



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI YAĞ KAYNAKLARINDAN ÜRETİLEN
BİYODİZELLERİN SETAN SAYILARINI ARTTIRMAK İÇİN
2-ETHYLHEXYL NİTRATE KATKI MADDESİNİN
KULLANILMASI VE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Halil ERÜNALİ

**EYLÜL-2024
BATMAN**

T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI YAĞ KAYNAKLARINDAN ÜRETİLEN
BİYODİZELLERİN SETAN SAYILARINI ARTTIRMAK İÇİN
2-ETHYLHEXYL NİTRATE KATKI MADDESİNİN
KULLANILMASI VE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Halil ERÜNALİ

Danışman
Doç. Dr. Fevzi YAŞAR

EYLÜL-2024
BATMAN

TEZ KABUL VE ONAYI

Halil ERÜNALİ tarafından hazırlanan “Farklı Yağ Kaynaklarından Üretilen Biyodizellerin Setan Sayılarını Arttırmak İçin 2-Ethylhexyl Nitrate Katkı Maddesinin Kullanılması ve Etkilerinin Araştırılması” adlı tez çalışması 05/10/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Mustafa KAYA

Danışman

Doç. Dr. Fevzi YAŞAR

Üye

Doç. Dr. Mustafa KAYA

Üye

Doç. Dr. Selman AYDIN

İmza

.....

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması Bilimsel Araştırma Projeleri(BAP) tarafından BTÜBAP-2022-YL-20 nolu proje ile desteklenmiştir.

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.

İmza

Halil ERÜNALİ

Tarih:05.10.2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI YAĞ KAYNAKLARINDAN ÜRETİLEN BİYODİZELLERİN SETAN SAYILARINI ARTTIRMAK İÇİN 2-ETHYLHEXYL NİTRATE KATKI MADDESİNİN KULLANILMASI VE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Halil ERÜNALİ

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fevzi YAŞAR

2024, 47 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Fevzi YAŞAR
Doç. Dr. Mustafa KAYA
Doç. Dr. Selman AYDIN

Enerji, sanayi devriminin erken başlamasından itibaren sosyo-ekonomik büyümeyi sürdürmek için temel parça haline gelmiştir. Dünyanın pek çok ülkesi ihtiyaç duyduğu enerjinin büyük bir kısmını petrolden karşılamakta olup bu petrolün büyük çoğunluğu da ithal etmekte ve bu durum enerji bağımlılığı gibi çok kritik bir problem oluşturmaktadır. Ülkemiz gibi fosil kaynaklı enerjilerinin büyük çoğunluğu ithal eden ülkeler için yerli kaynaklarla üretilebilir alternatif enerji kaynakları çok kritik bir konudur. Alternatif enerji kaynakları içerisinde dünyada giderek önem kazanan biyoyakıtların, fosil kökenli yakıtlara alternatif olarak kullanılabilmesi, enerji konusunda dikkatlerin bu noktaya çekilmesine neden olmaktadır.

Bu çalışmada, ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağından biyodizel üretimi araştırılmıştır. Mevcut yağın karakterizasyonu yapıldıktan sonra sırasıyla transesterifikasyon yöntemiyle laboratuvar ölçekli ve motor testlerinde kullanılan biyodizel üretilmiştir. Yağların düşük asit değerinden dolayı (0.22 mgKOH/gr) baz katalizörlü transesterifikasyon tercih edilmiş ve katalizör olarak potasyum hidroksit (KOH) ile alkol olarak metil alkol kullanılmıştır. Ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağlarının setan sayıları hesaplanmış ve bu değerler saf halde, %0,1 2-EHN eklenmiş halde ve %0,25 2-EHN eklenmiş halde EN 14214 ve ASTM D6751 standartlarının uygun olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağından elde edilen biyodizel yakıtının biyodizel üretiminde yaygın olarak kullanılan hammaddelerden elde edilen yakıtlar ile benzer karakteristiklere sahip olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Setan sayısı, Enerji

ABSTRACT

MS THESIS

RESEARCH OF THE USE AND EFFECTS OF 2-ETHYLHEXYL NITRATE ADDITIVE TO INCREASE THE CETANE NUMBER OF BIODIESELS PRODUCED FROM DIFFERENT OIL SOURCES

Halil ERÜNALİ

**Batman University Graduate Education Institute
Mechanical Engineering Department**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Fevzi YAŞAR

2024, 47 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Fevzi YAŞAR
Assoc. Prof. Dr. Mustafa KAYA
Assoc. Prof. Dr. Selman AYDIN**

Energy has become an essential component for sustaining socio-economic growth since the early industrial revolution. Many countries of the world meet most of the energy they need from oil, and the vast majority of this oil is imported, creating a critical problem of energy dependence. Alternative energy sources that can be produced with domestic resources are a very critical issue for countries like our country that import the vast majority of fossil-based energy. The fact that biofuels, which are becoming increasingly important in the world among alternative energy sources, can be used as an alternative to fossil-based fuels causes attention to be drawn to this point in energy.

In this research, biodiesel production from sunflower oil, corn oil, safflower oil, canola oil and olive oil was investigated. After characterization of the available oil, biodiesel used in laboratory scale and engine tests was produced by transesterification method, respectively. Due to the low acid value of the oils (0.22 mgKOH/gr), base catalyzed transesterification was preferred and potassium hydroxide (KOH) was used as catalyst and methyl alcohol as alcohol. The cetane numbers of sunflower oil, corn oil, safflower oil, canola oil and olive oil were calculated and these values were found to be in accordance with EN 14214 and ASTM D6751 standards in pure form, 0.1% 2-EHN added form and 0.25% 2-EHN added form. When the results obtained are evaluated in general, it is understood that biodiesel fuel obtained from sunflower oil, corn oil, safflower oil, canola oil and olive oil have similar characteristics with the fuels obtained from raw materials commonly used in biodiesel production.

Keywords: Biodiesel, Cetane number, Energy

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağından biyodizel üretimi araştırılmıştır. Mevcut yağın karakterizasyonu yapıldıktan sonra sırasıyla transesterifikasyon yöntemiyle laboratuvar ölçekli ve motor testlerinde kullanılan biyodizel üretilmiştir. Üretilen biyodizellere 2-EHN katkı maddesi eklenerek setan sayısındaki değişim incelenmiştir.

Tez çalışmamın, başlangıçtan bitişine kadar her zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Fevzi YAŞAR'a teşekkür ederim. Yüksek lisans öğrenim sürecinde beni her zaman destekleyen ve motive eden eşim Elanur'a kızlarım Zeynep Roza, Heja Ecrin'e ve değerli aileme şükranlarımı sunarım.

Halil ERÜNALİ
BATMAN-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
1. GİRİŞ	1
1.2.Biodizel Pazarı	3
1.3. Biyodizel üretimi	5
1.3.1. Transesterifikasyon	5
1.5.Biodizelin avantajları	10
1.5.1.Biodizelin bulunabilirliği ve yenilenebilirliği.....	10
1.5.2.Biodizelin daha düşük emisyonu	11
1.5.3.Biyodizelin biyolojik olarak parçalanabilirliği	12
1.5.4.Daha yüksek kayganlık	12
1.5.5.Biodizel kullanarak motor performansının değerlendirilmesi	13
1.5.6.Setan sayısının önemi ve setan indeksi.....	14
1.6.Biyodizelin Dezavantajları	15
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
3.1.Farklı Yağ Kaynaklarından Üretilen Biyodizellerin Üretimi.....	26
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	32
4.1. Yakıt Özelliklerinin Değerlendirilmesi	32
4.1.1. Yoğunluk	33
4.1.2. Viskozite	34
4.1.3 Flash Point	35
4.1.4. Setan İndeksi	36
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	38
5.1 Sonuçlar	38
5.2 Öneriler	39
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	47

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

CO	:Karbon Monoksit
CO ₂	:Karbon Dioksit
H ₂ SO ₄	:Sülfürik Asit
HC	:Hidrokarbon
KOH	:Potasyum Hidroksit
NO _x	:Azot Oksit
°C	:Santigrat Derece (Sıcaklık)
SO _x	:Kükürt Oksitler
2-EHN	:2-Ethylhexyl Nitrate
CH ₃ Ona	:Sodyum Metoksit

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ASTM D6751	: American Standarts for Testing of Materials
CO	: Karbon Monoksit
CO ₂	: Karbon Dioksit
EN 14214	: Avrupa Birliği Biyodizel Standardı
nPAH	: Nitrik Polisislik Aaromatik Hidrokarbon
PAH	: Polisislik Aromatik Hidrokarbonlar
PM	: Partikül Maddeler
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Enerji, sanayi devriminin erken başlamasından itibaren sosyo-ekonomik büyümeyi sürdürmek için temel parça haline gelmiştir. Öncelikle kapsamlı endüstriyel gelişme, esas olarak temel enerji kaynağı olarak kömürün muazzam bolluğuna ve uygunluğuna dayanıyordu. On sekizinci yüzyılın ortalarında fosil yakıt ticarileştirilmek üzere başlatıldı ve kapsamlı bir şekilde tedarik edilmesi sağlandı. Bu nedenle, kömürün mevcudiyeti büyük ölçüde kabul edildi ve aynı zamanda; ilk yanıcı hidrokarbon sıvısı olarak gazyağı gözlendi. Böylece ilk ticari petrol kuyularının sondaj girişimi başlatılmıştı. Bu nedenle, fosil yakıtların düşük fiyatı, büyük arzı ve fizibilitesi, bu gerekli dönemde biyoyakıtlara olan yüksek talebimizi en aza indirir (Dornburg et al., 2010). I. Dünya Savaşı sırasında (fosil) petrol açıkları varken, etanol çok talep edildi; etanolün uygun bir motor yakıtı için benzinle monte edilebilmesi nedeniyle (Heinimö & Junginger, 2009). II. Dünya Savaşı sırasında ve 1945 sonrası 1970'teki petrol krizleri, dizel motorları beslemek için bitkisel yağların kullanılmasında çok kolaylık gördü. Bu arada, daha yeni dizel motor tasarımları, petrol dizel yakıtından nispeten daha yüksek bitkisel yağ viskozitesi nedeniyle geleneksel bitkisel yağlarda sorunsuz çalışmadı. Bitkisel yağların dizel motorda başarılı bir şekilde yanması için, bu yağların viskozitesini önemli ölçüde azaltmak için bilimsel bir yöntem gerekiyordu. Bu zorluğu gerçekleştirmek için çeşitli teknikler önerildi (Hill, Nelson, Tilman, Polasky, & Tiffany, 2006). 1937'de G. Chavanne (Belçikalı) ilk olarak bitkisel yağları dizel yakıtın ikamesi olarak uygulanmaları için yağ asidi alkil esterlerine dönüştürmek için transesterifikasyon işlemini icat etti ve önerdi. Transesterifikasyon, bitkisel yağı bir dizel motorda nispeten daha az viskoziteli ve kendiliğinden yanmaya sahip üç parçalı moleküle dönüştürmeye uygun bir yöntemdir (Datta, Ghosh, Acharjee, Rakshit, & Saha, 2021). Martin Mittelbach gibi bazı önde gelen araştırmacılar, 1990'ların başında biyodizel yakıt endüstrisini geliştirerek bu seçkin çalışmayı geliştirdi (Renewables, 2015). ABD ve Brezilya gibi birkaç ülke, geniş ölçekli biyoyakıt üretimini geliştirmek için bu avantajı kabul ediyor. Son 10 yılda, biyodizel, dünyanın en büyük zorlu faktörlerinden bazılarını çözme açısından derinlemesine dahil edilmiştir. Fosil yakıtların aşağı yönlü arzı, yüksek petrol fiyatları ve iklim değişikliği gibi endişeler meselesi (Graboski & McCormick, 1998).

Nüfusun artmasıyla birlikte ulaştırma sektöründe enerjiye olan talep artmış ve artmaya devam etmektedir. Bu durum dünya fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenmesine

yol açmıştır. Fosil yakıtların motorlarda yüksek oranda kullanılması, yanmamış hidrokarbon, karbon monoksit ve nitrojen oksit emisyonları ile çevre kirliliğine katkıda bulunmaktadır. Bu faktörler, küresel ısınma, sis, ormansızlaşma, ozon tabakasının incilmesi, asitleşme vb. gibi çevre üzerinde önemli etkiler oluşturmaktadır (Habibullah et al., 2014). Çevredeki bu hassasiyetler, araştırmacıları fosil yakıtlara uygun alternatifleri araştırmaya teşvik etti. Biyodizel, önemli çevresel kaygıları azalttığı ve hızla artan yakıt talebi ile enerji tasarrufu arasında uyumlu bir bağlantı sağladığı için en umut verici yakıt olarak kabul edilmektedir (Haseeb, Fazal, Jahirul, & Masjuki, 2011). Biyodizel, yenilebilir ve yenmeyen sebzelerden, hayvansal yağlardan ve atık yemeklik yağlardan transesterifikasyon prosesi ile üretilmektedir. Toksik değildir, biyolojik olarak parçalanabilir ve çevre dostudur (Fazal, Haseeb, & Masjuki, 2011). Ayrıca biyodizel, geleneksel dizel ile tamamen karışabilir ve dizel-biyodizelin çeşitli karışımları, halihazırda kullanılan sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir. Dizel ve biyodizel karışımlarının kullanımı yakıt kalitesini iyileştirebilir ve emisyonlar üzerinde olumlu etkilere sahip olabilir (Al-Dawody & Bhatti, 2013; Saraf & Thomas, 2007; Sinha, Agarwal, & Garg, 2008; Van Gerpen, 2005). Dizel yakıttaki aşırı kükürt, emisyonlar açısından büyük çevre sorunlarına yol açmaktadır. Dolayısıyla daha az kükürt içeriğine sahip biyodizel, doğal kayganlığı ve çevre dostu olması nedeniyle bu sorunları ortadan kaldırabilme özelliğine sahiptir (Boehman, 2005). Ancak diğer pek çok yakıt gibi biyodizel de kendi kendine oksidasyon, zayıf termal stabilite, malzeme korozyonu ve aşınması, daha yüksek yakıt tüketimi vb. gibi çeşitli dezavantajlara ve olumsuz özelliklere sahiptir (Vicente, Coteron, Martinez, & Aracil, 1998). Biyodizel, üretiminde kullanılan palm yağı veya hayvansal yağ gibi hammaddelere bağlı olarak, normal dizele kıyasla daha yüksek viskoziteye sahiptir; bu da enjeksiyon pimlerinin tıkanması, zayıf atomizasyona yol açması, yakıt filtresinin tıkanması ve tribo çiftlerinin yapışması gibi sorunlara neden olur (Vicente et al., 1998; Vicente, Martínez, & Aracil, 2004). Aynı zamanda kimyasal bileşimi ve yüksek doymamışlık derecesi nedeniyle oto-oksidasyona da eğilimlidir. Biyodizel oksidasyon sonucu yakıt sisteminde korozyona neden olmakta ve motor metalleriyle uyumluluğunu azaltmaktadır (Singh, He, Thompson, & Van Gerpen, 2006). Biyodizel kullanımıyla ilgili diğer problemler arasında ışığa, sıcaklığa ve neme karşı daha yüksek hassasiyet bulunmaktadır (Canakci & Van Gerpen, 1999).

1.2. Biodizel Pazarı

Biyodizel kısmında, büyümenin büyük kısmının ABD ve AB'den gelmesi bekleniyor. Pek çok ülkenin biyoyakıt gereksinimleri ve hedefleri olsa da, bu durum biyoyakıt talebine ve gelişimine yol açabilir(Pinto et al., 2005). Biyoyakıtların sürekli artan gereksinimi, Afrika ihracatçıları için ana faktördür. Ne AB ne de ABD'nin biyodizel tüketim izinlerini tamamen yerli üretimle karşılaması beklenmiyor. Aslında, Afrika ülkeleri genellikle bol miktarda doğal kaynağa ve yüksek işsizlik sorununa sahiptir. Bu durum, ekonomik kalkınma ve kırsal gelişim için fırsatlar sunarak biyoyakıt hammaddelerinin ileri düzeyde sentezlenmesine yol açmaktadır(“Paris,” 2010). Bu koşullar altında, biyoyakıtlar için ulusal pazarların gelişmesi de istenmektedir ve farklı Afrika ülkeleri yüksek yakıt fiyatları ve enerji güvenliği sorunları öngörmektedir. Ayrıca, enerji talebindeki hızlı artış da dikkate alınmaktadır. Angola hariç Güney Afrika ülkelerinin çok az petrol rezervi vardır ve bölgenin yüksek gereksinimini karşılamak için ithalata ihtiyaç duymaktadır(Datta et al., 2021). 2016 yılında, uluslararası biyodizel pazarının büyüklüğü 28.04 milyar USD olarak hesaplanmıştır. Biyodizelin otomotiv ve enerji üretim uygulamalarında geleneksel fosil yakıtların yerini alması konusundaki artan endişe nedeniyle, bu sanayi büyümesini yönetmek olasıdır(Balat & Balat, 2010).

Sanayicilerin sektöre girmeleri için ana faktörler parasal yatırım ve teknolojidir. Pazar, birçok tedarikçinin varlığı nedeniyle oldukça dalgalıdır. Ayrıca, yetersiz üretim verimlilikleri ve ürün imalatı için hammadde seçiminde geniş Ar-Ge kapsamı nedeniyle talep ve arz arasındaki fark, yeni sektör oyuncularını için geniş avantajlar sunmaktadır(Datta et al., 2021).

