

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

**MOBİL GÜÇ SANTRALLERİNDE BİYORYAKIT KULLANILMASININ
PERFORMANS, EMİSYON VE MALİYET BAKIMINDAN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Mustafa UYAR

(121135104)

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hikmet ESEN

**Anabilim Dalı: Enerji Sistemleri Mühendisliği
Programı: Yenilenebilir Enerji Sistemleri**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 7 Aralık 2015

ARALIK-2015

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

**MOBİL GÜÇ SANTRALLERİNDE BİYORYAKIT KULLANILMASININ
PERFORMANS, EMİSYON VE MALİYET BAKIMINDAN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Muhammed Mustafa UYAR
(121135104)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 7 Aralık 2015
Tezin Savunulduğu Tarih:28 Aralık 2015**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hikmet ESEN (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Tarkan KOCA (İ.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Filiz ÖZGEN (F.Ü)

ARALIK-2015

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında katkıları olan hocam, Sayın Doç. Dr. Hikmet ESEN'e saygılarımı sunar, teşekkürü bir borç bilirim. Yakıtların hazırlanma aşamasındaki çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Siirt Üniversitesi akademik personellerine teşekkür ederim. Yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ölçülmesinde desteklerini esirgemeyen İnönü Üniversitesi, petrol analiz laboratuvarı çalışanlarına ve motor performans ve emisyon deneylerimin gerçekleşmesinde atölye imkanı konusunda yardımcı olan Fırat Üniversitesinin tüm personeline teşekkür ederim. Maddi ve manevi desteklerini hiç eksik etmeyen ve fazlasıyla ilgi ve yardımlarını gördüğüm aileme ve eşime sevgilerimi sunar, teşekkür ederim.

Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) yönetim birimi tarafından maddi olarak desteklenen TEKF.14.03 no'lu projemize katkıda bütün FÜBAP personeline ayrıca teşekkür ederim.

Öğr. Grv. Muhammed Mustafa UYAR

ELAZIĞ - 2015

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
TABLOLAR LİSTESİ	XII
KISALTMALAR	XIV
1. GİRİŞ	1
2. DİZEL MOTOR YAKITLARI ve SINIFLANDIRILMASI.....	5
2.1. Dizel Yakıtı.....	5
2.2.Dizel Yakıtının Kimyasal ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi.....	6
2.2.1. Viskozite.....	6
2.2.2. Yoğunluk.....	6
2.2.3. Akma Noktası.....	7
2.2.4. Bulutlanma Noktası.....	7
2.2.5. Donma Noktası.....	7
2.2.6. Isıl Değer.....	7
2.2.7. Parlama Noktası.....	8
2.2.8. Setan Sayısı.....	8
2.2.9. Uçuculuk.....	9
2.2.10. Su ve Tortu Miktarı.....	9
2.2.11. Kül.....	9
2.2.12. Kükürt.....	10
2.2.13. Bakır Şerit Korozyon.....	10
2.2.14. Karbon Kalıntısı.....	10
2.3. Biyodizel Yakıtı.....	10
2.4. Dünyada Biyodizel Üretimi.....	12
2.4.1. Dünya Ülkelerinde Biyodizel Mevzuatları.....	13
2.4.2.Ülkemizde Biyodizel.....	15

2.5. Biyodizel Üretim Yöntemleri.....	16
2.6. Biyodizelin Transesterifikasyon Reaksiyonu ile Üretim Aşamaları.....	16
2.6.1. Alkol ve Katalizörün Karıştırılması.....	17
2.6.2. Reaksiyon.....	17
2.6.3. Ayırma.....	18
2.6.4. Alkolün Uzaklaştırılması.....	18
2.6.5. Gliserin Nötralizasyonu.....	18
2.6.6. Metil Ester Yıkama İşlemi.....	18
2.7. Biyodizel Üretiminde Dikkat Edilecek Hususlar.....	19
2.8. Transesterifikasyon Reaksiyonuna Etki Eden Faktörler.....	19
2.8.1. Reaksiyon Sıcaklığının Etkisi.....	19
2.8.2. Alkol/Yağ Molar Oranının Etkisi.....	20
2.8.3. Katalizör Cinsi ve Miktarının Etkisi.....	20
2.8.4. Serbest Yağ Asitleri ve Suyun Etkisi.....	21
2.8.5. Reaksiyon Süresinin Etkisi.....	21
2.8.6. Alkol Cinsi ve Miktarının Etkisi.....	21
2.9. Biyodizelin Özellikleri.....	22
2.9.1. Soğukta Akış Özellikleri.....	24
2.9.2. Toksin Etki.....	24
2.9.3. Biyolojik Olarak Bozunabilirlik.....	24
2.9.4. Depolama.....	25
2.10. Mobil Güç Santralleri.....	25
2.10.1. Ana Bileşenleri	25
2.10.2. Güç Tespitine Etki Eden Faktörler.....	25
2.10.3. Mekanik Özellikleri.....	26
2.10.3.1. Konstrüksiyon.....	26
2.10.3.2. Soğutma.....	26
2.10.3.3. Dönüş Yönü.....	26
2.10.3.4. Aşırı Hız.....	27
2.10.3.5. Rulmanlar ve Yağlama.....	27
2.10.4. Elektriksel Özellikler.....	27
2.10.4.1. Alternatör.....	27
2.10.4.2. Voltaj ve Frekans.....	27

