görüldüğü gibi maksimum torkun elde edildiği 1800 d/dk’da dizel yakıtı göre mikroalg biyodizel kullanımında CO₂ emisyonları %6 oranında ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarında ise sırasıyla %4, %2.6 ve %0.8 oranında azalmıştır.

Maksimum gücün elde edildiği 2600 d/dk motor hızında dizel yakıtına kıyasla M100 yakıtı kullanımında CO₂ emisyonlarında %15.5 oranında, ME5 yakıtı kullanımında %10, ME10 ve ME15 yakıtlarında ise %3.76 ve %2.7 oranında bir azalma meydana gelmiştir.

Her bir motor deney devirlerinde ortalama alınarak CO₂ emisyon değerleri dizel yakıtına kıyasla M100, ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarında sırasıyla %13.9, %10.9, %6 ve %4.1 oranında azalmıştır. M100 yakıtına göre ME5, ME10 ve ME15 deney yakıtlarını kıyasladığımızda sırasıyla %3.4, %9 ve %11.3 oranında karbondioksit emisyonları artmıştır.



Şekil 3.12 Deney yakıtlarının CO₂ gazı emisyonuna etkisi

Dizel yakıtı kıyasla diğer deney yakıtlarının sera gazı etkisini iyileştirmede olumlu etkisi bulunmaktadır, fakat deneyler sonucunda mikroalg biyodizeli kullanımıyla önemli derecede CO₂ emisyonları azalsada etanol ilavesi ile birlikte dizel yakıtının emisyon değerlerine yakınlaşmıştır. Etanolün bünyesinde daha fazla oksijen gazı bulundurması yanma reaksiyonunu iyileştirdikçe karbonmonoksit zehirli gazı azalmasına neden olmuştur. Aynı zamanda yanma emisyonu olan karbon oksijenle tepkimeye girmesi sonucu karbondioksit emisyonu artış göstermiştir.

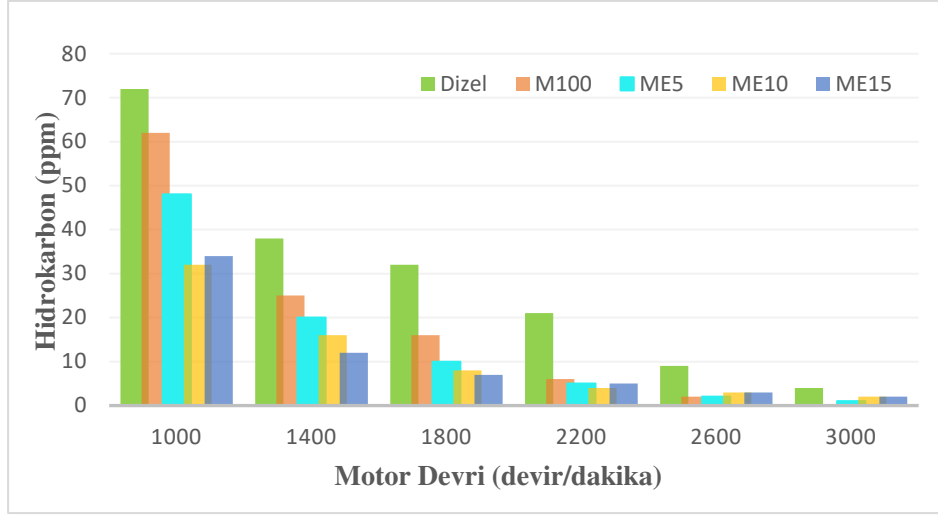
Motor deney devirlerinde biyodizel-etanol yakıtları yeterli oranda kullanımında M100 yakıtına göre termik verimin artması ve yanmanın iyileştiği söz konusu olduğundan karbondioksit emisyonlarında etanol kullanımı ile dizel yakıtının emisyonlarına yaklaşan bir artış meydana gelmiştir [184].

Kullanılan deney yakıtlarına göre farklılıklar gösteren karbondioksit egzoz gazı emisyonları seviyesindeki değişimler yanma verimi, hava-yakıt oranını arttıran yüksek lambda değerleri ve oksijen gazı mevcudiyetiyle ilişkilendirilebilir. Bu durumların CO gazının CO₂ gazına dönüşmesinde büyük etkisi olmaktadır [180]. Subbaiah [185] yaptığı bir çalışmada dizel, biyodizel, etanol karışımlarında etanol miktarının artmasıyla CO₂ oranının arttığını göstermiştir.

3.2.6 Hidrokarbon Emisyon Değerleri

Hidrokarbon emisyonları ortamda oksijen yetersizliğinden dolayı ve düşük ortam sıcaklığından yakıtın tam olarak yanmaması veya eksik yanması sonucu oluşan hava fazlalık katsayısının 1'den küçük olduğu zengin karışımlarda oluşmaktadır [102,186,187]. Hidrokarbonlar, silindir içerisindeki yerel bölgelerinde hava-yakıt oranının karma yani zengin ve fakir olmasından kaynaklanan oksidasyon reaksiyonun yavaşlaması ve yanmanın tamamlanmaması, piston ve silindir arasında alevin ilerlemeyerek aniden sönmesi ve silindir içi ısı kayıplarda oluşmaktadır [177].

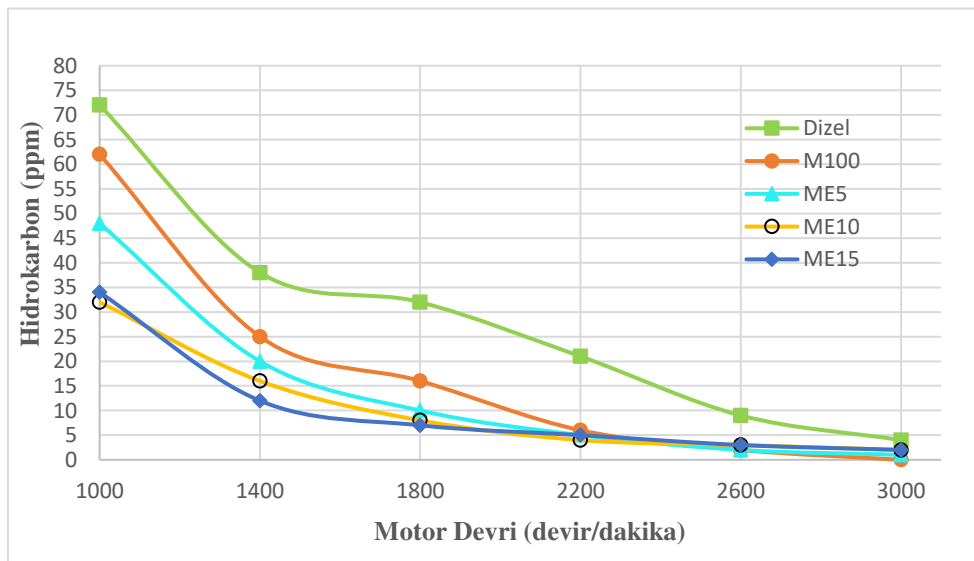
Hidrokarbon emisyonları, aşırı fakir bölgelerden kaynaklanan tutuşma gecikmesi süresince enjektörden püskürtülen yakıt miktarına, bu zamanlamada hava ile gerçekleşen karışım oranına ve silindir içi şartlarla ilişkili olarak değişmektedir. Aynı zamanda motor yükü, hızı, tasarımı ve çalışma prensipleri ile iyileştirmeler yapılarak azaltılabilmektedir [188]. Motor egzoz gazında bulunan hidrokarbon (HC) emisyonlarının değişimini belirlemek için dizel yakıtı, biyodizel ve karışım yakıtları motordan test edilerek elde edilen değerler grafik haline getirilmiş ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 3.13 ve 3.14'te motor test devirlerindeki HC emisyon değişimleri verilmiştir. Şekil 3.13'de deney motorunda kullanılan dizel yakıtı, M100, ME5, ME10 ve ME15 deney yakıtların belirli motor devirlerinde ve tam gaz koşullarında hidrokarbon egzoz gazının emisyon değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Deney yakıtlarının HC gazı emisyon değişimleri

Şekiller genel olarak incelendiği zaman motorun düşük hızlarında HC emisyonları yüksek, motorun yüksek hızlarında ise düşük olduğu görülmektedir. Maksimum torkun elde edildiği 1800 d/dk'da dizel, M100, ME5, ME10 ve ME15 sırasıyla 32 ppm, 16 ppm, 10 ppm, 8 ppm ve 7 ppm, maksimum gücün elde edildiği motor devrinde yani 2600 d/dk'da ise; sırasıyla 9 ppm, 2 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 3 ppm olarak HC emisyonlarının değiştiği görülmüştür.

Motorun her deney devirlerindeki HC gazı emisyon değerlerinin ortalaması alındığında dizel yakıtına kıyasla mikroalg biyodizeli kullanımıyla birlikte %36.9 oranında HC emisyonlarının azaldığı görülmüştür. M100 yakıtına göre ME5, ME10 ve ME15 yakıtları ile kıyaslandığına sırasıyla %22.5, %41.4 ve %43.2 oranında HC emisyonları azalmıştır.