Ürüne olan talep, toplam pazarın %75'inden fazlasını oluşturan otomotiv yakıt segmenti tarafından domine edilmiştir. Ticari araçlarda ham petrolün yerini almak için küresel yakıt talebinin artması, sektör üzerinde en yüksek etkiye sahip olması beklenmektedir. Bu yakıt, konvansiyonel dizel ile karşılaştırıldığında daha düşük VOC (uçucu organik bileşikler) içerikleri ortaya çıkararak sera gazı etkisini azaltmak için çevreye yardımcı ve önemli bir katkı sağlamaktadır(Datta et al., 2021).

Biyodizel pazarı yeterince ayrılmış durumdadır. 2016 yılında (şekil 3), en büyük 5 şirketin pazar geliri, dünya pazarının %22.04'ünü oluşturmaktadır: Diester Industries, Neste Oil, Renewable Energy Group, ADM ve Louis Dreyfus sırasıyla(Rosillo-Calle & Cortez, 1998). 2015 yılında, küresel biyodizel üretimi 26.567 K MT'ye genişletildi. AB,

biyodizelin en büyük üretim ve harcama alanı olup, ardından ABD, Güney Amerika ve Çin gelmektedir(Anwar, Rashid, Ashraf, & Nadeem, 2010).

Biyodizel pazarı, yüksek dizel yakıt fiyatları ve büyük miktarda dizel yakıtla çalışan araçların kullanımı nedeniyle Birleşik Krallık, Hindistan ve Çin gibi ülkelere sayısız avantaj sağlamıştır(Altun, 2011).

- Kuzey Amerika (ABD, Meksika ve Kanada)
- Avrupa (Almanya, Rusya, Fransa, Birleşik Krallık ve İtalya)
- Asya-Pasifik (Çin, Kore, Japonya, Hindistan ve Güneydoğu Asya)
- Güney Amerika (Brezilya, Kolombiya, Arjantin vb.)
- Orta Doğu ve Afrika (Suudi Arabistan, BAE, Mısır, Nijerya ve Güney Afrika)

Biyodizel pazarı yeterince ayrılmıştır. Yakıt pazarında daha büyük bir paya sahip olmasına rağmen, birçok Avrupa ülkesinde biyodizel endüstrisi kapasite aşımı nedeniyle tehdit altındadır(Datta et al., 2021). Çin'de ise biyodizel yakıtın iç pazarı, yerel yönetimin devlet yardımlarını kısıtlaması nedeniyle karmaşık bir noktadadır. Genellikle, biyodizel fiyatı hammadde maliyeti ile birlikte dalgalanmaktadır. Ancak, dizel yakıtın biyodizel üzerindeki hakimiyeti ana parametredir(Ma & Hanna, 1999). Biyodizelin kullanım alanları endüstriyel yakıtlar, ulaşım yakıtları ve kimya sanayisi olarak bölünebilir. Biyodizelin temel uygulaması, 2015 yılında %58.92 oranında ulaşım yakıtlarıdır. Kimya sanayisi ve endüstriyel yakıtlar da tüm tedarik sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Bölgesel olarak, biyodizel Avrupa'da en çok kabul edilen biyoyakıttır. Öte yandan, Çin'deki kullanımı daha çok kimyasal uygulamalarda yer almaktadır(Palaniappan, 2017).

2022 yılında, uluslararası biyodizel pazarının toplam değeri 24.11 milyar dolar olarak hedeflenmektedir. Güney Amerika'nın biyodizel pazarı için en yüksek yatırım bölgesi olması beklenmektedir. Çin'deki biyodizel durgunluğunun önümüzdeki birkaç yıl içinde değişmesi beklenmektedir. Mevcut rapor, küresel biyodizel pazarına odaklanmakta ve özellikle Kuzey Amerika, Avrupa, Asya-Pasifik, Güney Amerika, Orta Doğu ve Afrika'yı vurgulamaktadır(N. Kumar & Sharma, 2005). Kimya sanayisinde, küresel biyodizel üretimi şimdiye kadar en hızlı gelişen pazarlardan biridir. 2000-2005 yılları arasında, dünya biyodizel üretimi, kapasitesi ve tüketimi yılda ortalama %32 oranında artmıştır. Sektör, verimlilik için yılda %115 ve kesin gereksinimler için yılda %101 oranında daha hızlı gelişme sağlamıştır(Steenblik, 2007).

1.3. Biyodizel üretimi

1.3.1. Transesterifikasyon

Özet olarak transesterifikasyon, bir esterin başka bir esterden üretilmesidir. Biyodizel durumunda bu, büyük ölçüde triasilgliserollerden, yani uzun zincirli yağ asitlerinin gliserol esterlerinden ve düşük moleküler ağırlıklı bir alkolden oluşan bir bitkisel/bitki yağından mono-alkil esterlerin üretilmesidir. Yukarıda belirtildiği gibi, metanol şu anda bu amaç için tercih edilen alkoldür ve bitki yağının metil esterlerine ana yağinkine karşılık gelen bir yağ asidi profili verir. Transesterifikasyon reaksiyonu iyi bilinmektedir ve önemli ölçüde ders kitabı materyalidir. Hem asitler hem de bazlar tarafından katalize edilebilir ve baz katalizi oldukça daha hızlıdır (Freedman, Pryde, & Mounts, 1984).

En avantajlı reaksiyon koşulları, alkol olarak metanol kullanıldığında tercih edilen katalizör olarak %0,5 sodyum metoksit (CH_3ONa) veya %1 sodyum hidroksit ile 60°C 'de, 6:1 alkol:yağ molar oranı olarak belirlendi(Freedman et al., 1984). Genellikle reaksiyon sıcaklığı alkolün kaynama noktasının biraz altında olmalıdır. 6:1 molar oranı, dengeyi sağa kaydırmak için gerekli olan teorik miktarın %100'lük bir artışıdır. Ayrıca serbest yağ asidi içeriği %0,5'ten az (asit değeri yaklaşık 1'den az) ve reaksiyon sistemi mümkün olduğu kadar nemsiz olmalıdır. Bu nedenle, katalizör olarak sodyum metoksit kullanılarak ticari ölçekte biyodizel üretimi daha yaygın hale gelmektedir çünkü bu katalizör düşük nem içeriğinin korunmasına yardımcı olmaktadır. Bunun nedeni, katalizör olarak sodyum metoksit gibi bir alkoksit kullanıldığında, su oluşturma reaksiyonunun gerçekleşmesidir. Transesterifikasyon reaksiyonunun başlangıcında bitkisel yağ ve metanol karışımı birbirine karışmayan iki fazdan oluşur; bitkisel yağ ve alkol. Bu, kütle transferinin gerçek kimyasal reaksiyondan ziyade genel reaksiyon hızını sınırlayabildiği bir duruma yol açar. Benzer şekilde reaksiyonun sonunda iki faz oluşur; metil ester ürünü ve yan ürün olarak gliserol. İki faz, yerçekimi (fazların çökmesi) veya santrifüjleme yoluyla kolayca ayrılabilir, ancak ikincisi enerji yoğundur. Ürün ester fazının suyla yıkanması, kalan katalizörün ve reaksiyon sırasında oluşan gliserol gibi potansiyel kirlenici maddelerin uzaklaştırılması için gereklidir. Transesterifikasyon, başlangıç malzemesi olan triasegliserolün diaçilgliserol ve monoasegliserol yoluyla gliserole dönüştüğü adım adım bir süreçtir, bu sırada her adımda metil ester oluşur. Optimal koşullar altında, transesterifikasyon reaksiyonu çok yüksek bir dönüşüm

derecesine kadar ilerlese de, başlangıç triasegliserol malzemesi ile mono- ve diaçilgliserolün az miktarlarından eser miktarlarına kadar bazı izler kalır. Bu materyallerin çok küçük miktarları bile yakıt özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilir. Bu nedenle, gliserol ve çeşitli triasegliseroller, serbest ve toplam gliserol olarak biyodizel standartlarında sınırlıdır; monoasegliseroller ASTM ve EN standartlarında bireysel olarak sınırlanırken, diğer asegliseroller sadece EN standardında bireysel olarak sınırlıdır. Düşük kaliteli hammadde kaynaklarında, örneğin kullanılmış yemeklik yağlar, tuzak yağı veya hayvansal yağlar gibi, önemli miktarda serbest yağ asitleri içeriyorsa, genellikle serbest yağ asidi içeriğini azaltmak için bir asit ön işlem adımı uygulanır (Canakci & Van Gerpen, 2001). Bu ön işlem, istenen alkol ve bir asit katalizörü (H_2SO_4) kullanarak hammadde içerisindeki serbest yağ asitlerinin metil esterlere esterlenmesinden oluşur, böylece asit değeri azaltılır. Hammadde içindeki triasegliserol kısmı ise yukarıda tarif edilen koşullarla baz katalizörü ile transesterifiye edilebilir.

Yukarıda belirtilen transesterifikasyon reaksiyonunun "standart koşullar" altında neme, serbest yağ asidi içeriğine, kütle transferi sınırlamalarına ve diğer faktörlere karşı hassasiyeti, diğer proses sistemlerinin geliştirilmesine yönelik önemli araştırma çabalarına neden olmuştur.

Proses iyileştirmeleri, bu endişelere şu şekillerde yaklaşmıştır: (a) yağ ve alkol fazları arasındaki temasın kimyasal veya mekanik olarak iyileştirilmesi; (b) heterojen ve enzimatik katalizörler; (c) eşzamanlı ekstraksiyon ve reaksiyon; (d) ürünün eşzamanlı olarak uzaklaştırılmasıyla reaksiyon ve (e) mikrodalga ışıınımı.

Kütle transfer etkilerini azaltma veya ortadan kaldırma

Yeni reaktör tasarımları, yaygın bir palet tipi karıştırıcı kullanılarak elde edilebilecek olandan daha iyi yağ ve metanol fazları arasındaki teması iyileştirmiştir (Qiu, Zhao, & Weatherley, 2010). Bunlar arasında statik karıştırıcılar (Thompson & He, 2007), mikro-kanal reaktörleri (Xie, Zhang, & Xu, 2012), yarı kanal reaktörleri (Kalu, Chen, & Gedris, 2011), osilatörlü akış reaktörleri (Harvey, Mackley, & Seliger, 2003) ve döner tüp reaktörleri (Lodha, Jachuck, & Suppiah Singaram, 2012) bulunmaktadır. Özellikle ilginç olanı, kavitasyonel mikro kabarcıkların oluşumunu indüklemek için ultrason kullanımının, bunların çöküşünün daha iyi konveksiyon ve karıştırmayı sağlamasıdır (Gole & Gogate, 2012; Luo, Fang, & Smith R.L., 2014). Kütle transfer sınırlamaları, transesterifikasyonun süperkritik koşullarda gerçekleştirilmesiyle de ele alınmıştır: ~ 573–673 K ve ~15–45 MPa (Silva & Oliveira, 2014). Bu koşullarda, reaksiyon karışımı sadece bir fazdadır ve bu nedenle fazlar arası kütle transferi

kısıtlamaları ortadan kalkar. Süperkritik koşullarda, reaksiyon hızlı bir şekilde yüksek verimle katalizörsüz ilerler ve su ve serbest yağ asitlerinin varlığına karşı duyarsızdır. Bu nedenle, sistem transesterifikasyonun geleneksel sürecine göre ikili avantajlar sunar. Atık ve ham yağlar ilk işleme tabi tutulmadan kullanılabilir. Ayrıca, katalizörün çıkarılması ve ayrılması gereksiz olacaktır. Ancak, yüksek basınçlar ve sıcaklıklar, sermaye ekipman maliyetlerini artıracaktır. Yüksek alkol-yag molar oranları da gereklidir. Yanıcı çözücülerin çok yüksek sıcaklık ve basınçlarda kullanımı konusunda güvenlik endişeleri de dile getirilmiştir. Metanol pompası patlaması durumunda, 190 m kadar uzak mesafede etkili olabilecek jet yangınları öngörülmüştür (Parvizsedghy & Sadrameli, 2014). Kütle transfer sınırlamalarını ortadan kaldırmanın bir diğer yaklaşımı ise yağ ve alkolün karışabilirliğini artırmak için tetrahidrofuran (Boocock, Konar, Mao, Lee, & Buligan, 1998), dimetil eter (Guan, Sakurai, & Kusakabe, 2009) ve metil tersiyer-bütil eter (MTBE) (Casas, Fernández, Ramos, Pérez, & Rodríguez, 2010) gibi yardımcı çözücülerin kullanımıdır. Yardımcı çözücülerle, reaksiyon karışımları artık tek fazlıdır ve genel reaksiyon hızı büyük ölçüde artmıştır.

1.4. Biyodizelin Özellikleri

Oksijen içeren alternatif bir dizel yakıt olan biyodizel, bitkisel ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir. Kirliliğe neden olan egzoz emisyonlarının azaltılmasında büyük umut vaat etmektedir (Sugözü vd., 2010). Ayrıca biyodizel, orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerine sahip metil veya etil ester tipinde bir yakıttır. Biyodizel: Zararlı atıklar içermez, organik maddeler gibi çevrede hızla parçalanır ve azot emebildiği için daha az gübre gerektirir. Dizel yakıtla karşılaştırıldığında biyodizelin ozon tabakası üzerindeki zararlı etkileri %50 daha azdır. Çevre için güvenli olmasının yanı sıra biyodizel, yenilenebilir hammaddelerden yapılabilen ve anti-toksik özelliklere sahip biyolojik olarak parçalanabilen bir yakıttır. Ayrıca biyodizelin depolanması kolaydır.

Çok küçük ayarlamalarla dizel motorlar biyodizel ve karışımlarıyla çalışabilir (Altun ve Yaşar, 2013). Bu özellik, biyodizel yakıt karışımının petrolden elde edilen dizelin kalitesini artırmasını sağlar. Örneğin, motor gücü üzerinde etkisi olan tortuları çözerken aynı zamanda motorun yağlama seviyesini de artırır. Ayrıca, yanma sonucu ortaya çıkan ve çevreye zarar veren gazların emisyon değerlerini düşürür.

Tipik olarak tarımsal bitkilerden elde edilen biyodizel, CO₂ emisyonları için doğal bir yutak görevi görür ve biyolojik karbon döngüsünde fotosentez yoluyla karbonu CO₂'ye dönüştürerek karbon döngüsünü hızlandırır.

Biyodizelin kalitesini anlamak, yakıtın kullanım şartlarını karşıladığını görmek için yakıtı uygun şekilde test etmeye yönelik standartlar vardır. ASTM (uluslararası standartlar ve test grubu), biyodizeli dizel motorlarda kullanım için yasal olarak tanımlamak için ASTM D6751 olarak etiketlenen bir yöntemle sahiptir. Tablo 1.2, biyodizel için beklenen tüm standartlar için gerekli test yöntemlerini göstermektedir.

EN 14214 Avrupa Birliği biyodizel standardını, ASTM D 6751 Amerikan biyodizel standardı ifade etmektedir. Türkiye'de ise [TSE](#) Standardı EN 14214 'e göre hazırlanmıştır. Tablo 1.1 ve Tablo 1.2 'de Türkiye'de üretilen biyodizelin sırasıyla TS EN 14214 ve ASTM D6751-12 standartlarına göre sağlaması gereken özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.1. AB (EN 14124:2013) biyodizel standardı (Knothe, 2006; Anonim, 8 Nisan 2016; Anonim, 9 Nisan 2016)

Özellik	Birim	Sınır Değerler	Test Metodu
Kükürt içeriği	mg/kg	10 maks	EN ISO 20846
Kinematik viskozite	mm ² /s	3.50-5.00	EN ISO 3104
Yoğunluk (15 °C)	kg/m ³	860-900	EN ISO 12185
Ester içeriği	% (m/m)	96.5	EN 14103
Parlama Noktası	°C	101 min	EN ISO 3679
Karbon kalıntı	% (m/m)	0.30	EN ISO 10370
Sülfat kül içeriği	% (m/m)	0.02 maks	ISO 3987
Setan sayısı		51min	EN ISO 5165
Toplam kirlilik	mg/kg	24 maks	EN 12662
Su içeriği	mg/kg	500 maks	EN ISO 12937
Asit değeri	mg KOH/g	0.5 maks	EN 14104
Yüksek doymamış (≥4 çift bağ)	% (m/m)	1 maks	EN 15779
Grup I Metalleri (Na+K)	mg/kg	5.0 maks	EN 14108
Grup II Metalleri		5.0 maks	EN 14109

Fosfor içeriği	mg/kg	4.0 maks	EN 14107
Linolenik asit metil	% (m/m)	12 maks	EN 14103
Metanol içeriği	% (m/m)	0.20 maks	EN 14110
İyot değeri	g I ₂ /100 g	120 maks	EN 14111
Bakır şerit korozyonu	Korozyon Derecesi	No 1 maks	EN ISO 2160
Yüksek doymamış (≥4 çift bağ)	% (m/m)	1 maks	EN 15779
Oksidasyon kararlılığı (110 °C)	Saat	8.0 min	EN 14112
Monogliseric içeriği	% (m/m)	0.80 maks	EN 14105
Digliseric içeriği	% (m/m)	0.20 maks	EN 14105
Trigliseric içeriği	% (m/m)	0.20 maks	EN 14105
Serbest gliserol	% (m/m)	0.02 maks	EN 14105
Toplam gliserol	% (m/m)	0.25 maks	EN 14105

Tablo 1.2. ABD (ASTM D6751-12) biyodizel standardı (Knothe, 2006; Anonim, 9 Nisan 2016)

Özellik	Birim	Sınır Değerler	Test Metodu
Sülfat kül içeriği	% (m/m)	0.02 maks	D874
Asit değeri	mg KOH/g	0.5 maks	D664
Parlama Noktası	°C	101 min	D93
Kinematik viskozite (40°C)	mm ² /s	3,5 – 6,0	D445
Monogliseric İçeriği	% (kütleli)	0.40 maks	D6584
Setan sayısı		47 min	D613
Su ve Tortu	%(v/v)	0.05 maks	D2709
Bakır şerit korozyonu (3 saat, 50 °C)	Korozyon Derecesi	No 3 maks	D130

Oksidasyon kararlılığı	Saat	3.0 min	EN 15751
Distilasyon Sıcaklığı %90 Geri Kazanım	°C	360	D1160
Kükürt içeriği S15 S500	mg/kg	15 maks 500 maks	D5453
Karbon kalıntı	% (m/m)	0.5 maks	D4530
Soğuk Halde Filtrelenebilme (-12 C ve altındaki yakıt Sıcaklıklarında)	Saniye	200 maks	D7501
Serbest gliserol	% (m/m)	0.02 maks	D6584
Toplam gliserol	% (m/m)	0.24 maks	D6584
Alkol Kontrolü (Bir tanesi karşılmalıdır) 1.Metanol İçeriği 2.Parlama Noktası	% (kütlese) °C	0.2 130	EN 14110 D93
Bulutlanma Noktası	°C	Bölgesel	D2500
Fosfor içeriği	%(m/m)	0.001 maks	D4951
Grup I Metalleri (Na+K)	µg/g	5.0 maks	EN 14538
Grup II Metalleri (Ca+Mg)	µg/g	5.0 maks	EN 14538

1.5.Biodizelin avantajları

1.5.1.Biodizelin bulunabilirliği ve yenilenebilirliği

Biodizel, modifikasyon gerektirmeden normal motorlarda iyi çalışabilen tek alternatif yakıttır ve düşük konsantrasyonlu biyoyakıt ile petrol benzini karışımıdır.