2.10.4.3. Voltaj Regülatörü.....	27
2.10.4.4. Dinamik Voltaj Düşümü.....	28
2.10.4.5. Aşırı Yükleme.....	28
2.10.5. Kontrol Çalışma Özellikleri.....	28
2.10.5.1. Manuel Olarak Kontrol.....	28
2.10.5.2. Otomatik Olarak Kontrol.....	28
3. BİYODİZEL YAKITLARININ HAZIRLANMASI.....	29
3.1. Çalışmada Kullanılan Yağlar ve Özellikleri.....	29
3.1.1. Kanola Yağı.....	29
3.1.2. Soya Yağı.....	31
3.1.3. Atık Ayçiçeği Yağı.....	31
3.2. Yağ Asit Kompozisyonu.....	32
3.3. Yağdaki Nemin Uzaklaştırılması.....	33
3.4. Metil Esterlerin Hazırlanması.....	34
3.4.1. Kanola Yağı Metil Esterinin Hazırlanması.....	34
3.4.2. Atık Ayçiçeği Yağı Metil Esterinin Hazırlanması.....	36
3.4.3. Soya Yağı Metil Esterinin Hazırlanması.....	37
3.5. Test Yakıtlarının Hazırlanması.....	37
3.8. Yakıt Özelliklerinin Kimyasal Analizleri	38
4. MOTOR TEST MATERYALLERİ VE METOTLAR.....	39
4.1. Deney Seti.....	39
4.1.1. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı.....	41
4.1.2. Duman Ölçüm Cihazı.....	42
4.1.3. Egzoz Gazı Sıcaklık Ölçümü.....	43
4.2. Yöntem.....	44
5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	45
5.1. KYME İçin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	45
5.1.1. KYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Özgül Yakıt Tüketimi Analizi.....	45
5.1.2. KYME İçerikli Yakıt Numunelerinin NOx Emisyonları Analizi.....	48
5.1.3. KYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Karbon Monoksit (CO) Emisyonları Analizi.....	50
5.1.4. KYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Hidrokarbon (HC) Emisyonları Analizi.....	52

5.1.5. KYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Duman (İs) Emisyonları Analizi.....	54
5.1.6. KYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Egzoz Gazları Sıcaklık Analizi.....	56
5.2. SYME İçin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	58
5.2.1. SYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Özgül Yakıt Tüketimi Analizi.....	58
5.2.2. SYME İçerikli Yakıt Numunelerinin NOx Emisyonları Analizi.....	60
5.2.3. SYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Karbon Monoksit (CO) Emisyonları Analizi.....	62
5.2.4. SYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Hidrokarbon (HC) Emisyonları Analizi.....	64
5.2.5. SYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Duman (İs) Emisyonları Analizi.....	66
5.2.6. SYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Egzoz Gazları Sıcaklık Analizi.....	68
5.3. AAYME İçin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	70
5.3.1. AAYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Özgül Yakıt Tüketimi Analizi.....	70
5.3.2. AAYME İçerikli Yakıt Numunelerinin NOx Emisyonları Analizi.....	72
5.3.3. AAYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Karbon monoksit (CO) Emisyonları Analizi.....	74
5.3.4. AAYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Hidrokarbon (HC) Emisyonları Analizi.....	76
5.3.5. AAYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Duman (İs) Emisyonları Analizi.....	78
5.3.6. AAYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Egzoz Gazları Sıcaklık Analizi	80
5.4. Biyodizelin üretim aşamasındaki maliyet analizleri.....	83
5.4.1.Elektrik üretimindeki fiyat analizleri.....	86
5.4.1.1.Kanola yağı biyodizeli için elektrik üretim maliyetlerinin analizi.....	87
5.4.1.2.Soya yağı biyodizeli için elektrik üretim maliyetlerinin analizi.....	87
5.4.1.3.Atık ayçiçek yağı biyodizeli için elektrik üretim maliyetlerinin analizi.....	88
6. SONUÇLAR	90
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	99

ÖZET

Bu çalışmada, baz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu uygulanarak farklı özelliklere sahip yağlardan, biyodizel üretilmiştir. Yağlardan elde edilen bu yakıtların TS-EN 14214 otomotiv yakıtları standartlarına uygunluğu araştırılmıştır. Üretilen biyodizeller, dizel yakıt ile karıştırılarak (% 5, % 10 ve % 20) direk püskürtmeli üç silindirli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılıp, motor performans karakteristikleri ile egzoz emisyonu değişimleri dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca dizel jeneratörde biyodizel yakıtının uzun süreli kullanılmasındaki elektrik üretim maliyetleri hesaplanmıştır.

Deneysel sonuçlara göre; biyodizel ve karışımlarının dizel yakıtı ile genel olarak benzer özellikler gösterdiği görülmüştür. Yakıt numunelerinde biyodizel oranının artmasıyla beraber özgül yakıt tüketiminde ve egzoz çıkış sıcaklığında artış görülmüştür. Biyodizel kullanımında dizel yakıtı kıyasla; CO, HC, duman emisyonlarında düşüş, NO_x, CO₂, O₂ değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

Yapılan kısa ve uzun süreli motor testleri sonuçlarına dayanarak biyodizel ve karışım yakıtlarının direk püskürtmeli dizel motorlarda motor yapısında hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca hava kirliliğinin azaltılması açısından dizel motorlar için uygun bir alternatif yakıt olacağı da görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Dizel Motor, Biyodizel, Mobil Güç Santraller

ABSTRACT

Investigation of Using Biofuels in Mobile Power Plants in Terms of Performance, Emission and Cost

In this study, biodiesel is produced from oils that have different characteristics applying the transesterification of acid and base catalyzed. It is seen that to be appropriate for the TS-EN 14214 standards these values obtained from fuels. Produced biodiesel have mixed with fuel (5%, 10% and 20%) and tasted in three-cylinder direct injection diesel engine. The engine performance characteristics and exhaust emission changes were examined in comparison with diesel fuel. In addition, electricity production costs in the long-term use of biodiesel in diesel generators is calculated.

Experimental results are indicated that biodiesel and mixed fuels show similar characteristics. With increasing biodiesel percentage in the fuel specific, the fuel consumption and exhaust temperature has increased. Compared to diesel fuel in the use of biodiesel, while CO, HC and smoke emissions decrease, NO_x, CO₂ and O₂ have increased.

Based on short and long term diesel engine tests the results showed that biodiesel and mixed fuels can be used with direct injection diesel engine without make any changes in the engine structure. Besides it is seen that these fuels can be used alternative fuel with diesel engines with the aim of reduce the pollution.