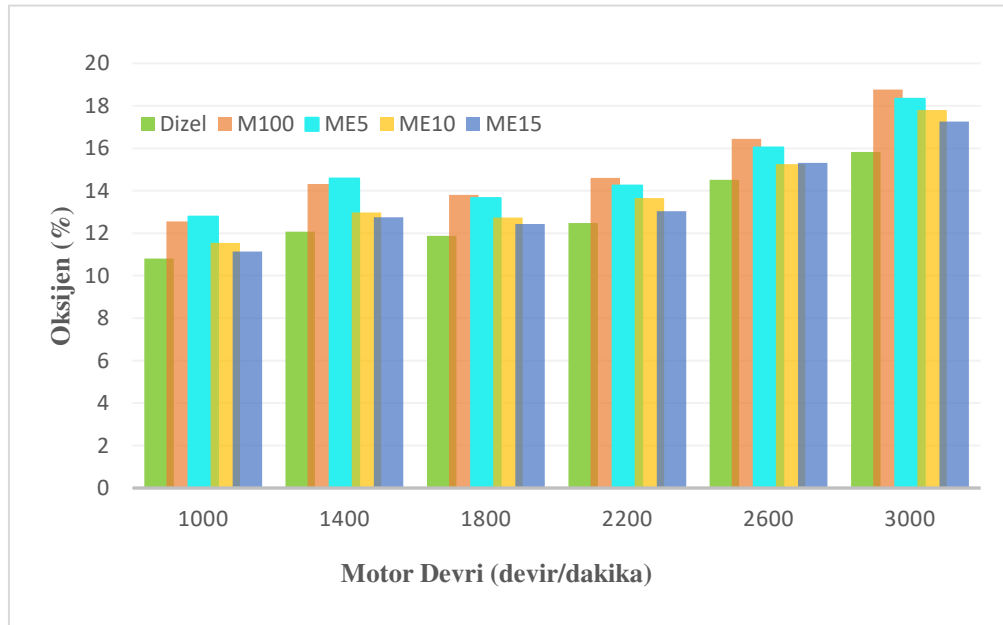
Şekil 3.14 Deney yakıtlarının HC gazı emisyonuna etkisi

Motorun bütün devirlerinde mikroalg biyodizeli ve biyodizel-etanol karışımli yakıt kullanımında önemli derecede HC emisyonlarının azaldığı görülmektedir. Mikroalg biyodizeline %99.8 saflıktaki etanolün ilave edilmesi ile birlikte, motor devri artıkcı silindir içi basıncın ve sıcaklığında artarak yanma veriminin ve HC emisyonlarının iyileşmesinde önemli bir etken olduğu söylenebilir. Makareviciene vd. [189] %30 mikroalg biyodizel, dizel karışımı kullanımında önemli oranda HC emisyonunun düştüğünü belirtmişlerdir. Yaser vd. [172] çalışmasında ise tam yükte dizel-biyodizel-etanolü yakıt karışımlarında etanol ilavesinin HC emisyonlarını azalttığını bildirmişlerdir.

3.2.7 Oksijen Emisyon Değerleri

Oksijen, içten yanmalı motorlarda yanmanın gerçekleşebilmesi için önemli bir parametre olup aynı zamanda bir egzoz gazı emisyon ürünüdür. O₂ oranının fazla olması hava-yakıt oranını önemli ölçüde etkilemektedir [117].

Motor egzoz gazında bulunan O₂ emisyonlarının değişimini belirlemek için dizel yakıtı, M100, ME5, ME10 ve ME15 yakıtları motordan test edilerek elde edilen oksijen değerleri grafik haline getirilmiş ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 3.15 ve Şekil 3.16’da motor test devirlerindeki O₂ emisyon değişimleri verilmiştir.

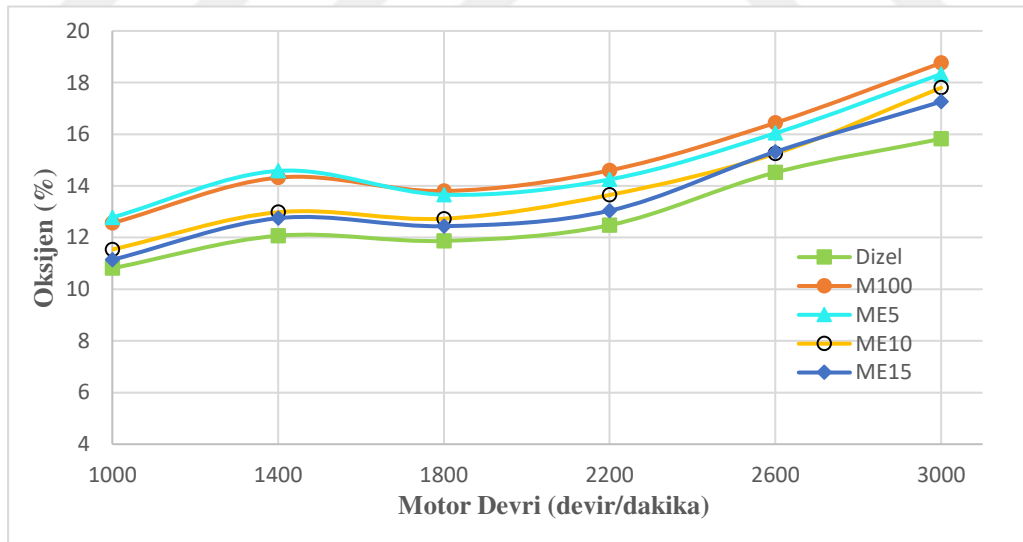


Şekil 3.15 Deney yakıtlarının O₂ gazı emisyon değişimleri

Maksimum torkun elde edildiği 1800 d/dk'da dizel yakıtı göre mikroalg biyodizel kullanımında O₂ emisyonlarında %16 oranında ME5, ME10 ve ME15 yakıtların kullanımında ise sırasıyla %15, %7.2 ve %4.8 oranında O₂ emisyon değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

Motorun maksimum güç devri yani 2600 d/dk'da dizel yakıtı göre M100 yakıtı kullanımı ile birlikte O₂ emisyonlarında %13.2 oranında, ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarında ise sırasıyla %10.4, %5 ve %5.5'lik bir artış meydana gelmiştir. M100 yakıtına kıyasla ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarında sırasıyla %2.4 , %7.2 ve %6.8 oranlarında O₂ emisyon değerlerinin azaldığı görülmüştür.

Her bir motor deney devirlerinde ortalama alınarak O₂ emisyon değerleri dizel yakıtına kıyasla M100, ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarında sırasıyla %16.6 , %15.5 , %8.2 ve %5.6 oranlarında oksijen artışı meydana gelmiştir. M100 yakıtına göre ME5, ME10 ve ME15 deney yakıtlarını kıyaslandığı zaman sırasıyla %0.9, %7.2 ve %9.4 oranında oksijen emisyonlarında bir azalma meydana gelmiştir.



Şekil 3.16 Deney yakıtlarının O₂ gazı emisyonuna etkisi

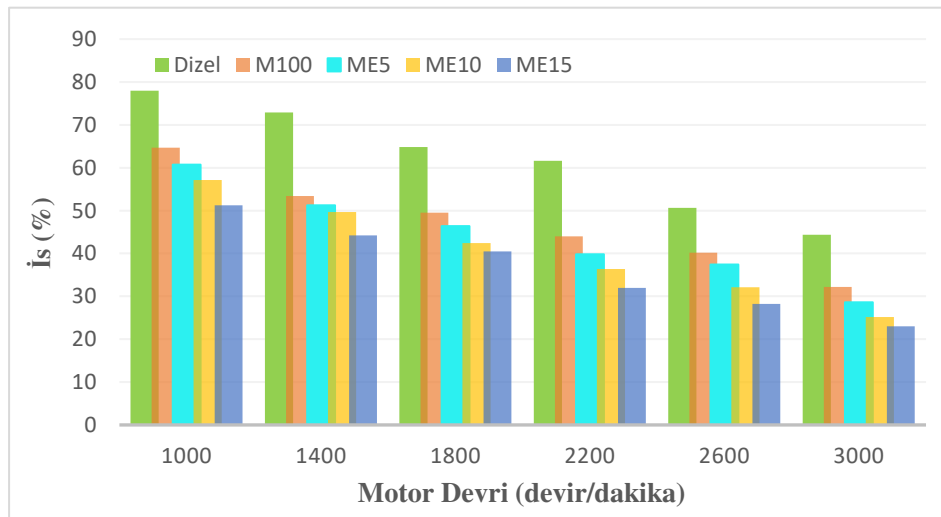
Dizel yakıtında minimum devirden 1400 d/dk'da geçişte oksijen miktarı artmış olup, maksimum torkun gerçekleştiği motor devrinde ise 1800 d/dk'da oksijen miktarında bir azalma meydana gelmiştir. Maksimum torkun gerçekleştiği devirdeki oksijen emisyonunun azalmadan sonra maksimum motor devrine kadar oksijen miktarında artış meydana gelmiştir.

Mikroalg biyodizelin ve etanolün yapısındaki O₂ zenginliğinden dolayı, yanma sırasında hem havadan hem de yakıtın içeriğindeki oksijen yanma işleminde kullanılmaktadır. Bu nedenle mikroalg biyodizeli ve biyodizel-etanol karışımlı yakıt kullanımında motor devri yükseldikçe oksijen miktarında dizel yakıtına göre artış bulunmaktadır [174]. Wahlen vd. [190] yaptıkları çalışmada mikroalg biyodizeli, dizel yakıtına göre daha fazla O₂ emisyonunun oluştuğunu açıklamışlardır.

