



T.C.
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIK AĞARTMA TOPRAĞINDAN GERİ
KAZANILAN ATIK YAĞDAN BİYODİZEL
ÜRETİMİ VE DİZEL MOTOR PERFORMANS
VE EMİSYONLARINA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Tuğba ELARSLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ocak-2022
MUŞ
Her Hakkı Saklıdır



T.C.
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIK AĞARTMA TOPRAĞINDAN GERİ
KAZANILAN ATIK YAĞDAN BİYODİZEL
ÜRETİMİ VE DİZEL MOTOR PERFORMANS
VE EMİSYONLARINA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Tuğba ELARSLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Mehmet AKÇAY

Ocak-2022
MUŞ
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL ve ONAYI

Tuğba Elarslan tarafından hazırlanan ‘‘Atık ağartma toprağından geri kazanılan atık yağdan biyodizel üretimi ve dizel motor performans ve emisyonlarına etkisinin incelenmesi’’ adlı tez çalışması 06/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Salih ÖZER
Muş Alparslan Üniversitesi,
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Makina Mühendisliği

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKÇAY
Muş Alparslan Üniversitesi,
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Makina Mühendisliği

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman DEMİRCİ
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği

.....

Yukarıdaki sonuç;
Enstitü Yönetim Kurulu/...../..... Tarih ve/..... nolu kararı
ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Sedat BOZARI
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Muş Alparslan Üniversitesi-Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından BAP-20-MMF-4902-02 nolu proje ile desteklenmiştir.

**Dr. Öğr. Üyesi İlker Turgut YILMAZ bu tez çalışmasının ikinci danışmanıdır.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Tuğba ELARSLAN

06/01/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIK AĞARTMA TOPRAĞINDAN GERİ KAZANILAN ATIK YAĞDAN BİYODİZEL ÜRETİMİ VE DİZEL MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Tuğba ELARSLAN

Muş Alparslan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Mehmet AKÇAY

Dünyada gün geçtikçe artan enerji ihtiyacı, fosil yakıtların sınırlı olmaları ve çevreye zarar vermeleri biyodizel gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmaktadır. Biyodizel yakıtlar motorlarda herhangi bir değişiklik yapmadan kullanılabilen çevre dostu yakıtlardır. Biyodizel; bitkisel, hayvansal ve atık yağlar gibi çeşitli yenilenebilir kaynaklardan elde edilebilmektedir. Bu çalışmada, yemeklik yağ rafinasyon sürecinde bir atık olarak açığa çıkan ağartma toprağı tarafından absorbe edilmiş olan yağ, biyodizel yakıtı üretiminde hammadde kaynağı olarak kullanılmıştır. Mevcut çalışmada öncelikle ekstraksiyon işlemi ile atık ağartma toprağı (AAT) tarafından absorbe edilmiş olan atık yağ geri kazanılmıştır. Daha sonra geri kazanılan atık ağartma toprağı yağı ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen biyodizel hacimsel olarak % 10, % 20 ve % 30 oranında dizel yakıtı ile karıştırılmış ve B10, B20 ve B30 yakıtları elde edilmiştir. Yakıtlar, dört silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı, 1,461- L, turbo şarjlı, common-rail yakıt enjeksiyon sistemine sahip bir dizel motorda sabit motor devri (1750 d/d) ve farklı motor yüklerinde (50 Nm, 75 Nm ve 100 Nm) test edilmiş, motor performans ve egzoz emisyon değerleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; atık ağartma toprağı yağı (AATY)'ndan elde edilen biyodizel kullanımı ile özgül yakıt tüketimi artarken egzoz gazı sıcaklığının azaldığı gözlenmiştir. Hacimsel verimde belirgin bir farklılık gözlenmemiştir. Son olarak NOx ve O₂ emisyonlarında artış gözlenirken is emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir.

2022, 67 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, atık ağartma toprağı, motor performansı, egzoz emisyonu,

ABSTRACT

MS THESIS

BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE OIL RECOVERED FROM SPENT BLEACHING EARTH AND INVESTIGATION OF ITS EFFECTS ON DIESEL ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS

Tuğba ELARSLAN

**Muş Alparslan University
Natural and Applied Science
Department of Nuclear Energy and Energy Systems**

Advisor: Assist. Prof. Mehmet AKÇAY

The increasing energy demand in the World increases the importance of renewable energy sources such as biodiesel, due to the limited use of fossil fuels and their harm to the environment. Biodiesel fuels are environmentally friendly fuels that can be used in diesel engines without any modification. Biodiesel; It can be obtained from various renewable resources such as vegetable, animal and waste oils. In this study, the oil absorbed by the bleaching soil which is released as a waste in the cooking oil refining process was evaluated as a raw material in the production of biodiesel fuel. In the present study, first of all, the waste oil that was absorbed by the spent bleaching earth was recovered by the extraction process. Then, with the recovered spent bleaching earth oil. The produced biodiesel was mixed at % 10, % 20, % 30 by volume and B10, B20, B30 fuels were obtained. Fuels were tested in a four-cylinder, four-stroke, water-cooled, 1,461-L turbocharged diesel engine with common rail fuel injection system at constant engine speed (1750 rpm) and different engine loads (50 Nm, 75 Nm and 100 Nm). In addition, engine performance and exhaust emission values were examined. According to the results obtained; when using biodiesel fuel produced from spent bleaching earth, it was observed that the specific fuel consumption increased while the exhaust gas temperature decreased. No significant difference was observed in volumetric yield. Finally, an increase was observed in NO_x and O₂ emissions, while a decrease in soot emissions was observed.

2022, 67 Pages

Keywords: Biodiesel, spent bleaching earth, engine performance, exhaust emissions

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince ve tez çalışmamın planlanması araştırılması ve meydana gelmesinde desteğini esiremeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım çok değerli danışman hocalarım sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKÇAY'a ve Dr. Öğr. Üyesi İlker Turgut Yılmaz'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımnda değerli tecrübeleri ile bana destek olan Doç. Dr. Ertan ALPTEKİN ve Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin ŞANLI hocalarıma, yine tez çalışmam boyunca destek aldığım sayın Arş. Gör. Gizem Hazan ÇAĞLAYAN'a teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Muş Alparslan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler (BAP) Koordinatörlüğüne (Proje No: BAP-20-MMF-4902-02) teşekkür ederim.

Tuğba ELARSLAN
MUŞ-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. BİYODİZEL.....	9
3.1 Biyodizelin Tanımı	9
3.2 Biyodizelin Özellikleri.....	9
3.3 Biyodizelin Tarihçesi	10
3.4 Biyodizelin Avantajları ve Dezavantajları.....	10
3.5 Dünyada Biyodizel Üretimi ve Tüketimi.....	12
3.6 Türkiye’de Biyodizelin Durumu.....	13
3.7 Biyodizel Standartları	13
3.8 Biyodizel Üretimi	15
3.8.1 Seyreltme yöntemi	15
3.8.2 Mikroemülsiyon yöntemi.....	16
3.8.3 Piroliz yöntemi.....	16
3.8.4 Transesterifikasyon yöntemi.....	16
3.8.4.1 Transesterifikasyon reaksiyonlarına etki eden değişkenler	17
3.9 Biyodizel Üretimi İçin Kaynaklar.....	18
3.9.1 Hayvansal yağlar.....	18
3.9.2 Bitkisel yağlar	18
3.9.2.1 Bitkisel yağların elde edilmesi ve rafine edilmesi	20
3.9.3 Atık yağlar	22
3.9.3.1 Hayvansal atık yağlar.....	22
3.9.3.2 Bitkisel atık yağlar	22
3.9.3.3 Atık ağartma toprağı yağı	23
4. MATERYAL ve METOT	24
4.1 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Materyaller	24
4.1.1 Atık ağartma toprağı	24
4.1.2 Hassas terazi	25
4.1.3 Soxlet ekstraksiyon düzeneğı.....	25
4.1.4 Vakumlu döner buharlaştırıcı	25

4.1.5 Manyetik karıştırıcılı ısıtıcı.....	26
4.1.6 Biyodizel üretim düzeneği	26
4.1.7 Yağ ekstraksiyonu ve biyodizel üretiminde kullanılan kimyasallar	27
4.2 AAT'dan Yağ Ekstraksiyonu.....	28
4.2.1 Nem tayini.....	28
4.2.2 Yağ ekstraksiyonu.....	28
4.4 AATY'dan Biyodizel Üretiminin Optimizasyonu.....	29
4.4.1 Ön iyileştirme aşaması;.....	30
4.4.2 Transesterifikasyon aşaması;	32
4.5 Motor Performans ve Egzoz Emisyon Deneyleri	35
4.5.1 Deney motoru	36
4.5.2 Dinamometre	37
4.5.3 Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.....	38
4.5.4 Egzoz emisyon cihazı	39
4.6 Deneysel Verilerin Analizi	39
4.6.1 Özgül yakıt tüketimi	39
5. BULGULAR ve TARTIŞMA	41
5.1 AAT'dan Yağ Elde Edilmesi ve Biyodizel Üretimi	41
5.1.1 AAT'nın yağ içeriği ve özellikleri.....	41
5.1.2 AAT yağından biyodizel üretimi	42
5.1.2.1 Ön iyileştirme reaksiyonu	42
5.1.2.2 Transesterifikasyon reaksiyonu	44
5.1.2.2.1 Katalizör tipi ve miktarının biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi	44
5.1.2.2.2 Alkol miktarının biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi	45
5.1.2.2.3 Reaksiyon sıcaklığının biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi	46
5.1.2.2.4 Reaksiyon süresinin biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi.....	46
5.1.3 AAT yağı biyodizeli yakıt analizi sonuçları	47
5.2 Motor Performans Testleri.....	48
5.2.1 Isıl verim	48
5.2.2 Hacimsel verim	49
5.2.3 Özgül yakıt tüketimi	50
5.2.4 Egzoz gaz sıcaklığı	51
5.3 Egzoz Emisyonları.....	52
5.3.1 Azotoksit (NO _x) emisyonlarının karşılaştırılması.....	52
5.3.2 Hidrokarbon (HC) emisyonlarının karşılaştırılması	53
5.3.3 Karbondioksit (CO ₂) emisyonlarının karşılaştırılması	53
5.3.4 Oksijen (O ₂) emisyonlarının karşılaştırılması.....	54
5.3.5 Is emisyonlarının karşılaştırılması	55
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	57
6.1 Sonuçlar	57
6.2 Öneriler	58
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	67

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

CH ₃ OH	: Metanol (Metil alkol)
CH ₃ (CH ₂) _n COOH	: Yağ asitlerinin genel formülü
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbon dioksit
d/d	: Devir/dakika
HC	: Hidrokarbon
H ₂ SO ₄	: Sülfürik asit
KOH	: Potasyum hidroksit
NaOH	: Sodyum hidroksit
NO ₂	: Azot dioksit
NO _x	: Azot oksitler
O ₂	: Oksijen

Kısaltmalar

AAT	: Atık ağartma toprağı
AATY	: Atık ağartma toprağı yağı
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AOCS	: Amerikan Petrol Kimyagerleri Derneğı
APYME	: Atık pişirme yağı metil esteri
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
AYY	: Atık yemeklik yağ
B10	: %90 dizel + %10 biyodizel
B20	: %80 dizel + %20 biyodizel
B30	: %70 dizel + %30 biyodizel
B100	: Saf biyodizel
BEPA	: Biyokütle enerjisi potansiyeli atlası
BYME	: Balık yağı metil esteri
D2	: Standart dizel yakıtı
DIN 51606	: Almanya biyodizel standardı
EMK	: Etil metil keton
EN 14214	: Avrupa Birliğı Biyodizel Standardı
NBB	: Ulusal biyodizel kurulu
OPEC	: Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü
PE	: Petrol eter
PKO	: Hurma çekirdeğı yağı
PM	: Partikül madde
SBE	: Kullanılmış ağartma toprağı
SBC	: Kullanılmış ağartıcı kil
SYA	: Serbest yağ asidi
TEP	: Ton eşdeğer petrol

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3. 1	Trigliserit ve alkolden biyodizel eldesi	16
Şekil 4. 1	Atık ağartma toprağı.....	24
Şekil 4. 2	Hassas terazi	25
Şekil 4. 3	Soxlet ekstraksiyon düzeneğı	25
Şekil 4. 4	Vakumlu döner buharlaştırıcı.....	26
Şekil 4. 5	Manyetik karıştırıcılı ısıtıcı	26
Şekil 4. 6	Biyodizel Üretim Düzeneğı.....	27
Şekil 4. 7	Kimyasallar	27
Şekil 4. 8	AATY'dan iki aşamalı biyodizel üretim süreci akış şeması.	29
Şekil 4. 9	Ön iyileştirme reaksiyonu	30
Şekil 4. 10	Ön iyileştirmiş yağın SYA tayini	31
Şekil 4. 11	Transesterifikasyon reaksiyonu	33
Şekil 4. 12	Biyodizel ve gliserin faz ayrışması	33
Şekil 4. 13	Biyodizelin yıkanması ve atık yıkama suyunun pH değeri ölçümü.....	34
Şekil 4. 14	Biyodizel kurutma işlemi	34
Şekil 4. 15	Deney düzeneğinin genel görünümü.....	35
Şekil 4. 16	Deney düzeneğinin şematik görünümü	36
Şekil 4. 17	Deney motoru	37
Şekil 4. 18	Eddy Current dinamometre	37
Şekil 4. 19	Deney verileri kayıt sistemi.....	38
Şekil 4. 20	Dijital hassas terazi.....	38
Şekil 4. 21	Egzoz emisyon ölçüm cihazı.....	39
Şekil 5. 1	Asit katalizör miktarı ile SYA değerinin değişimi (%15 alkol).....	43
Şekil 5. 2	Alkol miktarı ile SYA değerinin değişimi (%1 asit katalizör).....	43
Şekil 5. 3	Katalizör çeşidi ve miktarının biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi (alkol/yağ molar oran 6/1, 60°C, 60 dakika).....	44
Şekil 5. 4	Alkol miktarının biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi (%1 KOH, 60°C, 60 dakika).....	45
Şekil 5. 5	Reaksiyon sıcaklığının biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi (alkol/yağ molar oran 6/1, % 1 KOH, 60 dakika)	46

Şekil 5. 6 Rekasiyon süresinin biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi (alkol/yağ molar oran 6/1, %1 KOH, 60°C).....	47
Şekil 5. 7 Isıl verimin motor yüküne göre değişimi	48
Şekil 5. 8 Volümetrik verimin motor yüküne göre değişimi	49
Şekil 5. 9 Özgül yakıt tüketiminin motor yüküne göre değişimi.....	50
Şekil 5. 10 Egzoz sıcaklığının motor yüküne göre değişimi	51
Şekil 5. 11 NO _x emisyonunun motor yüküne göre değişimi.....	52
Şekil 5. 12 HC emisyonunun motor yüküne göre değişimi.....	53
Şekil 5. 13 CO ₂ emisyonunun motor yüküne göre değişimi	54
Şekil 5. 14 Oksijen (O ₂) emisyonunun motor yüküne göre değişimi	55
Şekil 5. 15 İs emisyonlarının motor yüküne göre değişimi	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3. 1	Amerika (ASTM D6751) ve Avrupa (EN 14214) biyodizel standartları... 14
Çizelge 3. 2	Kimyasal yöntemlerle üretilen biyodizellerin karşılaştırılması..... 15
Çizelge 3. 3	Bazı yağ asitlerinin özellikleri..... 19
Çizelge 3. 4	Bazı bitkisel yağların yakıt özellikleri..... 20
Çizelge 4. 1	Deney motorunun özellikleri..... 36
Çizelge 4. 2	Egzoz emisyon cihazının özellikleri..... 39
Çizelge 5. 1	Rafine pamuk yağı ve AAT yağının fiziksel özellikleri..... 41
Çizelge 5. 2	Rafine pamuk yağı ve AAT yağının yağ asidi kompozisyonu..... 42
Çizelge 5. 3	AAT yağı biyodizelinin özellikleri..... 47



1. GİRİŞ

Her geçen gün artan motorlu taşıt sayısı bu taşıtlarda kullanılan petrol kökenli yakıtların sınırlı ömrünün olması, bu yakıtların neden olduğu çevresel problemler vb. nedenlerden dolayı petrol türevi yakıtlara alternatif ve yenilenebilir yakıt arayışları zorunlu hale gelmiştir (Akar ve ark., 2018). Yeryüzünde kullanılmakta olan enerjinin büyük bölümü fosil kökenli kaynaklardan karşılanmaktadır. Bu yakıtların ömrünün sınırlı olmasının yanında, açığa çıkardıkları emisyonlar çevre sağlığı açısından önemli risk oluşturmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtların yanması ile açığa çıkan kirletici emisyonların yarısına içten yanmalı motorların sebep olduğu ifade edilmektedir (Fırat ve ark., 2017). Ülkelerin çevre kirliliğini azaltmak amacıyla getirdikleri yasal düzenlemeler, otomotiv endüstrisini daha çevreci tasarım ve üretim yapmaya zorlamaktadır. Otomotiv endüstrisinin, enerji kaynağı yetersizliği ve çevre kirliliğine sebep olmasından kaynaklanan baskıdan kurtarılması için fosil yakıtların yerine temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı kullanılması etkin bir yöntemdir (Yu ve ark., 2017). Son zamanlarda, sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde genel olarak biyodizel ile ilgili çalışmaların öne çıktığı görülmektedir (Zhang ve ark., 2018; Singh ve ark., 2020). Biyodizel, petrol kaynaklı yakıtlara olan bağımlılığı azaltmanın yanında tarımsal ekonomiyi kalkındırabileceği düşünülen temiz ve yenilenebilir bir yakıt olarak görülmektedir (Akar ve ark., 2018). Kükürt ve aromatik içermemesi, toksik olmaması ve biyolojik olarak parçalanabilir olmasından dolayı, biyodizelin dizel motorlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılması üzerine olan ilgi her geçen gün artmaktadır (Aldhaidhawi ve ark., 2017).

Biyodizel; bitkisel yağlar, hayvansal yağlar, atık yağlar ve alglerden elde edilebilmektedir (Gürü ve ark., 2010; Öğüt ve ark., 2006). Elde edilen bu biyodizelin gösterdiği özellikler, üretiminde kullanılan hammadde kaynağı ve alkol çeşidine göre değişiklik göstermekte, bu durum da her biyodizelin farklı motor performansı ve emisyon değerlerine sahip olmasına sebep olabilmektedir (Özsezen ve ark., 2008; Özsezen ve ark., 2009). Dolayısıyla literatürde biyodizelin sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kullanılması sonucunda bir takım farklı sonuçlara ulaşılsa da genel olarak, biyodizel-dizel karışımı yakıt olarak kullanıldığında PM, HC ve CO emisyonlarında

azalma eğiliminin ve NO_x emisyonlarında ise artış eğilimlerinin olduğu ifade edilmiştir (Hasan ve ark., 2017).

Biyodizel petrol tabanlı dizel yakıtına göre yüksek olan maliyetinden dolayı ticari olarak yaygınlaşmamaktadır. Toplam biyodizel üretim maliyetinin yaklaşık % 70-85'inin hammadde maliyetinden kaynaklandığı bildirilmektedir (Meng ve ark., 2008). Dolayısıyla, yenilebilir bitkisel yağların yerine, atık yemeklik yağ (AYY), hayvansal yağlar, tall yağı gibi ucuz, düşük kaliteli kaynakların kullanılması ile biyodizel üretim maliyetlerinin düşürülmesi mümkündür (Jacobson ve ark., 2008; Attia ve ark., 2016). Ayrıca yenilebilir yağların (besin kaynağı) biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılması durumunda, yemeklik yağ talebinin artması ile tarım arazisi ihtiyacı doğacağı ve ormanların kesilmesi riski endişelere yol açmaktadır (Yaakob ve ark., 2013).

Atık ağartma toprağı, bitkisel yağ rafinasyon endüstrisinde ham yağın ağartılmasından sonra açığa çıkan bir endüstriyel atıktır. 128,2 milyon tonluk dünya yemeklik yağ üretimini ve üretilen her tonluk yemeklik yağ başına 1,2-1,6 kg AAT üretildiğini göz önünde bulundurarak, yıllık küresel AAT üretiminin 1,5 ila 2,0 milyon ton arasında olduğu tahmin edilmektedir (Sahafi ve ark., 2016). AAT ağırlıkça % 20-40 yağ ve renkli pigmentler içerir ve uygun şekilde depolanmaz veya atılmazsa yangın tehlikesi gibi dünya çapında yaygın olarak kullanılan bu tür toprakların kullanımdan sonra atılması, kaçınılmaz çevresel sorunlara yol açmaktadır (Huang ve ark., 2010; Sedghamiz ve ark., 2019). Gerek atık olmasından dolayı hammadde maliyetinin olmaması, gerek çevreye atılması durumunda sebebiyet verebileceği çevresel sorunlar göz önüne alındığında atık ağartma toprağının biyodizel üretiminde hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi oldukça yerinde bir uygulama olarak görülmektedir. Son zamanlarda, AAT'dan ekstrakte edilen artık yağın biyodizel üretimi için bir hammadde olarak değerlendirildiği görülmektedir (Sahafi ve ark., 2016; Musa ve ark., 2018; Sedghamiz ve ark., 2019).

Yapılan bu çalışmada, bir atık yağ kaynağı olarak karşımıza çıkan ve atık ağartma toprağından geri kazanılan atık ağartma toprağı yağı (AATY) biyodizel hammadde kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen biyodizelin belirli oranlarda dizel yakıtına karıştırılarak kullanılması durumunda, hem yakıt maliyetlerinin düşürülmesi hem de petrol türevi dizel yakıtının sebep olacağı kirletici egzoz emisyonlarının minimuma indirilmesi amaçlanmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Çalışmanın bu bölümünde bitkisel ve hayvansal kökenli atık yağlardan biyodizel üretimi ve üretilen biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi üzerine yapılan çalışmalar kısaca özetlenmiştir. Ayrıca endüstriyel bir atık olan AAT'dan yağ geri kazanımı, bu yağdan biyodizel üretimi ile ilgili yapılan çalışmalardan detaylı olarak bahsedilmiştir.

Alptekin ve Çanakçı (2008) yaptıkları çalışmada bitkisel ve atık yağlardan yağ asidi metil esterleri üretmiş ve bunların yakıt özelliklerini tespit etmişlerdir. Ester üretiminden önce kullanılan yağların serbest yağ asidi değerleri AOCS Cd 3a-64 metoduna göre saptanmıştır. Transesterifikasyon reaksiyonu 60 °C'de 4 saat boyunca alkol olarak metanol (CH₃OH) ve katalizör olarak potasyum hidroksit (KOH) kullanılarak metanol-yağ molar oranı 6:1 olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon sonunda gliserin-ester fazını ayırtmak için bekletme kabında bir gün bekletilmiş ve esterin sabundan ayrışması için dört kez yıkama yapılmıştır. Üretilen esterın yakıt özelliklerinin belirlenmesi için (Amerikan Test ve Malzemeler Birliği) ASTM D941, ASTM D445, ASTM D97, ASTM D86, ASTM D-6751 test yöntemleri kullanılmıştır.

Behçet ve ark., (2012) yaptıkları çalışmada hamsi yağı ve atık kızartma yağı kullanarak balık yağı metil esterı (BYME) ve atık pişirme yağı metil esterı (APYME) üretmişlerdir. Transesterifikasyon reaksiyonu katalizör olarak NaOH ve alkol olarak metil alkol kullanılarak 60 °C'de 2 saat boyunca gerçekleştirilmiştir. Elde edilen biyodizel içinde yağ asidi, reaksiyona girmemiş alkol veya katalizör bulunmasına karşı yıkanmış ve 100 °C'de kurutulmuştur. Motor performans ve emisyon deneyleri için kullanılan dizel motor dört stroklu, tek silindırlı, hava soğutmalı ve direkt enjeksiyonlu bir motordur. Yapılan deneylerden elde edilen verilere göre dizel yakıtına göre BYME ve APYME'nin egzoz emisyon değerlerinin çevreye daha uyumlu olduğu tespit edilmiş, fakat motor performans değerlerinin D2 (standart dizel yakıtı) yakıtına göre daha düşük seviyede olduğu gözlenmiştir.

Aysal ve ark., (2014) yaptıkları çalışmada hardal yağından biyodizel üreterek bu yakıtın motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Hardal yağının serbest asit değerinin ölçümü için Fenolftalein ve potasyum hidroksit kullanılmıştır. Yağın serbest yağ asidi (SYA) içeriğinin % 3'ten düşük olduğu tespit edildiğinden ön iyileştirme yapılmamıştır. Öncelikle CH₃OH ve NaOH karıştırıcılı ısıtıcı ile 30 dakika boyunca 40 °C'ye ayarlanmış geri soğutucu altında ısıtılmış daha sonra

karışıma hardal yağı eklenerek ısıtmaya devam edilmiştir. Yapılan tüm deneylerde karıştırma hızı 600 rpm seçilmiştir. Reaksiyon sonunda gliserin fazı ayırma hunisi ile ayrılmıştır. Hunide kalan biyodizel 90 °C'de saf su ile yıkanmış ve kalan suyun uzaklaşması için 110 °C'de kurutulmuştur. Motor performans deneyleri için dört zamanlı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu ve hava soğutmalı bir dizel motor kullanılmış öncesinde motor yağı ve filtresi değiştirilmiştir. Başlangıçta motor 10 dakika çalıştırılmış ve motor çalışma sıcaklığına gelince deneyler yapılmıştır. Hardal yağdan biyodizel üretim sürecinde maksimum verim; 60 °C ve 90 dakikada % 0.75 wt katalizör % 20 wt metanol/yağ oranı kullanılarak elde edilmiştir.