Key words: Diesel Engine, Biodiesel, Mobile Power Plants

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. 2005–2021 yılları arasında Avrupa birliği üye ülkeleri biyodizel üretim değerleri.....	12
Şekil 2.2. Biyodizel üretim şeması.....	17
Şekil 2.3. Farklı tip alkol kullanımının reaksiyon zamanına bağlı olarak ester dönüşümü üzerindeki etkisi.....	22
Şekil 3.1. Kolza bitkisi.....	30
Şekil 3.2. Kanola yağı.....	30
Şekil 3.3. Yağın ve biyodizelin içeriğindeki olası nemin uzaklaştırıldığı Buharlaştırma işlemi.....	34
Şekil 3.4. Transesterifikasyon reaksiyonu.....	35
Şekil 3.5. Kanola yağı için; (a) faz ayrışması, (b) yıkama işlemi.....	36
Şekil 3.6. Atık ayçiçeği yağı ve elde edilen Biyodizeli.....	37
Şekil 3.7. Üretim sonrası elde edilen biyodizeller.....	37
Şekil 4.1. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü.....	39
Şekil 4.2. Deneylerin yapıldığı test düzeneği.....	40
Şekil 4.3. Egzoz emisyon ölçüm cihazı.....	41
Şekil 4.4. Çalışmadaki duman ölçüm cihazının görüntüsü	43
Şekil 4.5. Deneylerde kullanılan kızılötesi termometre.....	43
Şekil 5.1. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin ÖYT değerlerinin değişimi.....	47
Şekil 5.2. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin NOx emisyonlarının değişimi.....	49
Şekil 5.3. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin CO emisyonlarının değişimi.....	51
Şekil 5.4. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin HC emisyonlarının değişimi.....	53
Şekil 5.5. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin duman emisyonlarının değişimi.....	55
Şekil 5.6. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin egzoz çıkış sıcaklığı değişimi.....	57
Şekil 5.7. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin ÖYT değerlerinin değişimi.....	60
Şekil 5.8. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin NOx emisyonlarının değişimi.....	62
Şekil 5.9. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin CO emisyonlarının değişimi.....	64
Şekil 5.10. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin HC emisyonlarının değişimi.....	66

Şekil 5.11. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin duman emisyonlarının değişimi	68
Şekil 5.12. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin egzoz çıkış sıcaklığı değişimi.....	69
Şekil 5.13. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin ÖYT değerlerinin değişimi.....	72
Şekil 5.14. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin NOx emisyonlarının değişimi.....	74
Şekil 5.15. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin CO emisyonlarının değişimi.....	76
Şekil 5.16. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin HC emisyonlarının değişimi.....	78
Şekil 5.17. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin duman emisyonlarının değişimi.....	80
Şekil 5.18. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin egzoz çıkış sıcaklığı değişimi.....	82
Şekil 5.19. Yakıt numunelerinin birim enerji üretimindeki maliyetleri.....	86

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. EN590 dizel yakıtı standartları.....	5
Tablo 2.2. TS EN 14214 Otomotiv yakıtlar-yağ asiti metil ester.....	23
Tablo 3.1. Soya tohumunun bileşimi.....	31
Tablo 3.2. Yağ asit kompozisyonu.....	32
Tablo 3.3. Hazırlanan yakıt numunelerinin kısaltılmış isimleri ve içerik bilgileri.....	38
Tablo 3.4. Dizel ve biyodizel yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	38
Tablo 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri.....	39
Tablo 4.2. Deneylerde kullanılan jeneratörün teknik özellikler.....	41
Tablo 4.3. Egzoz emisyon ölçüm cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyet değerleri.....	42
Tablo 4.4. Duman ölçüm cihazı ölçüm aralığı ve hassasiyet değerleri.....	42
Tablo 5.1. KYME yakıt numunelerinin değişken yükteki ÖYT değerleri.....	46
Tablo 5.2. KYME yakıt türlerinin değişken yükteki NOx değerleri.....	48
Tablo 5.3. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki CO değerleri.....	50
Tablo 5.4. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki HC değerleri.....	52
Tablo 5.5. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki duman emisyon değerleri.....	54
Tablo 5.6. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki egzoz çıkış sıcaklığı değerleri.....	56
Tablo 5.7. SYME yakıt numunelerinin değişken yükteki ÖYT değerleri.....	58
Tablo 5.8. SYME yakıt türlerinin değişken yükteki NOx değerleri.....	61
Tablo 5.9. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki CO değerleri.....	63
Tablo 5.10. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki HC değerleri.....	65
Tablo 5.11. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki duman emisyon değerleri.....	67

Tablo 5.12. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki egzoz çıkış	
--	--

değerleri.....	68
Tablo 5.13. AAYME yakıt numunelerinin değişken yükteki ÖYT değerleri.....	70
Tablo 5.14. AAYME yakıt türlerinin değişken yükteki NOx değerleri.....	73
Tablo 5.15. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki CO değerleri.....	75
Tablo 5.16. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki HC değerleri.....	77
Tablo 5.17. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin duman emisyonlarının değişimi.....	79
Tablo 5.18. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki egzoz çıkış sıcaklığı değerleri.....	81
Tablo 5.19. Kanola yağı için reaksiyona giren malzemelerin miktar ve fiyatları.....	83
Tablo 5.20. Soya yağı için reaksiyona giren malzemelerin miktar ve fiyatlar.....	83
Tablo 5.21. Atık yağ için reaksiyona giren malzemelerin miktar ve fiyatları.....	84
Tablo 5.22. Elektrikli cihazların harcadığı enerji miktarları.....	84
Tablo 5.23. Üretilen biyodizellerin birim fiyatları.....	85
Tablo 5.24. Yakıt numunelerinin birim enerji üretimindeki maliyetleri.....	86

KISALTMALAR

AAYME	: Atık Ayçiçeği Yağı Metil Esteri
DY	: Dizel Yakıtı
MnO₂	: Mangan dioksit
Mn	: Mangan
BuOH	:Butanol(Butil Alkol)
TG	: Tutuşma Gecikmesi
ÖYT	: Özgöl Yakıt Tüketimi
SYA	: Serbest Yağ Asiti
YAME	: Yağ Asidi Metil Esteri
B5	: %5 biyodizel ve %95 dizel yakıtından oluşan karışım yakıt
B10	: %10 biyodizel ve %90 dizel yakıtından oluşan karışım yakıt
B20	: %20 biyodizel ve %80 dizel yakıtından oluşan karışım yakıt
B100	: %100 biyodizel