Petrol dizel yakıtının saklandığı her yerde saklanabilir. Ayçiçeği, kanola ve soya fasulyesi gibi yerli olarak yetiştirilen yenilenebilir yağlı tohumlar biodizele dönüştürülebilir. Petrol yakıtına kıyasla, biodizelin taşınması, depolanması ve kullanılması çok daha az tehlike içerir. Biodizel, petrol bazlı dizel yakıtına göre daha yüksek parlama noktasına sahip olduğu ve şeker kadar biyolojik olarak parçalanabilir olduğu için taşınması ve kullanılması güvenlidir. Biodizel, petrol dizel yakıtı yerine herhangi bir oranda kullanılabilir. Son bilimsel araştırmalara göre, en popüler karışım %20 biodizel ve %80 petrol dizel olan B20'dir. Ancak, Avrupa'daki mevcut düzenleme, gelecekteki ticari kullanım için %5,75 biodizel sınırı öngörmektedir(Demirbas, 2007).

1.5.2.Biodizelin daha düşük emisyonu

Avrupa Beyaz Kitap Komisyonu'nun 2010 Avrupa Ulaştırma Politikası'na göre, araç karbondioksit emisyonları 2000 ve 2010 yılları arasında neredeyse %50 artacaktır. Beyaz Kitap'a göre, bu sorunu çözmenin ve sera gazlarının etkilerini azaltmanın tek yolu temiz alternatif yakıtlar geliştirmektir(Kamarudin et al., 2009). Biodizel, ulaşım sektörü için gelecekteki en iyi enerji kaynağıdır.

Biodizelin başlıca emisyonları arasında duman, kükürt oksitler, azot oksitler, karbon monoksit ve karbondioksit bulunur. Biodizelin yanması, kendi başına, yanmamış karbon bileşiklerini (HC) %90'ın üzerinde ve polisiklik aromatik hidrokarbonları (PAH'lar) %75-90 oranında azaltır. Petrol dizel yakıtına kıyasla, biodizel ayrıca karbon monoksit ve partiküllerde önemli azalmalar sağlar. Motor türüne ve test yöntemlerine bağlı olarak, biodizel azot oksitlerde küçük bir artışa veya azalmaya neden olabilir(Demirbas, 2007).

Küresel iklimin şu anki temel sorunu, CO₂ kaynaklı küresel ısınmadır. Bu nedenle, ekosistemi korumak gezegenin geleceği için çok önemlidir. Yenilenebilir kaynaklardan üretilen biodizel, yakıt temini için pratik bir çözüm sunarken çevreyi istenmeyen kirleticilerden korur. Biodizel, tehlikesiz, güvenli ve emisyon değerleri düşük olduğu için çevre dostu bir yakıttır. Hava kirliliğini azaltmanın bir yolu, biyodizeli alternatif bir yakıt olarak kullanmak ve atmosfere salınan potansiyel veya teyit edilmiş kanserojenlerin miktarını azaltmaktır.

1.5.3.Biyodizelin biyolojik olarak parçalanabilirliği

Atık sorununa bir çözüm olarak biodizelin biyolojik olarak parçalanabilirliği önerilmiştir. Biyolojik olarak parçalanabilir yakıtlar, biyodizeller gibi, çevre dostudur ve potansiyel kullanım alanları giderek artmaktadır. Geleneksel petrol yakıtlarına kıyasla daha hızlı parçalanan biyolojik olarak parçalanabilir dizel yakıtlar popülerlik kazanmaktadır. Petrol dizeline kıyasla, biodizel toksik değildir ve yaklaşık dört kat daha hızlı parçalanır. Yüksek oksijen içeriği nedeniyle, biyolojik bozunma daha hızlı ilerler ve genel olarak iyileşir(Demirbas, 2008).

Bitkisel yağ metil esterlerinin toksik olmadığı ve su ortamında kolayca biyolojik olarak parçalanabildiği bildirilmiştir. 21 günlük bir süre boyunca, saf kanola yağı metil esterinin (RME) %98'inin biyolojik olarak parçalandığı, buna karşılık saf fosil dizel yakıtının sadece %60'ının parçalandığı belirlenmiştir. Bu, RME'nin biyolojik bozunma için uluslararası standartların ana gerekliliklerini tamamen karşıladığı anlamına gelir (biyoyakıtlar için 21 gün içinde %90'dan fazla parçalanma)(Makareviciene & Janulis, 2003).

1.5.4.Daha yüksek kayganlık

Biodizel, özellikle düşük kükürtlü dizel yakıtla karşılaştırıldığında, motor ve enjeksiyon sisteminde aşınmayı azaltmak için iyi yağlayıcı özelliklere sahiptir (Carraretto, Macor, Mirandola, Stoppato, & Tonon, 2004). Demirbaş'a göre, biodizelin oksijen içeriği hem yanmayı artırır hem de oksidasyon potansiyelini azaltır. Yanma sırasında yakıtla oksijenin homojenliğinin artması, yakıtın yapısal oksijen içeriğini artırarak yanma verimini yükseltir. Bu nedenle, metanol/etanol benzininkinden daha iyi bir yanma verimine sahiptir ve biodizel, petrol dizelinden daha yüksek bir yanma verimine sahiptir. Petrol dizel üzerinde test edildiğinde, enjektör tipleri görsel olarak incelendiğinde biodizel yakıtlar arasında herhangi bir fark bulunmamaktadır. Genel olarak enjektör koklama çok azdır. Biodizel kükürt içermez ve ağırlıkça %11 oksijen içeriğine sahiptir. Petrol bazlı dizel yakıtlardan daha fazla yağlayıcı özellik gösterdiği için biodizel, dizel motorların ömrünü uzatabilir. Biyodizellerle ilişkilendirilen nispeten yüksek bir yüksek ısı değer (HHV) bulunmaktadır. Biyodizellerin HHV'leri (39-41 MJ/kg), kömürden (32-37 MJ/kg) daha yüksektir ancak benzinin (46 MJ/kg), petrol

dizelinin (43 MJ/kg) veya petrolün (42 MJ/kg) HHV'leri biraz daha düşüktür(Yusuf, Kamarudin, & Yaakub, 2011).

1.5.5.Biodizel kullanarak motor performansının değerlendirilmesi

Dizel yakıt kalitesinin yaygın bir göstergesi, cetan numarası (CN) olarak bilinir. Daha yüksek bir cetan numarası, daha iyi ateşleme özelliklerini gösterir ve ateşleme gecikme süresi ile yanma kalitesi ile ilişkilidir (Meher, Vidya Sagar, & Naik, 2006). CN ölçümü için ISO 5156 test yöntemi kullanılır. Bu test yöntemiyle dizel ve biodizel için geçme standartları sırasıyla 46 ve 51'dir. Ancak, bazı raporlarda motor testleri yapılmadan yapılan teorik cetan düzeyleri hakkında tahminler bulunmaktadır. Farklı kaynaklardan elde edilen biodizelin cetan numarası tahminlerine göre, üzüm biodizeli için 48'den palmye biodizeli için 61'e kadar değişmektedir (Ramos, Fernández, Casas, Rodríguez, & Pérez, 2009). Genel olarak, biodizelin normal dizelden daha yüksek bir cetan numarası vardır. CN ne kadar yüksek olursa, yağ asidi karbon zincirleri o kadar uzun ve moleküller o kadar doymuş olur. Hayvansal yağlardan yapılan biodizel, bitkisel yağlara kıyasla daha yüksek bir CN'ye sahiptir (Bala, 2005). Petrol dizel yakıt, tüm bitkisel yağlar ve esterlerine kıyasla oldukça düşük özgül yakıt tüketimine sahiptir. Metil esterler genellikle ham yağ yakıtlarından daha düşük özgül yakıt tüketim değerlerine sahiptir. Bitkisel yağlar, daha az enerji içerdikleri için daha yüksek özgül yakıt tüketim değerine sahiptir. Ham bitkisel yağlara kıyasla esterler, göreceli olarak düşük CO emisyonları üretmiştir. Maksimum karbondioksit emisyonları, bitkisel yağ kullanıldığında biraz daha az olmuş ve petrol dizel yakıt kullanıldığında yaklaşık %10,5 olmuştur. Bu durum, esterlerin geliştirilmiş püskürtme özelliklerine ve daha homojen karışım hazırlığına sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Metil esterlerinin NO_x değerleri ham yakıtlardan daha yüksekken, bitkisel yağ yakıtlarının NO_x emisyonları petrol dizel yakıtlarından daha düşüktür. En yüksek yanma sıcaklığı ve NO_x oluşumu ilişkilidir. Her bitkisel yağın enjekte edilen parçacık boyutu, petrol dizel yakıtlarından daha büyük olduğu için her bir bitkisel yağın maksimum yanma sıcaklığı ve yanma verimliliği düşmüş ve NO_x emisyonları azalmıştır. Bitkisel yağ işlemleri sırasında duman opaklık yüzdesi, petrol dizel yakıt kullanıldığında elde edilen yüzdelere kıyasla daha yüksektir. Metil esterlerin opaklık değerleri, ham bitkisel yağ yakıtları ve dizel yakıt arasında yer almaktadır. Bitkisel yağ yakıtlarının daha yüksek duman opaklık yüzdesi, içerdikleri daha büyük hidrokarbon moleküllerinden kaynaklanmaktadır.

Hızlanma testleri, maksimum motor güç çıkışının biyodizel konsantrasyonuna bağlı olarak azaldığını ve yakıtın biyodizel bileşimine bağlı olduğunu göstermiştir.

Araştırmada, B50'nin baz petrol dizel yakıtına kıyasla %4,1 artışa neden olduğu bulunmuş, saf biyodizel kullanımının ise hemen hemen %8 artışla hızlanma süresini artırdığı görülmüştür. Bu farklılıklar, karışımların düşük enerji içeriğinden dolayı beklenmiştir. Maksimum motor güç çıkışındaki azalmaların nedeni ayrıca kötü atomizasyon olabilir (Fontaras et al., 2009).

1.5.6.Setan sayısının önemi ve setan indeksi

Dizel motorlar, yakıt yavaş ateşlendiğinde vuruntu üretir. Setan sayısı arttıkça dizel yakıtın kalitesi artar. Setan sayısı: Dizel yakıttaki setanın hacimsel yüzdesidir ve yakıtın kendi kendine tutuşma kapasitesini yansıtır.

Dizelin setan sayısı 49 ile 62 arasındadır. Tutuşma gecikmesini önlemek için ön yanma odası ve türbülans odası kullanılır.

Daha büyük bir setan değeri, yakıtın daha düşük bir tutuşma sıcaklığına sahip olması nedeniyle daha kolay tutuşması anlamına gelir. Çok geç ateşlenen yakıt verimli bir şekilde yanmaz ve setan değeri çok düşükse yakıtın tamamı belirlenen sürede yanamaz.

Setan sayısı özel bir test motorunda ampirik olarak hesaplanır; bu maliyetli ve zaman alıcı bir işlemdir. Söz konusu motorun mevcut olmadığı, yakıt örneğinin yetersiz olduğu veya acil bulgulara ihtiyaç duyulduğu durumlarda uygun setan sayısını belirlemek için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Motor testlerinden elde edilen değerleri bu prosedürlerden elde edilenlerden ayırmak için "setan indeksi" terimi kullanılır.

ASTM D 976 yöntemi başlangıçta setan indeksini hesaplamak için kullanılıyordu. Hesaplama ilk olarak 1988 yılından sonra ortaya çıkan ASTM D 4737 yöntemi kullanılmıştır. Distilasyondada %10, 50 ve 90 hacim fraksiyonlarının toplandığı yakıt yoğunluğu ve sıcaklıklar aşağıdaki denklemde kullanılmıştır.

$$-SI = 45.2 + 0.0892 (t_{10} - 215) + 0.131 (t_{50} - 260) + 0.0523 (t_{90} - 310) + 0.901 \cdot b (t_{50} - 260) - 0.420 \cdot b (t_{90} - 310) + 0.00049 (t_{10} - 215)^2 - 0.00049 (t_{90} - 310)^2 + 107.0 \cdot b + 60.0 \cdot b^2$$

t_{10} , t_{50} , t_{90} değerleri distilasyonda %10, %50 ve %90 distilatların toplandığı sıcaklıklardır (0 °C, standart barometrik basınca göre düzeltilmiş değerler)

$$-b = -\exp [-3500 (p - 850)] - 1$$

$$-p = 15^\circ\text{C}'\text{deki yoğunluk, kg/m}^3$$

Yakıtta setan sayısını arttıracak hiçbir katkı maddesi eklenmediğinde setan sayısı ile setan indeksi formülü birbirine bağlanır. Katkı maddeli yakıtların setan sayısı değerinin belirlenmesinde kullanılan tek yöntem motor testidir.

1.5.7.Düşük setan sayısı ve vuruntu

Düşük setan sayısı ve vuruntunun aşağıdaki dezavantajları vardır: - Motorun ilk kez çalıştırılmasındaki zorluk; - Çalıştırdıktan sonra uzun süreli beyaz duman emisyonu; - Güç kaybı ve malzeme yorgunluğu; - Süper gürültülü çalışma; - Artan egzoz emisyonları; - Düşük verimlilik

"Setan sayısı", yakıtın tam yanmasını ve dolayısıyla motorun çalıştırılma kolaylığını belirleyen, dizel yakıtın çok önemli bir özelliğidir. Piston sıkıştırma basıncı, ortam sıcaklığı veya soğutma sıvısı sıcaklığı gibi düşük değişkenler nedeniyle sıkıştırma sıcaklığı düştüğünden, dizel motorda motorun kolay çalıştırılması ve yakıtın tamamen yanması için yüksek bir setan sayısı gereklidir. Tam yanma sağlanamadığı takdirde yakıt egzozdan duman halinde salınır.

Modern dizel motorlarda (ASTM D 975) bu değer en az 40 olması gerekir. Yanma odası hala çok soğuk olduğundan, motor çalıştırıldığında enjekte edilen yakıt tamamen yanamaz. Kısmen yanmış ve yanmamış yakıt parçacıkları egzozdan beyaz duman (sis) halinde çıkar. Setan sayısı yüksek yakıt kullanıldığında bu sorun ortaya çıkmaz.

Bir yakıtın kimyası veya içerdiği bileşenler, tutuşmasının ne kadar süreceğini belirler. Isıtılmış bir motordaki gecikme süresi, yakıtın fiziksel özelliklerinden (yoğunluk, viskozite vb.) etkilenmez. Deniz yakıtları veya petrol kalıntılarını içeren yakıtlar setan sayısına tabi değildir; yalnızca distile yakıtlar vardır. Motor gürültüsünün iki kaynağı vardır: mekanik gürültü ve yakıt yanma gürültüsü. Yanma gürültüsü üzerinde yalnızca yakıtın özellikleri etkilidir. Yüksek setan sayısı yakıtın hızlı yanmasını garanti eder ve gürültü üretimini azaltır.