Arslan ve Alibaş (2015) yaptıkları çalışmada, rafine olmayan ayçiçek yağı, rafine zeytinyağı ve atık kızartma yağı kullanarak biyodizel üretmişlerdir. Atık kızartma yağından biyodizel üretiminde her 1 litre yağ için 250 ml metil alkol ve 5 gr sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Rafine edilmemiş ayçiçek yağında ve rafine edilmiş zeytinyağında ise 1 litre yağ için 200 ml metil alkol ve 3,5 gr sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Yapılmış olan viskozite ve yoğunluk testlerinde numunelerin yoğunluklarının TS EN 14214 standardına uygun olduğu viskozitelerinin de TS EN 14214 standardına yakın ancak norm sınır değerlerinde olmadığı tespit edilmiştir. Viskozite değerleri U.S Kalite Spesifikasyonu NBB/ASTM ye göre sınır değerlerindedir.

Sarıdemir ve Albayrak (2015) yaptıkları çalışmada kanola yağını kullanarak metil esterleştirmeyle biyodizel üretmişlerdir. Kanola yağından üretilen biyodizel standart dizel yakıtına hacimce % 20, % 40 ve % 60 oranlarında karıştırılarak motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonunda % 99,5 saflıkta metil alkol ve potasyum hidroksit katalizörü kullanılmıştır. Deneyler 10 °C ortam sıcaklığında ve motor çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra 1400-3200 d/d aralığında 600 d/d aralıklarla, tam gaz konumundayken gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre standart dizel yakıtı ile kanola yağı metil esterinin karışım oranındaki artışla duman yoğunluğu, güç, tork düşmüş, HC, NO_x, CO, CO₂, emisyonları, özgül yakıt tüketimi yükselmiştir.

Sekmen ve Şen (2016) yaptıkları çalışmada hamsi yağından biyodizel üreterek tek silindirli, dört zamanlı bir dizel motorda değişik devirlerde tam yük altında motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisini gözlemlemiştir. Transesterifikasyon reaksiyonunda % 99 saflıkta metil alkol ve sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. 1000 ml balık yağı için 4,7 g NaOH, 200 ml metil alkol kullanılarak metoksit çözültisi

hazırlanmıştır. Yapılan deneylere göre karışımdaki biyodizel oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi % 5-12 artmış, motor momenti % 2-6 azalmıştır. Emisyon testlerine göre ise, CO, HC emisyonlarında azalma, NO_x emisyonlarında artma gözlenmiştir.

Özdemir ve Mutlubaş (2019) yaptıkları çalışmada mısır yağından kitosan biyopolimerinin –NH₂ grubunun klasik ısıtma yöntemleriyle, farklı yapıdaki aminoasitlerin modifikasyonunu sağlayarak tasarladıkları heterojen katalizörle biyodizel üretmişlerdir. Önce geleneksel yöntem daha sonra da mikrodalga destekli yöntem olmak üzere iki farklı yöntemle biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. 250 ml yağ manyetik ısıtıcı üzerine yerleştirilerek 55 °C'ye kadar ısıtıldıktan sonra tasarlanan katalizör 0,5 g tartılarak beher içerisine aktarılmıştır. 50 ml MeOH+1,5 g NaOH ile hazırlanan metanol çözeltisi 55 °C'ye kadar ısıtılan mısır yağı + katalizör karışımı içine yavaş yavaş eklenerek transesterifikasyon reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon ürünleri bir gün bekletilmiştir. Kurutucu olarak MgCl₂.6H₂O kullanılmıştır. Biyodizel elde edilmesinde, mikrodalga enerjisi yöntemi ile üretilen biyodizelin geleneksel ısıtma yöntemi ile üretilen biyodizelden daha yüksek verim sağladığı tespit edilmiştir. Üretilen biyodizelin yakıt özelliklerinde iyileşme tespit edilmiştir.

AAT'dan yağ geri kazanımı ve bu yağdan biyodizel üretimi ile ilgili yapılan çalışmalar;

Gül ve ark., (2010) tarafından yapılan çalışmada AAT tarafından adsorbe edilen atık yağ, biyodizel üretimi için bir hammadde olarak değerlendirilmişlerdir. n-heksan ile ağartma toprağından ekstrakte edilen atık yağın alkoliz reaksiyonları, katalizörler olarak NaOH ile gerçekleştirilmiştir. Reaksiyonlar, 1:5–1:7 yağ/alkol molar oranlarında, katalizör yağ ağırlığına göre % 1-2, ve 50 ila 60 °C arasındaki bir sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Tepki yüzeyi metodolojisine göre optimizasyona dayanarak, maksimum % 85 metil ester içeriği veren 30 dakikalık reaksiyon süresi için kritik alkolizasyon koşulları olarak; sıcaklık 57,3 °C, katalizör % 2,1 (yağ ağırlığına bağlı olarak) ve yağ:metanol molar oranı 1/6,3 belirlemişlerdir.

Huang and Chang, (2010) tarafından yapılan çalışmada, soya fasulyesi rafinerilerinde üretilen AAT'dan geri kazanılan artık yağların biyodizele dönüştürülmesinin teknik ve ekonomik olanaklarını incelemişlerdir. Transesterifikasyon yöntemiyle gerçekleştirdikleri biyodizel üretimi işleminde % 85 ila 90 arasında dönüşüm verimi elde etmişlerdir. Elde ettikleri biyodizelin özelliklerinin hem TS EN 14214 hem de ASTM D6751 standartlarına uygun olduğu görülmüştür. AAT yağlarından biyodizelin üretim maliyetinin fosil dizel veya bitkisel yağlar veya atık

yemeklik yağlardan yapılan vergi öncesi fiyatından önemli ölçüde düşük olduğunu ifade etmişlerdir.

Boey ve ark., (2011) insitu transesterifikasyon yöntemi ile kullanılmış ağartıcı kil (SBC) üzerine adsorbe edilmiş ham palmiye yağının, ultrason ve organik yardımcı çözücüler (petrol eter (PE) veya etil metil keton (EMK)) yardımıyla biyodizele dönüştürülmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Yapılan incelemelerde, SBC'nin yaklaşık% 24,2-27,0 artık yağ içerdiği, serbest yağ asidi içeriğinin % 3,01 ve nem içeriğinin %0,29 olduğu belirlenmiştir. Optimum reaksiyon koşullarını; metanol: yağ mol oranı 150: 1; katalizör (KOH) % 20, reaksiyon sıcaklığı 60 ± 2 ° C, reaksiyon süresi 2 saat olarak belirlemişlerdir. PE yardımcı çözücü olarak kullanıldığında % $75,2 \pm 1,7$ ve EMK kullanıldığında% $60 \pm 0,8$ 'lik metil ester verimi elde edilmiştir.

Mat ve ark., (2011) değirmen hurma yağı üretiminde açığa çıkan AAT'dan in situ transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. En yüksek biyodizel verimi; NaOH katalizörlüğünde, metanol: SBE oranı 3,2/1 (gram metanol: gram SBE) ve heksan:metanol oranı 0,6/1 (hexan hacmi:metanol hacmi) ile elde edilmiştir. Ayrıca, heksan: metanol oranının 0,6/1 üzerinde kullanılması (heksan hacmi: metanol hacmi), biyodizel veriminde azalmaya neden olmuştur.

Pourvosoghi ve ark., (2013) tarafından çalışmada yüksek serbest yağ asidi içeren AAT yağından biyodizel üretimi gerçekleştirmişlerdir. Bunun için öncelikle SYA değerini düşürmek için iki aşamalı esterleme işlemi geliştirilmiştir. 60 °C'de ve 45 dakika reaksiyon süresinde, metanol oranı 0,30 v/v ve asit katalizör miktarı % 1 v/v (H_2SO_4) koşullarında gerçekleştirilen reaksiyonun sonucunda SYA değeri % 3,01'e düşürülmüştür. İkinci aşamada, SYA içeriği 3,01'den % 2'nin altına düşürülmüştür. Her adımdan sonra, metanol-su karışımının uzaklaştırılması için minimum 1 saatlik bir çökelmeye bırakılmıştır. 6/1 metanol-yağa mol oranı, KOH katalizör miktarı % 1 wt/wt, 60 °C'de 20 dakika reaksiyon süresinde biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. SBE biyodizel özelliklerinin ASTM ve EN standartlarına uygun olarak olduğu görülmüştür.

Aladetuyi ve ark., (2014) tarafından yapılan çalışmada, hurma çekirdeği yağı (PKO), n-heksan kullanılarak % 16 verimle kullanılmış ağartma toprağından geri kazanılırken, hurma çekirdeğinden taze yağ, yine n-heksan kullanılarak ekstrakte edilmiş ve verimin % 40,23 olduğu görülmüştür. Bu yağlar aynı reaksiyon koşulları altında metanol ile transesterifikasyon reaksiyonuna tabi tutulmuştur. Reaksiyon şartları; 100 °C sıcaklık, 2 saat reaksiyon süresi ve yağ-metanol oranı 5/1 (w/v) olarak

alınmıştır. Üretilen biyodizelin yakıt özelliklerinin ASTM standartları içerisinde olduğu görülmüştür.

Sahafi ve ark., (2016) tarafından yapılan çalışmada, AAT tarafından absorbe edilmiş olan atık yağ, rafine edilmiş soya fasulyesi yağı ve atık kızartma yağı potansiyel biyodizel üretim kaynakları olarak değerlendirilmiştir. Yağ numunelerinin yağ asidi bileşimi, peroksit, iyot, asit değerleri, vb. gibi farklı özellikleri değerlendirilmiştir. Biyoyakıt üretmek için metanol kullanılarak iki aşamalı bir esterleştirme reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Kullanılmış ağartma toprağından geri kazanılan yağ için % 8,3 atık pişirme yağı için % 3,6 ve rafine edilmiş soya fasulyesi yağı için ise % 0,1 asitlik değeri ölçülmüştür. Üretilen biyodizel yakıtlarının tüm özelliklerinin ASTM D6751 ve EN 14214 standartları içerisinde olduğu görülmüştür.

Sedghamiz ve ark., (2019) tarafından, yerel bir bitkisel yağ fabrikasından temin edilen AAT'dan in-situ transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretilmesi üzerine çalışma yapılmıştır. Ayrıca reaksiyon sıcaklığını, etanol-SBC oranını, alkali katalizör tipini ve katalizör-SBC kütle oranını içeren dönüşümleri etkileyen bir dizi parametre için optimum çalışma koşulları belirlenmiştir. Maksimum etilester dönüşüm verimi % 72,90 olarak; 73,2 °C'lik reaksiyon sıcaklığı, 4,5 saatlik reaksiyon süresi, 4,2 ml/g etanol/SBC oranı şartlarında elde edilmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında, farklı bitkisel yağların rafinasyonunda kullanılan AAT'dan elde edilen yağların biyodizel hammadde kaynağı olarak kullanıldığı ve oldukça başarılı sonuçların elde edildiği görülmüştür. Ancak, AAT'dan yağ geri kazanımı, bu yağın biyodizel üretiminde hammadde olarak değerlendirilmesi ve nihayetinde elde edilen biyodizelin günlük hayatta yaygın olarak kullanılan bir dizel motorunda test edilmesi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılamamıştır.

Yapılan bu çalışmada, öncelikle AAT'dan yağ geri kazanımı sağlanmıştır. Daha sonra elde edilen atık yağ kullanılarak biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen biyodizel ile dizel yakıtı hacimsel olarak karıştırılarak elde edilen B10 (% 90 dizel yakıtı + % 10 AATY biyodizeli), B20 (% 80 dizel yakıtı + % 20 AATY biyodizeli) ve B30 (% 70 dizel yakıtı + % 30 AATY biyodizeli) yakıtları günümüzde yaygın olarak kullanılan dört zamanlı, 4 silindirli, su soğutmalı, aşırı doldurmalı, Common Rail yakıt püskürtme sistemine sahip bir dizel motorunda test edilerek motor performansı ve egzoz emisyonları incelenmiştir. Daha önce AAT'dan elde edilen biyodizelin günümüzde yaygın olarak kullanılan aşırı doldurmalı, Common Rail yakıt püskürtme sistemine sahip bir dizel motorunda kullanılması ile ilgili benzer bir çalışmaya rastlanılmaması bu

alışmanın özgünlüğünü göstermektedir. Yapılan bu çalışma ile literatürdeki eksikliğin giderilmesi amaçlanmaktadır.



3. BİYODİZEL

3.1 Biyodizelin Tanımı

Biyodizel, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen, biyolojik olarak parçalanabilen, toksik olmayan, petrol tabanlı dizel yakıtlara göre çevresel zararı fazla olmayan alternatif bir yakıttır (Kesgin, 2011).

Alternatif bir yakıt olarak kullanılan biyodizel; ayçiçeği, kolza (kanola), aspir, soya, vb. yağlı tohum bitkilerinden çıkarılan yağlar ya da hayvansal yağların kısa zincirli bir alkol (metanol veya etanol) ve bir katalizörle birlikte tepkimeye sokulması sonucunda oluşan bir üründür (Artukoğlu, 2006). Bir başka deyişle biyodizel; hayvansal yağlar, bitkisel yağlar ve bunlardan oluşan atık yağlardan elde edilen ve dizel motorlarda kullanılan biyolojik kökenli alternatif bir yakıttır (Yurdaarmağan, 2009).

Biyodizel, saf olarak veya farklı oranlarda petrol kökenli dizel yakıt ile karıştırılmak suretiyle motorda herhangi bir modifikasyon yapılmaksızın yakıt olarak kullanılabilir (Yıldız, 2008). Biyodizel saf olarak kullanılırsa B100 olarak adlandırılırken, örneğin % 80 dizel ile % 20 biyodizel karışımından oluşan yakıt B20 şeklinde adlandırılır (Yurdaarmağan, 2009).

3.2 Biyodizelin Özellikleri

Biyodizel içeriğinde C16-C18 yağ asidi zincirlerini bulunduran etil ester metil ya da metil ester tipi bir yakıttır. Biyodizel, ASTM standardında yenilebilir bitkisel ya da hayvansal yağ kaynaklarından elde edilen uzun zincirli yağ asitlerinin mono alkil esterleri şeklinde tarif edilmektedir. Biyodizelin adlandırılmasında kullanılan “biyo” kelimesi biyolojik kaynaklı olduğunu ve petrol kökenli dizel yakıtlara göre yenilenebilir olduğunu, “dizel” kelimesiyse dizel motorlarda kullanılabileceğini ifade eder (Kesgin, 2011).

Biyodizelin kimyasal yapısı dizel yakıtların kimyasal yapısına benzerlik gösterdiğinden dizel bir aracın yakıt deposuna doğrudan biyodizel eklenebilir. Biyodizelin bir taşıtta yakıt olarak kullanımının pek çok avantajı bulunmaktadır. Biyodizel, daha az emisyon içerir, ülkenin kendi kaynaklarıyla dışarıdan bağımsız şekilde üretilebilir, motor performansını olumsuz yönde etkilemez ve bitkisel kaynaklardan üretildiği için alternatif bir enerji kaynağıdır (Yıldız, 2008). Biyodizelde emisyon oluşumuna ve motor yanma verimine olumsuz etki eden kükürt, ham petrol atığı, aromatik hidrokarbonlar ve metaller bulunmaz (Wedel, 1999). Biyodizelin

viskozite değerleri, ısıl değeri, yoğunluğu vb. özellikleri dizel yakıtının özelliklerine oldukça benzemektedir. Bunun yanı sıra biyodizelin dizel yakıtı göre yağlama özelliği daha iyi, setan sayısı daha yüksektir. Biyodizel dizel yakıtı göre daha az toksik bir yakıttır (Artukoğlu, 2006).

3.3 Biyodizelin Tarihçesi

1800'lü yıllardan bu yana gliserin üretmek için bitkisel yağların transesterifikasyonu kullanılmaktadır. Asıl amaç gliserin elde edilmesi olduğundan organik yağlardan elde edilen biyodizel o zamanlarda yan ürün olarak kullanılmaktaydı (Yıldız, 2008). İlk olarak Rudolf Diesel "Dizel motorlar bitkisel yağlarla çalıştırılabilir ki bu durum ülkelerin tarımını geliştirmelerine yardımcı olacaktır." ifadesi ile dizel motorunu 1898'de Paris'de Dünya Sergisinde fıstık yağı kullanarak tanıtmıştır (Kılıçarslan, 2019). Henry Ford otomobillerin tasarımını yaparken 1908'den sonra üretilen otomobillerin biyokütle kullanımını için elverişli olmasına önem vermiştir (Kılıçarslan, 2019).

1920'li yıllara kadar bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı devam etmiştir. Bu yıllarda No:2 dizel olarak isimlendirilen ve bir çeşit petrol artığı olan dizel yakıt gündeme gelmiş ve dizel motorlarda bu yakıtı kullanabilmek adına bir takım modifiye çalışmaları yapılmıştır. Fiyatının uygun olması, kolay bulunabilirliği ve devlet desteğinin olması gibi sebeplerden ötürü dizel yakıt olarak petrol dizeli seçilmeye başlanmıştır (Yıldız, 2008). 1970'li yıllarda iki ekonomik kriz yaşanmıştır. Bu ekonomik krizlerin birincisi 1973'de dünya petrol durumunu kontrol eden OPEC (Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü) in petrol teminini azaltması sonucunda fiyatların yükselmesiyle yaşanmıştır. İkincisi ise 1978'de yaşanmış ve otomobil alıcıları dizel araçları daha fazla tercih etmeye başlamıştır (Kılıçarslan, 2019). 1980'li yıllarda alternatif yakıt olan biyodizelin yüksek viskozite probleminin, yağların katalizör eşliğinde reaksiyona sokularak metil estere dönüştürülmesiyle giderildiği tespit edilmiştir. 1980'li yıllardaki bu gelişme sonrasında teknolojinin de hızla değişmesiyle bu alanda da yeni süreçler uygulanmaya başlanmış ve biyodizel kelimesi kullanılır hale gelmiştir (Yıldız, 2008).

3.4 Biyodizelin Avantajları ve Dezavantajları

Biyodizelin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Mevcut dizel motorlarında herhangi bir değişim yapılmaksızın ya da küçük değişiklikler yapılarak yakıt olarak kullanılabilir.
- Petrol dizeli ile aynı koşullarda depolanıp saklanabilir.
- Biyodizel kullanımı yakıt tüketimi, motor gücü performansı gibi özelliklerde herhangi bir olumsuzluğa sebep olmaz.
- Biyodizel, petrol dizeline göre daha iyi bir yağlayıcıdır. Bu durum motor ömrünün uzamasını sağlar.
- Bitkisel hammadde kaynaklarından elde edilmesi kırsalda sosyo-ekonomik yapının gelişimine katkı sağlar ve yeni iş imkanları yaratır.
- Biyodizel saf olarak ya da petrol dizeliyle karıştırılarak kullanılabilir (Yıldız, 2008).
- Biyodizelin parlama noktası dizele göre daha yüksektir. Böylece bir kaza olması durumunda biyodizel kullanan araçlar daha az tehlikelidir.
- Biyodizelin içeriğinde oksijen oranı ortalaması % 10 iken kükürt bulunmaz. Bu sebeple yanma sonucunda biyodizel kükürt üretmez.
- Biyodizelin zehirli bir etkisi yoktur. Bunun yanı sıra, sudaki canlılara karşı toksik bir etkisi bulunmamaktadır. Ancak 1 litre ham petrol 1 milyon litre içme suyunu kirletebilmektedir.
- Yenilenebilir enerji kaynağıdır.
- Petrol fiyatlarındaki artıştan etkilenmez.
- Petro-dizellere göre daha yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Bu sebeple Mesleki Sağlık ve Güvenlik Kuruluşu tarafından yanıcı olmayan sıvı şeklinde ifade edilmiştir. Taşıma halinde de güvenlik ve sağlık açısından petro-dizellere göre daha güvenilirdir (Yurdaarmağan, 2009).
- Ekonomisi tarıma dayalı ülkelerin petrole bağımlı hale gelmesinin önüne geçer (Keşgin, 2011).

Biyodizelin dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Birim hacim başına daha az enerji içerir.
- Dizelden daha yüksek akma noktasına sahiptir (Artukoğlu, 2006).
- Biyodizelin azot oksit emisyonu dizel yakıtla oranla biraz daha yüksektir. Fakat bu problem yanma sıcaklığının azaltılmasıyla çözülebilir (Yamane ve ark, 2001).

- Soğuk hava koşulları biyodizeli petro dizelere oranla daha hızlı etkiler. Bu özellik biyodizelin soğuk iklimlerde kullanımını sınırlandırır. Biyodizel yüksek oranda doymuş yağ asidi içerdiğinden soğuk havalarda yakıt filtresini ve yakıt hattı borularını tıkar (Kerschbaum, 2003).

3.5 Dünyada Biyodizel Üretimi ve Tüketimi

Küresel enerjiye ihtiyaç ve talebin sürekli artması, yeni enerji kaynaklarının bulunmasını zorunlu hale getirmektedir (Gedikaslan, 2020). Biyodizel, artan enerji gereksinimi sebebiyle en çok tercih edilen alternatif enerji kaynaklarından biridir. Bu nedenle pek çok ülkede biyodizel enerjisi kullanılmakta ve gelişmeye devam etmektedir (Kılıçaslan, 2019). Fosil enerji kaynakları konusunda rezerv sıkıntısı yaşayan ve enerjide dışa bağımlı olan ülkelerde alternatif enerji kaynaklarıyla ilgili çalışmalar yoğunluk kazanırken biyoyakıtlarla alakalı olarak da çok yoğun çalışmalar ve teşvikler yapılmaktadır (Şanlı, 2014).

Biyodizel üretiminin sürdürülebilir olması için hammadde kaynağı en önemli parametredir. Dünyada biyodizel üretiminde önde gelen ülkelerin kullandıkları hammaddeler araştırıldığında, kendi ülkelerinde üretilen ve ellerinde bulunan yağlardan gıda için kullanılan miktar haricindeki yağları seçtikleri görülmektedir (Şanlı, 2014). Avrupa ülkelerinde 1980'li yıllardan itibaren küçük çaplı biyodizel üretimlerine başlanmıştır. Başlarda biyodizel üretimi için belli standartların olmaması ve biyodizel üretiminin şu anki metodlara göre oldukça ilkel metodlarla yapılması biyodizel kalitesinin pekiyi olmamasına sebep olmuştur. Sonraları ise biyodizel teknolojisinin gelişimi ve biyodizel üretimi standartlarının belirlenmesiyle son derece kaliteli biyodizel üretimi gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Günümüz şartlarında yapılan araştırmalar, incelemeler ve deneyler sonrasında biyodizel için Almanya'da DIN 51606 ve ABD'de soya bitkisinden üretilen biyodizel için ASTM'nin standartları bulunmaktadır. Bu standartlara uygun olacak şekilde üretilen biyodizel herhangi bir sorun teşkil etmeden kullanılabilir.

Almanya'da yıllık biyodizel üretim miktarı ortalama 1.200.000 tondur ve % 100 biyodizelden oluşan yakıt 1900'den fazla benzin istasyonunda müşterilerin hizmetindedir. Avusturya'da ise yıllık biyodizel üretim miktarı 850.000 ton civarındadır. Devlet biyodizelin petrol dizeliyle % 2 oranında karıştırılmasını önermektedir. Bunun yanı sıra Avusturya ve Almanya' da biyodizel için fosil yakıt vergisi alınmamaktadır. Çek Cumhuriyeti'nde biyodizel üretimi yıllık toplam 200.000

ton seviyesindedir. Benzin istasyonlarında % 30 biyodizel + % 70 motorin karışımı yakıt bionafta ismiyle daha ucuz olarak satılmaktadır. Fransa’da yıllık biyodizel üretimi 600.000 tondan fazladır. Ülkede biyodizel kullanımını teşvik edecek vergi indirimleri uygulanmaktadır. ABD’de özellikle soya bitkisinden biyodizel üretimi mevcuttur. ASTM standartlarına uygun olarak üretilen biyodizel araçlarda sorun çıkarmadan kullanılabilir. Belçika’da yıllık üretim 400.000 tona yakındır (Ulutürk, 2020).

3.6 Türkiye’de Biyodizelin Durumu

Türkiye’de hali hazırda elde olan imkânlarla uygulanabilecek en önemli alternatif yakıtlardan biri biyomotorindir. Ülkemizde kara ve deniz taşımacılığında dizel motorlu araçlar kullanılmaktadır. Bunun dışında sanayi sektöründe jeneratörlerde önemli miktarlarda petrol kökenli dizel yakıtı kullanılmaktadır. Petrol ihtiyacının % 85’i ithalat yoluyla giderilmektedir. Tüketilen petrol ürünleri içerisinde en fazla pay % 34 oranı ile dizel yakıtındır (Ülker, 2007). Türkiye’de biyodizel üretimi ve kullanımı mümkündür. Ülkemizde enerji üretimi amacıyla soya, ayçiçeği, kolza (kanola), aspir vb yağlı tohum bitkilerinin tarımı yapılabilir (Kökdemir, 2019). Ülkemizde biyodizelle alakalı standartlar Türk Standartları Enstitüsü’nce yayımlanmaktadır. Standart ilk olarak 2005 yılında yayımlanarak zamanla pek çok kez revize edilmiştir. Son olarak 2014’te “TS EN 14214+A1 - Sıvı Petrol Ürünleri-Yağ Asidi Metil Esterleri (Yame/biyodizel) - Dizel Motorlarda ve Isıtma Uygulamalarında Kullanılan” adıyla kabul edilmiştir (Öztürk, 2018). Bununla beraber Enerji Piyasası Denetleme Kurulu tarafından 29.09.2019 tarihinde güncellenmiş olan tebliğde piyasada akaryakıt adı altında olan motorin çeşitlerinin, biyodizel ile harmanlanma oranı % 0,5 olarak zorunlu olmuştur (İnal, 2020).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının biyokütle enerjisi potansiyeli atlasında (BEPA) verilen bilgilere göre, ülkemizde, yıllık bitkisel ve hayvansal toplam 256 ton atık oluşmaktadır. Oluşan bu atıkların teorik enerji eşdeğer miktarı yıllık yaklaşık 30 TEP’ dir (Bedir, 2020). Ülkemizde iş yerleri ve evlerden elde edilen bitkisel atık yağlar kullanılarak üretilen biyodizel miktarı 34 milyon litredir. Bu miktarın ekonomik olarak değeri ise 155 milyon TL’dir (Anonim, 2019).