3.2.8 İş ve Işık Absorpsiyon Katsayısı (IAK) Değerleri

İş emisyonları çeşitli partüküller, aromatik bileşikler, sülfür, yakıt karbon artıkları ve hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Motor egzoz gazında bulunan iş emisyonlarının değişimini belirlemek için dizel yakıtı, M100, ME5, ME10 ve ME15 yakıtları motordan test edilerek elde edilen iş değerleri grafik haline getirilmiş ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de motor test devirlerindeki iş emisyon değişimleri verilmiştir. Dizel yakıtına kıyasla mikroalg biyodizeli ve etanol karışımlı yakıtlarda hava-fazlalık katsayısının iyileşmesi ve O₂ miktarının artması iş oluşumunu büyük ölçüde azaltmıştır [191].

Deney yakıtları kullanımı sonucunda oluşan iş emisyonları değişimleri Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Maksimum iş 1000 d/dk’da elde edilmiş olup, artan motor devirlerinde iş oluşumu azalmıştır. M100 biyodizelinde ve karışım yakıtlarında etanol oranı artıkça iş emisyonları azalmıştır. Bütün motor devirlerinde ME15 yakıtında iş oluşumunun en düşük değerde olduğu görülmüştür.

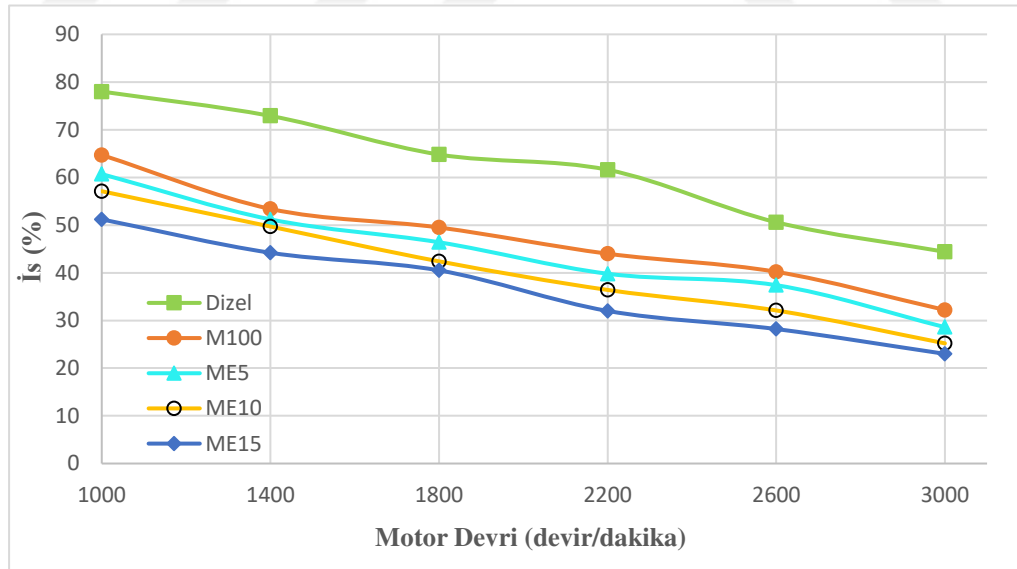


Şekil 3.17 Deney yakıtlarının iş emisyonu değişimleri

Maksimum torkun elde edildiği 1800 d/dk'da dizel yakıtı göre mikroalg biyodizel kullanımında is emisyonları %23.6 oranında ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarında ise sırasıyla %28.3, %34.6 ve %37.5 oranında azalmıştır. Mikroalg biyodizeline kıyasla ME5, ME10 ve ME15 yakıt kullanımında ise sırasıyla %6.2, %14.3 ve %18.1 oranında is emisyon değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

Maksimum güç devirinde yani 2600 d/dk motor hızında dizel yakıtına göre M100 yakıtı kullanımında is emisyonlarında %20.5 oranında, ME5, ME10 ve ME15 deney yakıt karışımlarında ise sırasıyla %26, %36.5 ve %44.2'lik bir azalma meydana gelmiştir. M100 yakıtına kıyasla ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarında sırasıyla %6.9, %20.1 ve %29.8 oranlarında is emisyon değerleri azalmıştır.

Her bir motor deney devirlerinde ortalama alınarak is emisyon değerleri dizel yakıtına kıyasla M100, ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarında sırasıyla %23.7 , %29, %34.7 ve %41.1 oranlarında azalma olmuştur. M100 yakıtına göre ME5, ME10 ve ME15 yakıtları kıyasladığımızda sırasıyla %7, %14.4 ve %22.8 oranında is emisyonları azalmıştır.

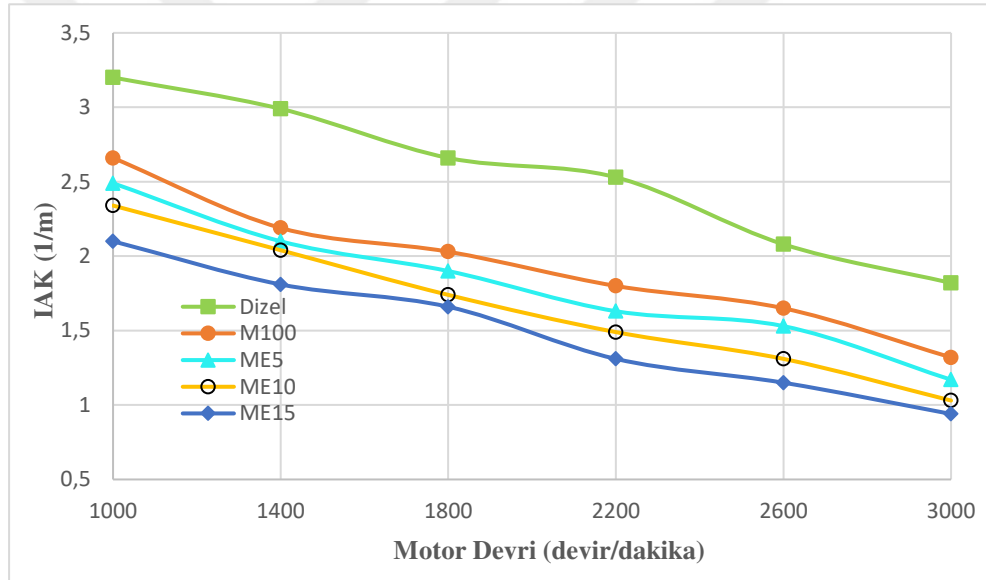


Şekil 3.18 Deney yakıtlarının is emisyonuna etkisi

Işık absorpsiyon katsayısı (IAK), egzoz emisyon gazlarında bulunan partiküllerin, egzoz gazlarından geçen ışığın, aydınlatma şiddetini azaltma yönündeki katsayı olarak tanımlanmıştır. İs değerlerindeki azalmaya sebep olan etkenler ışık absorpsiyon katsayısını düşürmekte de etkilidir [77].

En düşük ışık absorpsiyon katsayısı yaklaşık olarak, 3000 d/dk'lık motor hızında M15 yakıtı kullanımında 0.94 1/m olarak ölçülmüştür, en yüksek IAK değeri ise 1000 d/dk'da dizel yakıtı kullanımında 3.22 1/m olarak ölçülmüştür. IAK, her motor devirlerinde dizel yakıtı kıyasla diğer yakıtlardaki is emisyonlarının yüzdelik oran farklarıyla aynı oranda azalma göstermiştir.

Deneyde kullanılan dizel, M100, ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarının is değerlerindeki etkin katsayının yani ışık absorpsiyon katsayısının grafiği Şekil 3.19'da verilmiştir. Işık absorpsiyon katsayısının grafiği ile is emisyonları değerlerindeki çizgisel benzerliğin nedeni; is emisyon değerlerinin, ışık absorpsiyon katsayısına bağlı olarak orantılı bir şekilde artış ve azalma göstermesidir.



Şekil 3.19 Deney yakıtlarının IAK'ya etkisi

Dizel yakıtı ile biyodizel yakıtı kullanımı karşılaştırıldığında biyodizelin kimyasal yapısının da etkisiyle is emisyonları ve ışık absorpsiyon katsayısı azalmaktadır. Biyodizel yakıtı içeriğinde kükürt elementinin olmayışı da is miktarını azaltmaktadır. Biyodizel yakıtına etanol ilavesi ile birlikte tam motor yükünde is emisyonları daha da azalmaktadır. Oksijen miktarının artması ile birlikte yanma süresinin artması, viskozitenin ve yoğunluğun azalmasıyla yakıt karışımlarının atomizasyonun artması ve bu sayede yanma veriminin iyileşmesi, aromatik bileşenler sayısının azalması is emisyonlarının düşmesinde önemli bir etken olduğu görülmekte ve yapılan bazı çalışmalar da bunu göstermektedir [174,181].