1.GİRİŞ

Hastaneler, arıtma tesisleri, hava limanları, banka, iletişim, güç üretim tesisleri, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerde dizel jeneratör aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Kullanım alanını geniş yelpazede incelemek gerekirse; naklen yayın sistemleri, konserler, festivaller, film setleri, askeri tesisler, şantiyeler ve seri üretim yapan fabrikalar dizel jeneratöre kesintisiz bir şekilde ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca şebeke enerjisine yedek güç kaynağı olarak gösterilen mobil güç santralleri de sektörde büyük bir pay sahibidir. Bu geniş kullanım alanına sahip dizel jeneratörlerde petrol kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Dünya nüfusundaki artışa ve teknolojinin gelişmesine bağlı olarak, petrol sektörünün talebi karşılayamaması ve petrol fiyatlarının aşırı yükselmesi gibi olası durumlarda, enerji gereksinimlerini dizel jeneratörden karşılayan sektörler olumsuz yönde etkilenecektir. Bununla beraber petrol kökenli yakıtların dizel güç üretim tesislerinde yanması sonucu, açığa çıkan egzoz gazlarının sebebiyet verdiği çevre kirliliği, kabul edilebilir sınırları zorlamaktadır. Bu sebeplerden dolayı, dizel jeneratörlerde petrole dayalı yakıt tüketiminin azaltılması ve bu enerji üretiminden kaynaklanan emisyonların düşürülmesi için daha düşük maliyetli alternatif yakıtlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Dünya genelinde alternatif yakıt araştırmaları önemli destekler görmektedir. Başta Avrupa Birliği ülkeleri olmak üzere birçok gelişmiş ülkede bu konuda ciddi çalışmalar yapılmakta ve olumlu sonuçlar hayata geçirilmektedir. Dizel motorlarda kullanılabilen alternatif yakıtın; ekonomik, yenilenebilir, çevre dostu ve kolay elde edilebilir nitelikteki üstünlüklere sahip olması gerekmektedir. Biyodizel, dizel motorlar için bu gereksinimleri karşılayabilecek özelliklere sahip bir alternatif yakıt türü olarak değerlendirilmektedir [1].

İlk olarak biyodizelin temelleri, 1900’lü yılların başında dizel motorunun mucidi Rudolf Diesel tarafından atılmıştır. O yıllarda yaptığı çalışmalar ile bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılabileceğini göstermiştir. Fakat o zamanki şartlarda petrolün daha mantıklı bir yakıt olması, bu sektörün gelişmesine engel olmuştur. Özellikle 1973 yılında yaşanan enerji krizinden sonra, biyokütle enerji kaynakları üzerine çok yoğun araştırmalar başlatılmıştır. Bu araştırmalar içerisinde biyodizel’de yer almıştır. Son yıllarda ise, farklı bitkisel yağlar (yerfıstığı, pamuk, haşhaş, kolza, kanola, soya, ayçiçeği, mısır), [1–4], hayvansal yağlar (balık yağı, tavuk yağı, hayvansal iç yağ) [5-7], atık kızartma yağları [8] ve atık kimyasal yağlar (motor yağı) [9] biyodizel üretimi için kullanılmıştır.

Belirtilen yağlardan biyodizel üretmek için proliz, seyreltme, emülsiyon ve transesterifikasyon olmak üzere dört farklı yöntem kullanılır. Bunların arasında transesterifikasyon en yaygın kullanılan yöntemdir [10]. Biyodizelin biyolojik olarak parçalanabilmesi, zehirleyici etkisinin bulunmaması ve düşük emisyon profili, yüksek setan sayısı, yüksek oksijen içeriği, kükürt ve aromatik içermemesi, üstün yağlama yeteneği onu cazip kılan özellikleri olarak sıralanabilir [11-14]. Bununla beraber, biyodizel mevcut dizel motorlarda büyük çaplı bir değişikliğe ihtiyaç duyulmaksızın kullanılabilir [15]. Biyodizel, dizel yakıtı eşdeğer özelliklere sahip olduğundan, doğrudan yakıt olarak kullanılabilirdiği gibi herhangi bir oranda dizel yakıtı ile karıştırılıp da kullanılabilir [16].

Yapılan çalışmalarda biyodizelin ulaşım, tarım ve nakliye sektörlerinde kullanılabilirliği araştırılmış olmasına rağmen, enerji üretimi alanında kullanan sektörler açısından yeterince araştırılmamıştır. Yapılan bazı çalışmalarda her ne kadar dizel jeneratör kullanılmış olsa da çalışmanın detayları incelendiğinde dizel jeneratör içten yanmalı motorlarda elektro manyetik yükleme amaçlı kullanılmıştır. Biyodizelin araç motorlarında kullanımı ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Roy ve ark. (2015) biyodizelin, dizel bir araç motorundaki performans ve emisyon değerlerini incelemek amacıyla kanola yağından biyodizel üreterek % 5, % 10, % 20 ve % 50 oranında dizel yakıt ile karıştırmıştır. Elde edilen yakıt numunelerini direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda 1800 d/d ve üç farklı yükte performans ve emisyon testine tabi tutmuştur. Elde edilen sonuçları dizel yakıt değerleriyle karşılaştırarak, HC, CO, duman emisyonlarında azalma, özgül yakıt tüketimi ve NOx değerlerinde artış olduğunu tespit etmiştir [17]. How ve ark. (2014) Hindistan cevizi yağından biyodizel üretimi gerçekleştirerek B10, B20, B30 ve B50 şeklinde dört farklı yakıt numunesi oluşturarak, farklı silindir içi basınç şartlarındaki performans, emisyon, yanma ve titreşim parametrelerini deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışmanı sonucunda B50 yakıt numunesindeki duman emisyonunun % 52.4 oranında azalma olduğunu, en az yakıt sarfiyatının ise B10 yakıt numunesinde olduğunu analiz etmiştir. Silindir içi yanma performansının biyodizel kullanımında daha uygun olduğu önerilmiştir [18]. Abedin ve ark. (2014) Malezya'daki biyodizel çalışmalarının toplu taşıma ve nakliye sektörüne ciddi katkı sağladığını vurgulamıştır. Malezya hükümeti bu başarılı çalışmalar neticesinde 1 Haziran 2011 tarihinde biyodizelin dizel yakıtı karışım oranını % 5'den % 10'a çıkardığını ifade etmiştir. Yapılan çalışmada Malezya'da tarımsal üretimi fazla olan jatropha ve