3.7 Biyodizel Standartları

Biyodizelin üretiminde birden fazla hammaddenin kullanımı vardır. Biyodizel üretmek için farklı hammaddeleri kullanmanın dışında farklı katalizörle alkol de

kullanılabilmektedir. Fakat üretilmiş esterlerin biyodizel adı altına alınması ve dizel motorlarda herhangi bir sorunla karşılaşmadan uzunca bir zaman kullanılması için belli bir standardı sağlaması gerekmektedir. Bu standartlar Amerika’da ASTM D6751, Avrupa’da EN 14214 olarak adlandırılmıştır. Bu standartların yanı sıra pek çok ülke kendi biyodizel standardını oluşturmuştur (İnal, 2020).

Çizelge 3. 1 Amerika (ASTM D6751) ve Avrupa (EN 14214) biyodizel standartları (İnal, 2020)

Özellikler	Birim	ASTM D6751-11b	(EN 14214)
Yoğunluk (15°C)	kg/m ³	-	860 – 900
Viskozite (40°C)	mm ² /s	1,9 – 6,0	3,5 – 5,0
Parlama Noktası	°C	93 min.	101 min.
Setan Sayısı		47 min	51 min.
Su ve Tortu	% (hacimsel)	0,05 mak.	10 mak.
Sülfür İçeriği S15 S500		15 mak. 500 mak.	-
Serbest Gliserin	% (kütlesel)	0,02 mak.	0,02 mak.
Soğuk Filtreleme -12°C altında	saniye	360 mak. 200 mak.	-
Fosfor İçeriği	mg/kg	10 mak.	4 mak.
Asit Değeri	mgKOH/g	0,50 mak.	0,50 mak.
Toplam Gliserin	% (kütlesel)	0,24 mak.	0,25 mak.
Distilasyon %90 Geri Kazanım	°C	360 mak.	-
Sülfat Külü İçeriği	% (kütlesel)	0,020 mak.	0,020 mak.
Karbon Kalıntısı %100 Biyodizel	% (kütlesel)	0,050 mak.	0,30 mak.
Oksidasyon Stabilitesi (110°C)	saat	3 min.	8 min.
Bakır Şerit Korozyon(3h,50°C)	korozyon derecesi	No 3 mak.	No 1 mak.
Gurup I Metaller (Na+K)	mg/kg	5 mak.	5 mak.
Gurup II Metaller (Ca+Mg)	mg/kg	5 mak.	5 mak.
Bulutlanma Noktası	°C	bölgesel	-
Metanol İçeriği	% (kütlesel)	-	0,20 mak.
Monogliserit	% (kütlesel)	-	0,80 mak.
Digliserit	% (kütlesel)	-	0,20 mak.
Trigliserit	% (kütlesel)	-	0,20 mak.
Ester İçeriği	% (kütlesel)	-	96,5 min.
Linolenik asit metil ester içeriği	% (kütlesel)	-	12,0 mak.
(≥ 4 Çift Bağ) Metil Ester içeriği	% (kütlesel)	-	1 mak.
İyot Değeri	g I.100/g	-	120 mak.
Toplam Kirlilik	mg/kg	-	24 mak.
Su İçeriği	mg/kg	-	500 mak.

3.8 Biyodizel Üretimi

Biyodizel, hayvansal veya bitkisel yağların kullanılmasıyla kimyasal olarak elde edilen yağ asidi zincirinin mono alkil esteri şeklinde tanımlanmaktadır (Özdemir ve Mutlubaş, 2016). Bitkisel yağlar kullanılarak biyodizel üretilmesiyle ilgili çalışmaların çoğu, yüksek viskozitenin azaltılması üzerinedir. Viskoziteyi azaltmada iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar ısıl ve kimyasal olarak adlandırılmaktadır (Çengelci ve ark., 2011). Isıl yöntem ön ısıtma ile yağların viskozitesinin düşürülmesi esasına dayanmaktadır. Fakat ısıl yöntem hareketli bir motorda uygulandığında bir takım sorunlar oluşmaktadır. Bu sebeple kimyasal yöntemler daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Özdemir ve Mutlubaş, 2016).

Çizelge 3.2 Kimyasal yöntemlerle üretilen biyodizellerin karşılaştırılması (Özdemir ve Mutlubaş, 2016)

Yöntem	Avantaj	Dezavantaj
Seyreltme	Doğal sıvı, kullanıma hazır, yenilenebilir.	Yüksek viskozite derecesi, doymamış hidrokarbonların aktifliği, düşük miktarda uçuculuk
Mikroemülsiyon	Yanma sırasında iyi derecede spreyleme, düşük viskozite.	Yüksek derecede viskozite, düşük miktarda uçuculuk, doymamış hidrokarbonların aktifliği.
Piroliz	Petrol kökenli dizel yakıt ve benzine kimyasal açıdan benzeme.	Maliyet fazla.
Transesterifikasyon	Setan sayısı yüksek, yenilenebilir, yanma verimi yüksek ve düşük miktarda emülsiyon.	Biyodizelden su ve gliserinin ayrılması zordur.

3.8.1 Seyreltme yöntemi

Bitkisel yağların viskozitelerinin düşürülmesinin uygun bir seyreltici yardımıyla gerçekleştirildiği yöntemdir (Altun ve ark., 2005). Seyreltme olayı; bitkisel ve atık yağların bir çözücü ya da dizel ile belirli oranlarda karıştırılması neticesinde inceltilmesi durumudur (Yılmaz, 2020). Bu metodda atık kızartma yağları ya da bitkisel yağlar belirli oranlarda petrol kökenli dizel yakıtla karıştırılır. Böylece yağın viskozitesi düşürülürken, dizel yakıt kullanımı da azaltılmaktadır (Ulutürk, 2020).

3.8.2 Mikroemülsiyon yöntemi

Bitkisel yağların viskozitesini kısa zincirli metanol ya da etanol gibi alkollerle mikro emülsiyon oluşturarak düşürmek amacıyla uygulanan yöntemdir. Normal şartlarda birbiri ile karışmayan iki sıvının bir ya da daha fazla amfifilin ile bir araya gelmesi sonucunda mikro emülsiyon oluşur. Bu yöntem petrolden bağımsız olarak alternatif dizel yakıtlar üretmeyi mümkün kılmaktadır (Akgün ve ark., 2009).

3.8.3 Piroliz yöntemi

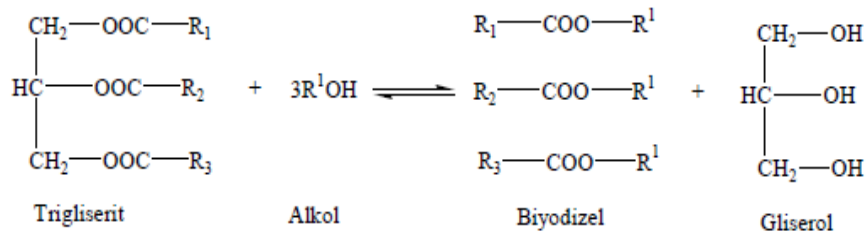
Moleküllerin yüksek sıcaklıkta daha küçük moleküllere parçalandığı yönteme piroliz yöntemi denir. Bu yöntemle viskozite düşmekte, ancak işlemler ek maliyet yaratmaktadır. Bitkisel yağların piroliz ürünleri iki metodla elde edilir. Bunlardan birisi, bitkisel yağları kapalı bir kaptaki ısı etkisiyle parçalara ayırmak, bir diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile bitkisel yağları ısı parçalanma etkisine maruz bırakmaktır. Isı etkisi ile parçalanmış bitkisel yağın özellikleri dizel yakıtın özelliklerine daha çok benzemektedir (Çengelci ve ark., 2011).

3.8.4 Transesterifikasyon yöntemi

Bitkisel ve hayvansal yağlardan biyodizel üretilmesinde en yaygın kullanılan yöntem transesterifikasyondur (Çengelci ve ark., 2011). Transesterifikasyon yönteminde, bitkisel ve hayvansal yağlar kısa zincirli alkollerle reaksiyona sokulur ve böylece biyodizel üretilir (Özdemir, 2016). Bu reaksiyonda genellikle metanol veya etanol kullanılmaktadır. Metanolün daha yaygın olarak kullanılmasının sebepleri en kısa zincirli alkol olması, polar olması, trigliseritlerle kolay reaksiyon vermesidir (Aksoy, 2010).

Transesterifikasyon yöntemi, bitkisel veya hayvansal bir yağın molekül ağırlığı küçük olan bir alkol ve asit veya baz bir katalizörle birlikte reaksiyona girerek gliserin ve yağ asidi alkol esteri oluşturmasıdır (Ulutürk, 2020).

Biyodizelin oluşum reaksiyonu şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 1 Trigliserit ve alkolden biyodizel elde edilmesi (Aksoy, 2010)

3.8.4.1 Transesterifikasyon reaksiyonlarına etki eden değişkenler

a. Katalizörün etkisi

Katalizör biyodizel üretiminin etken basamağıdır. Kullanılan katalizör türüne göre bütün reaksiyon şartları değişkenlik gösterir. Asit katalizörlerin içerisindeki serbest yağ asidinin fazla olmasından dolayı, onların katalizörlüğünde ancak uzun reaksiyon süreleri sonucunda yüksek dönüşümler elde edilir. Alkali toprak metal oksitler arasında yer alan kalsiyum oksit, yüksek bazik yapısı, metanol ile kolay çözünürlüğü, kireçtaşı ve kalsiyum hidroksit gibi ucuz kaynaklardan sentezlenebilmesi gibi avantajlara sahip olduğundan, transesterifikasyon reaksiyonu için ilgi odağı oluşturmuştur (Bedir, 2020). Asit katalizörler serbest yağ asitlerine karşı hassas olmadığından ön arıtım prosesi gerektirmezler. Asit katalizörlerin sağladığı bu avantaj, SYA oranı ağırlıkça % 2'den fazla olan yağlarda biyodizel üretiminde daha çok tercih edilmesinin sebebi olarak gösterilebilir (Çağatay, 2020).

b. Serbest yağ asidi ve nemin etkisi

Biyodizel üretiminin ham maddesi olan yağın içerisindeki su ve serbest yağ asitlerinin miktarları, biyodizel verimine önemli oranda etki etmektedir. Serbest yağ asidi ve nem miktarının fazla olması reaksiyon şartları için istenmeyen bir durumdur. Biyodizelde bulunan su, serbest yağ asitlerindeki artışa sebep olur. Serbest yağ asitleri, özellikle homojen baz katalizörlerde sabunlaşmaya ve bunun sonucu olarak da ekstra proses maliyetine sebep olurlar. Serbest yağ asidinin fazla olması dönüşümü yavaşlatır, reaksiyon süresinin uzatır (Çetin, 2015).

c. Alkol-yağ molar oran etkisi

Yağın içerisindeki esterin gliserinden ayrılması asıl amaçtır. Teorik olarak 1 mol yağ için 3 mol alkol gereklidir. Fakat bu oran, kullanılan katalizör ile değişkenlik gösterir. Heterojen katalizörlerde, alkol oranı artırıldığında reaksiyonun daha kısa sürede yüksek dönüşüme ulaştığı gözlenmiştir (Bedir, 2020).

d. Sıcaklığın etkisi

Transesterifikasyon reaksiyonu farklı sıcaklıklarda gerçekleştirildiğinde, sıcaklığın metil ester verimini artırdığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, eğer sıcaklık metanolün kaynama noktasına ulaşırsa, çok fazla metanol kabarcığı oluşur, dolayısıyla fazın ara yüzünde kütle transferini engeller (Liu ve ark., 2007). Metanolün kaynama noktasının birkaç derece altında ki sıcaklıklarda yapılan transesterifikasyon işlemi, daha iyi sonuçlar vermektedir (Bedir, 2020).

e. Karıştırma hızının etkisi

Karıştırma işlemi, genellikle üç boyunlu reaktöre bağlı manyetik karıştırıcı ile yapılır. Karıştırma hızının, heterojen katalizörlerin metanol içinde aktif olması ve transesterleşme reaksiyonunun oluşmasında etkisi vardır. Kullanılan her katalizörün tane boyutu aynı, fakat birim başına düşen partikül ağırlıklarının farklı olmasından dolayı, hafif olan katalizörlerin bir kısmı, cam reaktör içerisinde tutunmaktadır. Bu nedenle karıştırma hızı katalizör türüne göre değişkenlik gösterir. Katalizör ağırlıklarına göre 600-1000 d/d aralığında karıştırma hızı kullanılmaktadır (Bedir, 2020).

3.9 Biyodizel Üretimi İçin Kaynaklar

Biyodizel üretiminde kullanılan hammadde kaynakları hayvansal yağlar, bitkisel yağlar, kullanılmış atık kızartma yağları, algler olarak sıralanabilir. Bu hammaddeler içerisinde en büyük pay sahibi yağ bitkileridir (Altınsoy, 2007).

3.9.1 Hayvansal yağlar

Hayvansal yağlar; tavuk yağları, domuz yağı, iç yağı, balık yağları gibi yağlardır. Hayvansal yağlar sabun yapımı, mum yapımı gibi işlerde, kuş yemi olarak, pişirme işlemlerinde, biyodizel üretiminde kullanılabilir. Hayvansal yağların yağ asidi metil esteri çeşitleri birbirine benzemekte ve bu yağ esterlerinde oleik asit oranlarının yoğunlukta olduğu gözlenmiştir (Altun, 2009). Hayvansal yağların serbest yağ asidi içeriği % 85 civarındadır ve bu yağlar doğrudan doğruya yakıt olarak kullanılamamaktadır (Akgün, 2009). Hayvansal yağlar oda sıcaklığında katı ve çok viskozdur. Bu durum bu yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmasının sınırlandırılmasına sebep olmuştur (Çengelci ve ark., 2011).

3.9.2 Bitkisel yağlar

Bitkisel yağlar oda sıcaklığında sıvı halde bulunur ve doymamış yağ asidi oranı yüksektir. Hayvansal ve bitkisel yağlar genel olarak % 97 trigliseritlerden, % 3 monogliserit ve digliseritlerden oluşmaktadır (Alptekin, 2007). Bir trigliserit molekülünde, yaklaşık 41 gram gliserol, 650-790 gram arasında yağ asidi radikali bulunur. Bu durum bir trigliserit molekülünde bulunan reaktif grupların büyük bir bölümünün yağ asidi radikallerinden oluştuğunu ve yağ asidi radikallerinin yağların kimyasal ve fiziksel özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Yağ asitleri, düz yapıda karbon atom zincirinden (4-24 arasında çift sayıda karbon atomu) ve karboksil grubundan meydana gelen organik asitler olarak ifade edilmektedir.

Serbest yağ asidi, yağ asitlerinin bağ yapmadıkları durumda yağ asitlerine verilen addır. Doymuş yağ asitleri, birinci rakam yağ asidi zincirindeki karbon atomu sayısı, ikinci rakam ise çift bağların sayısı olmak üzere iki rakamla gösterilir (Şanlı, 2014).

Çizelge 3. 3 Bazı yağ asitlerinin özellikleri (Artukoğlu, 2006)

Yağ Asitleri	Karbon ve Çift Bağ Sayısı	Kimyasal Formül	Molekül Ağırlık (g)	Erime Noktası (°C)	Kaynama Sıcaklığı (°C)
Kaprilik	8:0	C ₈ H ₁₆ O ₂	144,23	16,5	239
Kaprik	10:0	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172,27	31,5	269
Laurik	12:0	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200,32	44,0	304
Miristik	14:0	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228,38	58,0	332
Palmitik	16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256,43	63,0	349
Palmitoleik	16:1	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	254,41	33,0	-
Stearik	18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284,43	71,0	371
Oleik	18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282,47	16,0	286
Linoleik	18:2	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	280,45	-5,0	202
Linolenik	18:3	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	278,44	-11,0	230
Arachidic	20:0	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	312,53	75,2	-
Eicosenoic	20:1	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	310,52	23,0	-
Behenik	22:0	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	340,59	80,0	-
Erüsik	22:1	C ₂₂ H ₄₂ O ₂	338,58	34,0	-

Biyodizel üretmek için hammadde olarak kullanılabilir birçok yağ vardır. Ancak; farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip hammadde kaynakları hem biyodizel üretim sürecini hem de üretilen yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyecektir (Şanlı, 2014). Dizel yakıt ile bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirine benzerlik göstermektedir. Bitkisel yağlar ile dizel yakıtın arasındaki en önemli farklardan biri, viskozitedir. Bitkisel yağların viskozitesi dizel yakıtın viskozitesinin 17-20 katıdır ve viskozite 30 mm²/s ile 40 mm²/s arasında değişmektedir. Setan sayısı bakımından bitkisel yağlar ile dizel yakıt birbirine yakın özelliktedir (Vellguth, 1985). Setan sayısı bir yakıtın tutuşabilirlik kalitesinin yükselmesini sağlar. Bitkisel yağların parlama noktası 200 °C iken dizel yakıtın parlama noktası 45-55 °C arasında değişmektedir. Yani bitkisel yağların parlama noktası dizel yakıtına göre bir hayli yüksektir. Soğuk akış özelliğine bakıldığında bitkisel yağların dizel yakıtına göre kötü olduğu görülür (Alptekin, 2007).

Çizelge 3. 4 Bazı bitkisel yağların yakıt özellikleri (Alptekin, 2007; Şanlı, 2014)

Yağ Adı						
Özellik	Ayçiçeği Yağı	Mısır	Pamuk	Kanola	Soya	Dizel
Yoğunluk (kg/m ³ , 15 °C)	921,7	921,9	922,3	919,9	923,3	840,0
Viskozite (mm ² /s, 40 °C)	33,08	34,33	33,96	35,78	32,63	2,7
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	39575	39500	39468	39709	39623	45343
İyot Değeri (g I ² /100g)	122,68	115,36	114,19	110,74	129,65	-
Peroksit Değeri (mEq/kg)	10,39	6,09	9,09	13,45	25,45	-
Sabunlaşma Değeri (mgKOH/g)	192,73	189,72	195,27	191,04	195,06	-
Bulutlanma Noktası (°C)	7,2	-1,1	1,7	-3,9	-3,9	-15,0
Akma Noktası (°C)	-15,0	-40,0	-15,0	-31,7	-12,2	-33,0
Parlama Noktası (°C)	274	277	234	246	254	52
Setan Sayısı	37,1	37,6	41,8	37,6	37,9	47,0

3.9.2.1 Bitkisel yağların elde edilmesi ve rafine edilmesi

Bitkisel yağlar içerisinde birçok istenmeyen bileşik barındırmaktadır. Yağlar buldukları tohumlardan mekanik ya da fiziksel metodlarla çıkarıldıktan sonra rafine edilmelidir. Tohumdan yağ elde etme işlemi, kabuk ayırma ve ekstraksiyon süreçlerinden meydana gelir. Kabuk ayırma işlemi dönen bir plaka yardımıyla tohumların tohum ayırma odacığının duvarlarına çarpılması esasına dayanır. Yağ elde etme işlemi çekirdekleri kırma ve presleme yoluyla, organik bir çözücü yardımıyla (ekstraksiyon) ya da her iki yöntemin birlikte kullanılmasıyla gerçekleştirilebilir. Her ikisinin birden kullanıldığı yöntem önpresleme-çözücü ekstraksiyonu adı verilir ve en yaygın kullanılan yöntem de bu yöntemdir (Alptekin, 2008).

Bitkisel ham yağ rafinasyonu işleminde asıl amaç; yağda bulunan istenmeyen safsızlıkları uzaklaştırarak zararlı bileşenlerin oluşumunun önüne geçerken, yağ ve içeriğindeki değerli bileşen kaybını en aşağı seviyede tutmaktır. Bitkisel yağ rafinasyonu işlemi; degumming, nötralizasyon, ağartma, vinterizasyon ve deodorizasyon aşamalarından oluşan bir işlemdir (Seçilmiş, 2020).

a. Degumming (Yapışkan maddelerin ayrılması)

Degumming yani yapışkan maddelerin ayrılması bitkisel yağ rafinasyonu işleminin ilk basamağıdır (Seçilmiş, 2020). Bu işlemle yağın içerisinde barındırdığı reçinemi madde hidrofilik fosfatidler, fosfat tuzu ya da yağ fosforik asit ile birlikte % 1-2 oranında su kullanılarak uzaklaştırılır. Bu işlemle fosfatidik bağlar koparılır ve böylece hidrate olmuş fosfatidler santrifüjlenerek ayrılır. Reçine giderme işlemi daha sonra uygulanacak aşamalarda yağ kaybını azaltmak amacıyla ilk yapılan işlemdir (Alptekin, 2008).

b. Nötralizasyon

Nötralizasyon aşaması yağ içerisinde bulunan serbest yağ asitlerinin nötralize edildiği işlemlerdir. Bu aşamada yapışkan maddelerin giderilmesi işleminden sonra yağ içerisinde hala bulunan bir miktar fosfatid, pigment ve diğer bileşikler de uzaklaştırılır. Nötralizasyon işlemi sodyum hidroksit çözeltisiyle yağa muamele edilerek yapılır. Emülsiyonu kırmak amacıyla karışım önce ısıtılır sonra meydana gelen tuz ve sabunlarla kalan sodyum hidroksidin ayrılması amacıyla santrifüjlenir. Bu işlemlerden sonra yağ fazında kalan sabun ve sodyum hidroksit su ile yıkanarak giderilir (Alptekin, 2008).

c. Ağartma

Ağartma işlemi temelde çeşitli özellikteki adsorban materyaller kullanılarak birtakım renk pigmentlerinin yağdan uzaklaştırılması işlemidir (Seçilmiş, 2020). Adsorban olarak kullanılan materyaller genel olarak aktif karbon, alüminyum silikattan meydana gelen aktifleştirilmiş ya da rejenere edilmiş killer ve sentetik silikadır (Sabah, 2005). Ağartma işleminde kullanılan yöntemlerin en önemlilerinden biri adsorpsiyonla uygulanan ağartma işlemidir. Adsorpsiyon yönteminde, kil ya da ağartma karbonları veya yüksek yüzeysel aktiviteli ağartma toprakları kullanılarak renk pigmentleri adsorbe edilir (Özsisli, 2011).

d. Deodorizasyon

Yağda bulunması istenmeyen tat ve koku bileşenlerinin giderildiği işlemdir. Bu bileşenler yağın kendi içeriğinde bulunabildiği gibi rafinasyon aşamasında da oluşabilir.

Rafinasyon aşamaları arasında 220 °C'nin üstüne çıkan sıcaklık koşullarından kaynaklı en şiddetli işlemdir (Seçilmiş, 2020). Deodorizasyon işlemi, yaklaşık olarak 270 °C sıcaklıkta yağın içerisine vakum altında istim enjekte edilerek yapılır. Deodorizasyon işleminde giderilen materyaller; serbest yağ asitleri, birtakım sabunlaşmayan maddeler, ve steroller gibi uçucu maddelerdir. Bu işlemle yağın renginde ve tadında iyileşme meydana gelir (Alptekin, 2008).

e. Vinterizasyon

Yağda az miktarda varolan ve düşük sıcaklıkta kristalize olan doymuş triaçilgliseroller ve vakslar yağda istenmeyen bir görüntü oluştururlar. Bu görüntünün önüne geçmek amacıyla yağ 5-10 °C'de 6 saat süreyle tutularak bu bileşikler kristalilize edilirler ve daha sonra 15° C'de yağ filtre edilerek bu kristaller giderilir. Filtreleme işleminin 15 °C'de yapılmasının amacı yüksek viskoziteye bağlı sorunlarının yaşanmasını önlemektir (Alptekin, 2008).

3.9.3 Atık yağlar

Atık yağlar tehlikeli atık sınıfında bulunmakta ve bunları ortadan kaldırma işlemleri son derece zahmetli ve maliyetlidir. Bu sebeple atık yağların geri dönüştürülerek biyodizel olarak kullanılması onları en güzel biçimde değerlendirme yollarından biridir (Kılıçarslan, 2019).

Atık yağlar, motorine benzer değerlere sahip bir biyoyakıta dönüştürüldüğünde dizel motorlarda herhangi bir modifikasyona gerek duyulmaksızın kullanılabilir. Atık yağdan biyodizel elde edilmesinde en yaygın kullanılan yöntem transesterifikasyondur. Atık yağların transesterifikasyon reaksiyonu; serbest yağ asidi oranı ve su muhtevası, reaksiyonda kullanılan alkolün kimyası, katalizörün türü, reaksiyon süresi ve reaksiyon sıcaklığı gibi parametrelerden etkilenmektedir (Kaya, 2006).

3.9.3.1 Hayvansal atık yağlar

Hayvansal atık yağlar, hayvanların iç yağlarından, kanatlılardan çıkan yağlar ve deri sektöründen çıkan yağlardan oluşabilmektedir (Artukoğlu, 2006).

3.9.3.2 Bitkisel atık yağlar

Bitkisel atık yağ bitkisel yağların rafine edilmesinde kullanıldıktan sonra açığa çıkan yağlı topraklara, kızartmadan geriye kalan yağlara ve tortulu bitkisel yağlara verilen isimdir. Bitkisel atık yağlar, bitkisel atık yağ geri kazanma tesisleri ve bitkisel atık yağları depolama tesisleri tarafından biyodizel veya biyogaz üretiminde

kullanılmaktadır (Ağca, 2020). Bu çalışmada yemeklik yağ üretimi aşamalarından biri olan ağartma işlemi esnasında kullanılan atık ağartma toprağında tutulan yağın geri kazanılmasıyla biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir.