Satputaley ve arkadaşlarının [192] çalışmalarında mikroalg yağı ve biyodizeli kullanımında is değerlerinde düşüş elde etmişlerdir. Zhu vd. [193] yaptıkları bir çalışma sonucunda biyodizel etanol yakıt karışımlarında is partiküllerinin ve duman yoğunluğunun azaldığını belirtmişlerdir

Ek olarak yakıt türü ile motor hızı arasında çeşitli egzoz gazı emisyonlarında önemli bir etkileşim olmakla birlikte; mikroalglerin bir türü olan *Chlorella Protothecoides*'den elde edilen yağın kimyasal yapısındaki karbon, hidrojen bağ yapısı, sayıları ve zincir uzunluğu, transesterifikasyon işlemini etkileyen parametrelerin ve sodyum metilat katalizörlü reaksiyon olgusu, elde edilen biyodizelin ester sayısı ve safsızlıkları gibi pek çok kimyasal etken emisyon oluşumunda etkili olabilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fosil kökenli yakıt kaynaklarındaki azalma ve bu yakıtlardaki fiyat artışları sonucunda yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını araştırma çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Özellikle taşıma araçlarında kullanılabilen enerjilerin azalıp tükenme durumuna karşılık son zamanlarda bu araçlar için yeni kaynakların araştırma çalışmaları devam etmektedir. Elektrikli araçlar, güneş enerjisi ile çalışan araçlar, yakıt pilleri ile çalışan araçlar ve hibrit araçların geliştirme çalışmalarının yanında, petrole uyumlu araçlardan herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilecek yeni enerji kaynakları ile ilgili çalışmalar da devam etmektedir. Bu çalışmalardan birisi de biyoyakıt denilen ve insanların gıda olarak kullanmadıkları mikroalglerden elde edilen yağla ilgili çalışmalardır. Mikroalg yağı, yüksek oranlı yağ içeriği ile verimi yüksek olan mikroalg biyoyakıtının üretimi ve kullanımı, ekonomik oluşu ve çevre ile daha uyumlu bir alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği bakımından önemli bir enerji kaynağıdır.

Bu çalışmada, dizel motorlarında kullanılmak üzere kimyasal bir yöntem olan transesterifikasyon metodu ile sodyum metilat katalizörü kullanılarak mikroalglerden biyodizel yakıtı elde edilmiştir. Sentetik toprak ilavesi işlemi ile daha verimli ve kaliteli biyodizel üretilmiştir. Biyodizel yakıtının elde edilmesi ve özellikleri ile ilgili olarak TS EN 14214 standardında belirtilen deney metotlarına göre testler yapılmış ve bu testler sonucunda üretilen biyodizelin yakıt olarak kullanılabilir nitelikte olduğu belirlenmiştir. Ester sayısının önemli derecede yüksek oluşu üretilen biyodizelin, dizel motorlarda kullanılabilir bir özellikte olduğunu göstermiştir.

Mikroalglerden elde edilen bu yakıtın dizel motorlarında kullanılabilirliğinin araştırılması ve daha iyi bir yakıt olması için hacimsel olarak içerisine %5, %10 ve %15 oranında etil alkol karıştırılmıştır. Elde edilen bu karışımlar ile biyodizel ve dizel yakıtı tek silindirli bir dizel motorda test edilmiştir. Deney yakıtlarının motor performans parametrelerini ve egzoz emisyon değerlerini nasıl etkilediği ortaya çıkarılmıştır. Elde edilen bu değerler dizel yakıtı kullanımında elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar sırasıyla özetlenmiştir:

Fiziksel ve kimyasal analizler sonucunda *Chlorella Protothecoides* mikroalglerinden üretilen biyodizelin ve ME5, ME10, ME15 yakıtlarının yakıt özellikleri tespit edilmiştir. Bu yakıtların kimyasal ve fiziksel özellikleri biyodizel ve dizel yakıtları için belirtilen sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Tespit edilen bütün bu değerler, belirtilen standart değerlere yakın olduğu ve dizel motorunda bu yakıtların kullanılabileceğini göstermiştir. Dizel motorunda test edilen bu yakıtlar ile elde edilen performans ve emisyon değerleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Deney yakıtları kullanımında en yüksek güç değerleri dizel yakıtı ve ME15 yakıtı kullanımı ile en düşük güç değerleri de M100 biyodizel yakıtında elde edilmiştir. Yakıt karışımları kullanımında elde edilen güç miktarları, yakıt karışımında bulunan etil alkol oranına bağlı olarak değişim göstermiştir. Biyodizel yakıtında etil alkol oranının artmasıyla dizel yakıtına yaklaşan güç artışı meydana gelmiştir. Motor gücünde, dizel yakıtına kıyasla M100 %6.1, ME5 %5.2, ME10 %1.4 oranında azalma ve ME15 yakıtı %0.4 oranında artış göstermiştir. Aynı motor çalışma şartlarında elde edilen moment değerleri de güç değerlerine benzer şekilde değişim göstermiştir. Moment değerlerinin değişimi de biyodizel yakıtı içerisindeki etil alkol oranına göre değişim göstermiştir. Biyodizel içindeki etil alkol oranı arttıkça moment değerleri de artış göstermiştir. En düşük moment değeri saf mikroalg biyodizeli ile elde edilmiştir. Her motor devirinde ortalama olarak tork değerleri dizel yakıtına kıyasla M100, ME5 ve ME10 yakıtlarında sırasıyla %4.6, %3.7 ve %0.8 oranlarında azalma, ME15 deney yakıtında ise %0.86 oranında bir artış meydana gelmiştir. Mikroalg biyodizel ile etanol karışımı yakıtlarda (ME5, ME10 ve ME15) ise M100 yakıtına kıyasla sırasıyla %0.96, %3.9 ve %5.7 oranında artış meydana gelmiştir.

Özgül yakıt tüketimi motorun aynı devirlerinde elde edilen yakıt tüketiminde motor gücünün ve kullanılan yakıtın ısı değeri ile birlikte viskozitenin önemli etkisi bulunmaktadır. Özgül yakıt tüketim değerleri motorun her devrinde etil alkol karışım oranına bağlı olarak değişim göstermiştir. Her bir motor deney devirlerinde ortalama alınarak ÖYT değerleri dizel yakıtına kıyasla M100, ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarında sırasıyla %5.6, %0.64, %0.46 ve %2.27 oranlarında artış olduğu hesaplanmıştır. ME5, ME10 ve ME15 yakıt karışımlarında M100 yakıtına kıyasla sırasıyla %4.6, %4.85 ve %3 oranında özgül yakıt tüketiminde azalma meydana gelmiştir.

Deneylerde kullanılan yakıtların egzoz gazı sıcaklıkları motor hızının artmasıyla birlikte artış göstermiştir. Ortalaması alınan her bir motor deney devirlerindeki egzoz gazı sıcaklıkları dizel yakıtında 511°C, M100, ME5, ME10 ve ME15 yakıtlarında ise sıcaklıklar sırasıyla 494°C, 488°C, 491°C ve 496°C ölçülmüştür.

Genel olarak yapılan deneyler sonucu elde edilen CO değerleri karışım yakıtlarına göre dizel yakıtından daha düşük çıkmıştır. Motorun düşük devirlerinde karışım yakıtları için CO değerleri yüksek ve motorun yüksek hızlarında da düşük çıkmıştır. Motorun devir sayısı yükseldikçe yanma iyileştiği için bütün yakıtlardan da CO değerleri düşmüştür. Deney yakıtlarının kullanımı ile elde edilen CO₂ emisyon değerleri dizel yakıtı ile elde edilen değerler bütün motor devirlerinde biraz daha yüksek çıkmıştır. M100 ve karışım yakıtları ile düşük çıkmıştır. Küresel ısınma ürünü olarak karışımların uygun olduğu görülmektedir.

Dizel yakıtı ve mikroalg biyodizel karışımlarının kullanıldığı dizel motorunda HC emisyonları dizel yakıtına göre motorun bütün devirlerinde ortalama bir düşüş göstermiştir. Deneylerde en düşük HC emisyonları ME15 ve dizel yakıtı ile elde edilmiştir. Etanol karışımlı biyodizel yakıtlarının HC emisyon değerleri genellikle dizel yakıtı ve M100 yakıtından daha düşük çıkmaktadır. NO_x emisyonları teknik sıkıntı nedeniyle tam olarak ölçülememiştir. Ölçümlerin alınıp değerlendirilmesi önemli bir fayda sağlayabilir.

Deneyler tamamlandıktan sonra incelenen motor parçaları üzerinde saf biyodizel ve yakıt karışımlarının önemli bir etkisinin bulunmadığı görülmüştür. Aynı zamanda motorun yağlama yağı üzerinde de etkisinin olmadığı ve yağlama yağının özelliğini kaybetmediğini yapılan kontroller sonucu ortaya çıkmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda yüksek yağ verime sahip mikroalglerin biyodizel verimliliği, özellikleri ve kullanım elverişliği sayesinde biyodizelin ve uygun oranda etanollü karışımların alternatif bir yakıt olabilmektedir. Verimliliği artırmak için çeşitli testler ve kıyaslamalar yapılabilir. Mikroalg biyodizeline %20 oranında etanol ilavesi, setan sayısı artırıcı vb. katkı maddesi eklenerek testler yapılabilir. Mikroalglerden elde edilen biyodizelin özelliklerinin dizel yakıtına daha yakın olabilmesi amacıyla alkol ve benzeri çeşitli yakıtlarla belirli oranlarda karıştırılabilir. Bu ve benzeri katkılardan sonra motor performans ve egzoz emisyon değerleri yeniden incelenebilir.

Ülkemizde dahil, pek çok ülkede atık yağlardan biyodizel üretip kullanılmaktadır. Bu biyodizellerin daha verimli halde kullanılabilirliğini incelemek için mikroalg biyodizeli ile atık yağlardan elde edilen biyodizel karışımlarıyla incelemeler yapılabilir. Pek çok varyasyonlu karışımlar yani farklı biyodizellerle, mikroalg biyodizeli, farklı alkol çeşitleri, biyoetanol ve dizel karışım kompozisyonları test edilerek kullanılması daha etkili olabilir.

Ülkemizin petrol kullanım ihtiyacını azaltmak ve çevreyi korumamız için mikroalglerin kolayca yetişebilecek ortamın oluşturulması, biyodizel üretim proseslerinin geliştirilmesi, mikroalglerden elde edilen biyodizelin dizele yakıtına katkı maddesi olarak ya da belirli faaliyetlerde küçük tip motorlarda bile kullanılması önemli bir fayda sağlayabilir.