palmya yağı kullanılarak biyodizel üretilmiş, bu biyodizelleri önce birbirleri arasında daha sonra dizel yakıtı karıştırmak suretiyle B30 olarak yeni bir yakıt numunesi elde etmiştir. Bu yakıt numunesini dört silindirli dizel motorda 1000-4000 d/d aralığında performans ve emisyon testine tabi tutarak özgül yakıt tüketiminde ortalama % 26.4 artış, CO emisyonunda % 30.7 , HC emisyonunda ise % 25.8 oranında bir azalma tespit edildiğini ifade etmiştir [19].

Palash ve ark. (2015) Bangladeş’de yetişen *Aphanamixis polystachya* bitkisinden elde ettiği yağ ile biyodizel üreterek bu yakıtı çeşitli hacimsel oranlarda dizel yakıt ile karıştırmış fakat kimyasal analizler neticesinde en iyi karışım yüzdesinin % 5 ve % 10 oranında olduğunu vurgulamışlardır. % 5 ve % 10 oranındaki yakıt numunelerini APME5 ve APME10 olarak isimlendirdiği yeni yakıt numuneleri elde etmiştir. Bu numuneleri dizel bir araç motorunda performans ve emisyon testine tabi tutmuştur. Yapılan deneysel çalışmanın neticesinde BSFC ve NO_x değerlerinde artış, CO ve HC emisyonlarında ciddi oranlarda azalma tespit etmişlerdir [20]. An ve ark. (2013) Atık kızartma yağlarından biyodizel elde ederek Euro IV dizel motorda yanma, performans ve emisyon testine tabi tutmuştur. Yakıt numunelerini sırasıyla 800, 1200, 2400 ve 3600 d/d hızlarında ve % 25, % 50 ve % 100 yük şartlarında analiz etmiştir. Biyodizel içerikli yakıtların özgül yakıt tüketim değerlerinin her devir ve yük durumunda yüksek olduğunu ifade etmiştir. Rakamsal olarak ifade etmek gerekirse; biyodizel içerikli yakıt numunesi % 25 motor yükünde 800 d/d ve 1200 d/d hızlarındaki değerleri dizel yakıtı kıyasla sırasıyla % 42 ve % 34.4 oranında bir artış tespit etmiştir. Ayrıca düşük yük şartlarında biyodizelin dizel yakıtı kıyasla daha iyi bir yanma performansı sergilediğini vurgulamıştır. Biyodizelin içeriğindeki oksijen oranını bu iyileşmeye sebep olarak göstermiştir. Bunun yanı sıra biyodizel kullanımında HC ve CO emisyonlarının düştüğü ifade edilmiştir [21]. Bu beş çalışmanın ortak özelliği, biyodizelin silindir içerisinde yakılması ile elde edilen mekaniksel gücün ve emisyonların incelenmiş olmasıdır.

Son yıllarda, biyodizelin silindir içerisinde yanması sonucu elde edilen ısı enerjisinin mekanik enerjiye, mekanik enerjinin de elektrik enerjisine çevrilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Yani diğer bir deyişle, biyodizelden elektrik enerjisi elde edilirken üretim sürecinin güç, emisyon ve performans parametreleri açısından geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, Agosto ve ark. (2015) soya, palmye ve atık kızartma yağlarını kullanarak metil ve etil esterlerden biyodizel üretmişlerdir. Üretilen bu esterler % 20 ve % 50 oranlarında dizel yakıt ile karıştırmışlardır. Elde edilen yakıt numunelerini

maksimum gücü 100 kVA, 200 V, üç fazlı, 1800 d/d ve 60 Hz frekans özelliklerine sahip dizel bir jeneratörde özgül yakıt tüketimi analizine tabi tutmuştur. 15, 30, 45, 60 ve 75 kW 'lık yük şartlarında çalışma yapılmıştır. Etil estere kıyasla metil esterinin performansının dizel yakıtı daha yakın değerlerde olduğunu vurgulamıştır. Biyodizelin dizel yakıtı ilave edilme oranının % 20'den daha aşağıda bir oranda aranması gerektiğini belirtmiştir [22]. Feng ve ark. (2011) atık tavuk yağlarından iki basamaklı transesterifikasyon reaksiyonu uygulayarak biyodizel üretmişlerdir. Üretilen bu biyodizel ile belli oranlarda küçültülmüş küçük bir dizel jeneratörde elektrik enerjisi üretilmiştir. Çalışmanın diğer aşamalarında jeneratörün fırçaları üzerinde değişiklikler yaparak elektrik üretim performansının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın neticesinde biyodizelin dizel jeneratörde sorunsuz ve güvenilir bir şekilde kullanılabilir olduğunu vurgulamışlardır [23].

Yapılan çalışmalarda etkili sonuçlar elde edilmesine rağmen, biyodizelin dizel yakıtı karıştırılma oranının % 20'nin altında olduğu değerlerde incelenmesi gerektiği ve biyodizel kullanılan bir dizel jeneratörde elektrik üretim maliyeti, egzoz emisyon değerleri ve motor performans değerlerinin incelenmesi gerektiği düşünülmektedir.

Bu tezin temel amacı, farklı özelliklere sahip bitkisel yağlardan biyodizel üretilerek, bu biyodizelleri farklı oranlarda (% 5, % 10 ve % 20) dizel yakıt ile karıştırmak suretiyle dizel jeneratördeki, performans ve egzoz emisyon değerlerini dizel yakıt değerleriyle ve birbirleriyle kıyaslamaktır. Ayrıca dizel jeneratörde biyodizel yakıtının uzun süreli kullanılmasındaki elektrik üretim maliyetlerini hesaplamaktır.