3.9.3.3 Atık ağartma toprağı yağı

Ham bitkisel yağlar üretildikleri tohumun türüne göre farklı oranlarda istenmeyen safsızlıklar (serbest yağ asitleri, renk ve koku veren maddeler reçinemsi maddeler,) barındırmaktadır. Bu yüzden yağlar yemeklik yağ olarak kullanılacaksa rafine işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Yağların ağartma işleminde en çok kullanılan adsorbent aktifleştirilmiş ağartma toprağıdır. Bentonit aktifleştirilmiş ağartma toprağı elde etmede kullanılan temel maddedir. Bentonitin ana bileşenini tipik bir aktif kil olan montmorillonit oluşturmaktadır. Ağartma toprağı ağartma işleminde ciddi oranda bitkisel yağ tutmaktadır. Ağartma işleminde aktif ağartma toprağında tutulan bu yağ, farklı şekillerde kullanılarak değerlendirilmektedir. Kilin yüzeyindeki ince yağ dağılımı kullanılmış ağartma toprağını biyogaz tesisleri için elverişli bir hammadde haline getirmiştir. Atık ağartma toprağı yağı kullanıldığında yüksek bir dönüşüm elde edilirken hızlı bir bozunma gerçekleşmektedir (Gül, 2005).

4. MATERYAL ve METOT

Yapılan bu deneysel çalışmada, atık ağartma toprağından geri kazanılan atık yağdan biyodizel üretilmesi ve üretilen biyodizelin belirli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak dizel motor performans ve emisyonlarına etkisi araştırılmıştır. Öncelikli olarak atık ağartma toprağından çözücü ekstraksiyon yöntemi ile atık yağ geri kazanımı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen atık yağ kullanılarak biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilmiş olan biyodizelin yakıt özellikleri TÜBİTAK_MAM araştırma merkezinde analiz edilmiştir. Daha sonra üretilmiş olan biyodizel % 10, % 20 ve % 30 oranında dizel yakıtı ile karıştırılarak (B10, B20 ve B30) dört silindirli, aşırı doldurmalı, common rail yakıt enjeksiyon sistemine sahip bir dizel motorunda test edilmiştir. Motor performansı (ısı verim, hacimsel verim, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı) ve egzoz emisyonları (NO_x, HC, CO₂, CO, O₂ ve İs) incelenmiştir.

4.1 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Materyaller

Bu bölümde, AAT'dan yağ elde edilmesi ve elde edilen AATY'dan biyodizel üretimi aşamalarında kullanılan materyal ve kimyasallardan bahsedilmiştir. Ayrıca elde edilen AATY ve AATY biyodizeli özellikleri belirlenmiştir.

4.1.1 Atık ağartma toprağı

Yapılan çalışmada, biyodizel üretiminde hammadde kaynağı olarak kullanılan AAT MES Yağ ve Gıda San. Tic. A.Ş. (Diyarbakır, Türkiye) firmasından temin edilmiştir. Temin edilen AAT, pamuk yağının rafinasyonu sürecinde yağın ağartılması için kullanılmıştır ve % 98 Tonsil 210 ve % 2 aktif kabondan oluşmaktadır. Şekil 4.1'te AAT verilmiştir.



Şekil 4. 1 Atık ağartma toprağı

4.1.2 Hassas terazi

AAT'dan atık yağ ekstraksiyonu ve biyodizel üretim aşamasında gerekli tartım işlemlerini hassas bir şekilde gerçekleştirmek amacıyla AND GR 200 Hassas Terazi (Şekil 4.2) kullanılmıştır.



Şekil 4. 2 Hassas terazi

4.1.3 Soxlet ekstraksiyon düzeneği

AAT'nın kütleli olarak yağ içeriğini belirlemek amacıyla 100 ml kartuş hacmi ve 500 ml balon hacmi olan soxlet ekstraktörü kullanılmıştır. Şekil 4.3'te soxlet ekstraksiyon düzeneği verilmiştir.



Şekil 4. 3 Soxlet ekstraksiyon düzeneği

4.1.4 Vakumlu döner buharlaştırıcı

Ekstraksiyon süresinin sonunda çözücünün yağdan ayrılması işleminde vakumlu döner buharlaştırıcı (RV05-ST, Janke Kunkel, Ika Labortechnik, Germany) kullanılmıştır. Şekil 4.4'de deneysel çalışmada kullanılan vakumlu döner buharlaştırıcı görülmektedir.



Şekil 4. 4 Vakumlu döner buharlaştırıcı

4.1.5 Manyetik karıştırıcılı ısıtıcı

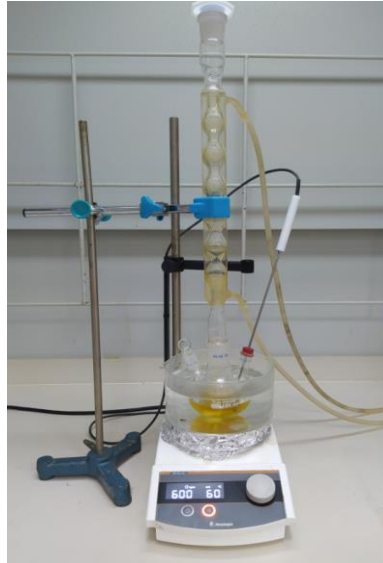
AAT'dan atık yağ ekstraksiyonu ve biyodizel üretim aşamasında Heidolph marka, MR Hei-Tec model ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanılmıştır (Şekil 4.5). Kullanılan ısıtıcılı manyetik karıştırıcı, 100-1400 (% \pm 2) d/dak hız aralığına sahip ve ocak sıcaklığı maksimum 300 °C (\pm 1) sıcaklığa çıkabilmektedir.



Şekil 4. 5 Manyetik karıştırıcılı ısıtıcı

4.1.6 Biyodizel üretim düzeneği

AATY'dan biyodizel üretim sürecinde üç boyunlu reaktör kabı, termometre, geri soğutucu, manyetik karıştırıcılı ısıtıcıdan oluşan biyodizel üretim düzeneği kullanılmıştır. Şekil 4.6'da biyodizel üretim düzeneği gösterilmektedir. Ön deneyler 100 ml kapasiteli üç boyunlu reaktör kabı kullanılarak, motor testleri için toplu biyodizel üretimi ise 4000 ml kapasiteli üç boyunlu reaktör kabı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Reaktörün ortadaki boynuna bir geri dönüşlü soğutucu ve yan boynuna ise bir termometre bağlanarak, diğer boyun reaktöre kimyasal eklenmesinde kullanılmıştır.



Şekil 4. 6 Biyodizel üretim düzeneği

4.1.7 Yağ ekstraksiyonu ve biyodizel üretiminde kullanılan kimyasallar

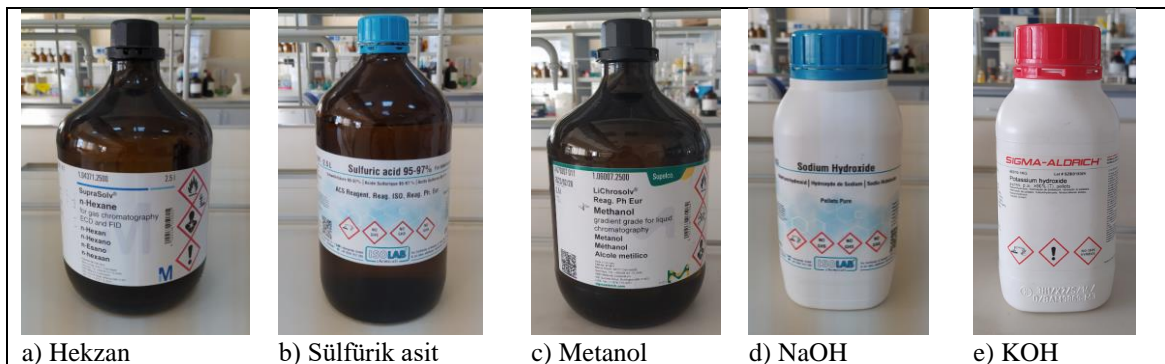
AAT'dan yağ ekstraksiyonu işleminden biyodizel üretimine kadar kullanılan kimyasallar aşağıda özetlenmiştir.

Hekzan: AAT'dan yağ ekstrakte edilmesi işleminde Şekil 4.7 (a)'da gösterilen % 95 saflığa sahip IsoLab marka hexan kullanılmıştır.

Sülfürik Asit: AATY'nın ön iyileştirilmesi işleminde Şekil 4.7 (b)'de gösterilen % 95 saflık değerine sahip Merck marka sülfürik asit kullanılmıştır.

Metanol: AAT'dan ekstrakte edilen AATY'dan biyodizel üretimi işleminde Şekil 4.7 (c)'de gösterilen %99 saflığa sahip Merck marka metanol kullanılmıştır.

Katalizör: AAT'dan ekstrakte edilen AATY'dan biyodizel üretimi işleminde en yüksek biyodizel veriminin elde edildiği katalizör türünü belirlemek amacıyla Şekil 4.7 (d)'de gösterilen % 98'den fazla saflık değerine sahip Merck marka Sodyum hidroksit (NaOH) ve Şekil 4.7 (e)'de gösterilen % 96'dan fazla saflık değerine sahip Merck marka Potasyum hidroksit (KOH) kullanılmıştır.



Şekil 4. 7 Kimyasallar

4.2 AAT'dan Yağ Ekstraksiyonu

4.2.1 Nem tayini

AAT'dan yağ elde edilmesi işleminden önce AAT'nın nem miktarı belirlenmiştir. Bu işlem için öncelikle 5 g AAT hassas terazide tartılarak 105 °C sıcaklıktaki etüvde (JSR JSOF-150 Etüv, 150 lt) 1 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Etüvden çıkarılan AAT, içerisinde silika jel bulunan desikatörde 20 dakika soğumaya bırakılmış ve hassas terazide tartım işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem iki tartım arasındaki ağırlık farkı sabit olana kadar tekrarlanmıştır (Caetano ve ark., 2014; Haile, 2014). Nem içeriği (4.1) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Haile, 2014).

$$M (\%) = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) \times 100 \quad (4.1)$$

Burada; M, nem içeriği, m_1 başlangıçtaki kütle, m_2 kurutma sonrası kütleyi ifade etmektedir.

4.2.2 Yağ ekstraksiyonu

Nem tayini işleminden sonra AAT'nın yağ içeriği belirlenmiştir. Bu işlem için Soxlet ekstraktörü kullanılarak çözücü ortamında AAT'dan yağ ekstraksiyonu işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3) Ekstraksiyon işleminde, çözücü olarak 200 ml hekzan ve 20 g AAT kullanılmıştır. Isıtıcının sıcaklığı, hekzanın kaynama noktasına (68,7 °C) göre ve yaklaşık 8 dakikada bir sifon gerçekleşecek şekilde ayarlanmıştır (Lim ve ark., 2009). Ekstraksiyon süresi her bir çözücü için 6 saat olarak sabit tutulmuştur (Santos ve ark., 2020).

Ekstraksiyon süresinin sonunda çözücünün yağdan ayrılması işlemi 70 °C'de vakumlu döner buharlaştırıcı (RV05-ST, Janke Kunkel, Ika Labortechnik, Germany) ile gerçekleştirilmiştir. Yağın içerisinde çözücü ve su bulunması ihtimaline karşı 105 °C'ye ayarlı etüvde 1 saat boyunca kurutma işlemi uygulanmıştır.

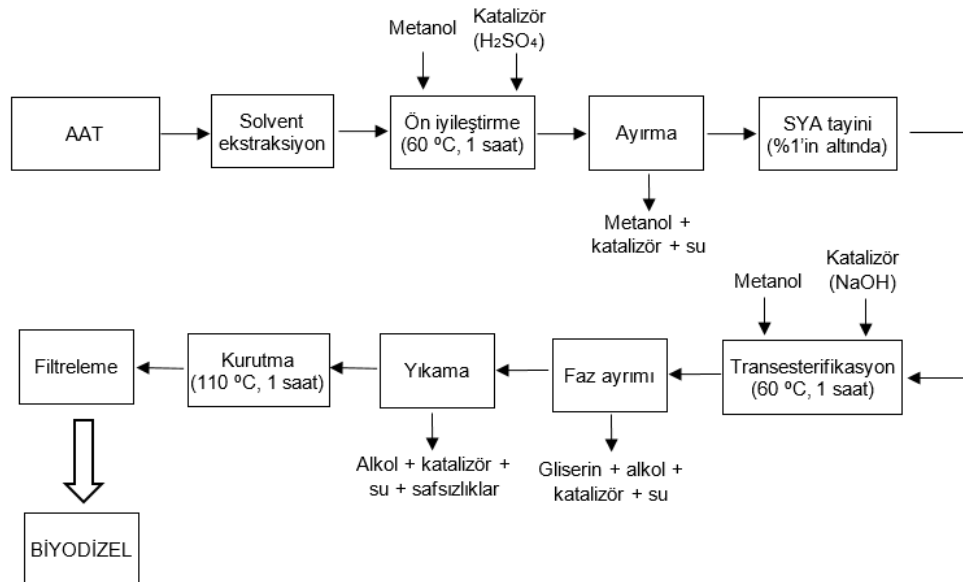
Ekstrakte edilen yağın ekstraksiyon verimini belirlemek amacıyla (4.2) numaralı denklem kullanılmıştır (Mueanmas ve ark., 2019);

$$\text{Ekstraksiyon verimi (\%)} = \left(\frac{\text{Yağın ağırlığı (g)}}{\text{AAT'nın ağırlığı (g)}} \right) \times 100 \quad (4.2)$$

Ekstraksiyon işlemi 3'er defa tekrarlanmış ve elde edilen yağ miktarlarının ortalaması alınarak ortalama yağ verimi belirlenmiştir. Elde edilen yağın; asit değeri, sabunlaşma değeri, yoğunluk, viskozite ve yağ asidi bileşimleri Tübitak-Marmara Araştırma Merkezi (TUBİTAK-MAM) analiz laboratuvarında analiz edilmiştir.

4.4 AATY'dan Biyodizel Üretimine Optimizasyonu

Bu bölümde AAT'dan elde edilen atık yağ kullanılarak transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Yağın içerisindeki serbest yağ asitleri (SYA) alkali katalizör ile reaksiyona girdiklerinde sabun olduğundan dolayı, alkali katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu için yağın SYA içeriğinin % 1'in altına olması gerekmektedir (Şanlı, 2019). Dolayısıyla biyodizel üretimine geçilmeden önce, AATY'nın SYA içeriği ISO 660 standardına göre ölçülmüş ve % 3,7 olduğu görülmüştür. AATY'nın SYA değerinin % 1'den fazla olması sebebiyle iki aşamalı esterifikasyon yöntemi tercih edilmiştir. 1. aşama, AATY'nın SYA miktarını % 1'in altına düşürmek için asit esterleştirme (ön iyileştirme), 2. aşama ise alkali katalizörlü (NaOH ve KOH) transesterifikasyon reaksiyonlarından oluşmaktadır. AATY'dan iki aşamalı biyodizel üretim süreci akış şeması Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4. 8 AATY'dan iki aşamalı biyodizel üretim süreci akış şeması.

Ön iyileştirme ve devamında alkali katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonunda en yüksek biyodizel veriminin elde edildiği optimum parametreleri belirlemek amacıyla optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon çalışmaları, bir ısıtıcılı manyetik karıştırıcı üzerine yerleştirilmiş olan 100 ml hacme sahip üç boyunlu

laboratuvar reaktörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir ön deney için 30 g yağ kullanılmıştır.

Yapılan optimizasyon çalışmaları neticesinde en yüksek biyodizel dönüşüm veriminin elde edildiği parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler göz önüne alınarak motor testlerinde kullanılmak üzere yüksek miktarda biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Yüksek miktarda biyodizel üretimi için 4000 ml hacme sahip üç boyunlu laboratuvar reaktörü kullanılmıştır.

4.4.1 Ön iyileştirme aşaması;

Ön iyileştirme aşamasında, AATY'nın % 3,7 olan SYA içeriğini % 1'in altına düşürmek amacıyla bir takım deneyler gerçekleştirilmiştir. Ön iyileştirme reaksiyonlarında katalizör olarak H_2SO_4 ve alkol olarak ise metanol (CH_3OH , Sigma-Aldrich) kullanılmıştır. Deneylerde yağ miktarı 30 g, reaksiyon sıcaklığı $60\text{ }^\circ C$ ve reaksiyon süresi 60 dk sabit alınmış, metanol/yağ kütleli oranı ve sülfürik asit/yağ kütleli oranı değişken parametreler olarak incelenmiştir. Değişken parametreler ile ilgili detaylı bilgi aşağıda verilmiştir;

1) Sülfürik asit miktarı: Metanol miktarı sabit tutularak, farklı sülfürik asit miktarı (yağın kütleli olarak % 0,2, % 0,5, % 1,0, % 1,5 ve % 2,0'si) için deneyler gerçekleştirilerek en uygun sülfürik asit miktarı belirlenmiştir.

2) Metanol miktarı: Sülfürik asit miktarı sabit tutularak, farklı metanol miktarı (yağın kütleli olarak % 10, % 15, % 20, % 25, % 30 ve % 35'i) için deneyler gerçekleştirilerek en uygun metanol miktarı belirlenmiştir.

Ön iyileştirme işleminde, önce yağ manyetik karıştırıcılı ısıtıcıda $60\text{ }^\circ C$ 'ye kadar ısıtılmış, belirlenen parametreye göre sülfürik asit ile metil alkol, kapalı bir kapta karıştırılarak $60\text{ }^\circ C$ 'ye ısıtılmış olan yağın üzerine yavaşça dökülmüştür. Reaksiyon süresi 60 dk, reaksiyon sıcaklığı $60\text{ }^\circ C$ 'de sabit tutulmuştur.

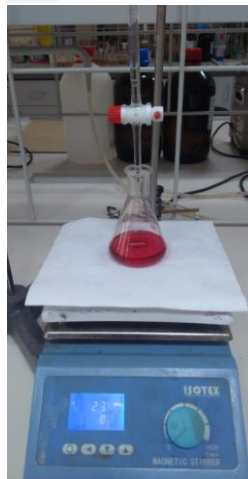


Şekil 4. 9 Ön iyileştirme reaksiyonu

Reaksiyon sonunda reaktör içerisindeki karışım, fazların ayrılması amacıyla ayırma hunisine alınmış ve 6 saat dinlenmeye bırakılmıştır. Ayırma hunisinin alt kısmında yağ-ester karışımı, üst kısmında ise alkol-asit-su karışımı olmak üzere iki ayrı faz tabakası olduğu görülmüştür. Alkol-asit-su karışımı ayrıştırıldıktan sonra yağ-ester karışımı içerisinde artık asit, su ve alkol bulunma ihtimaline karşı karışım 55 °C'deki damıtılmış su ile hafif karıştırılarak yıkanmış ve tekrar ayırma hunisine alınarak 6 saat dinlenmeye bırakılmıştır. Yıkama suyundan ayrıştırılan ester-yağ karışımı, içindeki muhtemel su ve alkolün buharlaştırılması için bir saat boyunca 110 °C'de ısıtılmıştır. Daha sonra elde edilen yağ-ester karışımının SYA değeri belirlenmiştir.

SYA tayini işlemi şu şekilde gerçekleştirilmiştir; 1 g yağ numunesi 25 ml çözücü karışımı (eşit hacimde dietil eter ve etanol karışımı) içinde çözülmüştür. Elde edilen yağ çözeltisi içerisine 3 damla fenolftalein indikatörü damlatılmış ve 0,1 M KOH çözeltisi ile titre edilmiştir. Pembe renkli bir çözelti elde edildiğinde titrasyon işlemi durdurulmuştur. Asit değeri aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanmıştır (Onukwuli ve ark., 2017);

$$SYA (\%) = \frac{\text{Harcanan KOH miktarı (ml)}}{\text{Örnek yağ ağırlığı (g)}} \times 2,82 \quad (4.3)$$



Şekil 4. 10 Ön iyileştirmiş yağın SYA tayini

Her bir değişken parametre için bu işlemler tekrarlanarak, SYA değerinin % 1'in altına düştüğü koşullar belirlenmiştir. SYA değeri % 1'in altına düşürüldükten sonra ikinci aşama olan alkali katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonuna geçilmiştir.

4.4.2 Transesterifikasyon aşaması;

Bu aşamada, ön iyileştirilmiş olan yağ kullanılarak transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizel üretimi işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneylede katalizör türü, katalizör miktarı, alkol miktarı ve sıcaklık değişken parametreler olarak incelenmiş ve bu parametreler ile ilgili detayları aşağıda verilmiştir;

1) Katalizör türü ve miktarı: Alkol/yağ molar oranı, reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi sabit tutularak, farklı katalizör türü (NaOH ve KOH) ve miktarı (yağın kütlelerinin % 0,25, % 0,5, % 0,75, % 1,00, % 1,50 ve % 2,00'si) için deneyler gerçekleştirilerek en uygun katalizör türü ve miktarı belirlenmiştir.

2) Alkol miktarı: Reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi ve katalizör miktarı sabit tutularak, farklı alkol/yağ molar oranı (4/1, 6/1, 9/1 ve 12/1) için deneyler gerçekleştirilerek en uygun alkol/yağ molar oranı belirlenmiştir.

3) Reaksiyon Sıcaklığı: Reaksiyon süresi, katalizör miktarı ve alkol/yağ molar oranı sabit tutularak farklı reaksiyon sıcaklığı (45 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C ve 65 °C) için deneyler gerçekleştirilerek en uygun reaksiyon sıcaklığı belirlenmiştir.

4) Reaksiyon Süresi: Katalizör miktarı ve türü, alkol-yağ molar oranı ve reaksiyon sıcaklığı sabit tutularak farklı reaksiyon süresi (30 dk, 45 dk, 60 dk ve 90 dk) için deneyler gerçekleştirilerek en uygun reaksiyon süresi belirlenmiştir.

Transesterifikasyon reaksiyonlarında kullanılacak olan alkol ve katalizör miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Deneylede 30 g yağ kullanıldığı göz önüne alınırsa,

Alkol/yağ molar oranı 4/1 için;

$$\text{Yağın mol miktarı} = \left(\frac{30}{855,04} \right) = 0,03509 \text{ mol}$$

$$\text{Metanol miktarı} = (4 \times 0,03509) \times 32,04 = 4,497 \text{ gram metanol kullanılır.}$$

Katalizör miktarı %0,25 için;

$$\text{KOH miktarı} = 30 \times \left(\frac{0,25}{100} \right) = 0,075 \text{ gram KOH katalizör kullanılır.}$$

Transesterifikasyon reaksiyonunda, öncelikle ön iyileştirilmiş yağ (SYA değeri % 1'in altına düşürülmüş yağ) manyetik karıştırıcılı ısıtıcıda 60 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Belirlenen miktarlarda metil alkol ve sodyum hidroksit kapalı bir kaptaki 30 dakika karıştırılarak sodyum hidroksitin iyice çözünmesi sağlanmıştır. Daha sonra 60 °C'ye ısıtılmış olan yağın üzerine elde edilmiş olan methoxit çözeltisi yavaşça dökülmüştür. Manyetik karıştırıcı 600 d/dk karıştırma hızında sabit tutularak belirli bir süre için reaksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.11) (Yeşilyurt ve Aydın, 2020).



Şekil 4. 11 Transesterifikasyon reaksiyonu

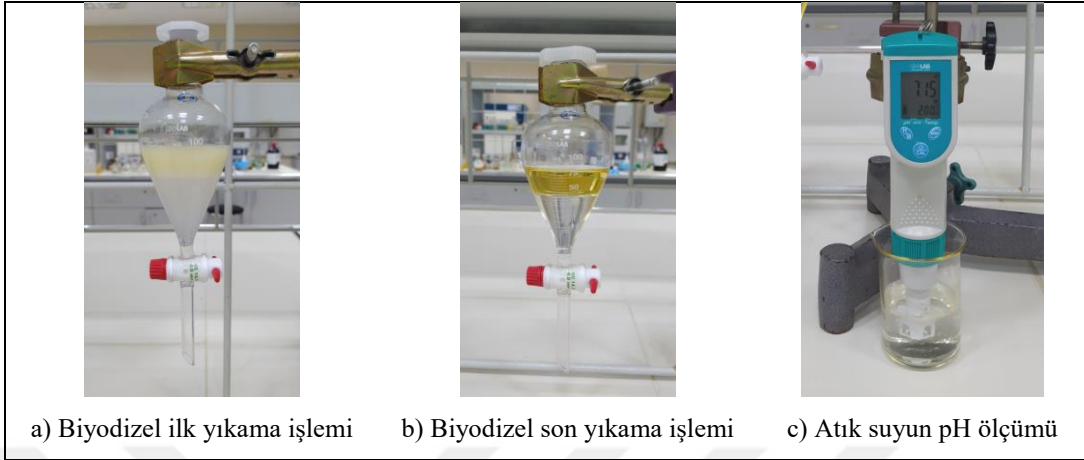
Reaksiyon süresi sonunda reaktör içerisindeki karışım, fazların ayrılması için ayırma hunisine alınarak 12 saat boyunca dinlenmeye bırakılmıştır (Şekil 4.12) (Öner ve Altun, 2009). Biyodizel üretiminde bir yan ürün olan gliserin yüksek yoğunluğundan dolayı ayırma hunisi içerisinde dibe çökerek biyodizel ile arasında belirgin bir ayrışma gerçekleşmiştir.