1.6.Biyodizelin Dezavantajları

Üretilen biodizel, özellikle palmye yağından yapılan biodizel, donma noktası, akma noktası ve CFPP ölçümleriyle belirtilen düşük sıcaklık akış karakteristikleri bakımından zayıftır. Biyoyakıtların uçaklarda kullanımı için düşük sıcaklıklarda işlem yapabilme yeteneği önemlidir. Doymamış hammaddelerden elde edilen biyodizel,

düşük sıcaklık karakteristiklerini iyileştirmek için karıştırılabilir (Sarin, Sharma, Sinharay, & Malhotra, 2007).

Biyodizelin ek önemli dezavantajları arasında artan viskozite, azalan enerji içeriği, azot oksit (NOx) emisyonlarının artması, azalan motor gücü ve hızı, enjektör koklaması, motor uyumluluğu, yüksek maliyet ve artan motor aşınması bulunmaktadır. ASTM yakıt standartlarına göre petrol-dizel ve biyodizel yakıtları Tablo 6'da gösterilmektedir. Petrol dizeline kıyasla biyodizel, daha yüksek viskozite, daha yüksek bakır şerit korozyonu, soğuk başlatma sorunları ve düşük enerji içeriği gibi önemli işletme dezavantajlarına sahiptir.

Biyodizelin uygulanması, saf petrol dizeline kıyasla daha yüksek yakıt tüketimine yol açar, bu da biyodizel üretiminin petrol dizeline kıyasla daha yüksek maliyetlerine eklenir (West, Posarac, & Ellis, 2008).

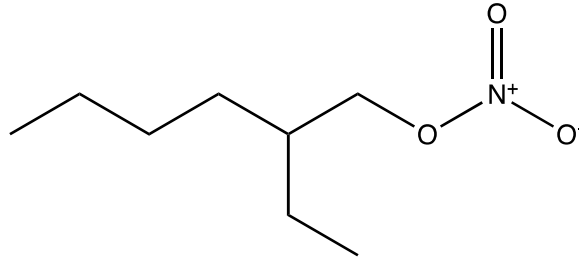
Biyodizelin %95'in üzerindeki yenilebilir yağlardan üretildiği gerçeği, ekonomik sorunlara yol açabileceğine dair birçok iddia bulunmaktadır. Yiyecek kaynakları, yenilebilir yağları biyodizeline dönüştürerek araç yakıtlarında kullanılmaktadır. Biyodizel üretiminin yaygınlaşması, dünya gıda arzı ve talebi arasında bir dengesizliğe yol açabileceği düşünülmektedir. Yenilebilir yağlardan biyodizel üretimi, özellikle ekosistem tahribatı ve orman tahribatı gibi çevre üzerinde olumsuz etkileri nedeniyle çevreciler tarafından eleştirilmiştir. EEB'ye göre, biyodizel üretimi için yağ bitkisi plantasyonlarının büyük ölçekte genişlemesi, Malezya, Endonezya ve Brezilya gibi ülkelerde ormansızlaşmaya neden olmuştur, çünkü daha fazla orman plantasyon için yok edilmiştir. Ayrıca, hem gıda hem de yakıt ekonomileri aynı yağ kaynakları için yarıştığı için, ikisi arasında ayırım yapmak zordur. Başka bir deyişle, gıda sektörü ile biyodizel, yağ bitkisi plantasyonları için mevcut olan sınırlı arazi için yarışmaktadır. Biyodizelin giderek artan talebini karşılamak için, son yıllarda biyoyakıt için yağ bitkisi plantasyonlarında dikkate değer bir artış olmuştur. 1991'den 2010'a kadar küresel sebze yağı karışım stoklarında biyodizel üretimi sonucu artış eğilimi Şekil 4'te gösterilmektedir. Sebze yağı üretimi sürekli artarken, daha fazla biyodizel üretildikçe karışım için kullanılabilir sebze yağı miktarı sürekli azalmaktadır. Biyodizelin petrol kökenli dizel yakıt yerine kullanılması, dünya yenilebilir yağ arzının tükenmesine yol açabilir (Yusuf et al., 2011).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde farklı yağlardan biyodizel üretimi yapılmış olup, bu biodizellerin setan sayının artırılması için 2-Etilhekzil Nitrat katkı maddesinin kullanılması ve etkilerinin araştırılması için bu konular ile ilgili yapılmış güncel çalışmalar incelendikten sonra, konu ile ilgili deneysel çalışmalara geçilmiştir. Bu çalışmalardan biri alternatif dizel motor yakıtlarının araştırılması ve geliştirilmesidir. Bu bağlamda bitkisel yağlar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen biyodizel yakıtı petrolden elde edilen dizel yakıtı alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Fosil kökenli yakıtların kaynaklarının gittikçe azalması ve bu yakıtların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı alternatif enerji kaynaklarının arayışı gündeme gelmiştir. Bu enerji kaynaklarından birisi de içten yanmalı motorlarda dizel yakıtı alternatif olarak kullanılabilen biyodizel yakıtıdır. Bu yakıt dizel tasarımlı motorlarda tasarım değişimine ihtiyaç duyulmadan kullanılabilmektedir. Farklı tür yağlar (hayvansal, bitkisel ve atık yağlar)'dan biyodizel üretilmekte ve motorlarda saf halde ve standart dizel yakıtı dizel motorlarda karışım oranlarına göre yakıt olarak kullanılmaktadırlar. Düşük maliyet, düşük egzoz emisyonları ve hammaddenin temin edilebilme kolaylığı gibi nedenlerden dolayı biyodizeli motorlarda yakıt olarak kullanılmayı daha cazip hale getirmiştir. Dizel yakıtlı motorlarda dizel yakıtının kendi kendine tutuşabilme kalitesini gösteren ölçüye "setan sayısı" denir. Ayrıca setan sayısı; Yanma odasına girmeye başlayan yakıtın yanmaya başlaması arasındaki süreyi ölçen bir sayıdır. Setan sayısı, yakıtların kalite seviyesini yakıtların diğer fiziksel özelliklerinden farklı olarak ölçmeye yarayan bir kavramdır. Motor devrine ve silindirlerin büyüklüğüne göre dizelin setan sayısı değişmektedir. Bir yakıtın setan sayısı ne kadar yüksek ise o yakıtın tutuşmaya yatkınlığı ve tutuşma kalitesi o derece yüksek olur. Ayrıca setan sayısının azalması yakıtın kendi kendine tutuşabilme özelliğinin azalması anlamına gelmektedir. Setan sayısı ne kadar küçükse, yakıtın yanma odasına enjeksiyonu sonucu yakıtın yanma arasındaki kalma süresi o derece uzun olmaktadır. Setan sayısı ne kadar yüksek olursa, yakıtın yanma odasına girişi ve yakıtın ateşlenmesi arasındaki süre o kadar kısalmır. Dizel motorların tasarımı yakıttan en yüksek verimi sağlayacak orandaki setan sayısına sahip olan yakıtı göre yapılmaktadır. Motorun doğru şekilde ve verimli olarak çalışabilmesi için setan sayısı düşük olan yakıt seçilmemelidir. Setan sayısı düşük olan yakıtın kullanılması motorda dalgalı olarak rölantiye sebep olmakta ve yakıtın tam

olarak yanmamasında dolayı dumana neden olmakta ve bu durum motora zarar vermektedir. Diğer taraftan, setan sayısı yüksek yakıtın kullanılması motorun hazır konuma geçmeden yakıtın hızlı yanmasına neden olduğu için istenilen verim alınamamaktadır. Oluşan bu her iki durum için motorun istenilen verimde çalışabilmesine engel olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı setan sayısının belirli bir seviyede olması istenmektedir. Bu seviye dizel yakıtta setan sayısı 49-55 aralığında uygun olduğu görülmüştür. Biyodizelin setan sayısı 55 'ten büyüktür. Dizel yakıtta göre setan sayısı yüksek olan biyodizel çalışan motorlarda daha az vuruntu olmakta dolayısı ile daha az gürültü çıkması sağlanacaktır. (Karadağ A.)

Bu konu hakkında yapılan bir çok çalışmanın sonuçlarına göre dizel motor yakıtına alternatif olarak biyodizelin yakıtın karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), kükürt oksitler (SO_x), partikül maddeler (PM), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) ve nitrik polisiklik aromatik hidrokarbon (nPAH) emisyonlarının petrol dizel yakıtta nazaren daha düşük seviyelerde olduğu fakat azot oksit (NO_x) emisyonlarında ise bir miktar artış meydana geldiği belirtilmiştir[11]. Biyodizelin emisyon profili, biyodizelin zehirleyici etkisinin bulunmaması, biyodizelin biyolojik olarak parçalanabilmesi, biyodizelin yüksek setan sayısı, üstün yağlama yeteneği, kükürt ve aromatik içermemesi, yüksek oksijen içeriği, onu cazip kılan özellikleri olarak sıralanabilir[12]. Setan sayısı dizel/biyodizelin pek çok farklı yakıt özelliği içerisinde en kritik olanlarındandır. Tüm motor özelliklerini doğrudan etkileyen ve dizel/biyodizel yakıtlarının en kritik kimyasal özelliklerinden biri olan setan sayısı, yakıtın tutuşabilirliğinin de önemli bir göstergesidir. Dizelin setan sayısı yükseldikçe, yakıtın işlevselliği (kalitesi) de artmaktadır. Setan sayısını arttıran katkı maddeleri dizel yakıtının motorda yanma özelliğini düzeltir, motorda yanma gürültüsünü ve isi azaltır. Yararları motor dizaynına, çalışma şekillerine göre değişir. En çok kullanılan setan sayısı artırıcı 2-etilheksil nitrat (EHN, oktil nitrat) tır. EHN sıcaklığa dayanıklı değildir, yanma odacığının yüksek sıcaklığında hızla parçalanır; parçalanma ürünleri, yakıtın yanmaya başlamasına yardımcı olur ve dolayısıyla yakıtın tutuşma süresi kısılır.



Şekil 2.1. 2-Etilheksil Nitrat

Yakıtın diğer özelliklerine bağlı olarak dizel yakıtta ağırlıkça %0,05-0,4 arasında değişen miktarlarda eklenerek setan sayısını %3-8 oranında artırır. Daha az sıklıkta kullanılmalarına rağmen, bazı eter nitratlar, nitrozo bileşikler ve di-tersiyer bütill peroksit de setan sayısı ilaveleri kategorisine dahil edilebilir. Setan sayısı: dizelde hacim olarak setan yüzdesini temsil eder ve yakıtın kendi kendine tutuşma kapasitesini gösterir. Dizel setan sayısı: 49-62 aralığındadır. Dizel, setan sayısı yükseldikçe kendiliğinden tutuşma veya sıkıştırma zamanında hızlı (ilk) tutuşma eğilimine sahiptir, bu da vuruntuya neden olur. Dizelin setan sayısı düştükçe kendiliğinden tutuşma eğilimi azalır. Dizel motorlarda setan sayısı çok yüksek olmamalıdır.

Setan sayısı, dizel motorlarda kullanılan yakıtların kendiliğinden tutuşmaya yatkınlığını gösterir. Motor vuruntusuna neden olan yakıtlar, yüksek kendiliğinden tutuşma sıcaklığı değerlerine sahip yakıtlardır. Uzun düz zincir yapısına sahip doymuş hidrokarbonların setan sayısı daha yüksek iken, çift bağ sayısı arttıkça setan sayısı düşmektedir (Ş. Karahan, 2005). Setan sayısı tutuşma gecikmesi ile ilgili bir özelliktir. Setan sayısının artması tutuşma gecikmesini azaltır. Bu da yakıtın uygun zamanda tutuşmamasını sağlayacağından motor vuruntusu meydana gelecek, motorun gürültülü çalışmasına ve motor parçalarının zarar görmesine neden olacaktır. Biyodizel yakıtın setan sayısı, biyodizelin elde edildiği hammaddedeki (yağ) yağ asidinin ayrıştırıcı özelliklerine göre değişmektedir (C. S. Lee, Park, & Kwon, 2005) İçten yanmalı motorlarda kullanılan dizel yakıtın setan sayısı ideal olarak en az 40'tır. Biyodizelin setan sayısı ise kullanılan hammaddeye göre değişmekte olup 46 ile 60 arasında değişmektedir (A. Dinçbaş, 2007).

Yapılan bir araştırmada, egzoz emisyonunun özelliklerini ve motor performansını analiz etmek için palmye çekirdeği ile harmanlanmış yüksek setan sayılı 2-Etilheksil nitrat katkı maddesi ve düşük setan sayılı triasetin katkı maddesi içeren alternatif bir yakıt tasarlamak hedef alınmıştır. Bu amaçla saf dizele palm çekirdeğinden

elde edilen biyodizel ile hacimce %20 oranında iki farklı katkı maddesi (2-Etilheksil nitrat, triasetin) eklenmiştir. Saf dizelle karşılaştırıldığında bazı yakıt karışımları daha iyi performans göstermiş ve mevcut senaryoda çok ihtiyaç duyulan düşük emisyonla sahip olduğu bulunmuştur(Panda, Sastry, & Rai, 2019).

Diğer bir çalışmada ise setan iyileştiricisi olan 2-etilheksil nitrat (EHN) ilavesinin sıkıştırma ile ateşlemeli motor performansı ve emisyonları üzerindeki etkileri çeşitli motor yüklerinde analiz edilmiştir. Deneylerde %100 dizel (D100), %99 dizel + %1 EHN (D99EHN1), %98 dizel + %2 EHN (D99EHN2) ve %97 dizel + %3 EHN (D99EHN3) olmak üzere dört farklı yakıt kullanılmış. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar, 2-EHN ilavesinin fren ısı verimini, hidrokarbon ve karbon monoksit değerlerini olumlu yönde etkilediğini, fren özgül yakıt tüketimini, nitrojen oksit ve duman emisyon düzeylerini ise olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir. Yüksek motor yükünde, 2-EHN takviyesi NO_x emisyonlarını marjinal olarak arttırmış ancak HC ve CO emisyonlarını önemli ölçüde azaltmıştır. EHN ilavesinin BSFC üzerinde küçük etkileri olmuştur. D100 yakıtına göre en yüksek BTHE değeri 3000 Watt yük değerinde %11,57 artışla D99EHN2 yakıtında elde edilmiştir. D97EHN3 yakıtı ile dizele kıyasla HC emisyonu %60,61, CO emisyonu ise %31,25 azalmıştır. Sonuçlar 2-EHN setan geliştiricinin dizel motorlarda başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir(Uslu & Şimşek, 2021).

Başka bir çalışmada ise bilinen en iyi setan iyileştiricisi olan EHN katkılı dizel ve Propanol karışımlarının bir dizel motorda kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla kısaca P10, P10EHN2, P10EHN4 ve P10EHN6 olarak gösterilen karışımlar kullanılarak beş farklı motor yükünde (%0, %25, %50, %75, %100) testler yapılmıştır. Performans parametreleri olarak fren gücü, fren özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları olarak CO, CO₂ ve NO_x analiz edilmiş ve tüm sonuçlar dizel yakıtla karşılaştırılmıştır. Araştırmadan, EHN katılımının NO_x, CO çıkışı ve Fren Gücü üzerinde azaltıcı bir etkiye sahip olduğu, diğer yandan CO₂ çıkışı ve Frene Özel Yakıt Tüketimi üzerinde artan bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır(Ravi & Karthikeyan, 2021).

Başka bir çalışmada ise deniz yakıtının saf deniz dizel yağı bazlı kısmının yerine alternatif bileşenler olarak biyometanol ve iki katkı maddesi dodekanol ve 2-etilheksil nitrat içeren biyodizelin deniz dizel yağı (MDO) ile 20 karışımı seçilmiştir. Bu amaçla, hacim bazında %0'dan %30'a kadar biyometanol ile dizel ve biyodizelin katkılı ve katkısız iki baz karışımı üretildi. Tüm karışımlar arasında %5 (hacim bazında) metanol içeren karışımlar yoğunluk, kinematik viskozite, kalorifik değer, bulutlanma noktası ve

setan indeksi açısından Denizcilik yakıtlarına yönelik IMO gereksinimlerine uygun ISO 8217:2017 standardına (DMB sınıfı) göre en iyi özellik profiline sahip olduğu bulunmuştur (Zhongcheng, Paulauskiene, Uebe, & Bucas, 2020).

Başka bir makalede ise setan iyileştiricisi 2-Etilheksil nitratin tutuşmanın gecikmesi, yanma süreci, ısı salınımı özellikleri, belirtilen termal verimlilik, döngüsel çalışma değişkenliği, NO_x, CO, THC emisyonları ve egzozun duman opaklığı üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı ile ilgili değerlendirme sunmaktadır. Doğal emişli, DI dizel motor dönüşümlü olarak düz kolza yağı (RO) ve jet yakıtı (JF) ile 2 EHN katkılı 0.10 (RO 10), 0.30 (RO 30) yağ setleri ve 0.10 (JF 10), 0.24 (JF 24) jet yakıtı, tam yük altında maksimum 1400 rpm tork hızında ve 2200 rpm nominal hızda ayarlanmış. Test sonuçlarının analizi, farklı kökenli katkılı yakıtların, hızlı ön karışım ve karıştırma kontrollü difüzyon alevli yanma prosesi, silindir içi maksimum basınç, HRR_{max} ve silindir içindeki basınç (sıcaklık) artış oranı, değişim katsayısı (COV), duman ve egzoz emisyonları üzerinde farklı etkiler sağladığını ortaya çıkarmıştır. Yakıtların farklı kimyasal ve fiziksel özellikleri, devam eden süreçlere daha derinlemesine bakma olanağı sunmuş ve setan iyileştiricisinin ve yanma özellikleri ve egzoz emisyonları üzerinde eşlik eden etkiler yaratan katkıda bulunan faktörlerin ortaya çıkarılmasına yardımcı olmuştur (Labeckas & Slavinskas, 2021).