2. DİZEL MOTOR YAKITLARI ve SINIFLANDIRILMASI

Bu bölümde petrol kökenli yakıt olan dizel yakıtı ve çeşitli yağlardan üretilen biyodizel yakıtlarının temel özellikleri incelenmiştir.

2.1. Dizel Yakıtı

Dizel yakıtı ham petrolün damıtımı esnasında 200–300 °C kaynama noktası aralığında elde edilen üçüncü ana üründür. İçeriğinde karbon atomu sayısı 8 ile 16 arasında olan yüzlerce çeşit farklı hidrokarbon bileşenlerini bünyesinde bulundurmaktadır. Çok çeşitli olan bu hidrokarbonlar, parafin, naften, olefin ve aromatik olarak dört ana gruba ayrılırlar. Hidrokarbonlar organik bileşikler olup yapısını hidrojen ve karbon atomları oluşturur [24]. Dizel yakıt fazla güce ihtiyaç duyan otobüs, tren, zirai araçlar ve buna benzeyen araçlarda kullanılır.

Dizel yakıtın ekonomi için önemi büyüktür, çünkü dizel yakıtın yüksek verimliliği olmasaydı, kara ve deniz yük taşımacılığı verimsiz yakıtlara yatırım yapacaktı. Dizel yakıt benzine göre daha fazla enerji yoğunluğuna sahiptir. Kokusu benzinden farklıdır, oldukça yağlıdır ve daha ağırdır. Tablo 2.1.'de EN590 dizel yakıt standartları verilmektedir.

Tablo 2.1. EN590 dizel yakıt standartları

Özellik	Birim	Alt limit	Üst limit	Ölçüm metodu
Yoğunluk (15 °C'de)	kg/m ³	820	845	EN ISO 3675
Viskozite (40 °C'de)	mm ² /s	2.0	4.5	EN ISO 3104
Parlama noktası	°C	55	-	EN ISO 2719
Kükürt	mg/kg	-	50	EN ISO 20846
Setan sayısı	-	51	-	EN ISO 5165
Su miktarı	mg/kg	-	200	EN ISO 12937
Kül	%	-	0.01	EN ISO 6245
Karbon kalıntısı	%	-	0.30	EN ISO 10370

ASTM standartlarına göre dizel yakıtları üç derecede değerlendirilmektedir.

- 1 Numaralı Dizel ve düşük kükürtlü 1 Numaralı Dizel: Petrolün damıtılmasında elde edilir. Değişken devir ve yük şartlarında çalışan motorlarda kullanılan uçucu damıtık bir yakıttır.
- 2 Numaralı Dizel ve düşük kükürtlü 2 Numaralı Dizel: Damıtma ürünlerini ihtiva eden 1 Numaralı dizele göre buharlaşma özelliği az olan ağır hizmet ve endüstri motorları yakıtıdır.
- 3 Numaralı Dizel: Damıtma ürünlerinden ve bazı atıklardan oluşan düşük veya orta hız motorlarının yakıtıdır.

2.2. Dizel Yakıtının Kimyasal ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

2.2.1. Viskozite

Viskozite, akışkanların akmaya karşı gösterdiği direnç, diğer bir deyişle deforme olmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Dizel yakıtın viskozitesi, enjektör püskürtme karakteristiklerini ve buna bağlı olarak da silindir içerisinde meydana gelecek yanmayı doğrudan etkilemektedir. Viskozite küçüldükçe borulardaki akış direnci azalmakta, püskürtme ile oluşan yakıt demeti içindeki yakıt damlacık çapları küçülmektedir. Dolayısıyla motorda yanma daha verimli ve is emisyonları azalmaktadır. Ancak viskozitenin çok düşük olması yakıt sistemindeki kaçakları arttırmaktadır. Viskozitenin standartların üstünde olması ise yakıt pompası ve enjektörlerin iyi yağlanmamasına, enjeksiyon esnasında damlacık boyutlarının normalden daha büyük olmasına, ayrıca enjektörlerde tıkanma ve sıkışmalara neden olabilmektedir [26].

2.2.2. Yoğunluk

Yoğunluk, birim hacimdeki kütle olarak ifade edilmektedir. Yakıtın yapısı, karbon-hidrojen miktarı, yakıtın parçalanması ve tutuşma kabiliyeti ile ilgili ön bilgi verir. Yakıtın yoğunluğu elde edildiği ham petrolün cinsine göre değişmekte olup kg/lt olarak ifade edilmektedir. EN590 standartlarına göre dizel yakıtlarının özgül ağırlıkları 15 °C’ de 820-845 kg/m³ arasında olmalıdır [26].

2.2.3. Akma Noktası

Akma noktası yakıtın akma özelliğini yitirdiği en düşük sıcaklıktır. Dizel yakıtının özellikle soğuk havalarda akıcılık özelliğini kaybetmemesi gerekir. Akma noktasının yüksek olması soğuk havalarda yakıt filtresini tıkayarak motorun çalışmamasına neden olabilir. Özellikle soğuk bölgelerde çalışan dizel motorlarında yakıtın akma noktasını istenilen değerlere düşürmek için içerisine belirli oranlarda gaz yağı ve farklı kimyasal katkı maddeler katılmaktadır [26].

2.2.4. Bulutlanma Noktası

Bulutlanma noktası sıvıların soğutulduğunda kristalleşmesinin ilk görülmeye başladığı sıcaklığı gösterir. Bu sıcaklıkta yakıt içerisinde katı yapılar oluşmaya başlamıştır. Oluşan bu katı yakıt partikülleri yakıt filtresinin tıkanmasına neden olur. Bulutlanma noktası ile akma noktası birbirinden farklıdır. Bu değerler yakıtların soğukta çalışma özelliklerinin önemli bir göstergesidir [26].

2.2.5. Donma Noktası

Yakıtın katılaştığı, akmasının durduğu sıcaklık olarak tanımlanır. Yakıtın soğuk havalarda kullanılma kabiliyetini belirler. Belli bir sıcaklığa kadar soğuyan yakıt molekülleri kristalleşir ve sıcaklık daha fazla düşünce donar. Kristalleşmiş yakıt, yakıt sistemini tıkayarak yakıtın akışına engel olur. Bu nedenle yakıtların donma noktası bölgenin dış hava sıcaklığından 5–10 °C daha düşük olmalıdır [26].