Şekil 4. 12 Biyodizel ve gliserin faz ayrışması

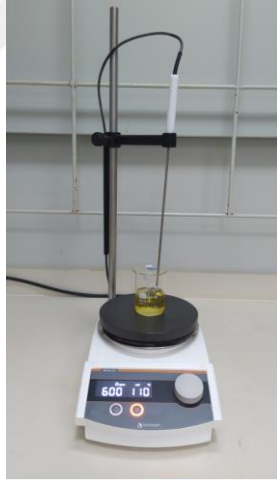
Ayırma hunisinin alt kısmından gliserin bir kaba alınarak biyodizel ile gliserin ayrıştırılmıştır. Elde edilen biyodizel, içerisinde reaksiyona girmeyen alkol, katalizör ve gliserin bulunma ihtimaline karşı hacminin % 50'si oranında 55 °C sıcaklıktaki damıtılmış su ile yıkanmıştır. Daha sonra yine ayırma hunisine alınarak 6 saat dinlenmeye bırakılmış, suyun biyodizelden ayrılması beklenmiş ve bu süre sonunda ayırma hunisinin altından atık su (su, katalizör ve alkol karışımı) alınmıştır. Atık suyun

pH değeri İsolab el tipi pH metre cihazı kullanılarak ölçülmüş ve pH değeri yaklaşık 7 oluncaya kadar bu işlem tekrarlanmıştır (Kesgin, 2011). Şekil 4.13’de biyodizelin ilk yıkama işlemi, son (üçüncü) yıkama işlemi ve atık suyun pH değeri ölçümü verilmiştir.



Şekil 4. 13 Biyodizelin yıkanması ve atık yıkama suyunun pH değeri ölçümü

Son olarak, metil ester içerisindeki suyun uzaklaştırılması amacıyla 110 °C sıcaklık ve 1 saat süreyle kurutma işlemi uygulanmış (Şekil 4.14) ve daha sonra filtre edilmiştir (Alptekin ve ark., 2012).



Şekil 4. 14 Biyodizelin kurutma işlemi

Elde edilen metil esterin kütlesi ölçülmüş ve aşağıda verilen (4.4) numaralı denklem kullanılarak biyodizelin dönüşüm verimi hesaplanmıştır (Dang ve Nguyen, 2019);

$$\% \text{verim} = \frac{\text{elde edilen biyodizelin kütlesi (g)}}{\text{kullanılan yağın kütlesi (g)}} \times 100 \quad (4.4)$$

Her bir değişken parametre için yukarıda bahsedilen biyodizelin üretim süreci tekrarlanmış ve en yüksek biyodizelin dönüşüm veriminin elde edildiği parametreler belirlenmiştir. En yüksek verimin elde edildiği parametreler referans alınarak motor testlerinde kullanılmak üzere yüksek miktarda biyodizelin üretimi gerçekleştirilmiştir.

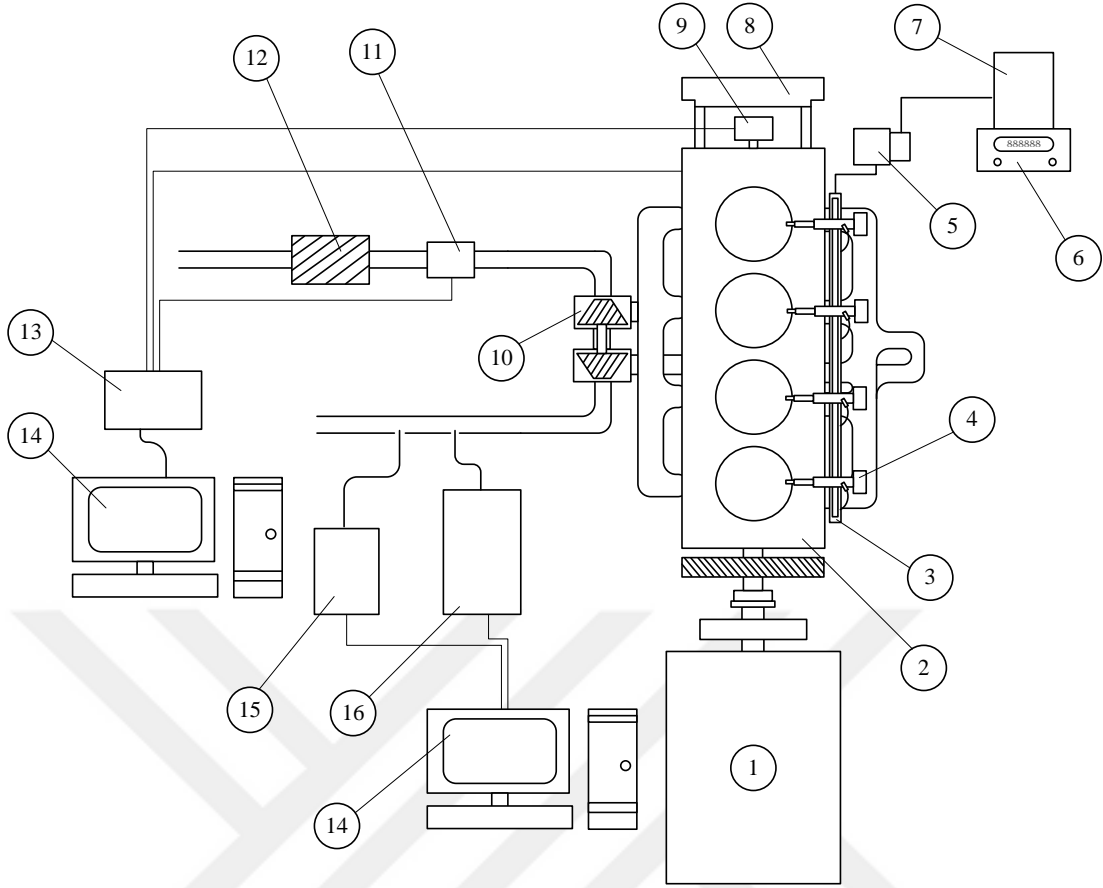
Üretilen biyodizelin bir kısmı, Tübitak Marmara Araştırma Merkezi (TUBİTAK-MAM)'ne gönderilerek Avrupa Biyomotorin standardı olan EN 14214 standardına göre analiz edilmiştir.

4.5 Motor Performans ve Egzoz Emisyon Deneyleri

Çalışmanın bu bölümünde, AATY'dan üretilen biyodizelin motor performans ve egzoz emisyon deneylerinin gerçekleştirilmesi aşaması açıklanmıştır. Motor performans ve egzoz emisyon deneyleri, Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Motor Test ve Ölçüm Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.15'de deney düzeneğinin genel görünümü verilmiştir. Şematik görünümü ise Şekil 4.16'da verilmiştir. Deneylerde kullanılan materyaller ve bu materyallerin özellikleri aşağıda başlıklar halinde sunulmuştur.



Şekil 4. 15 Deney düzeneğinin genel görünümü



1) Eddy Current Dinamometre, 2) Dizel motor, 3) Common rail, 4) Yakıt enjektörü, 5) Yüksek basınç yakıt pompası, 6) Hassas terazi, 7) Yakıt deposu, 8) Isı değıştirici, 9) Krank enkoder, 10) Turbo şarj, 11) Hava akış ölçer, 12) Hava filtresi, 13) Veri toplama kartı, 14) Bilgisayar, 15) İş ölçer, 16) Egzoz emisyon cihazı

Şekil 4. 16 Deney düzeneğinin şematik görünümü

4.5.1 Deney motoru

Çalışma kapsamındaki deneyler, dört silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı, common rail yakıt enjeksiyon sistemine sahip, aşırı doldurmalı, Renault K9K 700 marka bir dizel motorunda gerçekleştirilmiştir. Deney motoruna ait bazı teknik özellikler Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 Deney motorunun özellikleri

Motorun markası ve modeli	Renault K9k 700
Silindir sayısı	4
Çap x Strok	76 x 80,5 mm
Silindir hacmi	1461 cm ³
Valf sayısı	8
Sıkıştırma oranı	18,25/1
Soğutma sistemi	Su soğutmalı
Maksimum güç (4000d/d)	48 kW (65 hp)
Maksimum tork (1750d/d)	160 Nm
Püskürtme tipi	Common-Rail

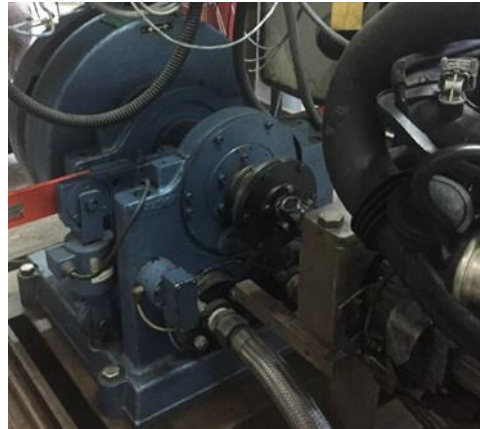
Deney motorunun radyatörü sökülerek soğutma suyu boruları motor dinamometresinin soğutma sistemine bağlanmıştır. Yine, motorunun termostatu sökülerek soğutma suyu istenilen sıcaklıklarda tutulabilir hale getirilmiştir. Motor ve dinamometre şehir şebeke suyu kullanılarak soğutulmaktadır. Motorun diğer çalışma parametreleri ve Elektronik kontrol ünitesi (ECU)'ne müdahale edilmemiş, standart çalışma parametreleri korunmuştur. Şekil 4.17'de deney motoru görülmektedir.



Şekil 4.17 Deney motoru

4.5.2 Dinamometre

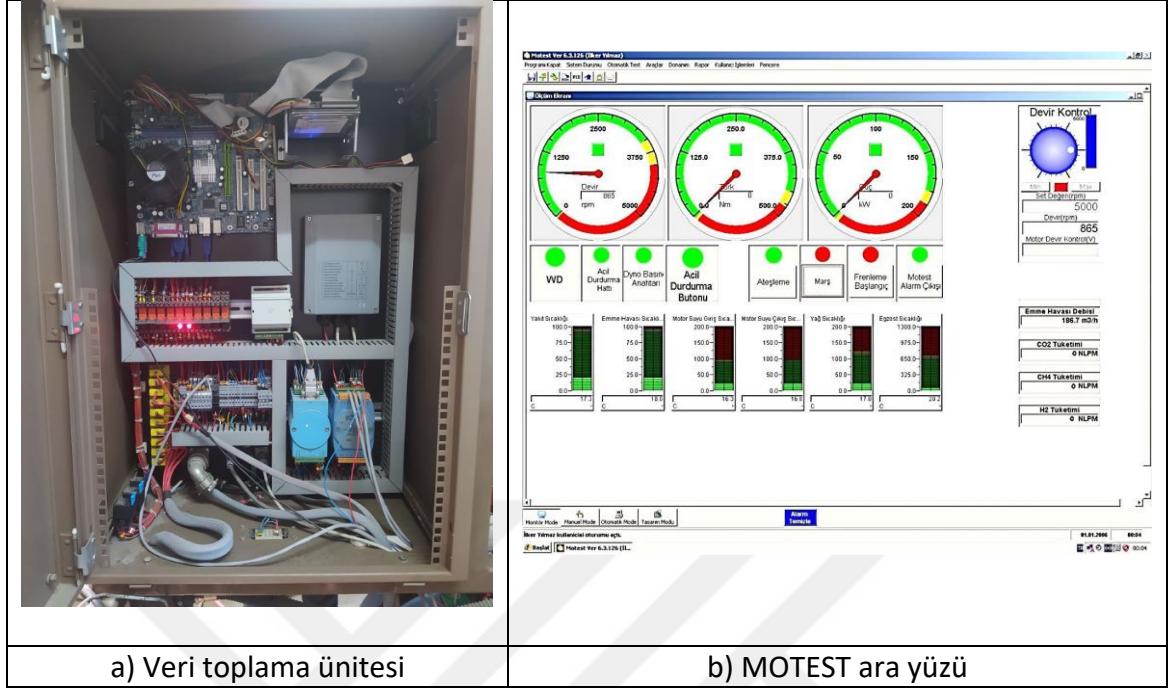
Deney motorunun yüklenmesi amacıyla, maksimum devri 8000 d/d, maksimum gücü 160 kW ve maksimum torku 475 Nm olan Eddy Current dinamometre kullanılmıştır. Şekil 4.18'de Eddy Current motor dinamometresi görülmektedir.



Şekil 4.18 Eddy Current dinamometre

Dinamometreden veri alınması ve bilgisayara kaydedilmesi amacıyla bir yazılım (Motest) kullanılmıştır. Motor döndürme momenti, motor soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları, yakıt sıcaklığı, emme havası sıcaklığı, emme havası debisi, egzoz gaz

sıcaklığı ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Şekil 4.19’te deney verilerinin kayıt işlemini gerçekleştiren veri toplama ünitesi ve MOTEST ara yüzü görülmektedir.



Şekil 4. 19 Deney verileri kayıt sistemi

4.5.3 Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği

Deneylerde dizel ve dizel-biyodizel yakıt karışımlarının kütleli olarak tüketimini ölçmek amacıyla Ohaus Precision Advanced marka, % 0,1 hassasiyetinde ve 0-5000 g ölçüm yapabilen bir dijital hassas terazi kullanılmıştır. Dijital hassas terazi Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Kütleli yakıt tüketimi, dijital bir kronometre yardımı ile belirlenen süre (saniye) içerisinde eksilen yakıtın kütlesine (gram) göre hesaplanmıştır.



Şekil 4. 20 Dijital hassas terazi

4.5.4 Egzoz emisyon cihazı

Deneylerde Bosch BEA 460 emisyon analizörü kullanılmıştır. Emisyon analizörü, egzoz gazı test modülü ve is emisyonu ölçüm modülü olmak üzere iki modülden oluşmaktadır. Şekil 4.21’de egzoz gazı test cihazı ve is ölçüm cihazı görülmektedir. Egzoz gazı test cihazı ile NO, NO_x, CO, CO₂, HC, O₂ ve λ (hava fazlalık katsayısı) ölçülebilmekte, is emisyonu ölçüm cihazı ile is (K) ölçülebilmektedir. Çizelge 4.2’de egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri verilmiştir.



a) Egzoz emisyon modülü



b) İS emisyonu modülü

Çizelge 4. 2 Egzoz emisyon cihazının özellikleri

	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
Karbondioksit (CO ₂)	%0 – 18 vol.	%0,01 vol.
Hidrokarbon (HC)	0 – 9999 ppm	1 ppm
Oksijen (O ₂)	%0 – 22 vol.	%0,01 vol.
Azot oksit (NO _x)	0 – 5000 ppm	1 ppm
Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)	0,5 – 1,8	0,001
İs (K)	0-10 m ⁻¹	0,01 m ⁻¹

4.6 Deneysel Verilerin Analizi

Deneysel çalışmada, motor performans karakteristiklerinin belirlenmesi için aşağıda verilen denklemler kullanılmıştır.

4.6.1 Özgül yakıt tüketimi

Birim güç için motorun harcadığı yakıtın miktarı özgül yakıt tüketimi olarak tanımlanmaktadır (İnal, 2020). Özgül yakıt tüketimi aşağıda verilen denklem 4.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{ÖYT} = \frac{\dot{m}_y}{P_e} * 3600 \quad \left(\frac{g}{kWh} \right) \quad (4.5)$$

Burada;

ÖYT: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

\dot{m}_y : Yakıt tüketimi (g/s)

P_e : Efektif güç (kW)

4.6.2 Isıl verim

Motor milinden alınan toplam işin motora verilen toplam enerjiye oranı ısı verim olarak tanımlanmaktadır (Gürkan, 2019). Isıl verim aşağıda verilen denklem 4.6 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta_{bte} = \frac{P_e}{\dot{m}_y x H_u} * 100 \quad (\%) \quad (4.6)$$

Burada;

η_{bte} : Isıl verim (%)

H_u : Isıl değer (kJ/kg)

4.6.3 Hacimsel verim

Hacimsel verim, motora alınan gerçek hava hacminin motor silindirleri tarafından süpürülen hacme oranı olarak tanımlanmaktadır (Bose, 2013). Motor tarafından alınan gerçek havanın miktarı kütleli akış ölçer ile ölçülürken, silindirler tarafından süpürülen hacim, diğer bir ifade ile teorik olarak silindirlere alınabilecek hava miktarı ise hesaplanmaktadır. Teorik hava miktarı aşağıdaki denklem 4.7 kullanılarak hesaplanmıştır (Yavuz, 2019).

$$\dot{m}_{h_teorik} = \frac{V * \rho * n * 60 * Z}{2} \quad (kg/h) \quad (4.7)$$

Burada;

\dot{m}_{h_teorik} : Silindirlere alınabilecek teorik hava miktarı (kg/h)

V : Strok hacmi (m³)

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m³)

n : Motor devri (d/d)

Z : Silindir sayısı

Hacimsel verim ise aşağıdaki denklem 4.8 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{h_gercek}}{\dot{m}_{h_teorik}} * 100 \quad (\%) \quad (4.8)$$

Burada;

η_v : Hacimsel verim (%)

\dot{m}_{h_gercek} : Silindirlere alınan hava miktarı (kg/h)

5. BULGULAR ve TARTIŞMA

Yapılan bu tez çalışmasında öncelikle atık ağartma toprağından yağ ekstraksiyonu işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen atık ağartma toprağı yağı kullanılarak laboratuvar ortamında biyodizel üretilmiştir. Üretilmiş olan biyodizelin standartlara uygunluğunun kontrolü için yakıt özellikleri belirlenmiştir. Standartlara uygun olan biyodizel, belirli oranlarda petrol kökenli dizel yakıtı ile karıştırılarak motor testleri yapılmıştır. Yapılan bu testlere göre üretilen biyodizel ve petrol kökenli dizel yakıtı karışımının motor performansı ve emisyonları incelenmiştir.

5.1 AAT'dan Yağ Elde Edilmesi ve Biyodizel Üretimi

Tezin bu bölümünde, AAT'dan yağ elde edilmesinden optimum biyodizel üretim parametresinin belirlenmesine kadar geçen süreç detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur.

5.1.1 AAT'nın yağ içeriğı ve özellikleri

Gerçekleştirilen yağ ekstraksiyonu işleminde elde edilen AAT yağının fiziksel özellikleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Çizelge 5.1 incelendiğinde, AAT'nın yağ içeriğinin % 25,7 olduğu görülmüştür. AAT'dan geri kazanılan atık pamuk yağının yoğunluk, viskozite ve asit değerlerinin rafine pamuk yağına göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 5. 1 Rafine pamuk yağı ve AAT yağının fiziksel özellikleri

Özellikler	Rafine Pamuk Yağı	AAT yağı (pamuk)
Yoğunluk (g/cm ³)	0,907	0,921
Viskozite (mm ² /s)	29,22	34,41
Sabunlaşma değeri (mg KOH/g yağ)	187,94	184,58
Asit değeri (mg KOH/g yağ)	0,24	7,4
Serbest yağ asidi değeri (%)	0,12	3,7
Yağ geri kazanımı verimi (%)		25,72
Referans	(Onukwuli ve ark., 2017)	Bu çalışma

Çizelge 5.1'de yağ asidi kompozisyonları verilmiştir. Çizelge 5.2'den AAT yağının yağ asidi kompozisyonu incelendiğinde, büyük bir bölümünün rafine pamuk yağına benzer şekilde doymamış yağ asitlerinden olan oleik asit (% 23,96) ve linoleik asit (%36.01)'den oluştuğu görülmüştür.

AAT yağının rafine pamuk yağına göre doymuş yağ asidi içeriğı yaklaşık olarak % 58 daha yüksek, doymamış yağ asidi içeriğinin ise yaklaşık olarak % 14 daha düşük olduğu görülmüştür. AAT yağının molekül ağırlığı, yağ asidi kompozisyonuna göre yaklaşık 855,04 g/mol olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5. 2 Rafine pamuk yağı ve AAT yağının yağ asidi kompozisyonu

Yağ asidi	Kompozisyon (ağırlıkça %)	
	Rafine Pamuk Yağı	AAT yağı (pamuk)
Kaproik asit (C6:0)		0,13
Kaprilik asit (C8:0)		0,52
Miristik asit (C14:0)		1,03
Palmitik asit (C16:0)	19,78	32,02
Palmitoleik asit (C16:1)	0,40	0,59
Stearik asit (C18:0)	1,57	3,26
Oleik asit (C18:1)	15,59	23,96
Linoleik asit (C18:2)	54,50	36,01
α -Linolenik asit (C18:3)	0,75	0,36
Araşık asit (C20:0)	1,25	0,43
Behenik asit (C22:0)	0,15	0,21
lignoserik asit (C24:0)	0,05	0,13
Referans	(Yang ve ark., 2019)	Bu çalışma

5.1.2 AAT yağından biyodizel üretimi

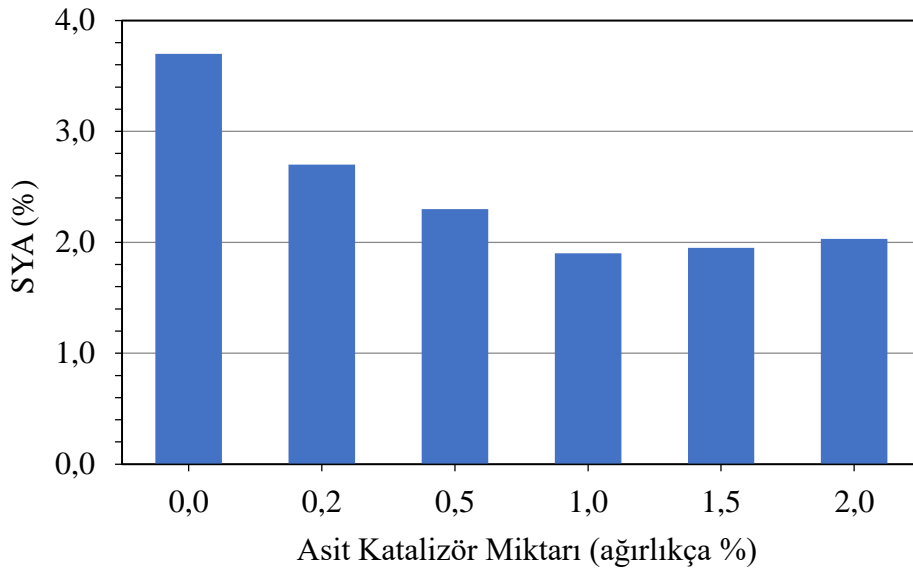
AAT yağından üretilen biyodizel, bir dizel motorunda performans ve emisyon testlerinde kullanılacaktır. Dolayısıyla öncelikli olarak AAT yağından en yüksek biyodizel dönüşüm veriminin elde edildiği parametreler belirlenmiştir. Daha sonra bu parametrelere göre motor testlerinde kullanılmak üzere yüksek miktarda biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir.

AAT yağının SYA değerinin % 1'in üzerinde olmasından dolayı öncelikli olarak ön iyileştirme reaksiyonu uygulanarak SYA değeri % 1'in altına düşürülmüş, daha sonra alkali katalizör eşliğinde transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir.

5.1.2.1 Ön iyileştirme reaksiyonu

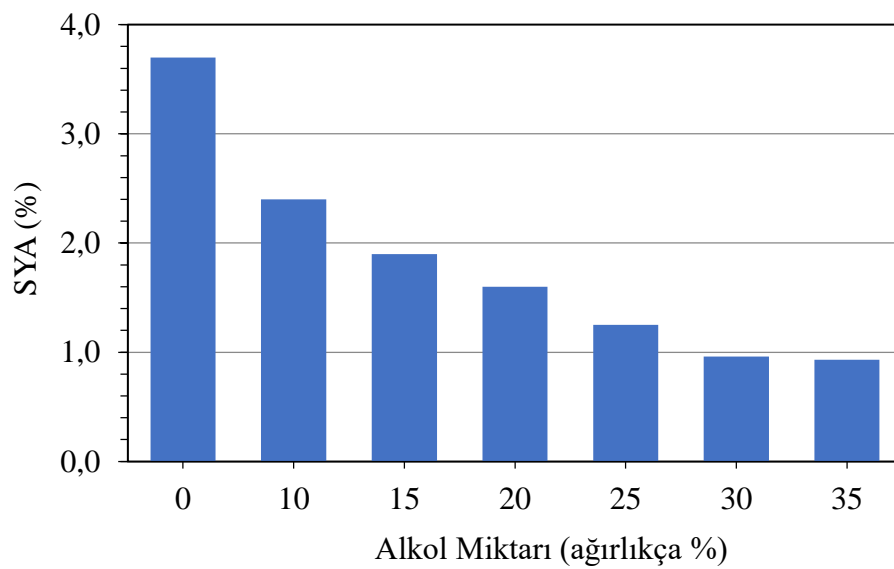
AAT yağının SYA değeri % 3,7 olarak ölçülmüştür. SYA değerinin % 1'in altına düşürülmesi amacıyla ön iyileştirme reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Ön iyileştirme reaksiyonunda alkol olarak metanol ve asit katalizör olarak sülfürik asit kullanılmıştır. Alkol miktarı AAT yağının kütleli olarak % 10, 15, 20, 25, 30 ve 35'i ve asit katalizör miktarı ise AAT yağının kütleli olarak % 0,2, % 0,5, % 1, % 1,5 ve % 2,0'si olarak seçilmiştir. Reaksiyon sıcaklığı 60 °C, süresi 60 dakika ve karıştırma hızı 600 d/d sabit tutulmuştur. Deneylerde 30 g AAT yağı kullanılmıştır.

Öncelikle alkol miktarı % 15 sabit tutularak farklı katalizör miktarının SYA üzerine etkisi incelenmiştir. Şekil 5.1'de alkol miktarı % 15 için farklı katalizör miktarına göre SYA değerinin değişimi verilmiştir.