Yukarıda yapılan mikroalglerden biyodizelin üretimi ve kullanım kolaylığı açıklamalar doğrultusunda ülkemiz için bir değerlendirme yapılacak olursa, ülkemizde geçtiğimiz yıllarda 50'den fazla lisanslı biyodizel tesisi ve yaklaşık 1.5 milyon ton kurulu kapasite olmasına karşılık, hammadde üretimindeki aksaklıklar nedeniyle bugün üretim yapan sadece birkaç tesis bulunmaktadır. 2011 yılı dizel yakıtı tüketimimizin 16 milyon ton olduğu ve her yıl arttığı dikkate alındığında bu ihtiyacı destekleyecek olan yaklaşık 200-250 bin ton biyodizele ihtiyaç duyulacağı tahmin edilmektedir.

Dizel motorlar için alternatif enerji kaynaklarının hammadde sağlayıcısı olarak görülen mikroalglerin yetiştirilmesi için gerekli olan iklim şartları ve besin kaynağı olarak kullanılan başta CO₂ olmak üzere besin elemanları ülkemizde mevcuttur. Bu açıdan bakıldığı zaman ülkemizin ekonomik mikroalg üretimine uygun olduğu görülmektedir. Sadece doğal gazla çalışan termik santrallerde göz önüne alındığında mikroalglerin ana besin kaynağı olan CO₂ temini için oldukça büyük bir potansiyele sahiptir. Türkiye'de üretilen elektriğin büyük bir kısmı doğal gaz ile üretilmektedir. Emisyon bakımından düşük değerlere sahip olmasına rağmen 1 MWh doğal gazın yanması sonucunda atmosfere 0.6 ton CO₂ salınımı yapılmaktadır. Bu verilere göre doğal gazla çalışan termik santrallerimizden bir yılda salınan CO₂ miktarı yaklaşık 60.000.000 ton dolayındadır. Bu miktar Türkiye'nin CO₂ salınımının yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır.

Sonuç olarak enerji ihtiyacı ve tarım şartları göz önüne alındığında mikroalg üretimi ülkemiz için çok önemli bir yer tutmaktadır. Mikroalglerin yetiştirilmesi tarım alanlarını olumsuz yönde etkilemediği için tarım arazilerimiz yalnızca tarım amacı için kullanılabilir. Suda yetişebilen ve çoğalması çok hızlı olan mikroalglerden biyodizel üretimi önemli bir potansiyele sahiptir. Mikroalglerin, üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde hem kültür olarak hem de suda rahatlıkla yetiştirme olanakları bulunmaktadır.



KAYNAKLAR

- [1] **Jacobs, T.J. and Assanis, D.N.**, 2007. The attainment of premixed compression ignition low-temperature combustion in a compression ignition direct injection engine, *Proceedings of the Combustion Institute*, **31**, 2913-2920.
- [2] **Alkidas, A.C.**, 2007. Combustion advancements in gasoline engines, *Energy Conversion and Management*, **48**, 2751-2761.
- [3] **Avcıoğlu, O.A., Türker, U., Atasoy, D.Z. ve Koçtürk, D.**, 2011. Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler Biyoyakıtlar, Nobel Yayın, Ankara.
- [4] **Ladanai, S. and Vinterback, J.**, 2009. Global Potential of Sustainable Biomass for Energy, *SLU Institutionen för energi och teknik report*, Swedish University of Agricultural Sciences Department of Energy and Technology, **13**, ISSN 1654-9406.
- [5] www.geka.org.tr. 3 Mayıs 2017.
- [6] **Xu, H., Miao, X. and Wu, Q.**, 2006. High quality biodiesel production from a microalgae *Chlorella Protothecoides* by heterotrophic growth in fermenters, *Journal of Biotechnology*, **126**, 499-507.
- [7] **Ulukardeşler, A.H. ve Ulusoy, Y.**, 2012. 3. Nesil biyoyakıt teknolojisi olan alglerin Türkiye’de üretilebilirlik potansiyeli, 10. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Koç Üniversitesi, İstanbul, 3-6 Eylül.
- [8] **TS EN 14214**, 2014. Otomotiv yakıtları, yağ asidi metil esterleri (yame/biyodizel), dizel motorlar için özellikler ve deney yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [9] **Ejder, S.B.**, 2007. Etanol - dizel, biyodizel - dizel yakıt karışımlarının kullanımının motor performansına etkilerinin deneysel araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, E. ve Soruşbay, C.**, 1999. İçten Yanmalı Motorlar, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [11] **Dağ, C.**, 2013. Biyodizel su karışımlarının dizel motor performansı ve emisyonu üzerine etkilerinin deneysel incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] **Mark, J. and Morey, C.**, 1999. Diesel Passenger Vehicles and the Environment, Mass: Union of Concerned Scientists, Cambridge.
- [13] **Balcı, M.**, 1995. Motorlu taşıtlarda kirletici denetimi, *4.Yanma Sempozyumu*, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Temmuz, s.437-447.
- [14] **Keskin, A.**, 2008. Dizel motor emisyon kontrol yöntemi olarak dizel partikül filtreleri ve gelişmeler, *10. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, Sakarya, 9-10 Ekim, s.90-94.

- [15] **Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A.,** 1995. HidroKarbonlar, İçten Yanmalı Motorlar, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Ankara, s.253.
- [16] **Işıksoluğu, M. A.,** 1997. Dizel motorlu taşıtların egzoz gazındaki duman koyuluğu ve ölçümde karşılaşılan sorunlar , *Mühendis ve Makine Dergisi*, **38**, 22-25.
- [17] <https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>. 05 Şubat 2017.
- [18] **Yamık, H.,** 2002. Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak yağ esterlerinin kullanılma imkanlarının araştırılması, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [19] **Solak, S.,** 2013. Biyodizel / lpg çift yakıtlı bir motorda püskürtme zamanının performans ve emisyonlara etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [20] **TS EN 590,** 2014. Otomotiv yakıtları, dizel (motorin) gerekler ve deney yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [21] <https://www.opet.com.tr/Files/PDF/urun/Ek-1OPET420.pdf>. 05 Şubat 2017.
- [22] **Safgönül, B.,** 1989. Pistonlu Motorlar, **1**, İ.T.Ü Yayınları, İstanbul.
- [23] **İcingür, Y. ve Altıparmak, D.,** 2003. Effect of fuel cetane number and injection pressure on a DI diesel engine performance and emissions, *Energy Conversion and Management*, **44**, 389-397.
- [24] **İckes, M. A.,** 2009. Fuel property impact on a premixed diesel combustion mode, *PhD. Thesis*, , Department of Mechanical Engineering University of Michigan, Michigan, USA.
- [25] **Afşar, M.,** 2015. Bir dizel motorda atık biyodizel kullanımının yanma karakteristiklerine etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [26] **Karakuş, N.,** 2000. Yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkisi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [27] **Özer, S.,** 2010. Butanol kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [28] **Cheremisinoff, N.P.,** 1979. Gasohol for energy production, 1st ed., Ann Arbor Science Publishers Inc., United States.
- [29] **Alptekin, E.,** 2013. Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi ve bir dizel motorda kullanımının incelenmesi, *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [30] **Goering, C.E., Crowell, T.J., Griffith, D.R., Jarrett, M.W. and Savage, L.D.,** 1992. Compression-ignition,flexible-fuel engine, *Trans ASAE*, **35**, 423-428.

- [31] **Ajav, E.A., Singh, B. and Bhattacharya, T.K.**, 1999. Experimental study of some performance parameters of constant speed stationary diesel engine using ethanol-diesel blends as fuel, *Biomass and Bioenergy*, **17**, 357-365.
- [32] **Abu-Qudais, M., Haddad, O. and Qudaisat, M.**, 2000. The effect of alcohol fumigation on diesel engine performance and emissions, *Energy Conversion and Management*, **41**, 389-399.
- [33] **Reddy, C.V.R., Krishna, M.V.S. M. and Prasad, C.M.V.**, 1999. Studies on exhaust emissions in semi-adiabatic compression ignition engine with alternate fuels, *Indian J Eng Mater Sci*, **6**, 249-255.
- [34] **Xiao, Z., Ladommatos, N. and Zhao, H.**, 2000. The effect of aromatic hydrocarbons and oxygenates on diesel engine emissions, *proceedings of the institution of mechanical engineers. Automob Eng*, **214**, 307-332.
- [35] **Bilgin, A., Durgun, O. ve Şahin, Z.**, 2002. The effects of diesel-ethanol blends on diesel engine performance, *Energy Sources*, **24**, 431-440.
- [36] **Noguchi, N., Terao, H. and Sakata, C.**, 1996. Performance improvement by control of flow rates and diesel injection timing on dual-fuel engine with ethanol, *Bioresour Technol*, **56**, 35-39.
- [37] **Asfar, K.R. and Hamed, H.**, 1998. Combustion of fuel blends, *Energy Convers Manage*, **10**, 1081-1093.
- [38] **Satge De Caro, P. and Moloungui, Z.**, 2001. Interest of combining an additive with diesel-ethanol blends for use in diesel engines, *Fuel*, **80**, 565- 574.
- [39] **Şenveli, E.**, 2008. Etanol katkılı yakıt kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [40] **Ünlü, D. ve Hilmioğlu, Durmaz, N.**, 2014. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak biyokütleden biyoetanol üretiminin incelenmesi, *Uluslararası Enerji ve Güvenlik Kongresi*, Kocaeli, 23-24 Eylül, s.714-724.
- [41] **Usta, N., Çelikten, İ. and Özer, C.**, 2004. Effects of ethanol addition on performance and emissions of an ıdı diesel engine running at different injection pressures, *Energy Conversion and Management*, **45**, 2429-2440
- [42] **Usta, N., Özer, C. ve Öztürk, E.**, 2004. Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolün karşılaştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Denizli, **11**, 325-334.
- [43] **Alakel, H.**, 2008. Bir dizel motorda biyodizel, dizel ve etanolün motor performansına etkilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.