2.2.6. Isıl Değer

Yakıtların ısı değerleri genellikle birim kütesinin enerjisi ile verilmektedir. Yakıtın sürekli akışlı bir açık sistemde tam olarak yanması ve yanma sonu ürünlerinin, yanma işlemine girenlerin haline getirilmesi durumunda çevreye verilen ısı enerjisi eşittir. Diğer bir deyişle bir yakıtın ısı değeri, yakıtın yanma entalpisinin mutlak değerine eşittir.

Isıl değeri, yanma sonu ürünleri içindeki H_2O 'nun bulunduğu faza bağlıdır. Böylece yanma sonu ürünleri içindeki H_2O sıvı fazında ise üst ısı değeri, yanma sonu ürünleri içindeki H_2O buhar fazında ise alt ısı değeri adını alır.

Bir yakıtın ısı değeri veya yanma entalpisi, yanma işleminde yer alan bileşiklerin oluşum entalpilerinden hesaplanabilir. Bir yakıtın üst ısı değeri, alt ısı değeri ile yanma sonu ürünleri içindeki su buharının buharlaşma gizli ısının toplamına eşittir.

Motorlardaki yanma sonu sıcaklıklarda su her zaman buhar olarak bulunduğu için ısı değeri, alt ısı değeri olarak verilmelidir. Yakıt enerjisinin miktarının göstergesi olduğu için ısı değerinin büyük olması istenir [27].

2.2.7. Parlama Noktası

Sıvı bir yakıtın yanabilmesi için bu yakıtın buharı ile havanın belirli oranlarda karışmış olması gerekir. Bir yakıt ne kadar kolay buhar haline gelebilirse, hava ile yanıcı bir karışım oluşturması da o derece kolay olur. Yakıtın bu kolay yanabilme özelliği, parlama noktası ile tespit edilir. Yanıcı bir cismin parlama noktası, bu cismin hava ile yanıcı karışım meydana getiren bir buhar çıkardığı en düşük sıcaklık derecesine denir. Parlama noktası direk olarak motor performansıyla ilişkili olan bir yakıt özelliği değildir. Daha çok yakıtın emniyetli olarak kullanımı ve depolama özelliğini belirlemek için ölçülür. Dizel yakıtının alevlenme sıcaklığı ASTM-93 'e göre 55 °C'nin altında olmamalıdır [27].

2.2.8. Setan Sayısı

Dizel motorlarda yakıtın kendi kendine tutuşabilme kabiliyetini gösteren ölçüye setan sayısı denir. Dizel yakıtının en önemli özelliklerinden birisidir. Setan sayısının artması dizel motorda yanma prosesinin en önemli kısmını oluşturan tutuşma gecikmesi süresini kısaltmakta ve dolayısıyla ani yanma öncesi yanma odası içerisinde biriken yakıt miktarı azalmaktadır. Bu ise ani yanma safhasında basınç artış hızının azalmasına neden olmaktadır.

Setan sayısı yukarıda anlatılan yöntemle belirlenmesi zor ve pahalı olduğu için dizel yakıtının tutuşma özelliği dizel indeksi ile de tespit edilebilir. Bunun yanında kızıl ötesi yöntemlerle de yaklaşık olarak setan sayısı ve setan indisi çok kolay ve daha hızlı olarak ölçülebilmektedir [27].

2.2.9. Uçuculuk

Genel olarak sıvıların, sıvı durumdan gaz durumuna geçme sıcaklığına uçuculuk noktası denir. Dizel yakıtının uçuculuğu, damıtma sıcaklığının % 90'ı ile ifade edilir. Öyle ki; bir yakıt damıtma sıcaklığına kadar ısıtılırsa miktarının % 90'ı buhar haline geçebilmelidir. Uçuculuk kabiliyeti yüksek yakıtlar özellikle küçük dizel motorlarında yakıt tüketimini ve dumanı azaltır. Emisyon değerini düşürür. Dizel yakıtların uçuculuk özellikleri standart bir aparatta kontrollü ısıtma ile yakıttan alınan numuneden arka arkaya parçaların arıtıldığı sıcaklık cinsinden ifade edilir. En çok kullanılan metotlardan biri ASTM D86'dır. Yakıtın damıtma ya da kaynama aralığı kimyasal bileşimine bağlıdır ve bu nedenle viskozite, parlama noktası, kendiliğinden tutuşma sıcaklığı, setan sayısı ve yoğunluk gibi yakıt özelliklerini de etkilemektedir [29].

2.2.10. Su ve Tortu Miktarı

Yakıt içindeki su ve tortu, yakıt pompası ve enjektörlerde aşınma ve paslanmaya yol açar. Normalden fazla su, yakıtın yanmasını kötü yönde etkiler. Tortu ise filtrelerin tıkanmasına, enjeksiyon sisteminde birikerek tortulaşmaya ve diğer motor arızalarına neden olabilir. EN 590 standartlarına göre dizel yakıtı için su ve tortu miktarı 200 mg/kg değerini aşmamalıdır [29].

2.2.11. Kül

Kül, küçük katı parçacıklardan ve yağ ya da yakıtın içerisinde bulunan suda çözülebilir metalik bileşiklerden oluşur. Kül miktarı, az bir yakıtın içerisindeki tüm yanıcı maddelerin tüketilip yanması ile ölçülür. Yanmayan artıklar kül olarak isimlendirilir ve yanmış yakıt örneğinin ağırlığının yüzdesi olarak belirlenir. Kül özellikle dizel yakıtı için zararlıdır. Enjeksiyon sistemindeki kapalı rekor parçalarının aşınmasını hızlandırır ve yakıt filtresi ile püskürtme deliklerinin tıkanmasına neden olabilir. EN 590 standardının dizel yakıtı için verdiği kül miktarı kütleye % 0.01'dir [29].