Şekil 5. 1 Asit katalizör miktarı ile SYA değerinin değişimi (% 15 alkol)

Şekil 5.1'den görüldüğü üzere, ön iyileştirme reaksiyonunda asit katalizör miktarının artırılması ile AAT yağının SYA seviyesi önce azalmış, artan asit katalizör miktarı ile hafif artış göstermiştir. Asit katalizör miktarı % 0,2, % 0,5, % 1,0, % 1,5 ve % 2,0 için SYA değeri sırasıyla % 2,7, 2,3, 1,9, 1,95 ve 2,03 olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en düşük SYA değerinin alkol/yağ kütleli oran % 15 ve asit katalizör/yağ kütleli oran % 1,0 ile % 1,9 olarak elde edildiği görülmüştür. Bu değer hedeflenen % 1 değerinin üzerinde olduğu için alkol miktarı artırılarak deneyler tekrarlanmıştır.



Şekil 5. 2 Alkol miktarı ile SYA değerinin değişimi (% 1 asit katalizör)

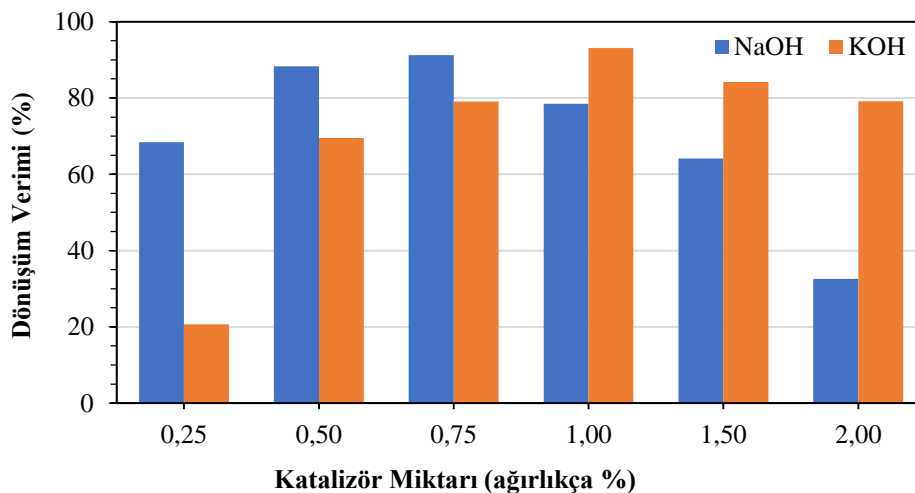
Şekil 5.2’de asit katalizör miktarı % 1 sabit tutularak alkol miktarının SYA üzerine etkisi incelenmiştir. Şekil 5.2’den görüldüğü üzere, alkol miktarının artırılması ile AAT yağının SYA değeri azalmıştır. Alkol miktarı % 10, % 15, % 20, % 25, % 30 ve % 35 için SYA değeri sırasıyla % 2,4, 1,9, 1,6, 1,25, 0,96 ve 0,93 olarak elde edilmiştir. Görüldüğü üzere; alkol miktarı % 30 ve asit katalizör miktarı % 1 değerleri ile AAT yağının % 3,7 olan SYA değeri % 1 değerinin altına düşürülebilmektedir.

5.1.2.2 Transesterifikasyon reaksiyonu

Ön iyileştirme reaksiyonu ile SYA değeri % 0,96’ya düşürülen AAT yağı kullanılarak transesterifikasyon reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. En yüksek biyodizel dönüşüm verimini belirlemek amacıyla transesterifikasyon reaksiyonu; farklı katalizör tipi, katalizör miktarı, alkol/yağ molar oranı, reaksiyon süresi ve reaksiyon sıcaklıkları için gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon karıştırma hızı 600 d/dk sabit tutulmuştur. Deneylerde 30 gram ön iyileştirilmiş AAT yağı kullanılmıştır.

5.1.2.2.1 Katalizör tipi ve miktarının biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi

Biyodizel üretiminde doğru katalizörü seçmek ve katalizör miktarını optimize etmek, biyodizel üretim sürecinin optimize edilmesinde önemli süreçlerden bir tanesidir (Anwar ve ark., 2017). Katalizör tipi, NaOH ve KOH, katalizör miktarı ise yağ kütlelerinin % 0,25, % 0,50, % 0,75, % 1,00, % 1,50 ve % 2,00’si olarak alınmıştır. Metanol/yağ molar oran 6/1, reaksiyon sıcaklığı 60°C ve reaksiyon süresi 60 dk sabit tutulmuştur. Kullanılan katalizör çeşidi ve miktarının biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi Şekil 5.3’de verilmiştir.

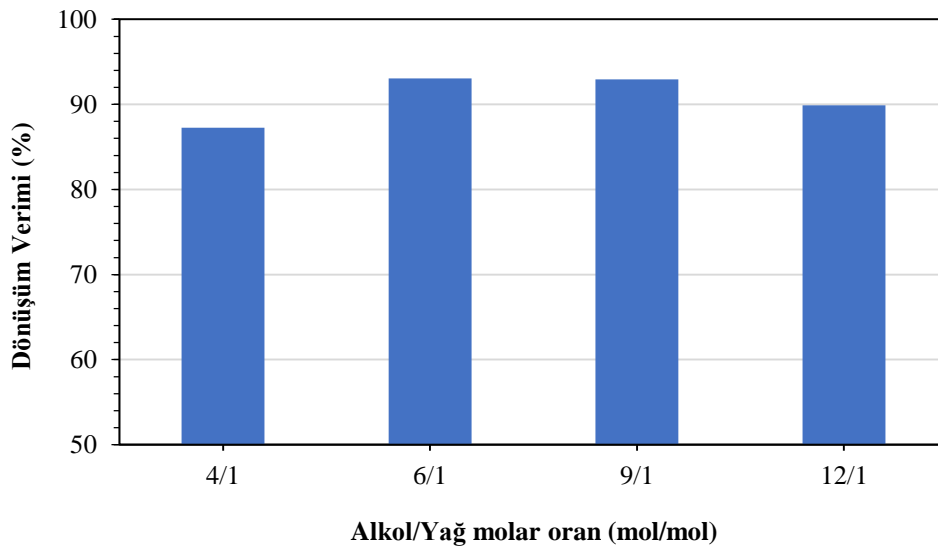


Şekil 5. 3 Katalizör çeşidi ve miktarının biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi (alkol/yağ molar oran 6/1, 60°C, 60 dakika)

Şekil 5.3 incelendiğinde, NaOH katalizörü ile KOH katalizörüne göre daha düşük konsantrasyonlarda yüksek biyodizel dönüşüm verimleri elde edilmiştir. Ancak en yüksek biyodizel reaksiyon verimi KOH katalizörü ile sağlanmıştır. Maksimum biyodizel dönüşüm verimi % 0,75 NaOH katalizörü ile % 91,25 olarak elde edilirken, % 1 KOH katalizörü ile % 93,05 olarak elde edilmiştir.

5.1.2.2.2 Alkol miktarının biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi

Alkol ve yağ oranı biyodizel verimini ve biyodizel üretim maliyetini etkileyen önemli faktörlerden birtanesidir (Anwar ve ark., 2017). Transesterifikasyon reaksiyonu için stokiometrik oran, bir mol trigliserit (yağ asidi) için 3 mol alkol reaksiyona girerek 3 mol yağ asidi esteri ve 1 mol gliserol elde edilmektedir (Demirbas, 2009). Trigliseritlerin transesterifikasyonu tersine çevrilebilir bir reaksiyon olduğundan dolayı dengeyi ester oluşum yönünde kaydırmak amacıyla daha fazla metanol kullanılmalıdır (Vyas ve ark., 2009). Metanol, düşük fiyatı ve oldukça reaktif doğası nedeniyle transesterifikasyon reaksiyonu için yaygın olarak kullanılan bir alkoldür. (Dhanasekaran ve Dharmendirakumar, 2014). Dolayısıyla yapılan bu çalışmada, alkol olarak metanol kullanılmıştır.



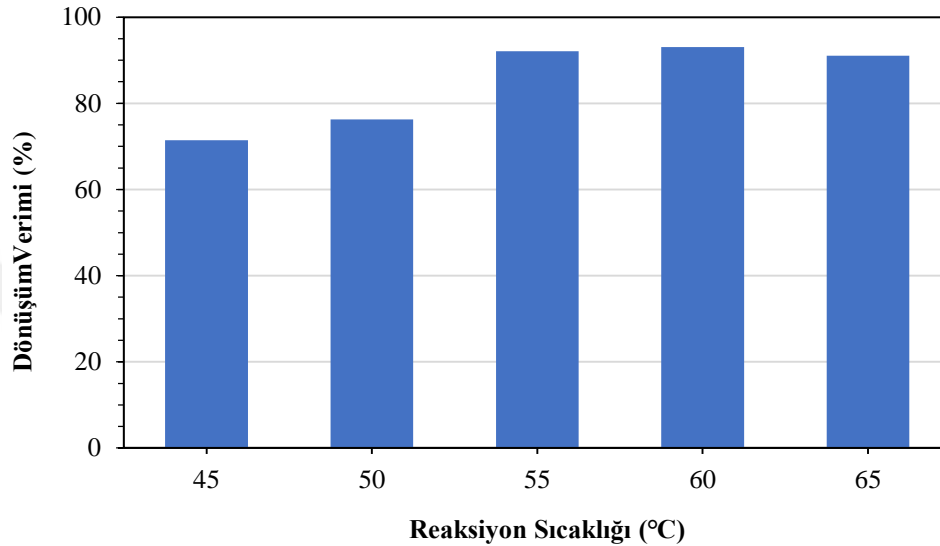
Şekil 5. 4 Alkol miktarının biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi (% 1 KOH, 60°C, 60 dakika)

Şekil 5.4’de alkol miktarının biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi verilmiştir. Alkol/yağ mol oranı 4/1, 6/1, 9/1 ve 12/1 olarak alınmıştır. Katalizör miktarı % 1 KOH, reaksiyon sıcaklığı 60 °C ve reaksiyon süresi 60 dk sabit tutulmuştur. Şekil 5.4 incelendiğinde, önce artan alkol miktarı ile biyodizel dönüşüm verimi artmış, daha

fazla alkol artışı ile hafif azalma meydana gelmiştir. En yüksek biyodizel dönüşüm verimi alkol/yağ molar oranı 6/1 ile %93,05 olarak elde edilmiştir.

5.1.2.2.3 Reaksiyon sıcaklığının biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi

Biyodizel dönüşüm verimini etkileyen önemli parametrelerden bir tanesi de reaksiyon sıcaklığıdır. Şekil 5.5’de reaksiyon sıcaklığının biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi verilmiştir.

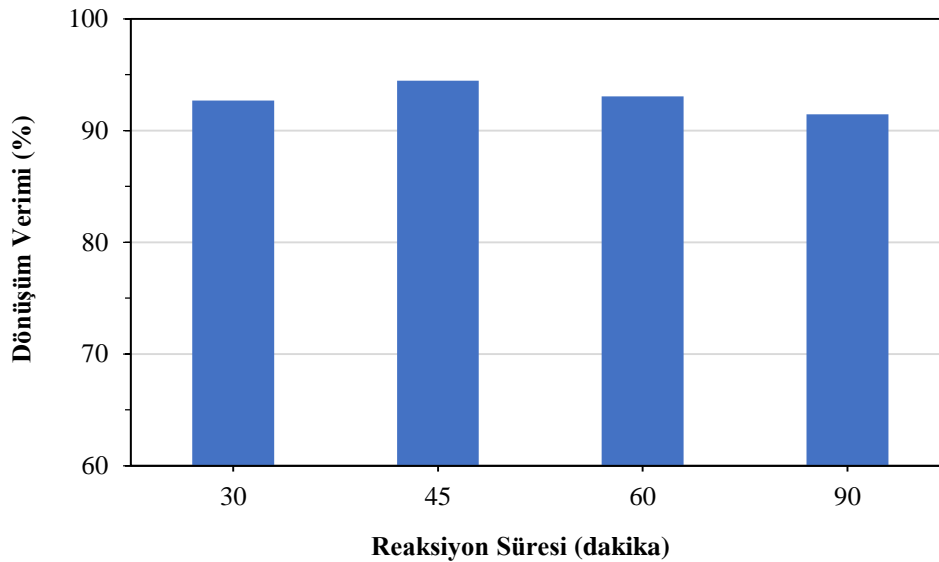


Şekil 5. 5 Reaksiyon sıcaklığının biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi (alkol/yağ molar oran 6/1, % 1 KOH, 60 dakika)

Metanol/yağ molar oran 6/1, KOH katalizör miktarı % 1 ve reaksiyon süresi 60 dakika sabit tutularak gerçekleştirilen reaksiyonda, reaksiyon sıcaklığının artışı ile biyodizel dönüşüm verimi de artmıştır. Reaksiyon sıcaklığının daha fazla artırılması durumunda ise (60°C’nin üzerinde) biyodizel dönüşüm veriminde azalma gözlenmiştir. En yüksek biyodizel dönüşüm verimi 60 °C reaksiyon sıcaklığında % 93,05 olarak elde edilmiştir.

5.1.2.2.4 Reaksiyon süresinin biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi

Şekil 5.6’de reaksiyon süresinin biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi verilmiştir. Şekil 5.6’den görüldüğü üzere, artan reaksiyon süresi ile birlikte reaksiyon verimi önce artmış, daha sonra tekrar azalmıştır. Biyodizel dönüşüm verimi 30 dk, 45 dk, 60 dk ve 90 dk için sırasıyla % 92,68, % 94,46, % 93,05 ve % 91,45 olarak gerçekleşmiştir. En yüksek biyodizel dönüşüm verimi 45 dk reaksiyon süresinde % 94,46 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5. 6 Reaksiyon süresinin biyodizel dönüşüm verimi üzerine etkisi (alkol/yağ molar oran 6/1, % 1 KOH, 60 °C)

5.1.3 AAT yağı biyodizeli yakıt analizi sonuçları

Optimizasyon çalışması neticesinde en yüksek biyodizel dönüşüm veriminin elde edildiği koşullar; alkol/yağ molar oranı 6/1, KOH katalizör miktarı % 1, reaksiyon sıcaklığı 60 °C, reaksiyon süresi 45 dakika, olarak belirlenmiştir. Motor testlerinde kullanılmak üzere, bu koşullara göre yüksek miktarda biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edile AAT yağı biyodizelinin yakıt özellikleri EN 14214 standardı ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.3'de sunulmuştur. Çizelge 5.3 incelendiğinde, AAT yağı biyodizeli özelliklerinin genel olarak EN 14214 standardına uygun olduğu görülmüştür.

Çizelge 5. 3 AAT yağı biyodizelinin özellikleri

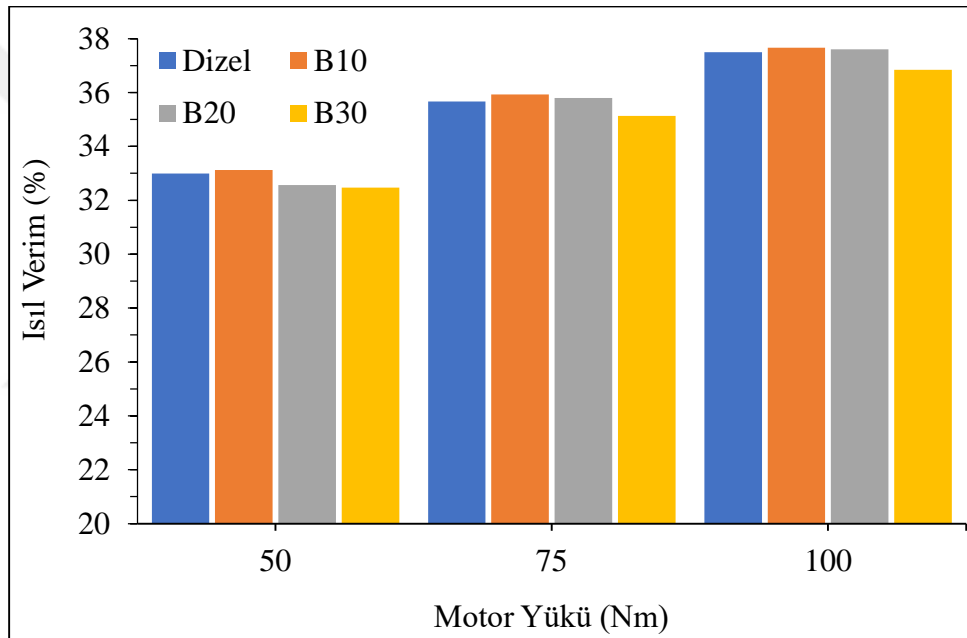
Properties	EN 14214 Standardı*	B100	Method
Yoğunluk (kg/m ³ , 15 °C)	860-900	883,6	EN ISO 12185
Kinematik Viskozite (mm ² /s, 40 °C)	3,5-5,0	4,195	EN ISO 3104
Parlama Noktası (°C)	>101	167,5	EN ISO 2719
Setan Sayısı	>51	54,2	EN ISO 5165
Net Yanma Isısı (MJ/kg)	-	38,7	ASTM D 240
Bakır Şerit Korozyonu	1a	1a	EN ISO 2160
Oksidasyon Kararlılığı (Saat)	>8,0	4,85	EN 14112
Fosfor İçeriği (mg/kg)	<10	8,1	EN 14107
Kükürt İçeriği (mg/kg)	<10	<3	EN ISO 20846
Grup 1 Metalleri (Na+K, mg/kg)	<5	4,8	EN 14108
Grup 2 Metalleri (Ca+Mg, mg/kg)	<5	3,6	EN 14109
			EN 14538

5.2 Motor Performans Testleri

Bu bölümde, motor performans parametreleri olarak, ısı verim, hacimsel verim, özgül yakıt tüketimi ve egzoz gaz sıcaklığı değerleri incelenmiştir. Elde edilen veriler grafikler şeklinde değerlendirilerek sunulmuştur.

5.2.1 Isıl verim

Dizel yakıt ve dizel-biyodizel karışım yakıtlarının ısı verim değerlerinin motor yükü ile değişimi Şekil 5.7’de verilmiştir. Şekil 5.7’den görüldüğü üzere, her bir test yakıtı için artan motor yükü ile birlikte ısı verim değerleri de artmıştır. Artan motor yüklerinde, silindir içi sıcaklıklar artar ve bunun sonucunda yakıtın buharlaşması iyileşir. Sonuç olarak da ısı verim yüksek yüklerde artış gösterir (Öztürk ve ark., 2020).



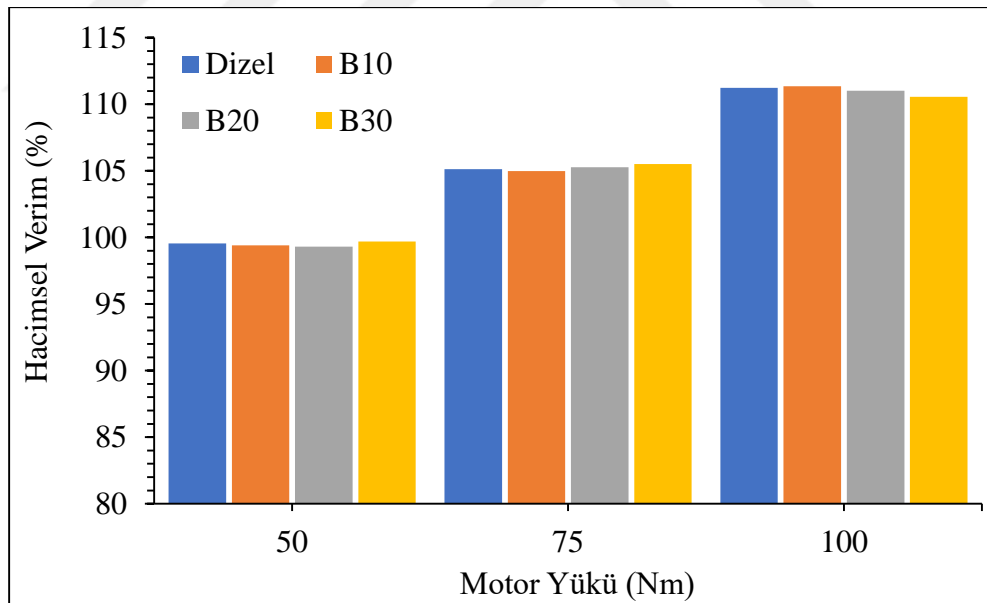
Şekil 5. 7 Isıl verimin motor yüküne göre değişimi

Dizel yakıtına biyodizel katkısı ile ısı verim değerleri önce hafif artmış, artan biyodizel karışım oranı ile tekrar azalmıştır. 50 Nm motor yükü göz önüne alındığında, dizel yakıtına göre B10 yakıtı ile ısı verim değerinde % 0,38 oranında artış olurken, B20 ve B30 yakıtları ile sırasıyla % 1,33 ve % 1,58 oranında azalma meydana gelmiştir. 75 Nm motor yükü için, dizel yakıtına göre B10 ve B20 yakıtları ile ısı verim değerinde sırasıyla % 0,74 ve % 0,36 oranında artış olurken, B30 yakıtı ile % 1,50 oranında azalma meydana gelmiştir. 100 Nm motor yükünde, dizel yakıtına göre B10 ve B20 yakıtları ile ısı verim değerinde sırasıyla % 0,43 ve % 0,27 oranında artış olurken, B30 yakıtı ile % 1,74 oranında azalma meydana gelmiştir. En düşük ısı verim değeri 50

Nm motor yükünde B30 yakıtı ile % 32,47 olarak elde edilirken, en yüksek ısıl verim değeri ise 100 Nm motor yükünde B10 yakıtı ile % 37,65 olarak ölçülmüştür. Düşük karışım oranındaki biyodizel, hafif yüksek setan sayısı ve oksijen içeriği ile yanmaya katkıda bulunarak ısıl verimde hafif iyileşmeye neden olabilmektedir. Ancak artan karışım oranı ile birlikte biyodizelin yüksek viskozite, yoğunluk ve düşük ısıl değeri daha baskın gelerek tekrar verimin düşmesine neden olmaktadır. Yüksek biyodizel konsantrasyonlarında, biyodizelin düşük hava-yakıt karışımı, daha yüksek viskozitesi ve daha düşük kalorifik değerinden dolayı dizele kıyasla daha düşük ısıl verim elde edilmektedir (Asokan ve ark., 2019).

5.2.2 Hacimsel verim

Motorun emme işleminin verimliliğini ölçmek için kullanılan parametre hacimsel verim olarak adlandırılır (Bulut, 2008). Şekil 5.8’de dizel ve farklı oranlarda dizel-biyodizel karışım yakıtlarının hacimsel verim değerlerinin motor yüküne bağlı olarak değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde motor yükünün artışı ile birlikte hacimsel verimin de arttığı görülmüştür.



Şekil 5. 8 Hacimsel verimin motor yüküne göre değişimi

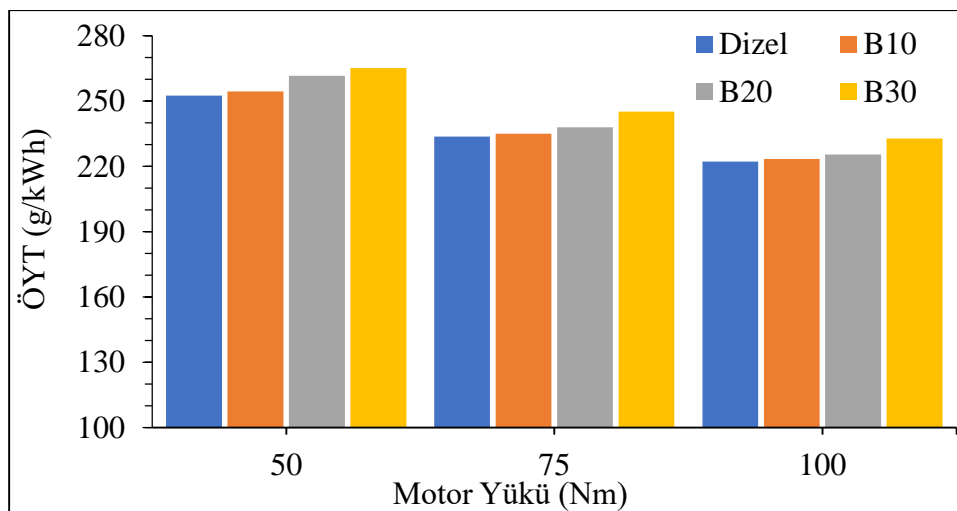
Dizel yakıtına göre dizel-biyodizel karışım yakıtları ile hacimsel verim değerlerinde hafif artış ve azalma gözlenmesine rağmen genel olarak kayda değer bir farkın olmadığı görülmüştür. En yüksek hacimsel verim değeri 100 Nm motor yükünde B10 yakıtı ile % 111,35 olarak ölçülürken, en düşük hacimsel verim değeri ise 40 Nm motor yükünde B20 yakıtı ile %99,32 olarak ölçülmüştür. Deneysel çalışmada

kullanılan motor aşırı doldurmalı bir motor olduğundan dolayı, egzoz gaz sıcaklıkları aşırı doldurma verimini ve dolayısıyla da hacimsel verimi etkileyebilmektedir. Hacimsel verimdeki hafif azalmalar egzoz gaz sıcaklığındaki azalma ile açıklanabilir.

5.2.3 Özgül yakıt tüketimi

Yapılan motor deneyleri esnasında üretilen biyodizel ve dizel yakıtı karışımının motor performansına nasıl etki ettiğini ortaya koyabilmek için incelenmesi gereken parametrelerden biri özgül yakıt tüketimidir (ÖYT). Şekil 5.9'da dizel, B10, B20 ve B30 test yakıtları için motor yüküne bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin değişimi verilmiştir. Şekil 5.9 incelendiğinde, özgül yakıt tüketiminin artan motor yüküyle birlikte tüm yakıtlar için azaldığı görülmüştür. Yük arttıkça yanma veriminin artması ve ısı kayıpların azalması özgül yakıt tüketiminin düşmesine neden olmaktadır (Aydın, 2017).