- [44] <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx>. 1 Nisan 2017.
- [45] **Knothe, G., Gerpen, J.V. and Krah, J.**, 2004. The Biodiesel Handbook, AOCS Press, Champaign, Illinois, USA.
- [46] **Rasimoğlu, N.**, 2011. Biyodizelin soğuk akış özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [47] **Ulusoy, Y. and Alibas, K.**, 1999. Using various vegetable oil as alternative fuel in Diesel engine, *7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy*, Adana, 26-27 Mayıs, s.297– 301.
- [48] **Acharya, B., Guru, P.S. and Dash, S.**, 2016. Tween-80-n-butanol/isobutanol-(diesel + kerosene)-water microemulsions - phase behavior and fuel applications, *Fuel*, **171**, 87–93,
- [49] **Tippayawong, N., Chumjai, P. and Preparation, A. S.**, 2012. Characterization and performance of biofuel from passion fruit processing residue , *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, **2**, 24–27
- [50] **Savarache, C., Vinatoru, M., Nishimura, R. and Maeda, Y.**, 2005. Fatty acids methyl esters from vegetable oil by means of ultrasonic energy, *Ultrasonic Sonochemistry* **12**, 367-373.
- [51] **Taylor, M., Atri, B.S. and Minhas, S.**, 2005. Developments in Microwave Chemistry, Evalueserve. http://www.rsc.org/images/evaluserve_tcm18-16758.pdf. 10 Şubat 2017.
- [52] **Kusdiana, D. and 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*, Sevilla, Spain. June 5-9.
- [53] **Srivastava, A. and Prasad, R.**, 2000. Triglycerides-based diesel fuels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **4**, 111-113.
- [54] **İlkılıç, C.**, 2011. An analysis of exhaust emissions on a diesel engine operation by biodiesel, *Energy Sources*, **33**, 4, 298–306.
- [55] **Çıldır, O. ve Çanakçı, M.**, 2006. Çeşitli bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde katalizör ve alkol miktarının yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **21**, 367-372.
- [56] **Sharma, Y.C., Singh, B. and Upadhyay, S.N.**, 2008. Advancements in development and characterization of biodiesel: A review, *Fuel*, **87**, 2355–2373
- [57] T.C Resmi Gazete, Otomotiv yakıtları, yağ asidi metil esterleri (yame/biyodizel), dizel motorlar için özellikler ve deney yöntemleri, 21.11.2009, 75- 160. 20.
- [58] **İşler, A. ve Karaosmanoğlu, F.**, 2010. Biofuels in Turkey, in Rethinking Structural Reform in Turkish Agriculture: Beyond the World Bank's Strategy, New York: Nova Science Publishers, ISBN: 978-1-60876-718-2.

- [59] **Luque, R., Campelo, J. and Clark, J.H.**, 2011. Handbook of biofuels production: Processes and technologies, Woodhead Publishing, Oxford, Philadelphia.
- [60] **İşler, A.**, 2012. Aspir yağı etil esteri ve yaşam döngüsü değerlendirmesi, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [61] **Öğüt, H. ve Oğuz, H.**, 2006. Üçüncü Milenyum Yakıtı Biyodizel, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [62] **Peker, A. S.**, 2009. Gıda niteliği olmayan zeytinyağından elde edilen biyodizelin ve karışımlarının yakıt özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [63] **Knothe, G.**, 2008. Designer: optimizing fatty ester composition to improve fuel properties, *Energy Fuels*, **22**, 1358-1364.
- [64] **Nas, S., Gökalt, H.Y. ve Ünsal, M.**, 2001, Bitkisel Yağ Teknolojisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Matbaası, Denizli.
- [65] **Danışman, A.**, 2008. Bitkisel yağlardan değerli kimyasallar ve biyodizel üretimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [66] **Ralbovsky, E.**, 1997. An Introduction To Compact And Automotive Diesels, *Delmar Publisher, USA*, 44-48.
- [67] **Çıtak, M.**, 2014. Bir dizel motorunda mtbe katkılı biyodizel kullanımının deneysel analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [68] **Ulusoy, Y.**, 1999. Ayçiçeği, kolza, pamuk ve soya yağlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi üzerine karşılaştırmalı bir araştırma, *Doktora Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [69] **Tillem, İ.**, 2005. Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [70] **Akdere, Y.**, 2006. Soya yağı metal esterin dizel motorlarda yakıt olarak kullanımının deneysel olarak araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- [71] **Yıldız, M.**, 2008. Atık yağlardan biyodizel üretimi ve karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- [72] **Hacıkadiroğlu, H.**, 2007. Bitkisel yağ esterleri motorin karışımının motor performansı ve emisyonlarına etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [73] **Akyarlı, A., Alpaslan, N., Çiçek, T., Diktaş, E., Elmacı, Y., Karagözlü, C., Öztüre, N., Sayın, R., Sezerman, U., Sındır, K.O., Sipahi, D. ve Şahin, O.**, 2004. Biyodizel yakıtın uluslararası standartlarda üretimi, *Bioenerji Sempozyumu*, İzmir, 20-22 Ekim.

[74] http://www.oerlikon.com.tr/files/bakir_ve_alasimlarinin_korozyon_problemleri.pdf
5 Ağustos 2017.

[75] **Arslan, M.**, 2015. Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisinin projelendirilerek imal edilmesi ve yabancı zeytinden (oleaoleaster) üretilen biyodizelin yakıt özelliklerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

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

[77] **Keskin, A.**, 2005. Tall yağı esaslı biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretimi ve bunların dizel motor performansı üzerindeki etkileri, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[78] **Altınsoy, A. S.**, 2007. Biyodizel üretimi, motorlarda kullanımı ve Türkiye'deki kaynakların incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[79] **Heywood, J.**, 1988. Internal Combustion Engine Fundamentals, Mc Graw-Hill, Newyork, USA. ISBN: 0-07-028637-X

[80] **Aktaş, A. ve Sekmen, Y.**, 2008. Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, **23**, 199-206

[81] **Yiğit, A.**, 2008. Bir dizel motorda LPG kullanılması ve farklı özellikteki pilot dizel yakıtının motor performans ve emisyonuna etkisinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

[82] **Öcal, M.**, 2007. Setan sayısı hakkında 6 soru, *Mühendislik ve Makina Dergisi*, **48**, 568, 24-25

[83] **Karahan, Ş.**, 2006. Biyodizel kalitesi ve biyodizel kalitesinin dizel motorlara etkisi, *Ulusal Biyodizel Sunuşayı*, Ankara.

[84] **Nişancı, S.**, 2007. Biyodizel yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin deneysel araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[85] **Işıklı, İ., Yamık, H. ve Kurban, M.**, 2011, Biyodizelin dizel santrallerde kullanım analizi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Fırat Üniversitesi Elazığ, 16-18 Mayıs.

[86] **İlkılıç, C.**, 2007. Biyodizel yakıtın dizel motoru performansına etkileri, *Mühendislik ve Makina Dergisi*, **48**, 565, 20-27

[87] **Altun, Ş. ve Gür, M.A.**, 2005. Bitkisel yağların yakıt olarak dizel motorlarında kullanılması, *Harran Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, **9**, 35-42

- [88] **Lue, Y.F., Yeh Y.Y., and Wu, C.H.**, 2001. The emission characteristics of a small D.I. diesel engine using biodiesel blended fuels, *J. Environ. Sci. Health*, **36**, 845–859.
- [89] **Yücel, H.L.**, 2002. Pamuk yağı – motorin karışımlarının alternatif dizel yakıtı olarak kullanılması. *IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul, 16-18 Ekim, s.945- 952.
- [90] **Karaosmanoğlu, F.**, 2002. Türkiye için çevre dostu-yenilenebilir bir yakıt adayı: biyomotorin, *Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi*, **10**, 50- 56.
- [91] **Şahin, A.**, 2014. Hardal yağından elde edilen biyodizelin motor performansına etkileri ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, A.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [92] <http://www.elektrikport.com>. 16 Haziran 2016.
- [93] **Chisti, Y.**, 2007. Biodiesel from microalgae, *Biotechnology Advances*, **25**, 294-306
- [94] **Yang, C., Zhang, B., Cui, C., Wu, J., Ding, Y. and Wu, Y.**, 2016. Standards and protocols for characterization of algaebased biofuels, *Trends in Renewable Energy*, **2**, 56-60.
- [95] **Harun, R., Davidson, M., Doyle, M., Gopiraj, R., Danquah, M. and Forde, G.**, 2011. Technoeconomic analysis of an integrated microalgae photobioreactor, biodiesel and biogas production facility, *Biomass and Bioenergy*, **35**, 741-747.
- [96] **Becker, E.W.**, 1994. Microalgae: Biotechnology and Microbiology, Cambridge University Press, Cambridge.
- [97] **Wolkers, H., Barbosa, M., Kleinegris, D.M.M., Bosma, R. and Wijffels, R.H.**, 2011. Microalgae: The green gold of the future? Large-scale sustainable cultivation of microalgae for the production of bulk commodities. Propress, Wageningen UR
- [98] **Ahmad, A.L., Yasin, N.H.M., Derek, C.J.C. and Lim, J.K.**, 2011, Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**, 584–593.
- [99] **Demirbaş, A.**, 2007. Importance of biodiesel as transportation fuel, *Energy Policy*, **35**, 4661-4670.
- [100] **Leite, G.B., Abdelaziz, A.E.M. and Hallenbeck, P.C.**, 2013. Algal biofuels: Challenges and opportunities, *Bioresource Technology*, **145**, 134–141.
- [101] **Fuentes-Grunewald, C., Garces, E., Rossi, S. and Camp, J.**, 2009. Use of the dinoflagellate *Karlodinium veneticum* as a sustainable source of biodiesel production, *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, **36**, 1215-1224.
- [102] **Yaşar, F.**, 2016. Yosun yağından biyodizel üretimi ve bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak kullanılması, *Doktora Tezi*, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.