Başka bir çalışmada, 2 etilheksil nitrat (2EHN) karışımının Cr₂O₃ ile kaplanmış bir dizel motorun performans parametreleri üzerindeki etkileri deneysel ve YSA yaklaşımları karşılaştırılarak incelenmiştir. Dizel motorun piston, egzoz ve emme valfleri 300 µm kalınlığında Cr₂O₃ ile kaplanmıştır. Dizel yakıtta %3, %6, %9 (hacim) oranlarında 2EHN ilave edilerek DE3, DE6 ve DE9 karışımları üretilmiştir. YSA'nın eğitim ve test verileri, kaplamalı motor (CE) ve kaplamasız motordan (UE) elde edilen egzoz gazı sıcaklığı (EGT), fren özgül yakıt tüketimi (BSFC) ve motor titreşimi (EV) değerlerinden elde edilmiştir. Ayrıca kaplama etkilerinin daha net görülebilmesi için fren ısı verimi (BTE) hesaplanmış ve termal görüntüler alınmıştır. Motor testleri CE'de EGT, BTE ve EV değerlerinin arttığını; SFC değerleri ise UE'ye göre azalmıştır. Hem CE hem de UE'de 2EHN eklenmesi SFC'yi azaltmış ancak EGT, BTE ve EV değerleri artmıştır. Termal görüntüler hem CE hem de UE'deki parametrelerdeki değişiklikleri desteklemiştir. YSA sonuçları performans parametrelerinin düşük hata oranlarıyla tahmin edilebileceğini göstermiştir. En düşük regresyon (R) değerleri sırasıyla EGT, SFC ve EV için 0,9939, 0,96255 ve 0,99199 olarak elde edilmiştir (Sevinc & Hazar, 2022).

Pistonlu içten yanmalı motorlara güç sağlamak için düşünülen alternatif yakıtlardan biri etanoldür. Bazı ülkelerde etanol, nispeten küçük teknik değişikliklerden sonra pozitif ateşlemeli motorlarda bağımsız bir yakıt olarak uzun yıllardır başarıyla kullanılmaktadır. Setan sayısının çok düşük olması nedeniyle, bu yakıt dizel motorlarda saf halde kullanılamaz. Dizel yakıt ile bir miktar etanol fraksiyonunun karışımından oluşan yakıtlar üzerinde durulmaktadır. %15'e (h/h) kadar etanol içeren dizel yakıt bazen dizel veya oksijenli dizel olarak anılır. Ancak böyle bir karışımın kendiliğinden tutuşma özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bir etanol dizel yakıt karışımının (EDB) kendiliğinden tutuşma özelliklerinin iyileştirilmesi, kendiliğinden tutuşma eğilimini artıran bir katkı maddesinin eklenmesiyle gerçekleştirilebilir. Böyle bir katkı maddesi, dizel yakıtların kendiliğinden tutuşma özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılan 2 etilheksil nitrat (2-EHN) olabilir. Yapılan bir çalışma, 2 EHN ilavesinin (10.000 ppm'e kadar [m/m]) %15 (h/h) etanol fraksiyonuna sahip bir EDB'nin kendiliğinden tutuşma özellikleri üzerindeki etkisini belirlemiştir. Çalışma, ayrıca ortam gaz sıcaklığının (550-650 °C aralığında) tutuşma gecikmesi süresi ve yanma gecikmesi süresine etkisinin belirlenmesine olanak sağlayan sabit hacimli yanma odasına sahip bir cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir, türetilmiş setan sayısının yanı sıra. Yanma odasındaki ortalama ve maksimum basınç artış oranları da analiz edilmiştir. Çalışmalar, bir EDB'de 2 EHN fraksiyonunun artmasıyla tutuşma ve yanma gecikmesi sürelerinin azaldığını, yakıtın enjekte edildiği ortam gazının sıcaklığının artmasıyla bu sürelerin değişen oranlarda kısaldığını göstermiştir(Kuszewski, 2018).

Dimetil karbonat (DMC)/dizel karışımlı yakıtlar, dizel motorların yakıt açısından zengin bölgesini iyileştiren DMC'nin (%53,3 oksijen içeriği) avantajlarından dolayı giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bununla birlikte, düşük yüklerde DMC/dizel ikili yakıtın düşük setan sayısı (CN), yanma ilerlemesinin gecikmesine neden olur. Başka bir çalışmada yanma aşamasının ısı verim, ekserjetik verim, enerji ve ekserjetik kayıplar üzerinde önemli bir etkisi olduğundan; karışık yakıtta bir CN geliştirici olarak 2-etilheksil nitrat (EHN) eklenmiş, böylece DMC/dizel ikili yakıtın uygun yanma özelliklerini sağlamak için yanma fazı dizelinkine yakın hale getirilmiştir. Bu çalışmada performans ve emisyonları incelemek için dört silindirli turboşarjlı bir dizel motor kullanılmıştır. Deneylere dayanarak, EHN'nin DMC/dizel karışımına farklı konsantrasyonlarda eklendiği enerji dengesi ve ekserji dengesi dahil yanma özelliklerine odaklanılmış. Beş test yakıtı dizeli (D100) ve %20 DMC ile %80 dizelin (DMC20) karışımını içermektedir. Ayrıca DMC20'ye %0,5, %1 ve %2 oranlarında EHN ilave

edilmiştir. Sonuçlar, EHN'nin DMC'nin ateşleme gecikme süresini kısaltabildiğini ve maksimum basınç artış hızını (MPRR) azaltabildiğini göstermiştir. EHN kullanımı, aynı yük altında %0,5 ve %2 EHN kullanılarak fren termal verimliliğini (BTE) ve fren özgül yakıt tüketimini (BSFC) iyileştirmiş, BTE, DMC20'ye göre sırasıyla %0,2 ve %1 artmıştır. Çalışma, DMC'nin yanma problemini telafi eden EHN'nin eklenmesinden sonra enerji verimliliği ve ekserji verimliliğinin daha yüksek olduğunu bulmuştur. Üstelik geri dönüşü olmayan kayıp azalmış ve mevcut iş ve mevcut enerji artmış. Termodinamik analiz, DMC'nin %2 EHN ilavesinden sonra dizele göre daha iyi yanma performansına sahip olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, EHN/DMC/dizel karışımli yakıtın %25 EGR ile birleştirilmesi yöntemi önerilmiş ve NOX ile is arasındaki denge ilişkilerinin dikkate değer biçimde iyileştirildiği doğrulanmıştır(Pan et al., 2019).

Mevcut başka bir çalışmada ise mevcut dizel motorlardan daha iyi enerji ve çevre izlenimi elde etmek için dizel yakıttaki yüksek yoğunluklu su konusunu ele almaktadır. Dizel yakıtta suyun bulunması kirliliği azaltıp performansı artırsa da, yüksek su konsantrasyonunda motor yüksek titreşim ve kaba çalışma sergiler. Dizelde suyun faydalarını korumak için, bu çalışmada setan geliştirici olarak 2-Etilheksil nitratin (EHN) eklenmesiyle yeni bir yaklaşım denenmiştir. Dizelde farklı yüzdelerde su ve EHN'nin kütle fraksiyonları ile test yakıtları hazırlanmış ve özellikleri ölçülmüştür. Test yakıtlarının değerlendirilmesi, farklı fren ortalama etkin basınç koşullarında bir dizel motorda gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme raporu, saf dizele (PD) kıyasla %10 su emülsifiye dizel yakıt (PD10W) için emisyon parametrelerinin iyileştirildiğini ve %20 su emülsifiye dizel yakıt (PD20W) için olumsuz bir etkinin kaydedildiğini belirtmiştir. Performans parametrelerine yönelik emülsiyon yakıtları için de benzer eğilimler kaydedilmiştir. Ayrıca, emülsiyon yakıtların tepe silindir içi basıncı ve net ısı salınım hızı değerleri, PD'ye kıyasla ve üst ölü merkezden (TDC) uzakta artmaktadır. PD20W emülsiyon yakıtında 1000 ppm EHN bulunması, motorun performansını ve emisyon davranışlarını etkili bir şekilde artırır ve yanma parametrelerinin tepe değeri ÜÖN'ye bitişiktir(Vellaiyan, Muralidharan, & Devarajan, 2022).

Bu araştırmada ise farklı oranlarda biyodizel (%99,5, %98,5 & %97,5) ve 2 etilheksil nitrat (EHN) (%0,5, %1,5 & %2,5) kullanılarak hazırlanan yakıt karışımlarının dizelin performans ve emisyon özelliklerine etkileri incelenmiştir. motor farklı yüklerde (2000, 2500 ve 3000 W) incelenmiştir. Deneyler, L27 ortogonal dizisi (OA) ile Taguchi kullanılarak tasarlanmış ve yük, % EHN karışımları ve % biyodizel karışımları ile her birinin üç seviyesi kontrol parametreleri olarak alınmıştır. Ayrıca fren

termal verimliliği (BTE), fren özgül yakıt tüketimi (BSFC), karbon monoksit, hidrokarbonlar, nitrojen oksitler ve duman gibi tepki özelliklerini optimize etmek amacıyla kontrol parametrelerinin en iyi kombinasyonunu elde etmek için optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon analizi, %99,2 biyodizel oranının, %1,3 EHN oranının ve 2300 W yükün en iyi performans ve emisyon değerleri için optimum sonuçlar olduğunu ortaya koymuştur. Optimum parametrelere göre optimum yanıtlar BTE, BSFC, CO, HC, NO_x ve duman için sırasıyla %25,05, 781,248 g/kWh, %0,085, 20,30 ppm, 632,72 ppm ve %0,257 olarak belirlenmiştir. Optimizasyon sonuçları ile deneysel sonuçlar arasındaki doğrulamadan elde edilen maksimum %9,42'lik hata, bu araştırmanın bulgularının kabul edilebilir olduğunu ortaya koymaktadır (Simsek, Uslu, Simsek, & Uslu, 2021).

Başka bir çalışmada ise setan geliştirici 2-Etilheksil nitratin (EHN), algal biyodizel-dizel karışımıyla çalışan bir motorun performansı ve emisyon özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çok amaçlı yanıt yüzeyi tekniği (MORSM), deneme sayısını azaltmak ve insan çabası, kaynaklar ve zaman gibi değerli kaynakları korumak için Box-Behnken tasarımıyla birlikte kullanılmış. Motor kontrol parametrelerini ve çıktıları birbirine bağlamak için, matematiksel ifadeler biçiminde tahmin modelleri oluşturmak amacıyla varyans analizi kullanılmış. Optimum verimlilik-en az emisyon kombinasyonu için motor çalışma ayarlarını optimize etmek amacıyla MORSM tabanlı bir arzu edilebilirlik tekniği kullanılmıştır. Optimize edilmiş motor çalışma ayarları, üst ölü noktadan önceki 23 derecelik krank açısı ($^{\circ}$ CA bTDC), %77,16 motor yükü ve 5500 ppm EHN olduğu bulunmuştur. Bu optimum çalışma aralıklarında performans ve yanma çıkışı %31 BTE, 0,28 kg/kWh BSFC ve 66,29 bar PCP olduğu bulunmuştur. Emisyonlar açısından CO %0,01 hacim, HC 25,1 ppm ve NO_x 867 ppm olduğu bulunmuştur. Mevcut araştırma, bu yakıtları kullanmayı düşünen araştırmacıların optimum değerleri belirlemelerine yardımcı olacaktır (S. Kumar & Pal, 2022).

Yapılan başka bir çalışmada dizel yakıtlarda 2-etilheksil nitratin (2-EHN) belirlenmesine yönelik bir yöntem geliştirmek amacıyla FTIR spektrumlarının kısmi en küçük kareler regresyonu (PLS) ile işlenmesine dayanan nicelik modelleri oluşturulmuş. Standartlar seti 2-EHN, biyodizel (FAME) ve çeşitli mineral dizel yakıtlar (2-EHN içermeyen) kullanılarak hazırlanmıştır. Standartlar 2-EHN'nin 0–2436 mg kg⁻¹ konsantrasyon aralığında hazırlanmış. Standartlar seti kalibrasyon, doğrulama ve test setlerine bölünmüştür. Modeli oluşturmak için kalibrasyon seti kullanılırken, model

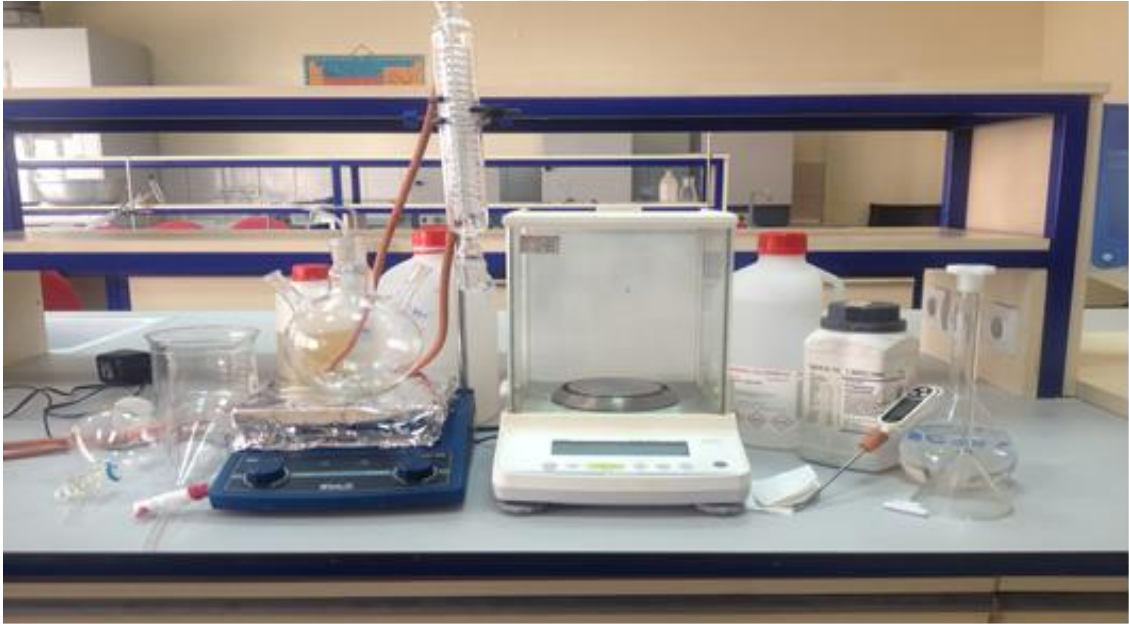
parametrelerini optimize etmek için doğrulama seti kullanılmıştır. Standartların test seti, modelin tahmin yeteneğini ve tekrarlanabilirliğini değerlendirmek için kullanılmıştır. Ön işleme yöntemleri ve gizli değişkenlerin sayısının uygun bir kombinasyonunu bulmak için yüzlerce farklı model geliştirilmiş ve karşılaştırılmıştır. En umut verici model, ilk türevleri formunda ortalama merkezli spektrumlar kullanılarak geliştirilmiş ve Gap-Segment türevi kullanılarak düzeltilmiştir. Model oldukça iyi bir tahmin yeteneği ve tekrarlanabilirlik göstermiştir(Vrtiška & Šimáček, 2018).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Farklı Yağ Kaynaklarından Üretilen Biyodizellerin Üretimi

Deneylerde kullanılacak biyodizel miktarı üretilmeden önce numune bazı miktarlarda biyodizel üretilerek biyodizel üretimi için uygun koşullar, üretim aşamaları ve bazı reaksiyon girdileri belirlenmeye çalışıldı. Bu, ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytinyağından elde edilen 2-EHN maddesinin farklı oranlarda kullanılmasıyla gerçekleştirildi. Batman Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Rafineri ve Petro Kimya Teknolojisi programının laboratuvarı bu incelemelerin yapıldığı yer olarak hizmet vermiştir. Şekil 3.2'de görülen manyetik karıştırıcılı ısıtıcı, üç boyunlu ve düz tabanlı cam şişe, dijital sıcaklık ölçer, soğutucu akışkan, hassas terazi, cam kaplar, ayırma hunileri, kağıt filtreler ve gerekli yardımcı ekipmanlar başlangıç testleri kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Deneylerde kullanılan malzeme ve araç-gereçler