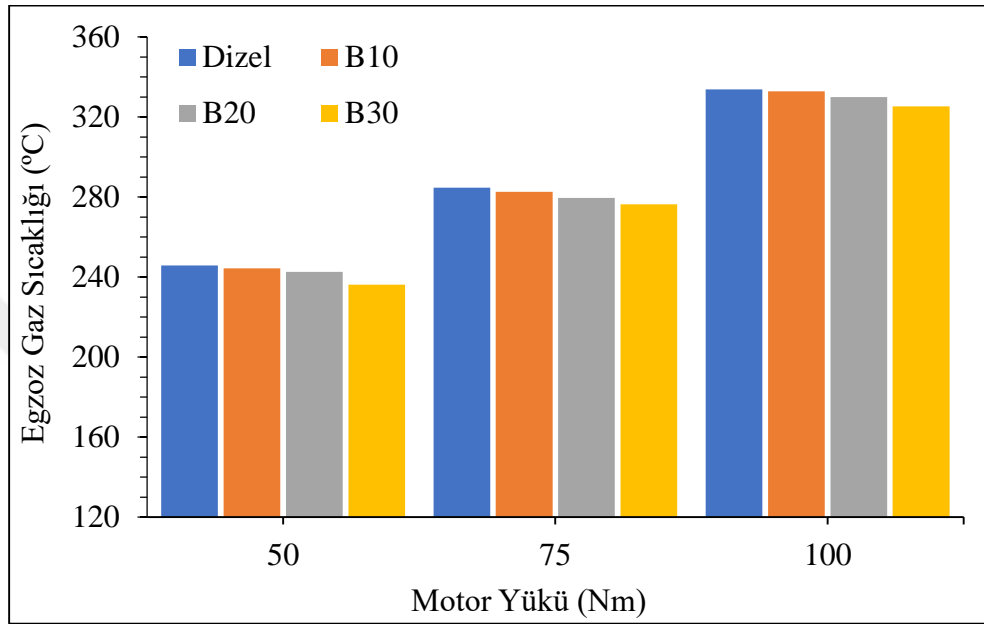
Dizel yakıtına göre B10, B20 ve B30 yakıtları daha yüksek ÖYT değerleri sergilemişlerdir. Bunun sebeplerinden biri biyodizelin ısı değerinin fosil kökenli dizel yakıtının ısı değerinden düşük olmasıdır (Ulutürk, 2020). Dizel yakıtı içerisindeki biyodizel oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi de genel olarak artma eğilimi göstermektedir. Dizel yakıtına göre B10, B20 ve B30 yakıtları ile ÖYT değerindeki artış 50 Nm motor yükü için sırasıyla; % 0,72, % 3,61 ve % 5,03 olarak elde edilirken, 75 Nm motor yükü için sırasıyla; % 0,58, % 1,86 ve % 4,94 ve 100 Nm motor yükü için ise sırasıyla; % 0,54, % 1,43 ve % 4,74 olarak elde edilmiştir. En düşük ÖYT değeri 100 Nm motor yükünde dizel yakıtı ile 222,24 g/kWh olarak, en yüksek ÖYT değeri ise 50 Nm motor yükünde B30 yakıtı ile 265,24 g/kWh olarak ölçülmüştür. Benzer sonuçlar, Verma ve ark., (2020); Nguyen ve ark., (2020) tarafından elde edilmiştir.



Şekil 5. 9 Özgül yakıt tüketiminin motor yüküne göre değişimi

5.2.4 Egzoz gaz sıcaklığı

Dizel ve dizel-biyodizel karışım yakıtlarının egzoz gaz sıcaklıklarının motor yüküne bağlı olarak değişimi Şekil 5.10'da verilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere her bir test yakıtı için artan motor yükü ile birlikte egzoz gazı sıcaklıkları da artmıştır. Bunun sebebi ise motor yükünün artmasıyla silindirlere gönderilen yakıt miktarının da artması ve fazla ısı üretilmesidir (Manigandan ve ark., 2019).



Şekil 5. 10 Egzoz sıcaklığının motor yüküne göre değişimi

Şekil 5.10 incelendiğinde, dizel yakıtına göre dizel-biyodizel karışım yakıtlarının egzoz gazı sıcaklıklarının daha düşük olduğu görülmüştür. Chauhan ve ark., (2012) tarafından yapılan çalışmada, biyodizel ve dizel-biyodizel karışım yakıtları ile saf dizel yakıtına göre daha düşük egzoz gazı sıcaklıkları elde edilmiştir. Bu durumun nedeni olarak, biyodizel ve karışımlarının viskozite değerine bağlı olarak zayıf yanma özellikleri gösterilmiştir. Dizel yakıtına göre B10, B20 ve B30 yakıtları ile egzoz gaz sıcaklıklarındaki azalma 50 Nm motor yükü için sırasıyla; % 0,59, % 1,30 ve % 3,94 olarak elde edilirken, 75 Nm motor yükü için sırasıyla; % 0,75, % 1,77 ve % 2,93 ve 100 Nm motor yükü için ise sırasıyla; % 0,30, % 1,18 ve % 2,56 olarak elde edilmiştir. En düşük egzoz gaz sıcaklığı 50 Nm motor yükünde B30 yakıtı ile 236,12 °C olarak ölçülürken, en yüksek egzoz gaz sıcaklığı ise 100 Nm motor yükünde dizel yakıtı ile 333,85 °C olarak ölçülmüştür. Benzer sonuçlar Arunkumar ve ark., (2019) tarafından elde edilmiştir.

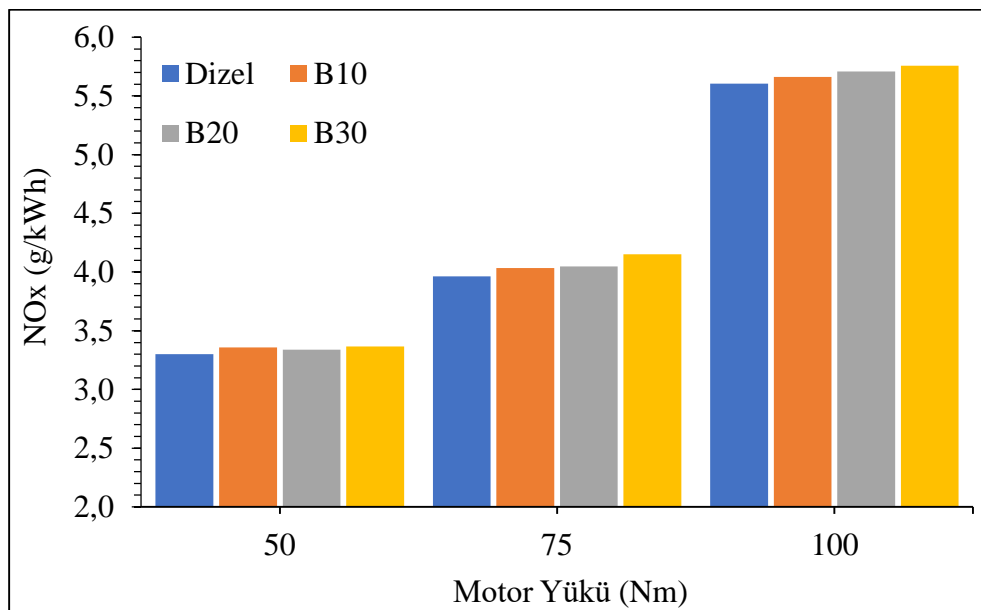
5.3 Egzoz Emisyonları

Tez çalışmasının bu bölümde egzoz emisyonlarından NO_x, HC, CO₂, O₂ ve İs emisyonları incelenmiştir. Elde edilen veriler grafikler şeklinde değerlendirilerek sunulmuştur.

5.3.1 Azotoksit (NO_x) emisyonlarının karşılaştırılması

Şekil 5.11’de dizel ve dizel-biyodizel karışım yakıtlarının NO_x emisyonlarının motor yüküne bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekil 5.11’den görüldüğü üzere, motor yükü arttıkça NO_x emisyonlarında artış gözlenmektedir. Artan motor yükü ile daha fazla yakıt yanma odasına enjekte edilmektedir (Ulutürk, 2020). Buna bağlı olarak yanma sonu sıcaklığı arttığından dolayı NO_x emisyonları artmaktadır (Çat, 2018).

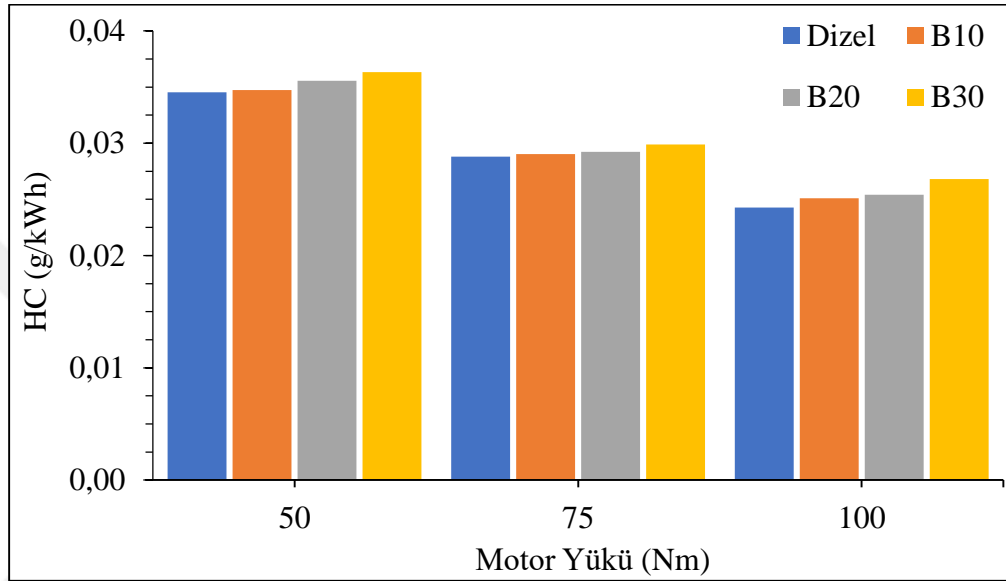
Dizel yakıtına göre dizel-biyodizel karışım yakıtları hafif daha yüksek NO_x emisyonu sergilemişlerdir. Dizel yakıtına göre B10, B20 ve B30 yakıtları ile NO_x emisyonlarındaki artış 50 Nm motor yükü için sırasıyla; % 1,71, % 1,19 ve % 1,97 olarak elde edilirken, 75 Nm motor yükü için sırasıyla; % 1,78, % 2,10 ve % 4,71 ve 100 Nm motor yükü için ise sırasıyla; % 1,05, % 1,85 ve % 2,76 olarak elde edilmiştir. En düşük NO_x emisyonu 50 Nm motor yükünde dizel yakıtı ile 3,30 g/kWh olarak ölçülürken, en yüksek NO_x emisyonu ise 100 Nm motor yükünde B30 yakıtı ile 5,76 g/kWh olarak ölçülmüştür. Sıcaklık, oksijen miktarı ve zaman NO_x emisyonunu etkileyen parametrelerdir. Biyodizel içeriğindeki oksijen varlığı NO_x emisyonlarının salınımını arttırmaktadır (Saridemir, 2017). Benzer sonuçlar, Nuguyen ve ark., (2020); Raman ve ark., (2019) tarafından elde edilmiştir.



Şekil 5. 11 NO_x emisyonunun motor yüküne göre değişimi

5.3.2 Hidrokarbon (HC) emisyonlarının karşılaştırılması

HC emisyonu, yetersiz sıcaklık ve oksijen nedeniyle yakıtın tamamen yakılamaması ve alev sönmesi gibi sebeplerden kaynaklanan emisyonlardır (Çat, 2018; Acaroğlu, 2020). Şekil 5.12’de HC emisyonlarının motor yüküne bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, artan motor yükü ile birlikte birim güç başına HC emisyon salınımında azalma meydana gelmiştir.



Şekil 5. 12 HC emisyonunun motor yüküne göre değişimi

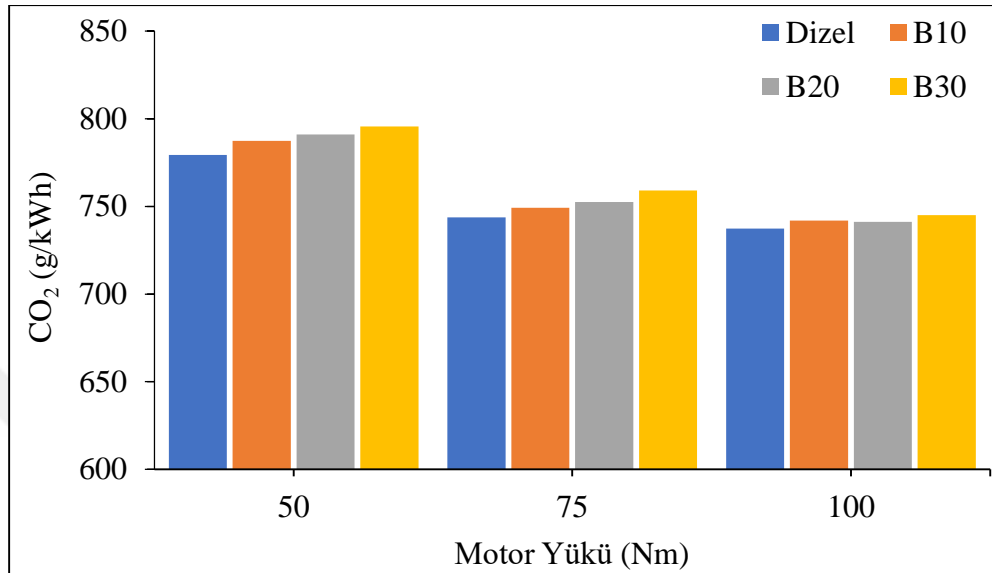
Dizel-biyodizel karışım yakıtları ile dizel yakıtına göre daha yüksek HC emisyon değerleri elde edilmiştir. Dizel yakıtına göre B10, B20 ve B30 yakıtları ile HC emisyonlarındaki ortalama artış sırasıyla % 1,66, % 3,06 ve % 6,51 olarak elde edilmiştir. En düşük HC emisyonu 100 Nm motor yükünde dizel yakıtı ile 0,024 g/kWh olarak ölçülürken, en yüksek HC emisyonu ise 50 Nm motor yükünde B30 yakıtı ile 0,036 g/kWh olarak ölçülmüştür. Dizel yakıtına göre dizel-biyodizel karışımı ile daha yüksek HC emisyonlarının sebebi biyodizelin hava ile iyi bir karışım oluşturamamasıdır (Srivastava ve ark., 2008). Hajlari ve ark., (2019) tarafından yapılan çalışmada, biyodizelin ısıl değerinin dizel yakıtına göre daha düşük olduğundan dolayı, yakıt tüketiminin arttığını ve dolayısıyla yanmamış HC emisyonlarının da arttığını belirtmişlerdir. Benzer sonuçlar Sayyed ve ark., (2022) tarafından elde edilmiştir.

5.3.3 Karbondioksit (CO₂) emisyonlarının karşılaştırılması

CO₂ emisyonları küresel ısınmadan sorumlu olan sera gazlarından biridir (Oni ve Oluwatosin, 2020). Motor egzozundan çıkan CO₂ emisyonu, bir motordaki yanma

kalitesini gösterir. Maksimum CO₂ emisyonu, yakıtın tamamen yandığını gösterir (Verma ve ark., 2020).

Şekil 5.13'de CO₂ emisyonlarının motor yüküne bağlı olarak değişimi verilmiştir. Artan motor yükü ile birlikte CO₂ emisyonlarında azalma meydana geldiği görülmüştür.

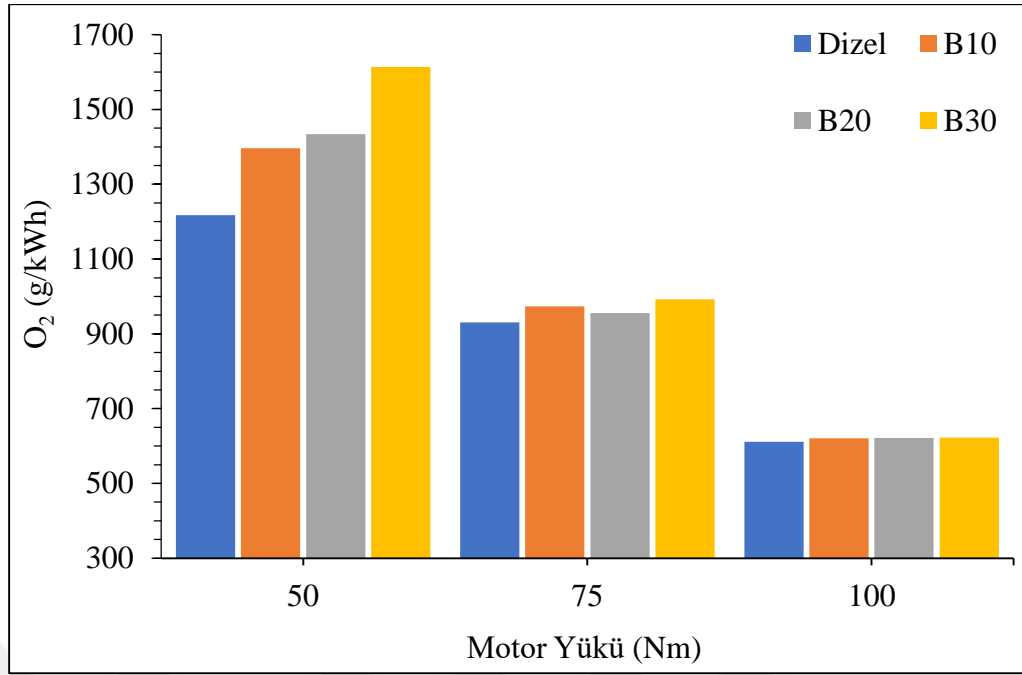


Şekil 5. 13 CO₂ emisyonunun motor yüküne göre değişimi

Genel olarak dizel yakıtına biyodizel eklenmesiyle birlikte CO₂ salınımı hafif artış göstermiştir. Biyodizel karışımları, saf dizel yakıtına kıyasla daha fazla oksijen içeriğine sahiptir. Yakıt içerisindeki fazla oksijen yüzdesi, CO emisyonlarından CO₂ emisyonlarına daha fazla dönüşüm sağlayarak CO₂ emisyon değerlerini artırmaktadır (Jamshaid ve ark., 2022). Dizel yakıtına göre B10, B20 ve B30 yakıtları ile CO₂ emisyonlarında meydana gelen artış, 50 Nm motor yükü için sırasıyla; % 1,04, % 1,49, %2,09, 75 Nm motor yükü için sırasıyla; % 0,74, % 1,18, % 2,02 ve 100 Nm motor yükü için ise; % 0,64, % 0,52, % 1,05 olarak elde edilmiştir. Chauhan ve ark., (2012) tarafından benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

5.3.4 Oksijen (O₂) emisyonlarının karşılaştırılması

Her bir test yakıtı için O₂ emisyonlarının motor yüküne bağlı olarak değişimi Şekil 5.14'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, motor yükünün artmasıyla birlikte O₂ emisyonunda azalma meydana gelmiştir. Motor yükünün artmasıyla silindire gönderilen yakıt miktarı da artmaktadır. Karışım zenginleşerek, hava/yakıt oranı azalmakta ve dolayısıyla da tüm O₂ yanma işleminde kullanılmaktadır. Bu durumda egzoz emisyonlarında bulunan O₂ miktarı azalmaktadır (Akçay, 2019).



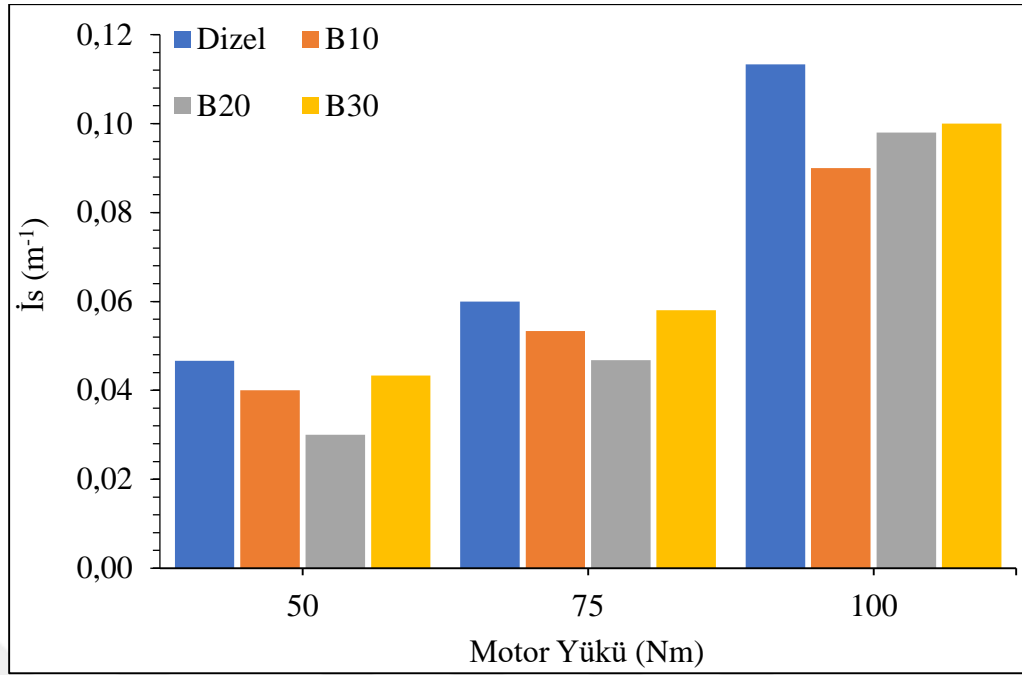
Şekil 5. 14 Oksijen (O₂) emisyonunun motor yüküne göre değişimi

Dizel yakıtına göre dizel-biyodizel karışım yakıtları daha yüksek O₂ emisyonları sergilemişlerdir. Dizel yakıtı içerisindeki biyodizel oranı arttıkça O₂ emisyonlarında daha fazla artış görülmüştür. Bu durumun temel sebebi olarak biyodizelin oksijen içermesi gösterilmektedir (Sarıdemir, 2016). Dizel yakıtına göre B10, B20 ve B30 yakıtları ile O₂ emisyonlarında meydana gelen artış, 50 Nm motor yükü için sırasıyla; % 14,66, % 17,79, % 32,56, 75 Nm motor yükü için sırasıyla; % 4,62, % 2,71, % 6,65 ve 100 Nm motor yükü için ise; % 1,52, % 1,58, % 1,82 olarak elde edilmiştir.

5.3.5 İş emisyonlarının karşılaştırılması

İş emisyonları, oksijenin az olduğu bölgelerde karbon atomlarından oluşmaktadır. Biyodizel oksijence zengin bir yakıt olduğundan dolayı karbon atomları tepkimeye girmek için yeterli oksijen bulabilmektedirler (Erol, 2019). Şekil 5.15’de her bir test yakıtı için artan motor yükü ile iş emisyonlarının değişimi verilmiştir. Artan yük ile birlikte iş emisyonlarında artış gözlenmiştir.

Şekil incelendiğinde, dizel yakıtına göre dizel-biyodizel karışım yakıtları ile daha düşük iş emisyonlarının elde edildiği görülmüştür. İş emisyonlarındaki azalma, dizel yakıtına göre B10, B20 ve B30 yakıtları ile 50 Nm motor yükü için sırasıyla; % 14,29, % 35,71, % 7,14, 75 Nm motor yükü için sırasıyla; % 11,11, % 22,06, % 3,33 ve 100 Nm motor yükü için ise; % 20,59, % 13,53, % 11,76 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5. 15 İs emisyonlarının motor yüküne göre değişimi

Biyodizel karışımı durumunda is emisyonlarında meydana gelen azalma, dizel yakıtına göre biyodizel yakıtının oksijen içeriğine sahip olması ile açıklanmaktadır (Çat, 2018). Artan biyodizel oranı ile püskürtmenin kötüleştiği ve is emisyonlarında artışa sebep olduğu düşünülmektedir.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Bu çalışmada atık ağartma toprağından elde edilen yağ transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretiminde kullanılmıştır. Üretilen biyodizel, dizel yakıt ile % 10, % 20 ve % 30 oranlarında karıştırılarak günümüzde yaygın kullanılan dört zamanlı, 4 silindirli, su soğutmalı, aşırı doldurmalı bir dizel motorda test edilmiş ve motor performansı ve egzoz emisyonları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

- Atık ağartma toprağından geri kazanılan yağın SYA içeriğı 3,7 olarak belirlenmiştir. Geri kazanılan yağ, SYA değerini düşürmek amacıyla ön iyileştirme reaksiyona tabi tutulmuştur. Alkol miktarı % 30 ve asit katalizör miktarı % 1 değerleri ile atık ağartma toprağı yağının % 3,7 olan SYA değeri % 1 değerinin altına düşürülebilmştir.
- SYA değeri % 1 değerinin altına düşürülmüş olan atık ağartma toprağı yağı kullanılarak transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizel üretimi işlemi gerçekleştirilmiştir. En yüksek biyodizel dönüşüm verimi %1 KOH katalizörü, alkol/yağ molar oranı 6/1, reaksiyon sıcaklığı 60 °C ve reaksiyon süresi 45 dk parametreleri ile % 94,46 olarak elde edilmiştir.
- Üretilen biyodizel yakıtının motor performans testleri gerçekleştirilmiş, artan motor yükü ile ısı verim de artmıştır. Dizel yakıtına biyodizel eklenmesiyle ısı verim değerleri hafif artış göstermiş, yakıt içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla tekrar azalmıştır.
- Hacimsel verim motor yükünün artmasıyla artmıştır. Biyodizel kullanımıyla ise hacimsel verimde belirgin bir farklılık gözlenmemiştir.
- Özgül yakıt tüketimi artan motor yüküyle genel olarak azalmıştır. Yakıt içerisindeki biyodizel oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi artış göstermiştir.
- Egzoz gaz sıcaklığı motor yükünün artmasıyla artmış, yakıtta biyodizel karıştırılmasıyla azalmıştır.
- Artan motor yükü ile NO_x emisyonları artmıştır. Yakıt içerisindeki biyodizel oranının artışıyla birlikte NO_x emisyonlarında artış meydana gelmiştir.
- Motor yükü arttıkça HC emisyonu salınımında azalma meydana gelmiştir. Dizel-biyodizel karışım yakıtları ile dizel yakıtına göre daha yüksek HC emisyon değerleri elde edilmiştir.