- [103] <https://www.revolvy.com/topic/Auxenochlorella&uid=1575>. 2 Haziran 2017.
- [104] http://en.unionpedia.org/i/Chlorella_2 Haziran 2017.
- [105] **Krüger, W.**, 1894. Kurze charakteristik einiger niedrerer organismen im saftfluss der laubbäume, *Hedwigia*, **33**, 241-266.
- [106] http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=41407. 1 Haziran 2017.
- [107] **Barry, A., Wolfe, A., English, C., Ruddick, C. and Lambert, D.**, 2016. National algal biofuels technology review, *Energy efficeency and renewable energy report*, DOE (U.S. Department of Energy), USA.
- [108] **Mata, T.M., Martins, A.A. and Caetano, N.S.**, 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14**, 217–232.
- [109] **Bozbas K.**, 2008. Biodiesel as an alternative motor fuel: production and policies in the European Union, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **12**, 542–552.
- [110] **Carneiro, M., L., N.M., Pradelle, F., Braga, S., L., Gomes, M., S., P., Martins A., R., F.A., Turkovics F. and Pradelle R. N.C.**, 2017. Potential of biofuels from algae: Comparison with fossil fuels, ethanol and biodiesel in Europe and Brazil through life cycle assessment (LCA), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **73**, 632–653.
- [111] **Pandey, A., Lee, D.J, Chisti, Y. and Soccol, R.C.**, 2013. Biofuels from Algae, Elsevier eBook ISBN: 9780444595829.
- [112] **Piloto, R., Sanchez, Y., Melo, A.E. and Verhelst, S.**, 2017. Assessment of diesel engine performance when fueled with biodiesel from algae and microalgae: An overview, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **69**, 833-842.
- [113] **Faried, M., Samer, M., Abdelsalam, E., Yousef, R.S, Attia, A. Y. and Ali, S.A.**, 2017. Biodiesel production from microalgae: Processes, technologies and recent advancements, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **79**, 893-913.
- [114] **Karthikeyan, S. and Prathima, A.**, 2017. Environmental effect of CI engine using microalgae methyl ester with doped nano additives, *Transportation Research Part D*, **50**, 385-396.
- [115] **Allwayzy, S. H., Yusaf, T., McCabe, B., Pittaway, P. and Aravinthan, V.**, 2010. Microalgae as alternative fuel for compression ignition (CI) engines, *Southern Region Engineering Conference*, USQ, Toowoomba, Australia, November 11-12.
- [116] **Zhu, L., Nugrohob, K.Y., Shakeel, R.S., Li, Z., Martinkauppi, B. and Hiltunen, E.**, 2017. Using microalgae to produce liquid transportation biodiesel: What is next?, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **78**, 391-400.

- [117] **İlkılıç, C.**, 1999. Çeşitli alternatif yakıtların dizel motoru emisyonlarına etkilerinin teorik ve deneysel incelenmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [118] **İlkılıç, C., ve Yücesu, H. S.**, 2002. Pamuk yağı metil esteri ile dizel yakıtı karışımının bir dizel motoru performansına etkisi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **14**, 199-205.
- [119] **Jeong, G.T., Park, J.H., Park, S.H. and Park, D.H.**, 2008. Estimating and Improving Cold Filter Plugging Points by Blending Biodiesel swith Different Fatty Acid Contents, Scholl of Biological Siciences and Technology, Chonnam National University, Korea.
- [120] **Çılın, E. ve İlkılıç, C.**, 2015. Mikroalg metil esterinin bir dizel motorunda, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **31**, 68-72.
- [121] **Baydan, E.H.**, 2008. Biyoetanol, metil ester ve dizel yakıt karışımlarının dizel motorlarda kullanımının motor performansına etkisinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [122] **Lui, J.**, 2013. Biodiesel synthesis via transesterification reaction in supercritical methanol: a) A kinetic study, b) Biodiesel synthesis using microalgae oil, *Master Theses*, Syracuse University, New York, USA.
- [123] **Chen, H.Y., Huang, B.Y., Chiang, T.H. and Tang, T.C.**, Fuel properties of microalgae (*Chlorella protothecoides*) oil biodiesel and its blends with petroleum diesel, *Fuel*, **94**, 270-273.
- [124] **Tüccar, G.**, 2011. Mikroalglerden biyodizel üretimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [125] **Krohn, B.J., Mcneff, C.V., Yan, B. and Nowlan, D.**, 2010. Production of algaebased biodiesel using the continuous catalytic Mcgyan process. *Bioresource Technology*, **102**, 94-100.
- [126] **Yucesu, H.S., Topgul, T., Cinar, C. and Okur, M.**, 2006. Effect of ethanol-gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in different compression ratios, *Appl. Therm. Eng.*, **26**, 2272-2278.
- [127] **Zabeti, M., Wan Daud, W.M.A. and Aroua, M. K.**, 2009. Activity of Solid Catalysts for Biodiesel Production, *Fuel Processing Technology*, **90**, 770-777.
- [128] **Zuleta, E., C., Rios, L., A. and Benjumea, P.N.**, 2012. Oxidative stabilityand cold flow behavior of palm, sacha-inchi, jatrophaand castor oil biodiesel blends, *Grupo Procesos Fisicoquímicos Aplicados*, Medellín, Colombia, **102**, 96-101.
- [129] **Patil, P.D., Gude, V.G., Mannarswamy, A., Cooke, P., Nirmalakhandan, N., Lammers, P. and Deng, S.**, 2012. Comparison of direct transesterification of algal biomass under supercritical methanol and microwave irradiation conditions, *Fuel*, **97**, 822-831.