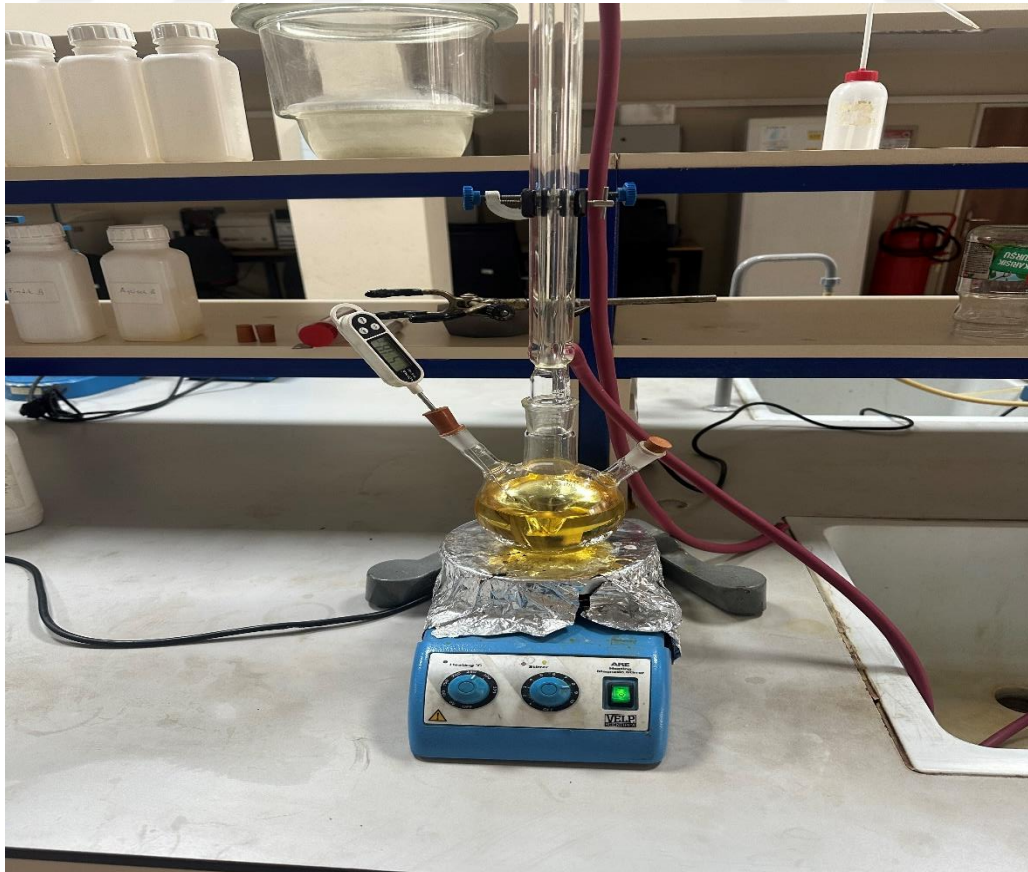
Alkol tipi olarak EN 14214 standardına göre çalışmalar için metil alkol kullanılmıştır. Standardın kriterlerine uygun yakıt üretimini gerçekleştirebilmek için Sigma-Aldrich firmasının %99.7 saflıktaki metil alkol bir firmadan satın alınmıştır. Alkali katalizli transesterifikasyon, ayçiçek yağının %0,5'ten az serbest yağ asidi

içeriğine sahip olması nedeniyle katalizör olarak %99,9 saflıkta Merck marka potasyum hidroksit (KOH) kullanılarak gerçekleştirildi. Başlangıçta, bu noktada katalizör miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi gibi değişkenleri belirlemek için laboratuvar ölçekli bir dizi çalışma yürütüldü. Optimizasyon denemelerinde 300 g 'lık ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı, zeytinyağı ve fındık yağı örnekleri kullanılmıştır.

Tablo 3.1. Biyodizel için malzeme miktarları

Yağın miktarı = 300 gr
Metil alkol miktarı = $6 \times 0.3406 \times 32.04$ (metil alkol mol kütlesi) = 65.485 gr
KOH miktarı = $300 \times 0.75 / 100 = 2.25$ gr

Yukarıda belirtilen hesaplama göre oda sıcaklığında bir kapta 2,25 g KOH ve 65,485 g metil alkol içerisinde çözüldü. Reaksiyon, elde edilen karışımların doğru koşullar altında 60 °C'ye kadar ısıtılan yağa konulmasıyla başladı. Trans esterleşme reaksiyonu, Şekil 3.3'te görüldüğü gibi metil alkol-KOH karışımının reaksiyon kabına eklenmesiyle tamamlanır.



Şekil 3.2. Metanol-KOH çözeltisinin reaksiyon kabına aktarılması ve reaksiyonun tamamlanması

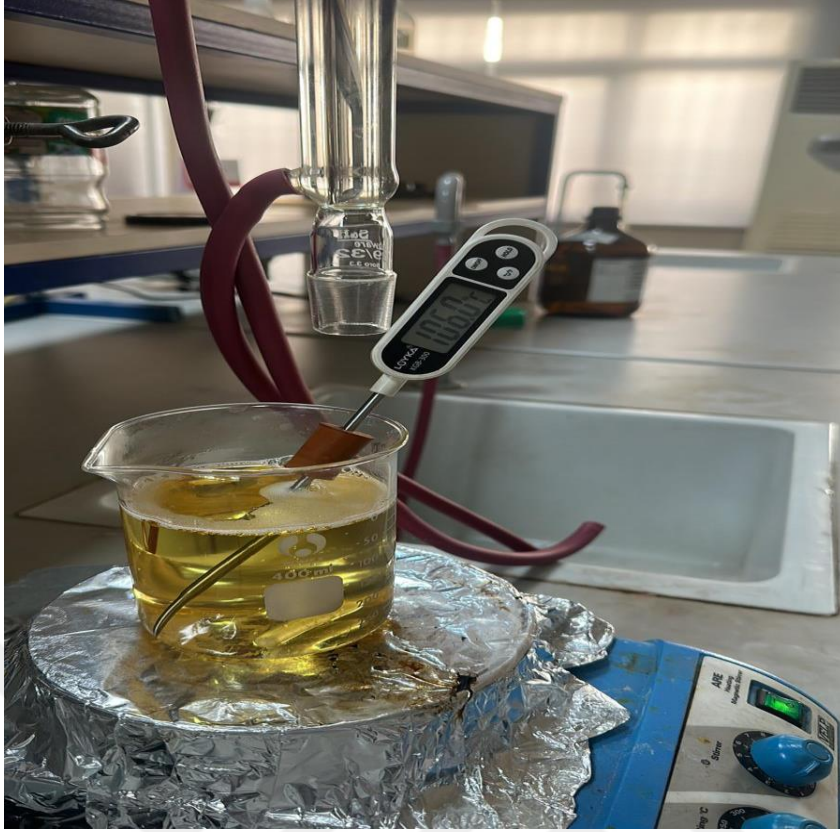
Reaksiyon süresi bittiğinde manyetik karıştırıcı kapatılarak reaksiyona son verilmiş, elde edilen ester-gliserin karışımı ayırma hunisine aktarılarak faz ayrımının olması için 1 saat bekletilmiştir (Şekil 3.3 (a)). 1 saatin sonunda yoğunluk farkından ayırma hunisinin en altında biriken gliserin başka bir kaba alınarak tartılmıştır. Gliserinden arındırılan ester 22, 40, 50 ve 60°C'deki distile su ile yıkanarak esterin taşıdığı istenmeyen alkol ve varsa katı partiküllerden kurtulması sağlanmıştır (Şekil 3.3 (b)). Yıkama işlemi boyunca bir sabunlaşma gözlenmemiştir.



Şekil 3.3. Ayırma hunisinden gliserinin alınması (a), esterin yıkanması (b)

Metil ester, dördüncü yıkamadan sonra esterde kalmış olabilecek su ve alkolü buharlaştırmak amacıyla yaklaşık 60 dakika boyunca 110°C'ye ısıtıldı.

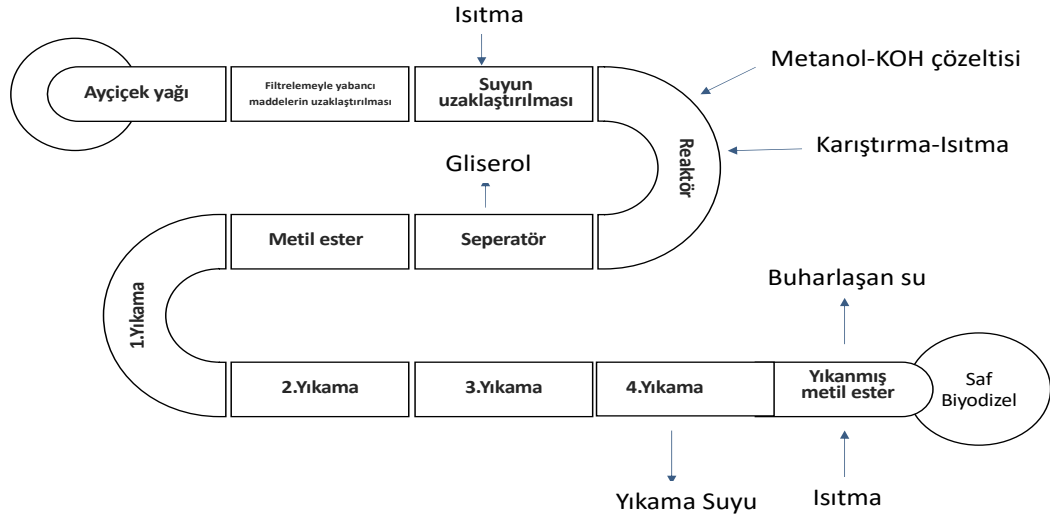
Esterden kalan su ve alkolün eliminasyonu Şekil 3.4'te gösterilmektedir. Transesterifikasyon sırasında üretilen metil ester Şekil 3.5'da gösterilmektedir. Ayçiçek yağının biyodizele dönüştürülmesine ilişkin akış şeması Şekil 3.6'de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Esterde kalan su ve alkolün uzaklaştırılması



Şekil 3.5. Transesterifikasyon sonucu elde edilen ester



Şekil 3.6. Ayçiçek yağının biyodizele dönüştürülmesi akım şeması

3.2 numaralı tablo, bu yüksek lisans çalışmasında kullanılan çalışma prensiplerini ve cihaz hassasiyetlerini, ayrıca ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı, zeytinyağı ve fındık yağı gibi yağların karakterize edilmesinde kullanılan teknikler ve araçlarla birlikte üretilen metil ester yakıtın özelliklerini belirleme yöntemlerini listelemektedir. Ek özellikler Batman Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Rafineri ve Petro-kimya Teknolojisi programının laboratuvarında üretilmiştir. Yakıtın yoğunluğu ve %10, %50 ve %90 damıtma sıcaklıkları kullanılarak ASTM D4737 standardı yöntemiyle petrol bazlı dizel yakıtın setan sayısı hesaplanmıştır. Diğer yandan, Lapuerta ve ark. (2010) biyodizel için yağ asidi dağılımını kullanmış ve korelasyonu tahmin etmiştir.

Tablo 3.2. Yağ karakterizasyonu ve yakıt özelliklerinin tespitinde kullanılan metot ve cihazlar

Özellik	Birim	Test Metodu	Cihaz	Hassasiyet
Viskozite (40°C)	mm ² /s	EN ISO 3104	HVM 472	0.001
Yoğunluk (15 °C)	kg/m ³	EN ISO 12185	DMA38	0.1
Parlama Noktası	°C	EN ISO 3679	HFP 339	0.5

Batman Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Rafineri ve Petro-Kimya Teknoloji laboratuvarında büyük çapta biyodizel üretimi yapılmıştır.



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Yakıt Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Tablo 4.1 'te üretilen biyodizelin analiz sonuçları EN14214 ve ASTM D6751 biyodizel standart değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

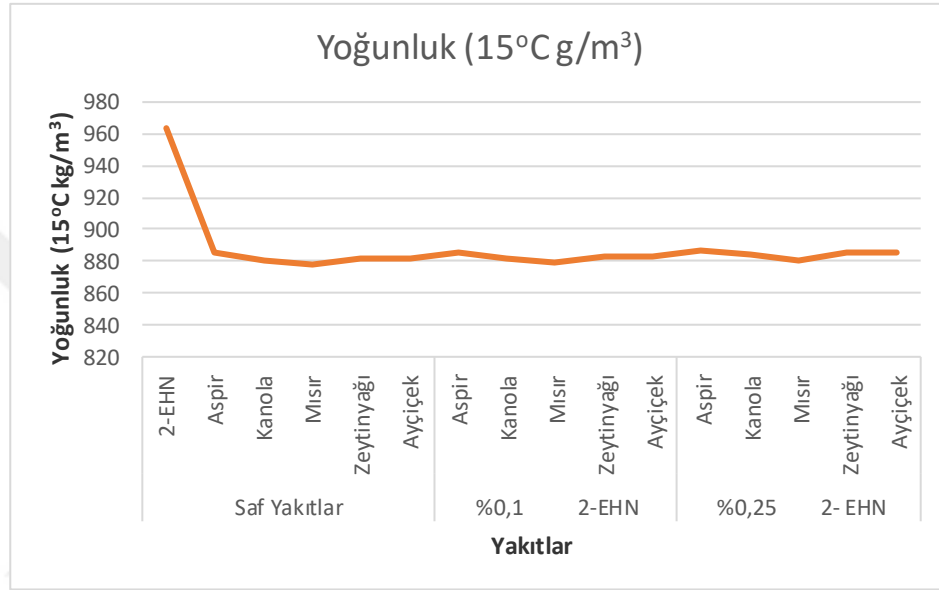
Tablo 4.1. Pilot ölçekli biyodizel üretiminde kullanılan ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı, zeytin yağı ve fındık yağının fiziksel-kimyasal özellikleri

	Yakıtlar	Özellikler			
		Yoğunluk (15°C kg/m ³)	Viskozite (40°C, mm ² /s)	Flash Point (°C)	Setan İndisi
Saf Yakıtlar	2-EHN	963	1,75	80	78
	Aspir	885	4,600	140	53
	Kanola	881	4,400	130	53
	Mısır	878	4,420	170	56
	Zeytinyağı	882	4,530	177	58
	Ayçiçek	882	4,300	178	50
%0,1 2-EHN	Aspir	886	4,580	135	55
	Kanola	882	4,380	126	56
	Mısır	879	4,400	167	58
	Zeytinyağı	883	4,500	172	59
	Ayçiçek	883	4,280	173	52
%0,25 2- EHN	Aspir	887	4,550	133	57
	Kanola	884	4,350	124	59
	Mısır	881	4,370	164	60
	Zeytinyağı	885	4,470	168	61
	Ayçiçek	885	4,250	169	55
EN 14214		860-900	3.5-5.0	120	51
ASTM D6751			1.9-6.0	130	47

Ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağının yoğunluk değeri saf halde, %0,1 2-EHN eklenmiş halde ve %0,25 2-EHN eklenmiş halde EN 14214 standartlarında belirtilen sınır değerlerin arasında çıkmıştır. Ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağının metil esterlerinin viskozitesi saf halde, %0,1 2-EHN eklenmiş halde ve %0,25 2-EHN eklenmiş halde EN 14214 ve ASTM D6751 biyodizel standartlarında belirtilen viskozite sınır değerleri içerisinde kalmıştır. Ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağlarının parlama noktaları olarak ölçülmüş ve bu değerler saf halde, %0,1 2-EHN eklenmiş halde ve %0,25 2-EHN eklenmiş halde EN 14214 ve ASTM D6751 standartlarının uygun olduğu

görülmektedir. Ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağlarının setan sayıları hesaplanmış ve bu değerler saf halde, %0,1 2-EHN eklenmiş halde ve %0,25 2-EHN eklenmiş halde EN 14214 ve ASTM D6751 standartlarının uygun olduğu görülmektedir.

4.1.1. Yoğunluk



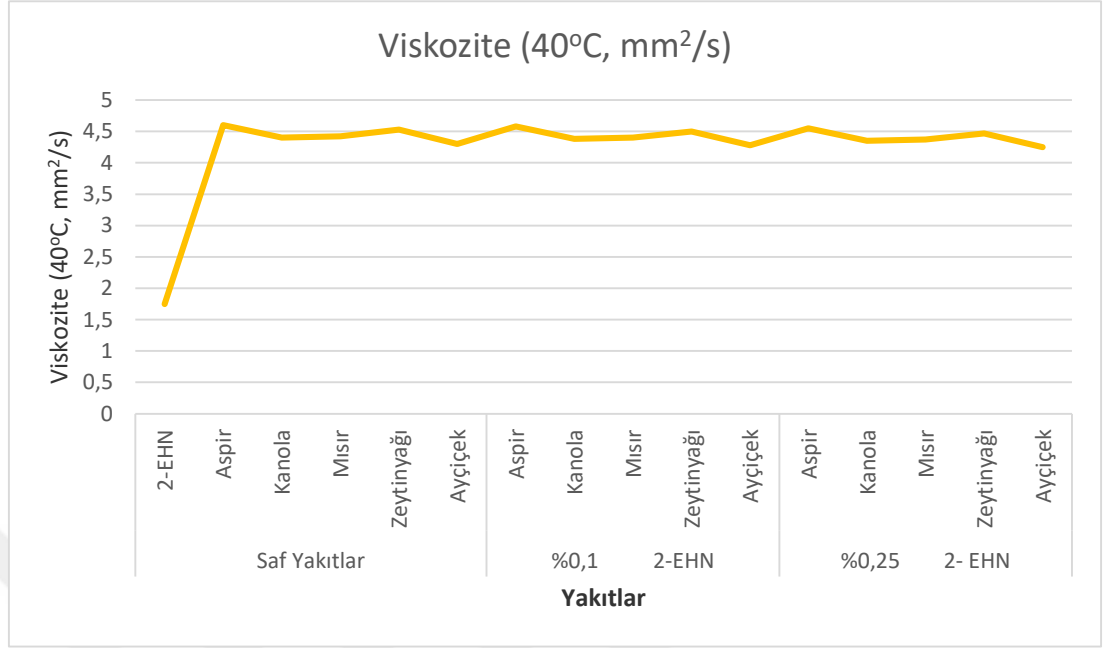
Şekil 4.1. Pilot ölçekli biyodizel üretiminde kullanılan ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağının saf halde ve katkı ilavesi ile Yoğunluk değişimi

Yoğunluk; belirli bir enerji içeriğinin ve ateşleme kalitesinin bir göstergesidir. Literatüre göre yoğunlukla NOx emisyonları arasında bir ilişki olduğunu belirtmektedir; yoğunluk arttıkça NOx emisyonu artmaktadır. Dizel motorlarında kullanılan yakıtın yakıt yoğunluğunun düşmesiyle NOx emisyonu da düşer.