- Motor yükü arttıkça CO₂ emisyonlarında azalma meydana geldiği görülmüştür. Biyodizel kullanımıyla ise CO₂ emisyonunda hafif artış gözlenmiştir.
- Motor yükünün artması oksijen emisyonunda azalmaya sebep olmuştur. O₂ emisyonu yakıt içerisinde biyodizel oranının artmasıyla artmıştır.
- Motor yükündeki artış is emisyonlarında artmaya neden olmuştur. Dizel yakıtına biyodizel eklenmesi durumunda is emisyonlarının salınımında azalma meydana gelmiştir.

Biyodizel dizel yakıtı benzer motor performansına sahip olması, motorlarda herhangi bir modifikasyona gerek olmaksızın kullanılabilmesi, egzoz emisyonlarında olumlu yönde değişimler göstererek çevre dostu bir yakıt olması ve ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltacak bir alternatif kaynak olması açısından büyük bir öneme sahiptir.

6.2 Öneriler

- Yapılan bu çalışmada deneyler, sabit motor devri (1750 d/d) ve kısmi yüklerde (50 Nm, 75 Nm ve 100 Nm) gerçekleştirilmiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği yük ve devir şartları değiştirilerek daha kapsamlı bir performans ve emisyon analizi yapılabilir.
- Bu çalışmada dizel yakıt % 10, % 20 ve % 30 oranlarında üretilen biyodizel ile karıştırılarak deneyler gerçekleştirilmiş ve motor performans ve emisyonlarında hafif olumsuzluklar gözlenmiştir. Biyodizel karışımı durumunda meydana gelen olumsuzlukların üstesinden gelmek amacıyla bir üçüncü katkı maddesi üzerine araştırmalar yapılabilir.
- AATY'dan üretilen biyodizel, bu çalışmadaki gibi günlük hayatımızda yaygın olarak kullanılan dört silindirli, turbo şarjlı, common rail yakıt enjeksiyon sistemine sahip bir motorda uzun süreli kullanımı durumunda motor parçaları ve yağlama yağı üzerine etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M, Köse, H. 2020. Cynara Cardunculus'dan Üretilen Biyodizel ve Karışımlarının İçten Yanmalı Motorların Yanma Karakteristikleri ve Emisyonları Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(3), 1275-1292.
- Ağca, O. (2020), "Kömürün Hidrofobik Flokülasyon ile Temizlenmesinde Atık Yağların Kullanım Olanaklarının Araştırılması", Yüksek Lisans, *Maden Mühendisliği*, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, 68.
- Akar, M.A., Kekilli, E., Bas, O., Yıldızhan, S., Serin, H., Özcanlı, M. 2018. Hydrogen enriched waste oil biodiesel usage in compression ignition engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(38), 18046-18052.
- Akçay, M., Yılmaz, İ.T., Feyzioğlu, A., Özer, S. 2019. Sıkıştırma ile ateşlemeli bir motora hidrojen ilavesinin egzoz emisyonlarına etkisi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3), 21-34.
- Akgün, G., Bayındır, H., Aydın, H., Düz, Z. 2009. Hayvansal yağlardan biyodizel üretimi ve teknik değerlerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır, 131-136.
- Aksoy, L. 2010. Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel ve üretim prosesleri, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, 2(3,2010), 45-52.
- Aladetuyi, A., Olatunji, G.A., Ogunniyi, D.S., Odetoye, T.E., Oguntoye, S.O., 2014. Production and characterization of biodiesel using palm kernel oil; fresh and recovered from spent bleaching earth, *Biofuel Research Journal*, 4 (2014) 134-138.
- Aldhaidhawi, M., Chiriac, R., Badescu, V., Descombes, G., Podevin, P. 2017. Investigation on the mixture formation, combustion characteristics and performance of a Diesel engine fueled with Diesel, Biodiesel B20 and hydrogen addition, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(26), 16793-16807.
- Alptekin, E. (2007), "Biyodizel ile Dizel Yakıtlarının Harmanlanmasında Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans, *Makine Eğitimi*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 124.
- Alptekin, E. (2008), "Atık Ağartma Toprağı Yağının Enzimatik Hidrolizi", Yüksek Lisans, *Kimya Mühendisliği*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 60.
- Alptekin, E., Çanakcı, M. 2008. Farklı hammaddelerden üretilen metil ester ve gliserinin bazı özelliklerinin belirlenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(3), 549-556.
- Alptekin, E., Canakci, M., Sanli, H. 2012. Evaluation of leather industry wastes as a feedstock for biodiesel production, *Fuel*, 95, 214-220.
- Altınsoy, A. S. (2007), "Biyodizel Üretimi, Motorlarda Kullanımı ve Türkiye'deki Kaynakların İncelenmesi", Yüksek Lisans, *Makina mühendisliği*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 108.
- Altun, Ş., Gür, M.A. 2005. Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılması, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(3), 35-42.

- Altun, Ş. (2009), “Hayvansal Yağlardan Biyo-Yakıt Üretimi ve Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Deneysel Araştırılması”, Doktora Tezi, *Makine Eğitimi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 133.
- Anonim, 2019, Biyodizel Endüstri Raporu, <http://www.biyodizel.org.tr/asset/pdf/biyodizel.pdf> [Erişim Tarihi: 01/02/2021].
- Anwar, M., Rasul, M.G., Ashwath, N. 2017. Optimization of Biodiesel Production Process from Papaya (*Carica papaya*) Seed Oil, *2017 IEEE 7th International Conference on Power and Energy Systems*, 131-134.
- Arslan, M., Alibaş, K. 2015. Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisinin projelendirilerek imal edilmesi ve bu tesiste çeşitli bitkisel yağ kaynaklarından biyodizel üretimi, *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(1), 107-113.
- Artukoğlu, B. (2006), “Hayvansal Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Özelliklerinin Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans, *Kimya Mühendisliği*, Gazi Üniversitesi, Ankara, 94.
- Arunkumar, M., Kannan, M., Murali, G. 2019. Experimental studies on engine performance and emission characteristics using castor biodiesel as fuel in CI engine, *Renewable Energy*, 131, 737-744.
- Asokan, M.A., Prabu, S.S., Bade, P.K.K., Nekkanti, V.M. 2019. Performance, combustion and emission characteristics of juliflora biodiesel fuelled DI diesel engine, *Energy*, 173, 883-892.
- Attia, A.M.A., Hassaneen, A.E. 2016. Influence of diesel fuel blended with biodiesel produced from waste cooking oil on diesel engine performance, *Fuel*, 167, 316–328.
- Aydın, M., Afşar, M., Çelik, M.B. 2017. Tek silindirli bir dizel motorda atık biyodizel kullanımının motor performansı ve emisyonlarına etkisi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(5), 871-878.
- Aysal, F.E., Aksoy, F., Şahin, A., Aksoy, L., Yıldırım, H. 2014. Hardal yağından biyodizel üretiminin optimizasyonu ve motor performans testleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2014), 1-9.
- Bedir, Ö. (2020), “Kalsiyum İçerikli Farklı Atıklardan Üretilen Heterojen Katalizörlerin Biyodizel Üretiminde Kullanımı”, Yüksek Lisans, *Kimya Mühendisliği*, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 70.
- Behçet, R., Aydın, S., Çakmak, A. 2012. Bitkisel ve hayvansal atık yağlardan üretilen biyodizellerin tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak kullanılması, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(4), 55-62.
- Boey, P.L., Ganesan, S., Maniam, G.P., Ali, D.M.A. 2011. Ultrasound aided in situ transesterification of crude palm oil adsorbed on spent bleaching clay, *Energy Conversion and Management*, 52, 2081–2084.
- Bose, P.K., Banerjee, R., Deb, M. 2013. Effect of hydrogen-diesel combustion on the performance and combustion parameters of a dual fuelled diesel engine, *International Journal of Energy and Environment*, 4(3), 497-510.
- Bulut, C. (2008), "Atık Bitkisel Yağ Metil Esteri Kullanılan Dizel Motorunda Aşırı Doldurma Uygulamasının Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans, *Makina Eğitimi*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 75.

- Caetano, N.S., Silva, V.F.M., Melo, A.C., Martins, A.A., Mata, T.M. 2014. Spent coffee grounds for biodiesel production and other applications, *Clean Techn Environ Policy*, 16, 1423–1430.
- Chauhan, B.S., Kumar, N., Cho, H.M. 2012. A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with *Jatropha* biodiesel oil and its blends, *Energy*, 37, 616-622.
- Çağatay, M. T. (2020), “Atık Yemeklik Yağ ile Biyodizel Üretiminde Bir Tepkimeli Damıtma Kolonunun Genelleştirilmiş Öngörmeli Denetimi”, Doktora, *Kimya Mühendisliği*, Ankara Üniversitesi, Ankara, 293.
- Çat, S., Aydın, M., Uslu, S., Çelik, M. B., Özdalyan, B. 2018. Düşük güçlü bir dizel motorda atık biyodizel kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisi, *14th International Combustion Symposium (INCOS2018)*.
- Çetin, G. N. (2015), “Doğal CaO Kaynaklarının Biyodizel Üretiminde Katalizör Olarak Kullanılmasının İncelenmesi”, Yüksek Lisans, *Kimya Mühendisliği*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 82.
- Çengelci, E., Bayrakçeken, H., Aksoy, F. 2011. Hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin dizel yakıtı ile karşılaştırılması, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, 3(1,2011), 41-53.
- Çengelci, E., Bayrakçeken, H., Aksoy, F. 2011. Bir dizel motorunda hayvansal yağ metil esteri kullanımının motor performansı ve emisyonlarına etkisi, *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, 113-116.
- Dang, C.H., Nguyen, T.D. 2019. Physicochemical Characterization of Robusta Spent Coffee Ground Oil for Biodiesel Manufacturing, *Waste and Biomass Valorization*, 10, 2703–2712.
- Demirbaş, A. 2009. Biodiesel from waste cooking oil via base-catalytic and supercritical methanol transesterification, *Energy Conversion and Management*, 50, 923–927.
- Dhanasekaran, K., Dharmendirakumar, M. 2014. Biodiesel characterization and optimization study of used frying palm oil, *International Journal of Current Research and Academic Review*, 2(1), 105-120.
- Erol, K. (2019), “Atık Kızartma Yağlarından Elde Edilen Biyodizelin Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri”, Yüksek Lisans, *Makina Mühendisliği*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 51.
- Fırat, M., Okçu, M., Varol, Y. 2017. Investigation of hydrogen enrichment on combustion characteristics, performance and emissions of diesel engines, *Science and Eng. J of Firat Univ*, 29(1), 101-107.
- Gedikaslan, B. (2020), “Atık Yemeklik Yağdan Biyodizel Üretiminde Bir Tepkimeli Damıtma Kolonunun Yapay Sinir Ağları ile Benzetimi”, Yüksek Lisans, *Kimya Mühendisliği*, Ankara Üniversitesi, Ankara, 76.
- Gül, Ö. F. (2005),” Atık Aktifleştirilmiş Ağartma Toprağının Biyodizel Üretiminde Değerlendirilmesi ve Optimizasyonu”, Yüksek Lisans, *Kimya Mühendisliği*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 126.

- Gül, Ö.F., Tüter, M., Aksoy, H.A. 2010. The Utilization of Waste Activated Bleaching Earth in Biodiesel Production: Optimization by Response Surface Methodology, *Energy Sources Part A*, 32, 1812–1820.
- Gürü, M., Koca, A., Can, Ö., Çınar, C., Şahin, F. 2010. Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine, *Renewable Energy*, 35, 637–643.
- Gürkan, Y. (2019), “Etanol Katkılı Kanola Biyodizelinin Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Deneysel Araştırılması”, Yüksek Lisans, *Makine Mühendisliği*, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 111.
- Haile, M. 2014. Integrated volarization of spent coffee grounds to biofuels, *Biofuel Research Journal*, 2, 65-69.
- Hajlari, S. A., Najafi, B., Ardabili, S.F. 2019. Castor oil, a source for biodiesel production and its impact on the diesel engine performance, *Renewable Energy Focus*, 28(03), 1-10.
- Hasan, M.M., Rahman, M.M. 2017. Performance and emission characteristics of biodiesel–diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 938–948.
- Huang, Y.P., Chang, J.I. 2010. Biodiesel production from residual oils recovered from spent bleaching earth, *Renewable Energy*, 35, 269–274.
- İnal, O. M. (2020), “Deri Endüstrisi Atık Yağlarından Üretilen Biyodizelin Dizel Motor Yanma Performans ve Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans, *Makine Mühendisliği*, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, 61.
- Jacobson, K., Gopinath, R., Meher, L.C., Dalai, A.K. 2008. Solid acid catalyzed biodiesel production from waste cooking oil, *Applied Catalysis B: Environmental*, 85, 86–91.
- Jamshaid, M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Zulkifli, N.W.M., Arslan, A. 2022. Experimental investigation of performance, emissions and tribological characteristics of B20 blend from cottonseed and palm oil biodiesels, *Energy*, 239, 121894.
- Kaya, C. (2006), “Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi”, Yüksek Lisans, *Kimya*, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 91.
- Kerschbaum, S., Rinke, G. 2003. Measurement of the temperature dependent viscosity of biodiesel fuels, *Fuel*, 83(3), 287-291.
- Kesgin, C. (2011), “Fındık Yağından Ultrasonik Yöntemle Biyodizel Üretimi”, Yüksek Lisans, *Biyomühendislik*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 65.
- Kılıçarslan, M. N. (2019), “Atık Yağlardan Üretilen Biyodizelin ve Biyodizel Üretim Atığı Olan Yıkıma Suyunun Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans, *Çevre Mühendisliği*, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, 62.
- Kökdemir, M. G. (2019), “Atık Kızartma Yağlarından Farklı Yöntemlerle Biyodizel Elde Edilmesi ve Yakıt Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans, *Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri*, Sinop Üniversitesi, Sinop, 74.

- Lim, B.P., Maniam, G.P., Hamid, S.A. 2009. Biodiesel from adsorbed waste oil on spent bleaching clay using CaO as a heterogeneous catalyst, *European Journal of Scientific Research*, 33(2), 347-357.
- Liu, X., He, H., Wang, Y., Zhu, S. 2007. Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel Using SrO as a Solid Base Catalyst, *Catalysis Communications*, 8, 1107–1111.
- Manigandan S., Gunasekar P., Devipriya J., Nithya S. 2019. Emission and injection characteristics of corn biodiesel blends in diesel engine, *Fuel*, 235, 723-735.
- Mat, R., Ling, O.S., Johari, A. 2011. Mohamed, M., In situ biodiesel production from residual oil recovered from spent bleaching earth, *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 6 (1), 53-57.
- Meng, X., Chen, G., Wang, Y. 2008. Biodiesel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test, *Fuel Processing Technology*, 89, 851-857.
- Mueanmas, C., Nikhom, R., Petchkaew, A., Iewkittayakorn, J., Prasertsit, K. 2019. Extraction and esterification of waste coffee grounds oil as non-edible feedstock for biodiesel production, *Renewable Energy*, 133, 1414-142.
- Musa, M. L., Mat, R., Abdullah, T.A.T. 2018. Optimised Biofuel Production via Catalytic Cracking of Residual Palm Oil Recovered from Spent Bleaching Earth (SBE) over Ni/HZSM-5 Zeolite, *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 51(2), 108-123.
- Nguyen, T., Pham, M., Anh, T.L. 2020. Spray, combustion, performance and emission characteristics of a common rail diesel engine fueled by fish-oil biodiesel blends, *Fuel*, 269, 117108.
- Oni, B.A., Oluwatosin, D. 2020. Emission characteristics and performance of neem seed (*Azadirachta indica*) and Camelina (*Camelina sativa*) based biodiesel in diesel engine, *Renewable Energy*, 149, 725-734.
- Onukwuli, D.O., Emembolu, L.N., Ude, C.N., Aliozo, S.O., Menkiti, M.C. 2017. Optimization of biodiesel production from refined cotton seed oil and its characterization, *Egyptian Journal of Petroleum*, 26, 103–110.
- Öğüt, H., Oğuz, H., 2006, Üçüncü Milenyum Yakıtı; Biyodizel, *Nobel yayınları*, Ankara.
- Öner, C., Altun, Ş. 2009. Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine, *Applied Energy*, 86, 2114–2120.
- Özdemir, Z.Ö., Mutlubaş, H. 2016. Biyodizel üretim yöntemleri ve çevresel etkileri, *Kirklareli University Journal of Engineering and Science*, 2(2016), 129-143.
- Özdemir, Z.Ö., Mutlubaş H. 2019. Heterojen katalizör tasarımı biyodizel üretimi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(4), 2157-2165.
- Özsezen, A.N., Çanakcı, M. 2008. Atık kızartma yağından elde edilen metil esterinin ön yanma odalı bir dizel motorda kullanımının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(2), 395-404.
- Özsezen, A.N., Çanakcı, M. 2009. Atık palmiye ve kanola yağı metil esterlerinin kullanıldığı direkt püskürtmeli bir dizel motorda performans ve yanma, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(2), 275-284.

- Özsisli, B., Serin, S. 2011. Aktif kömür ve ağartma toprağı karışımının ağartma ajanı olarak ham pamuk yağının rafinasyonunda kullanım potansiyelinin araştırılması, *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 14(1), 23-26.
- Öztürk, M. 2018, Bitkisel ve Hayvansal Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 26.
- Öztürk, Y.E., Altınkurt M.D., Türkcan, A. 2020. Dizel-biyodizel-izobütanol üçlü karışımları kullanılan bir dizel motorda yanma, performans ve emisyon karakteristiklerinin deneysel olarak incelenmesi, *Mühendislikte Yakıtlar Yangın ve Yanma Dergisi*, 8, 56-66.
- Pourvosoghi, N., Nikbakht, A.M., Jafarmadar, S. 2013. An Optimized Process for Biodiesel Production from High FFA Spent Bleaching Earth, *Ije transactions c: aspects*, 26(12), 1545-1550.
- Raman, L.A., Deepanraj, B., Rajakumar, S., Sivasubramanian, V. 2019. Experimental investigation on performance, combustion and emission analysis of a direct injection diesel engine fuelled with rapeseed oil biodiesel, *Fuel*, 246, 69-74.
- Sabah, E., Çınar, M., Çelik, M. S. 2005. Yemeklik yağların rafinasyonunda sepiyolit in ağartma toprağı olarak kullanılabilirliği, *12. Ulusal Kil Sempozyumu*, 705-715.
- Sahafi, S.M., Goli, S.A.H., Tabatabaei, M., Nikbakht, A.M., Pourvosoghi, N. 2016. The reuse of waste cooking oil and spent bleaching earth to produce biodiesel, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(7), 942-950.
- Santos, K. A., de Aguiar, C. M., da Silva, E. A., da Silva, C. 2020. Evaluation of favela seed oil extraction with alternative solvents and pressurized-liquid ethanol, *The Journal of Supercritical Fluids*, 169, 105-125.
- Sarıdemir, S., Albayrak, S. 2015. Kanola yağı metil esteri ve karışımlarının motor performans ve egzoz emisyonlarına olan etkileri, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 4(1), 35-46.
- Sarıdemir, S. 2016. Biyodizel-dizel yakıt karışımlarının motor gürültü ve egzoz emisyonlarına olan etkisi, *Published in 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 3-5 November 2016 (ISITES2016 Alanya/Antalya - Turkey)*, 188-196.
- Sarıdemir, S., Mert S., Mert Ş. 2017. Ayçiçeğı metil esteri ve dizel yakıt karışımlarının tek silindirli bir dizel motorun egzoz emisyonlarına olan etkisi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(2), 63-71.
- Sayyed, S., Das, R.K., Kulkarni, K. 2022. Experimental investigation for evaluating the performance and emission characteristics of DIC engine fueled with dual biodieseldiesel blends of Jatropha, Karanja, Mahua, and Neem, *Energy*, 238, 121787.
- Seçilmiş, Ş.S. 2020. Yağ rafinasyonu sırasında insan beslenmesinde önemli fonksiyonel bileşenlerde değişimler ve zararlı rafinasyon bileşenlerinin oluşumu, *Akademik Gıda*, 18(3), 331-338.
- Sedghamiz, M.A., Raeissi, S., Attar, F. Salimi, M. 2019. Mehrabi, K. In-situ transesterification of residual vegetable oil in spent bleaching clay with alkali catalysts using CCD-RSM design of experiment, *Fuel*, 237, 515-521

- Sekmen, Y., Şen, S. 2016. Hamsi (*Engraulis encrasicolus*) yağından biyodizel üretimi ve dizel motor performans ve emisyonlarına etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 31(1), 19-27.
- Singh, D., Sharma, D., Soni, S.L., Sharma, S., Sharma, P.K., Jhalani, A. 2020. A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel, *Fuel*, 262, 116553.
- Srivastava, P.K., Verma, M. 2008. Methyl ester of karanja oil as an alternative renewable source energy, *Fuel*, 87, 1673–1677.
- Şanlı, H. (2014), “Atık Kızartma Yağlarının Karakterizasyonu ve Biyodizel Üretiminde Değerlendirilmesi”, Doktora, *Makine Eğitimi*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 211.
- Ulutürk, E. (2020), “Tavuk Kesimhanesi Rendering Yağından Biyodizel Üretilmesi ve Dizel Motoru Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristikleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans, *Makine Mühendisliği*, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, 75.
- Ülker, B. (2007), “Hayvansal yağ esaslı biyodizel yakıtının motor performansına etkisinin deneysel incelenmesi”, Yüksek Lisans, *Makine Mühendisliği*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 81.
- Vellguth, G. 1985. Performance of vegetable oils and their monoesters as fuels for diesel engines, *Renewable Energy Review Journal*, 1(7), 16-31.
- Verma, P., Dwivedi, G., Behura, A.K., Patel, D.K., Verma, T.N., Pugazhendhi, A. 2020. Experimental investigation of diesel engine fuelled with different alkyl esters of Karanja oil, *Fuel*, 275, 117920.
- Vyas, A.P., Subrahmanyam, N., Patel, P.A. 2009. Production of biodiesel through transesterification of Jatropha oil using KNO₃/Al₂O₃ solid catalyst, *Fuel*, 88, 625–628.
- Yeşilyurt, M.K., Aydın, M. 2020. Experimental investigation on the performance, combustion and exhaust emission characteristics of a compression-ignition engine fueled with cottonseed oil biodiesel/diethyl ether/diesel fuel blends, *Energy Conversion and Management*, 205, 112-355.
- Yaakob, Z., Mohammada, M., Alherbawi, M., Alam, Z. and Sopian, K. 2013. Overview of the production of biodiesel from Waste cooking oil, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 184–193
- Yamane, K., Ueta, A., Shimamoto, Y. 2001. Influence of physical and chemical properties of biodiesel fuels on injection, combustion and exhaust emission characteristics in a direct injection compression ignition engine, *Int. J. Eng. Research*, 2(4), 249-261.
- Yang A, Qi M, Wang X, Wang S, Sun L, Qi D. 2019. Refined cottonseed oil as a replacement for soybean oil in broiler diet, *Food science & Nutrition*, 7(3), 1027-1034.
- Yavuz, M. (2019), “Biyogaz Yakıtlı Dizel Motorda Pilot Yakıt Miktarının Emisyonlar Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans, *Makine Mühendisliği*, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 58.

- Yıldız, M. (2008), “Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans, *Çevre Mühendisliği*, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, 64.
- Yılmaz, Y. (2020), “Tall Yağından Etil Alkol Yardımı ile Bitodizel Üretimi ve Tarım Amaçlı Su Motorunda Kullanılması”, Yüksek Lisans, *Makine Mühendisliği*, Bitlis Eren Üniversitesi ve Erciyes Üniversitesi, Bitlis, 48.
- Yu, X., Du, Y., Sun, P., Liu, L., Wu, H., Zuo, X. 2017. Effects of hydrogen direct injection strategy on characteristics of lean-burn hydrogen–gasoline engines, *Fuel*, 208, 602-611.
- Yurdaarman, N. (2009), “Çeşitli Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretiminde Katalizör ve Alkol Miktarı Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans, *Kimya Mühendisliği*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 81.
- Zhang, Z., Jiaqiang, E., Deng, Y., Pham, M., Zuo, W., Peng, Q., Yin, Z. 2018. Effects of fatty acid methyl esters proportion on combustion and emission characteristics of a biodiesel fueled marine diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 159, 244–253.
- Wedel, R. V. 1999. Technical Handbook for Marine Biodiesel, *National Renewable Energy Laboratory*, 1-5.

ÖZGEÇMİŞ**KİŞİSEL BİLGİLER**

Adı Soyadı : Tuğba ELARSLAN
Uyruğu :
Doğum Yeri ve Tarihi :
Telefon :
e - mail :

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	
Üniversite	:	
Yüksek Lisans	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
------------	--------------	---------------

UZMANLIK ALANI**YABANCI DİLLER**