- [130] **Can, S., Ş.**, 2010. Botryococcus braunii ve spirulina platensis mikroalglerinden temiz ve yenilenebilir bir enerji çeşidi olan biyodizelin elde edilmesi, *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [131] **Behçet, R. ve Oral, F.**, 2014. Dizel motor performans ve emisyonları üzerindeki biyodizel-dizel karışım yakıtların etkisi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, **3**, 15-23.
- [132] **Şimşek, R. ve Aydoğan H.**, 2016. Ketencik biyodizelinin common rail enjeksiyon sistemli bir motorun performansına etkileri ve yanma karakteristikleri, 8. *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, U.Ü, Bursa, 23-24 Mayıs.
- [133] **Young, E.C.**, 2015. Türkiye’deki farklı volkanik göllerden izole edilmiş beş chlorella türünün biyodizel ve hammadde ürün verimliliğinin değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- [134] **Johnson, M.B. and Wen, Z.**, 2010. Development of an attached microalgal growth system for biofuel production, *Apply Microbiol Biotechnol*, **85**, 525– 534.
- [135] **Felizardo, P., Correia, M., Raposo, I., Mendes, J., Berkemeier, R. and Bordado, J.**, 2006. Production of biodiesel from waste frying oils, *Waste Management*, **26**, 487-494.
- [136] **Boran, K., Aşıcı, M., Kutluk, T. ve Kapucu, N.**, 2014. Alg yağından yağ asidi metil esterlerinin (yame) biyokatalitik üretimi, *Uluslararası Enerji ve Güvenlik Kongresi*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 23-24 Eylül.
- [137] **Gülyurt, Ö., M.**, 2016. Optimization study of novel biodiesel production methods from chlorella protothecoides oil, *MSc. Thesis*, Y.T.U. Graduate School of Natural and Applied Sciences, İstanbul.
- [138] **Soley Institute**, 2016. Microalgae oil, Analysis and Authenticity Report, **LOT: 2016/129**, İstanbul.
- [139] **Demir, M.**, 2015. Mikroalglerden biyodizel eldesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [140] **Erol, A.**, 2006. Değişik yağlardan elde edilen biodizellerin karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [141] **Öner Z.**, 2011. Biyodizel üretiminde adsorban maddelerin rolünün incelenmesi, *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [142] **Uluengin, B.M.**, 2007. Sizde Evinizde Biyodizel Üretebilirsiniz, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [143] **Balkesen M.**, 2017. Kişisel görüşme.
- [144] **TS EN 14103**, 2011. Hayvansal ve bitkisel yağ türevleri, yağ asidi metil esterleri (yame), ester ve linolenik asit metil ester içeriğinin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- [145] **TS EN 14111**, 2007. Hayvansal ve bitkisel yağ türevleri, yağ asidi metil esterleri (yame), iyot sayısı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [146] **TS EN 14104**, 2007. Hayvansal ve bitkisel yağ türevleri, yağ asidi metil esterleri (yame) , asit sayısının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [147] **TS-5038**, 2015. Hayvansal ve bitkisel yağlar, sabun miktarının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [148] **TS 6147 EN ISO 12937**, 2002. Petrol ürünleri, su tayini, kulometrik karl fischer titrasyon metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [149] **TS EN 12662**, 2009. Sıvı petrol ürünleri, orta destile yakıtlar, kirlilik tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [150] **TS EN ISO 3679**, 2015. Parlama noktası tayini, hızlı denge kapalı kap yöntemi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [151] **TS EN 116**, 2015. Dizel yakıtlar ve konut ısıtmada kullanılan yakıtlar, soğuk filtre tıkanma noktasının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [152] **TS 1233 ISO 3016**, 1997. Petrol ürünleri, akma noktası tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [153] **TS 2834 EN 23015**, 1996. Petrol ürünleri, bulutlanma noktası tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [154] **TS EN ISO 12185**, 2007. Ham petrol ve petrol ürünleri, yoğunluk tayini, salınım yapan u-tüpü yöntemi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [155] **TS 1013 EN ISO 3675**, 2002. Ham petrol ve sıvı petrol ürünleri yoğunluğun laboratuvarında tayini, hidrometre metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [156] **ISO 91-1**, 2017. Petroleum and related products, temperature and pressure volume correction factors (petroleum measurement tables) and standard reference conditions, *International Organization for Standardization (ISO)*, Switzerland.
- [157] **TS 1451 EN ISO 3104**, 2005. Petrol ürünleri, saydam ve opak sıvılar, kinematik viskozite tayini ve dinamik viskozitenin hesaplanması, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [158] **TS EN 14213**, 2013. Isıtma yakıtları, yağ asidi metil esterleri, gerekler ve deney yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [159] **TS 1740**, 2006. Sıvı hidrokarbon yakıtlar, yanma ısısının tayini, kalorimetre bombası metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [160] **TS 2741 EN ISO 2160**, 2002. Petrol ürünleri, bakır korozyonu tayini, bakır şerit metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- [161] **TS-1231**, 2010. İçten yanmalı motorlar, muayene ve deney esasları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [162] <http://www.anadolumotor.com/antor-4-ld-640-ly3>. 3 Mart 2017.
- [163] **Şahin, S.**, 2013. Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [164] http://www.t-telectric.com/english/t-t_electric_catalog_downloads.htm5. 3 Mart 2017.
- [165] **TS ISO 3930**, 2009. Karayolu taşıtları için egzoz emisyon ölçüm cihazları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [166] <https://www.ozenelektronik.com/egzoz-gaz-analiz-dizel-duman-test-cihazı-kombi-p.html> 3 Mayıs 2017.
- [167] **Özdemir, M.**, 2011. Bir dizel motorda biyodizel ve etanol kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [168] **Lapuerta, M., Hernandez, J.J., Fernandez-Rodríguez, D. and Cova-Bonillo, A.**, 2017. Autoignition of blends of n-butanol and ethanol with diesel or biodiesel fuels in a constant-volume combustion chamber, *Energy*, **118**, 613-621.
- [169] **Aydin, H. and İlkılıç, C.**, 2010. Effect of ethanol blending with biodiesel on engine performance and exhaust emissions in a CI engine, *Applied Thermal Engineering*, **30**, 1199–1204.
- [170] **Zaharin, M. S. M., Abdullah, N. R., Najafi, G., Sharudin, H. and Yusaf, T.**, 2017. Effects of physicochemical properties of biodiesel fuel blends with alcohol on diesel engine performance and exhaust emissions: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **79**, 475–493.
- [171] **Al-Iwayzy H., S., Yusaf T.**, 2015. Combustion of microalgae oil and ethanol blended with diesel fuel, *Energies*, **8**, 13985–13995, DOI:10.3390/en81212409
- [172] **Noorollahi, Y., Azadbakht, M. and Ghobadian, B.**, 2018. The effect of different diesterol (dieseledibiodieseletanol) blends on small air-cooled diesel engine performance and its exhaust gases, *Energy*, **142**, 196-200.
- [173] **Neel, C., Johnson, D. and Wardlow, G.**, 2008. Performance, efficiency, and NO_x emissions of a compact diesel tractor fueled with D2, B20, and B100 under steady-state loads. *Appl. Eng. Agric.*, **24**, 717–721.
- [174] **Al-Iwayzy, H.S. and Yusaf, T.**, 2017. Diesel engine performance and exhaust gas emissions using microalgae chlorella protothecoides biodiesel, *Renewable Energy*, **101**, 690-701.

- [175] **Albayrak, S.**, 2014. Biyodizelin tek silindirli bir dizel motorun performans, emisyon ve titreşimlerine olan etkilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- [176] **Küleri, K.A.**, 2011. Fakir yanmalı buji ateşlemeli motorlarda hidrojen ilavesinin çevrimsel farklar ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [177] **Ergeneman, M., Mutlu, M., Kutlar, O.A. ve Arslan, H.**, 1998. Taşıtlardan kaynaklanan egzoz kirleticileri, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [178] **Altun, Ş. ve Öner, C.**, 2004. Tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak susam yağı kullanımının deneysel incelenmesi, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [179] **İlkılıç, C. ve Öner, C.**, 2003. Bir dizel motorunda ayçiçek yağı metil esteri ile motorin karışımı kullanarak egzoz emisyonlarının incelenmesi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **15**, 579-588.
- [180] **Dorado, M.P., Ballesteros, E., Arnal, J.M., Gomez, J. and Lopez, F.J.**, 2003. Exhaust emissions from a diesel engine fueled with transesterified waste olive oil, *Fuel*, **82**, 1311-1315.
- [181] **Zhu, L., Cheung, C.S., Zhang, W.G. and Huang, Z.**, 2011. Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with ethanol–biodiesel blends, *Fuel*, **90**, 1743-1750.
- [182] **Aydın, S. ve İlkılıç, C.**, 2012. Biyodizelin hava kirliliğine etkisi, *Batman University International participated Science and Culture Symposium*, Batman Üniversitesi, Batman, Nisan 18-20.
- [183] **Peterson, C.L. and Hustrulid, T.**, 1998. Carbon cycle for rapeseed oil biodiesel, *Biomass and Bioenergy*, **14**, 91-101.
- [184] **Köse, H.**, 2012. Hidrojenin çift yakıt modunda ilavesinin motor performans ve emisyon üzerine etkisinin deneysel araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [185] **Subbaiah, G.V., Gopal, K.R., Hussain, S.A., Prasad, B., D. and Reddy, K., T.**, 2010. Rice bran oil biodiesel as an additive in diesel–ethanol blends for diesel engines. *Int. J.Res. Rev. Appl. Sci.*, **3**, 334–342.
- [186] **Challen, B., and Baranescu, R.**, 1999. Diesel Engine Reference Book, Second Edition, pp. 79-120, Butterworth Heinemann.
- [187] **Payri, F., Bermudez, V., R., Tormos, B. and Linares, W., G.**, 2009. Hydrocarbon emissions speciation in diesel and biodiesel exhausts, *Atmospheric Environment*, **43**, 1273-1279.

- [188] **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.
- [189] **Makareviciene, V., Lebedevas, S., Rapalis, P., Gumbyte, M., Skorupskaite V., Zaglinskis, J.**, 2014. Performance and emission characteristics of diesel fuel containing microalgae oil methyl esters, *Fuel*, **120**, 233-239.
- [190] **Wahlen, B., D., Morgan, M., R., McCurdy, A., T., Willis, R., M., Morgan, M., D., Dye, D., J., Bugbee, B., Wood, B., D., and Seefeldt, L., C.**, 2013. Biodiesel from microalgae, yeast, and bacteria: engine performance and exhaust emissions, *Energy Fuels*, **27**, 220–228.
- [191] **Labeckas, G. and Slavinskas, S.**, 2006. The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions, *Energy Conversion and Management*, **47**, 1954–1967.
- [192] **Satputaley, S.S., Zodpe, D.B. and Deshpande, N.V.**, 2017. Performance, combustion and emission study on CI engine using microalgae oil and microalgae oil methyl esters, *Journal of the Energy Institute*, **90**, 513-521.
- [193] **Zhu, L., Cheung, C.S., Zhang, W.G. and Huang, Z.**, 2010. Emissions characteristics of a diesel engine operating on biodiesel and biodiesel blended with ethanol and methanol, *Science of the Total Environment*, **408**, 914-921.

ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Gönenç Duran

2. Unvanı : Otomotiv Mühendisi

3. Öğrenim Durumu : Yüksek Lisans

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Lisans	İşletme	Anadolu Üniversitesi	2015
Lisans	Otomotiv Mühendisliği	Fırat Üniversitesi	2014
Yüksek Lisans	Otomotiv Mühendisliği	Fırat Üniversitesi	2017
Yüksek Lisans	Üretim Yönetimi ve Pazarlama	İnönü Üniversitesi	-

4. Projeler, Akademik Çalışmalar, Bursiyerlikler

TÜBİTAK ARDEB Araştırma Projesi Bursiyeri

TÜBİTAK BİDEB 2211 Yüksek Lisans Bursiyeri

Pneumatics course, SMC International Training Center, 2013.

G. Duran, “Farklı kültüre ve yaşam tarzlarına sahip otomobil son kullanıcılarının, sahip oldukları otomobilleri satın almayı tetikleyen unsurların, satış sonrası memnuniyetlerinin ve deneyimlerinin incelenmesi için 12 farklı ülkede kantitatif yüzyüze araştırılması”. (Kişisel Proje)