Daha yüksek yoğunluklu yakıtlar karışımı zenginleştirmekte ve HC emisyonlarını artırmaktadır.

Dizel yakıtın yoğunluğu motor kalibrasyonunu ve gücünü etkiler çünkü strok başına enjekte edilen kütle dizel yoğunluğuna göre değişir. Bu da motorun yanma ve emisyon zamanlamalarını etkiler.

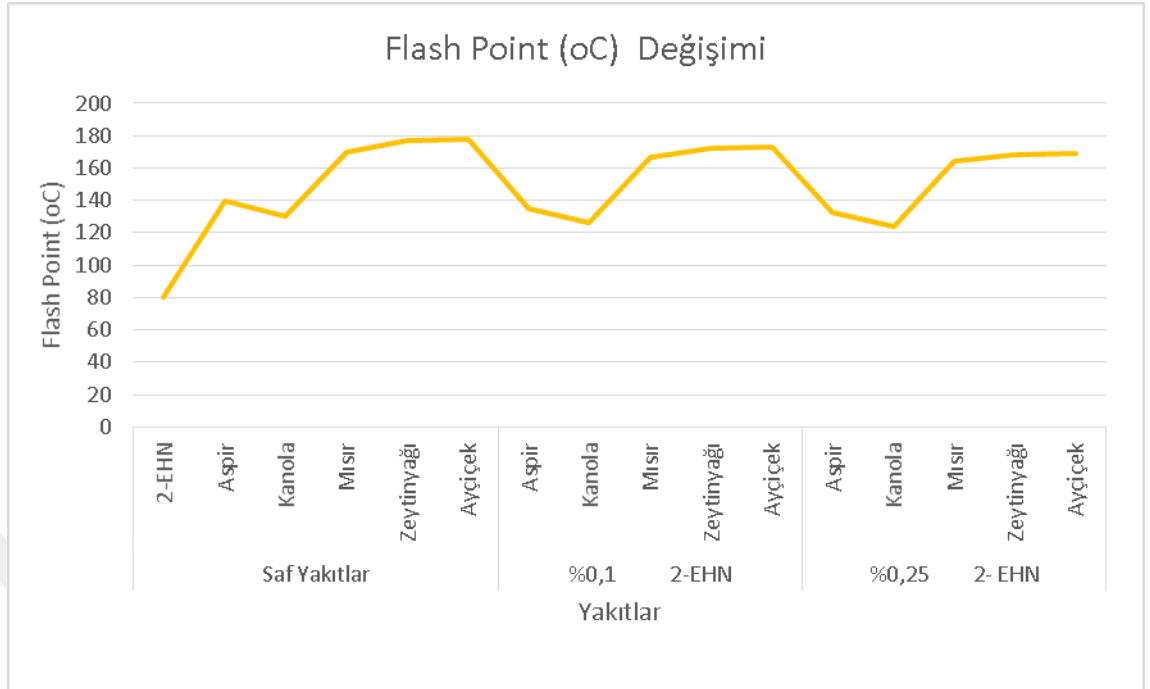
4.1.2. Viskozite



Şekil 4.2. Pilot ölçekli biyodizel üretiminde kullanılan ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağının saf halde ve katkı ilavesi ile Viskozite değişimi

Madde yoğunluğu birim hacim başına kütlesi olarak tanımlanır. Yoğunluk, yeterli bir yanma sağlamak için gereken yakıtın kesin hacmini hesaplamak için kullanılabilen fiziksel bir özelliktir. Yüksek basınç pompası ve enjektörlerden oluşan enjeksiyon sistemi, sürüş koşullarına bağlı olarak aracın Elektronik Kontrol Ünitesi tarafından hesaplanan belirli bir hacimdeki yakıtı silindire girmektedir (Lapuerta, Rodríguez-Fernández, & Armas, 2010). Yakıtların yoğunluğu esas olarak püskürtme momentumunu ve eşdeğerlik oranının dağılımını etkiler. Bunun dışında yoğunluk, biyodizel üretiminin birçok birim işleminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, reaktörlerin, damıtma ünitelerinin, depolama tanklarının ve boruların uygun şekilde tasarlanması için yoğunluk değerleri gereklidir (Pratas et al., 2011).

4.1.3 Flash Point

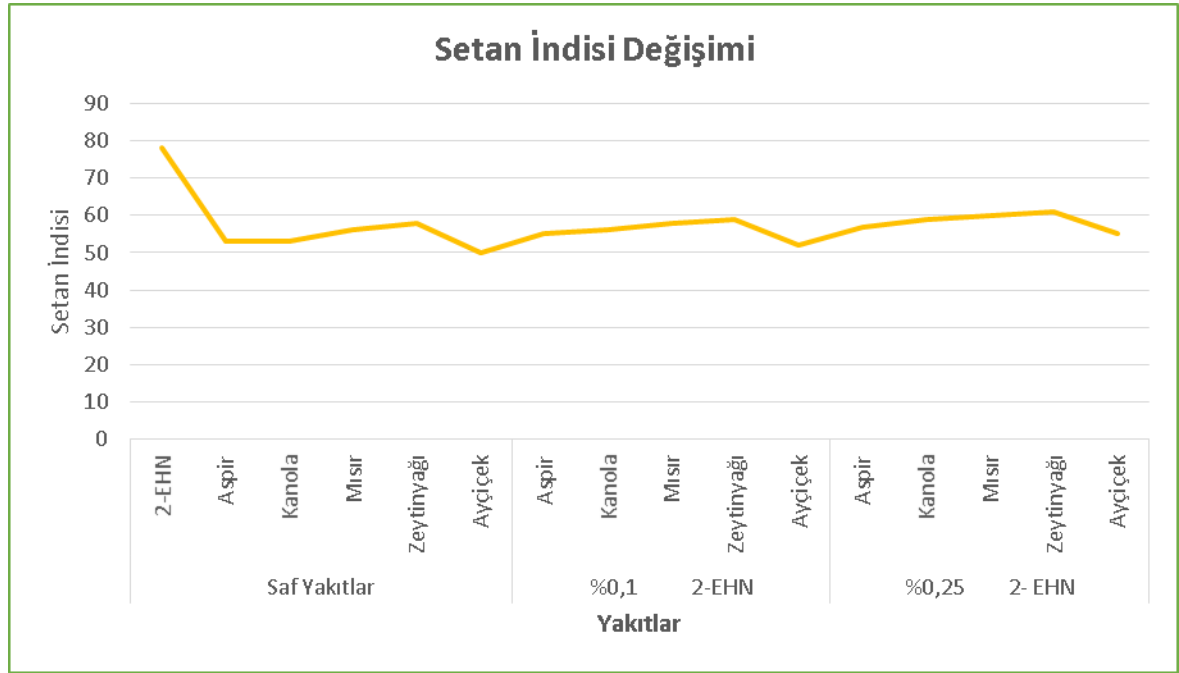


Şekil 4.3. Pilot ölçekli biyodizel üretiminde kullanılan ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağının saf halde ve katkı ilavesi ile Flash Point değişimi

Parlama noktası, FP, 101,3 kPa standart basınçta, hava ve kıvılcım veya alev gibi harici bir ısı kaynağının (Santos, Nascimento, Costa, Neto, & Fregolente, 2020) varlığında kendiliğinden tutuşmayı başlatacak kadar buharın salındığı minimum sıcaklıktır. Yanıcı buhar konsantrasyonunu alt alevlenebilirlik sınırının üzerine çıkarmak için yeterli buharın üretildiği sıcaklıktır (Santos et al., 2020; Vidal, Rogers, Hoiste, & Mannan, 2004). Bu nedenle, YN, yakıtın yanıcılığını karakterize etmek için önemlidir. Aynı zamanda, düzenleyici kurumların kimyasal türleri sınıflandırmasına ve süreçler için güvenlik önlemleri belirlemesine olanak tanır. Ayrıca, yanıcılık karakterizasyonu, yakıt karışımlarının geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için gereklidir (Costa do Nascimento et al., 2024). Biyodizelin yanma noktası sıcaklığı, büyük ölçüde yağ asidi metil esteri bileşimine bağlı olarak değişiklik gösterir (Alviso, Artana, & Duriez, 2020). Yanma noktası aynı zamanda, biyodizelin kalitesini ve saflığını doğrulayan, transesterifiye edilmiş biyodizeldeki kalıntı alkol miktarının bir göstergesi olarak kabul edilir. Daha yüksek miktarda metanol/etanol kalıntısı içeren biyodizel daha uçucu olur ve daha düşük bir yanma noktası sıcaklığı sergiler. Bu nedenle, biyodizelin yanma noktası

sıcaklığı hakkında önceden bilgi sahibi olmak, depolama ve elleçleme sırasında gerekli güvenlik önlemlerinin alınması için önemlidir(Bukkarapu & Krishnasamy, 2022).

4.1.4. Setan İndeksi



Şekil 4.4. Pilot ölçekli biyodizel üretiminde kullanılan ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağının saf halde ve katkı ilavesi ile Setan İndeksi değişimi

Bir yakıtın setan sayısı (tipik değerler 35 ile 65 arasında), tutuşma ve yanma kalitesinin bir göstergesidir. İsmi, düz zincirli (dallanma olmayan) doymuş bir hidrokarbon olan setan ya da n-heksadekandan ($C_{16}H_{34}$) alır. Setanın tutuşma kolaylığı çok yüksektir; bu nedenle, ona 100 setan sayısı (CN) atanmıştır. Öte yandan, α -metilnaftalin ya da AMN ($C_{11}H_{10}$, bir polisiklik aromatik hidrokarbon), zayıf otomatik tutuşma kalitesi nedeniyle 0 setan sayısı ile sınıflandırılmıştır. AMN'nin depolama kararlılığı ve bulunabilirliği ile ilgili sorunlar nedeniyle, setan sayısı ölçeğinin alt ucundaki referans yakıt, 1962'de 2,2,4,4,6,8,8-heptametilnonan (HMN) (aynı zamanda heksadekan $C_{16}H_{34}$, ancak oldukça dallanmış) olarak değiştirilmiş ve ona 15 setan sayısı atanmıştır(Alviso et al., 2020). Daha kısa ateşleme gecikmesine sahip (yüksek setan sayısı) yakıtlar, silindire enjeksiyondan kısa bir süre sonra tutuşmaya başlar ve bu sayede güç strokunda yakıtın tamamen yanması için yeterli zamana sahip olur. Düşük setan sayısına sahip yakıtlar, yanma başlamadan önce birikebilir. Bu durum ani bir

basınç artışına, ardından basınç darbelerine ve sonuç olarak dizel vuruntusuna yol açar, bu da düşük termal verimlilik, aşırı gürültü ve motor bileşenlerinin ömrünün azalmasıyla sonuçlanır. Düşük setan sayıları, zayıf yanma özelliklerine yol açar ve aşırı duman ve partikül emisyonlarına neden olur. Dizel yakıttaki setan sayısının artırılması, motor üzerinde birkaç faydalı etki sağlar. Daha yüksek setan sayıları, motorun soğuk çalıştırılmasını iyileştirir ve ilk çalıştırma sırasında dumanı azaltır. Ayrıca, daha yüksek setan sayıları yakıt ekonomisini artırır, egzoz emisyonlarını azaltır, motorun vuruntu ve gürültüsünü düşürür ve motorun genel dayanıklılığını iyileştirir. Modern dizel motorlarında bu değerin en az 40 olması istenir (ASTM D 975).(Bezaire, Wadumesthrige, Simon Ng, & Salley, 2010).



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Dünyanın pek çok ülkesi ihtiyaç duyduğu enerjinin büyük bir kısmını petrolden karşılamakta ve bu petrolün büyük bir kısmı ithal edilmekte ve bu durum enerji bağımlılığı gibi oldukça kritik bir sorun yaratmaktadır. Yerli kaynaklarla üretilebilecek alternatif enerji kaynakları, ülkemiz gibi fosil kaynaklı enerjinin büyük çoğunluğunu ithal eden ülkeler için oldukça kritik bir konudur. Alternatif enerji kaynakları arasında dünyada giderek daha önemli hale gelen biyoyakıtların fosil bazlı yakıtlara alternatif olarak kullanılabilirliği olması, enerjide bu noktaya dikkat çekilmesine neden oluyor. Tüm dünyada giderek yaygınlaşan biyoyakıtlar, ülkelerin enerji arzına katkıda bulunmakta ve özellikle kırsal alanlarda biyoyakıt hammaddesi üreten üreticiler için alternatif gelir ve istihdam olanakları sağlamaktadır. Ülkemizde alternatif yakıtlar söz konusu olduğunda başta biyodizel olmak üzere biyoyakıtların ön plana çıktığı görülmektedir. Biyodizel ile ilgili tarım arazilerinin enerji amaçlı kullanılması, gıda ve tarım ürünlerinin fiyatlarının artması, monokültür tarıma yönelim gibi önemli eleştiriler olsa da biyodizelin popülaritesinin önümüzdeki yıllarda da devam edeceği görülmektedir. Biyodizel üretiminde yemeklik yağ kalitesi yüksek bitkisel ve hayvansal yağların kullanılması, yağ ihtiyacının büyük bir kısmını ithal eden ülkeler için ek maliyet anlamına gelmektedir. Özellikle gıda fiyatlarının artması karşısında mevcut kaynaklara dokunmadan ve tarım arazileri kullanılmadan çevre dostu enerji kaynakları arayışı hız kazanmıştır. Bu kapsamda son zamanlarda farklı yağ türlerinden biyodizel üretimi ile ilgili çok kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada; ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağından biyodizel üretimi yapılmış olup, katkı maddesi ilavesi için hazırlanmıştır. Yağların karakterizasyonları yapıldıktan sonra sırasıyla transesterifikasyon yöntemiyle laboratuvar ölçekli ve motor testlerinde kullanılan biyodizel üretimi yapılmıştır. Yağların asit değerleri düşük olduğundan dolayı (0.22 mgKOH/gr) baz katalizörlü transesterifikasyon işlemi tercih edilmiş ve katalizör olarak potasyum hidroksit (KOH) ile alkol olarak metil alkol tercih edilmiştir. Laboratuvarda yapılan ön deneylerde ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı, zeytin yağı ve fındık yağından biyodizel üretimi yapabilmek için sabit metil alkol/yağ molar oranında (6/1) katalizör miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve süresinin etkisi incelenerek en yakın ve en iyi çalışma koşulları belirlenmiştir. Üretilen biyodizelin

fiziksel ve kimyasal analizleri yapılarak EN 14214 ve ASTM 6751 standartları ile karşılaştırılmıştır.

5.2 Öneriler

Elde edilen bu sonuçları genel olarak değerlendirdiğimizde, ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağından elde edilen biyodizel yakıtının biyodizel üretiminde en çok tercih edilen hammaddelerden elde edilen yakıtlar ile benzer karakteristik özelliklere sahip olduğu anlaşılmıştır. Buna ek olarak; günümüzde birçok bitkisel ve hayvansal yağlardan biyodizel üretimi yapılmasına karşın ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı, zeytin yağı ve fındık yağları gibi farklı yağların üretimde kullanılması yemeklik yağ üretimine karşın biyoyakıt üretimi konusunda gelecekte ortaya çıkabilecek kaygıların giderilmesine yardımcı olabilecektir. Üretilen biyodizelin belirlenen bütün özellikleri EN 14214 ve ASTM D6751 gibi uluslararası biyodizel standartlar çerçevesinde çizilen sınırları içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca biyodizel petrol kökenli dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında biyodizelin elde edilen yüksek setan sayısına sahip olması onu önemli bir dizel motor yakıtı getirmektedir. Bu çalışmada yapılan testlerde literatürdeki biyodizel yakıtları için daha önce bilimsel çalışmalar sonucu elden edilen sonuçlar ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca bir çok egzoz emisyonlarında yakıt içerisindeki biyodizel miktarı ile orantılı olmayan değişimlerin sebebinin daha iyi anlaşılabilmesi için farklı yakıt karışımları ile daha uygun laboratuvar şartlarında daha ileri testlerin yapılması gerekmektedir.

Yapılan bu çalışmaların neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda gibi özetle sıralanabilir:

1. Ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağının yoğunluk değeri saf halde, %0,1 2-EHN eklenmiş halde ve %0,25 2-EHN eklenmiş halde EN 14214 standartlarında belirtilen sınır değerlerin arasında çıkmıştır.
2. Ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağının metil esterlerinin viskozitesi saf halde, %0,1 2-EHN eklenmiş halde ve %0,25 2-EHN eklenmiş halde EN 14214 ve ASTM D6751 biyodizel standartlarında belirtilen viskozite sınır değerleri içerisinde kalmıştır.

3. Ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağlarının parlama noktaları olarak ölçümüş ve bu değerler saf halde, %0,1 2-EHN eklenmiş halde ve %0,25 2-EHN eklenmiş halde EN 14214 ve ASTM D6751 standartlarının uygun olduğu görülmektedir.
4. Ayçiçek yağı, mısır yağı, aspir yağı, kanola yağı ve zeytin yağlarının setan sayıları hesaplanmış ve bu değerler saf halde, %0,1 2-EHN eklenmiş halde ve %0,25 2-EHN eklenmiş halde EN 14214 ve ASTM D6751 standartlarının uygun olduğu görülmektedir.



KAYNAKLAR

- Al-Dawody, M. F., & Bhatti, S. K. (2013). Optimization strategies to reduce the biodiesel NO_x effect in diesel engine with experimental verification. *Energy Conversion and Management*, 68, 96–104. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.12.025>
- Altun, Ş. (2011). Fuel properties of biodiesels produced from different feedstocks. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 26(2), 165–174.
- Alviso, D., Artana, G., & Duriez, T. (2020). Prediction of biodiesel physico-chemical properties from its fatty acid composition using genetic programming. *Fuel*, 264. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116844>
- Anwar, F., Rashid, U., Ashraf, M., & Nadeem, M. (2010). Okra (*Hibiscus esculentus*) seed oil for biodiesel production. *Applied Energy*, 87(3), 779–785. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.09.020>
- Bala, B. K. (2005). Studies on biodiesels from transformation of vegetable oils for diesel engines. *Energy Edu. Sci. Technol*, 15, 1–45.
- Balat, M., & Balat, H. (2010). Progress in biodiesel processing. *Applied Energy*, 87(6), 1815–1835. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.01.012>
- Bezaire, N., Wadumesthrige, K., Simon Ng, K. Y., & Salley, S. O. (2010). Limitations of the use of cetane index for alternative compression ignition engine fuels. *Fuel*, 89(12), 3807–3813. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.07.013>
- Boehman, A. L. (2005). Biodiesel production and processing. *Fuel Processing Technology*, 86(10), 1057–1058. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2004.11.001>
- Boocock, D. G. B., Konar, S. K., Mao, V., Lee, C., & Buligan, S. (1998). Fast formation of high-purity methyl esters from vegetable oils. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(9), 1167–1172. <https://doi.org/10.1007/s11746-998-0130-8>
- Bukkarapu, K. R., & Krishnasamy, A. (2022). A critical review on available models to predict engine fuel properties of biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 155, 111925. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111925>
- Canakci, M., & Van Gerpen, J. (1999). Biodiesel production via acid catalysis. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 42(5), 1203–1210.
- Canakci, M., & Van Gerpen, J. (2001). BIODIESEL PRODUCTION FROM OILS AND FATS WITH HIGH FREE FATTY ACIDS. *Transactions of the ASAE*, 44(6), 1429. <https://doi.org/https://doi.org/10.13031/2013.7010>
- Carraretto, C., Macor, A., Mirandola, A., Stoppato, A., & Tonon, S. (2004). Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations. *Energy*, 29(12-15 SPEC. ISS.), 2195–2211. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.03.042>
- Casas, A., Fernández, C. M., Ramos, M. J., Pérez, A., & Rodríguez, J. F. (2010). Optimization of the reaction parameters for fast pseudo single-phase transesterification of sunflower oil. *Fuel*, 89(3), 650–658. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.08.004>

- Costa do Nascimento, D., Souza, M. P. de O., Hentges, L. de O., Dias, R. M., Marinho Barbosa Neto, A., & Costa, M. C. da. (2024). Mixture Flash Point Calculation: Recent Advances and a Closer Look at Biodiesel. *ACS Chemical Health & Safety*, 31(1), 22–43. <https://doi.org/10.1021/acs.chas.3c00089>
- Datta, I., Ghosh, A., Acharjee, A., Rakshit, A., & Saha, B. (2021). Overview on biodiesel market. *Vietnam Journal of Chemistry*, 59(3), 271–284. <https://doi.org/10.1002/vjch.202000206>
- Demirbas, A. (2007). Importance of biodiesel as transportation fuel. *Energy Policy*, 35(9), 4661–4670. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.04.003>
- Demirbas, A. (2008). New liquid biofuels from vegetable oils via catalytic pyrolysis. *Energy Edu Sci Technol*, 21, 1–59.
- Dornburg, V., Van Vuuren, D., Van De Ven, G., Langeveld, H., Meeusen, M., Banse, M., ... Faaij, A. (2010). Bioenergy revisited: Key factors in global potentials of bioenergy. *Energy and Environmental Science*, 3(3), 258–267. <https://doi.org/10.1039/b922422j>
- Fazal, M. A., Haseeb, A. S. M. A., & Masjuki, H. H. (2011). Biodiesel feasibility study: An evaluation of material compatibility; Performance; emission and engine durability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1314–1324. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.10.004>
- Fontaras, G., Karavalakis, G., Kousoulidou, M., Tzamkiozis, T., Ntziachristos, L., Bakeas, E., ... Samaras, Z. (2009). Effects of biodiesel on passenger car fuel consumption, regulated and non-regulated pollutant emissions over legislated and real-world driving cycles. *Fuel*, 88(9), 1608–1617. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.02.011>
- Freedman, B., Pryde, E. H., & Mounts, T. L. (1984). Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 61(10), 1638–1643. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF02541649>
- Gole, V. L., & Gogate, P. R. (2012). A review on intensification of synthesis of biodiesel from sustainable feed stock using sonochemical reactors. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 53, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2011.12.008>
- Graboski, M. S., & McCormick, R. L. (1998). Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 24(2), 125–164. [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(97\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(97)00034-8)
- Guan, G., Sakurai, N., & Kusakabe, K. (2009). Synthesis of biodiesel from sunflower oil at room temperature in the presence of various cosolvents. *Chemical Engineering Journal*, 146(2), 302–306. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.10.009>
- Habibullah, M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Rizwanul Fattah, I. M., Ashraful, A. M., & Mobarak, H. M. (2014). Biodiesel production and performance evaluation of coconut, palm and their combined blend with diesel in a single-cylinder diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 87, 250–257. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.07.006>
- Harvey, A. P., Mackley, M. R., & Seliger, T. (2003). Process intensification of biodiesel production using a continuous oscillatory flow reactor. *Journal of Chemical*

- Technology and Biotechnology*, 78(2–3), 338–341.
<https://doi.org/10.1002/jctb.782>
- Haseeb, A. S. M. A., Fazal, M. A., Jahirul, M. I., & Masjuki, H. H. (2011). Compatibility of automotive materials in biodiesel: A review. *Fuel*, 90(3), 922–931. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.10.042>
- Heinimö, J., & Junginger, M. (2009). Production and trading of biomass for energy - An overview of the global status. *Biomass and Bioenergy*, 33(9), 1310–1320. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.05.017>
- Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S., & Tiffany, D. (2006). Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(30), 11206–11210. <https://doi.org/10.1073/pnas.0604600103>
- Kalu, E. E., Chen, K. S., & Gedris, T. (2011). Continuous-flow biodiesel production using slit-channel reactors. *Bioresource Technology*, 102(6), 4456–4461. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.12.097>
- Kamarudin, S. K., Daud, W. R. W., Yaakub, Z., Misron, Z., Anuar, W., & Yusuf, N. N. A. N. (2009). Synthesis and optimization of future hydrogen energy infrastructure planning in Peninsular Malaysia. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(5), 2077–2088. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.12.086>
- Kumar, N., & Sharma, P. B. (2005). Jatropha curcus- A sustainable source for production of biodiesel. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 64(11), 883–889.
- Kumar, S., & Pal, A. (2022). Multi-objective-parametric optimization of diesel engine powered with fuel additive 2-ethylhexyl nitrate-algal biodiesel. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53, 102518. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102518>
- Kuszewski, H. (2018). Effect of adding 2-ethylhexyl nitrate cetane improver on the autoignition properties of ethanol–diesel fuel blend – Investigation at various ambient gas temperatures. *Fuel*, 224, 57–67. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.03.084>
- Labeckas, G., & Slavinskas, S. (2021). Comparative evaluation of the combustion process and emissions of a diesel engine operating on the cetane improver 2-Ethylhexyl nitrate doped rapeseed oil and aviation JP-8 fuel. *Energy Conversion and Management*: X, 11, 100106. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100106>
- Lapuerta, M., Rodríguez-Fernández, J., & Armas, O. (2010). Correlation for the estimation of the density of fatty acid esters fuels and its implications. A proposed Biodiesel Cetane Index. *Chemistry and Physics of Lipids*, 163(7), 720–727. <https://doi.org/10.1016/j.chemphyslip.2010.06.004>
- Lodha, H., Jachuck, R., & Suppiah Singaram, S. (2012). Intensified biodiesel production using a rotating tube reactor. *Energy and Fuels*, 26(11), 7037–7040. <https://doi.org/10.1021/ef301235t>
- Luo, J., Fang, Z., & Smith R.L., Jr. (2014). Ultrasound-enhanced conversion of biomass to biofuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 41(1), 56–93. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2013.11.001>

- Ma, F., & Hanna, M. A. (1999). Biodiesel production: A review. *Bioresource Technology*, 70(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00025-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00025-5)
- Makareviciene, V., & Janulis, P. (2003). Environmental effect of rapeseed oil ethyl ester. *Renewable Energy*, 28(15), 2395–2403. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(03\)00142-3](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00142-3)
- Meher, L. C., Vidya Sagar, D., & Naik, S. N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(3), 248–268. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.09.002>
- Palaniappan, K. (2017). An overview of applications of nanotechnology in biofuel production. *World Appl Sci J*, 35(8), 1305–1311.
- Pan, M., Qian, W., Huang, R., Tong, C., Huang, H., Xu, L., & Hao, B. (2019). Effects of dimethyl carbonate and 2-ethylhexyl nitrate on energy distribution, combustion and emissions in a diesel engine under different load conditions. *Energy Conversion and Management*, 199, 111985. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111985>
- Panda, J., Sastry, G. R. K., & Rai, R. (2019). A Comparative Investigation on D.I. Diesel by Using Different Blends of Diesel-Biodiesel-Additives: Performance and Emission Based Trade-off Analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 1240, 012163. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1240/1/012163>
- Paris. (2010). *France: Renewable Policy Network for the 21St Century*.
- Parvizsedghy, R., & Sadrameli, S. M. (2014). Consequence modeling of hazardous accidents in a supercritical biodiesel plant. *Applied Thermal Engineering*, 66(1–2), 282–289. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.02.029>
- Pinto, A. C., Guarieiro, L. L. N., Rezende, M. J. C., Ribeiro, N. M., Torres, E. A., Lopes, W. A., ... De Andrade, J. B. (2005). Biodiesel: An overview. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 16(6 B), 1313–1330. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532005000800003>
- Pratas, M. J., Freitas, S. V. D., Oliveira, M. B., Monteiro, S. C., Lima, Á. S., & Coutinho, J. A. P. (2011). Biodiesel density: Experimental measurements and prediction models. *Energy and Fuels*, 25(5), 2333–2340. <https://doi.org/10.1021/ef2002124>
- Qiu, Z., Zhao, L., & Weatherley, L. (2010). Process intensification technologies in continuous biodiesel production. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49(4), 323–330. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2010.03.005>
- Ramos, M. J., Fernández, C. M., Casas, A., Rodríguez, L., & Pérez, A. (2009). Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresource Technology*, 100(1), 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.06.039>
- Ravi, S., & Karthikeyan, A. (2021). Assessment of performance and emission characteristics of diesel engine supplied with waste plastic oil propanol and ethylhexyl nitrate blends. *Materials Today: Proceedings*, 44, 3642–3646. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.206>
- Renewables. (2015). Global Status Report. *Global Status Report*.

- Rosillo-Calle, F., & Cortez, L. A. B. (1998). Towards proalcohol II-A review of the Brazilian bioethanol programme. *Biomass and Bioenergy*, 14(2), 115–124. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10020-4](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10020-4)
- Santos, S. M., Nascimento, D. C., Costa, M. C., Neto, A. M. B., & Fregolente, L. V. (2020). Flash point prediction: Reviewing empirical models for hydrocarbons, petroleum fraction, biodiesel, and blends. *Fuel*, 263, 116375. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116375>
- Saraf, S., & Thomas, B. (2007). Influence of feedstock and process chemistry on biodiesel quality. *Process Safety and Environmental Protection*, 85(5 B), 360–364. <https://doi.org/10.1205/psep07025>
- Sarin, R., Sharma, M., Sinharay, S., & Malhotra, R. K. (2007). Jatropha-Palm biodiesel blends: An optimum mix for Asia. *Fuel*, 86(10–11), 1365–1371. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.11.040>
- Sevinc, H., & Hazar, H. (2022). Determining the effects of 2-ethylhexyl nitrate blend on isolated diesel engine attributes using the experimental and ANN approaches. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 44(2), 2823–2838. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1651791>
- Silva, C. D., & Oliveira, J. V. (2014). Biodiesel production through non-catalytic supercritical transesterification: Current state and perspectives. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 31(2), 271–285. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20140312s00002616>
- Simsek, S., Uslu, S., Simsek, H., & Uslu, G. (2021). Multi-objective-optimization of process parameters of diesel engine fueled with biodiesel/2-ethylhexyl nitrate by using Taguchi method. *Energy*, 231, 120866. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120866>
- Singh, A. P., He, B. B., Thompson, J. C., & Van Gerpen, J. H. (2006). Process optimization of biodiesel production using alkaline catalysts. *Applied Engineering in Agriculture*, 22(4), 597–600.
- Sinha, S., Agarwal, A. K., & Garg, S. (2008). Biodiesel development from rice bran oil: Transesterification process optimization and fuel characterization. *Energy Conversion and Management*, 49(5), 1248–1257. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.08.010>
- Steenblik, R. (2007). Biofuels-At What Cost? Government Support for Ethanol and Biodiesel in Selected OECD Countries. *Biofuels - At What Cost? Government Support for Ethanol and Biodiesel in Selected OECD Countries*.
- Thompson, J. C., & He, B. B. (2007). Biodiesel production using static mixers. *Transactions of the ASABE*, 50(1), 161–165.
- Uslu, S., & Şimşek, S. (2021). Analysis of the effects of cetane improver addition to diesel on engine performance and emissions. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 10(1), 26–32. <https://doi.org/10.18245/ijaet.798221>
- Van Gerpen, J. (2005). Biodiesel processing and production. *Fuel Processing Technology*, 86(10), 1097–1107. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2004.11.005>
- Vellaiyan, S., Muralidharan, K., & Devarajan, Y. (2022). Improving the usability of water in diesel fuel using 2-ethylhexyl nitrate and its energy and environmental

- assessment. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(22), 12749–12759. <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11462-w>
- Vicente, G., Coteron, A., Martinez, M., & Aracil, J. (1998). Application of the factorial design of experiments and response surface methodology to optimize biodiesel production. *Industrial Crops and Products*, 8(1), 29–35. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(97\)10003-6](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(97)10003-6)
- Vicente, G., Martínez, M., & Aracil, J. (2004). Integrated biodiesel production: A comparison of different homogeneous catalysts systems. *Bioresource Technology*, 92(3), 297–305. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.08.014>
- Vidal, M., Rogers, W. J., Hoiste, J. C., & Mannan, M. S. (2004). A review of estimation methods for flash points and flammability limits. *Process Safety Progress*, 23(1), 47–55. <https://doi.org/10.1002/prs.10004>
- Vrtiška, D., & Šimáček, P. (2018). Prediction of 2-EHN content in diesel/biodiesel blends using FTIR and chemometrics. *Talanta*, 178, 987–991. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.09.003>
- West, A. H., Posarac, D., & Ellis, N. (2008). Assessment of four biodiesel production processes using HYSYS.Plant. *Bioresource Technology*, 99(14), 6587–6601. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.046>
- Xie, T., Zhang, L., & Xu, N. (2012). Biodiesel synthesis in microreactors. *Green Processing and Synthesis*, 1(1), 61–70. <https://doi.org/10.1515/greenps-2011-0004>
- Yusuf, N. N. A. N., Kamarudin, S. K., & Yaakub, Z. (2011). Overview on the current trends in biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, 52(7), 2741–2751. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.12.004>
- Zhongcheng, W., Paulauskiene, T., Uebe, J., & Bucas, M. (2020). Characterization of Biomethanol-Biodiesel-Diesel Blends as Alternative Fuel for Marine Applications. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8, 730. <https://doi.org/10.3390/jmse8090730>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Halil ERÜNALİ
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : KOZLUK
Telefon :
Faks : -
e-mail :

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Batman Anadolu Lisesi	2006
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	2013
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi	2024
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013	BAĞATIR MÜHENDİSLİK	ŞANTIYE ŞEFİ
2014	TROYA MÜHENDİSLİK	ÜRETİM ŞEFİ
2014-	HALİL ERÜNALİ -HER ENERJİ MÜHENDİSLİK DANIŞMANLIK	ŞİRKET MÜDÜRÜ

UZMANLIK ALANI: Yenilenebilir Enerji Kaynakları

YABANCI DİLLER: İngilizce (Orta Seviye)

YAYINLAR:

ErüNALİ, H., Yaşar, F., 2024, Reserarch of The Use and Effects of 2-Ethylhexyl Nitrate Additive to Increase The Cetane Number of Biodiesels Produced from Diferent Oil Sources, 5th International Conference on Engineering and Applied Naturel Oceans, Konya -Turkey, 1404-1417.