2.2.12. Kükürt

Ham petrolün içerisinde kükürt bileşikleri bulunur. Ham petrolün içerisindeki kükürdün çoğu damıtma sırasında arıtılır. Yakıt ve yağlarda, karbon ve hidrojenden sonra en önemli eleman kükürttür. Kükürt yakıtın içerisinde istenmeyen bir maddedir. Yanma sonucunda oluşan su ile reaksiyona girerek H_2SO_4 (sülfürik asit) oluşturur. Bu da motor parçalarını kimyasal olarak aşındırır, silindir cidarı ile segmanların mekanik aşınmasını hızlandırır. EN 590 standartlarına göre dizel yakıtı içerisinde bulunana kükürt miktarı 50 mg/kg aşmamalıdır [31].

2.2.13. Bakır Şerit Korozyon

Yakıtın bakır veya bakır içeren malzemeler üzerinde bıraktığı aşındırma etkisinin bir göstergesidir. Esas olarak yakıt içerisindeki asit miktarını ifade etmektedir. ASTM D 130'e göre yakıtın korozyon etkisini belirlemek için parlatılmış bakır şerit 3 saat süreyle 50 °C sıcaklıktaki yakıt içerisinde bekletilir. Daha sonra çözücü (solvent) ile yıkandıktan sonra yüzeydeki kararma ve korozyon miktarı karşılaştırma yöntemi ile belirlenir [31].

2.2.14. Karbon Kalıntısı

Yakıtın havasız bir ortamda ısıtılması sonucunda arta kalan karbon miktarına verilen isimdir. Karbon artığı, yakıtın eksik yanma şartları altında karbon-is oluşturma özelliğini belirtir. Yakıtın karbon artığı yüzdesi fazla ise, yanma sırasında tamamı yanmaya katılmaz ve is yapar. Bu da enjektör memelerinin karbon bağlamasına ve meme deliklerinin tıkanmasına neden olur [31] .

2.3. Biyodizel Yakıtı

Biyodizel, dizel motorlarda sorunsuz kullanılabilen en uygun alternatif yakıttır. Biyodizel yakıtının diğer alternatif yakıtlara kıyasla en avantajlı kılan özelliği, motor parçaları üzerinde herhangi bir ekleme veya değişiklik yapılmaksızın kullanılabilmesidir. Hidrojen, CNG, LPG vb. gibi alternatif yakıtların kullanıldığı motorlarda ek bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır[31].

Biyodizel yakıtı aşağıda ifade belirtilen avantajlara sahiptir [27].

- Biyodizel, kimyasal yapısı itibariyle, biyolojik olarak yenilenebilir ve doğada kolay bozunabilir bir yakıt türüdür.
- Biyodizel saf durumda suya karıştığında % 80 – 90 oranında bozunur ve bu bozunma süresi yaklaşık bir aydır.
- Biyodizel yakıtının kullanımı sera etkisi yapan gazların etkisini önlemektedir.
- Biyodizel % 11 oranında oksijen içerdiği için motordaki yanma verimi yüksektir.
- Petrol dizeline kıyasla biyodizelin setan sayısı yüksektir, biyodizel yakıtının bu özelliği motorlardaki vuruntuyu azaltmaktadır.
- Biyodizel iyi bir yağlayıcı özellikte olması nedeniyle motor parçaları üzerindeki aşınmayı minimuma indirir.
- Dizel motordaki biyodizel kullanımında, ticari yakıt istasyonlarında ve araç tamir servislerinde herhangi bir değişikliğe gerek duyulmamaktadır.
- Biyodizel yakıtlarında alevlenme noktası yüksektir. Bu özellik, depolama ve taşıma hususunda daha güvenli bir ortam oluşturmaktadır.
- Biyodizel, dizel yakıtı ile her oranda karıştırılabilmektedir. Bu özellik dizelin kalitesine olumlu katkı sağlamaktadır. Yanma sonucu oluşan emisyon değerlerindeki iyileşme ve motor parçaları üzerindeki yağlama özelliği bu duruma örnek olarak verilebilir.
- Bir ülkede biyodizel kullanımının (petrol ithalatının azalmasına, milli ekonomiye, yağlı tohum tarımının gelişmesine, doğal enerji kaynaklarının değerlendirilmesine, tarım sektöründeki iş imkânlarının artmasına ve sosyo-ekonomik yapısının iyileşmesi gibi) birçok maliyetsel faydası mevcuttur.

Biyodizel yakıtının yukarıda belirtilen avantajların yanı sıra aşağıda belirtilen dezavantajları da mevcuttur.

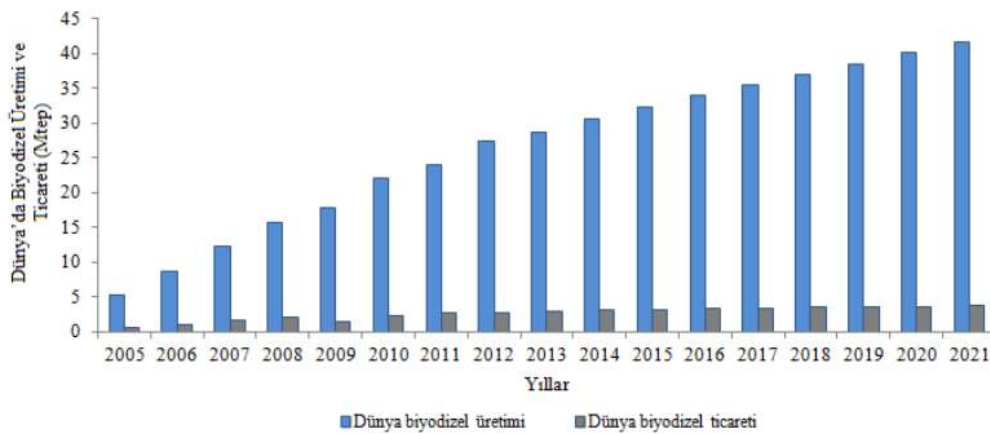
- Donma noktasının yüksek olması nedeniyle soğuk havalarda yakıt katkı maddesi gerektirmektedir.
- Biyodizel motorine göre daha düşük ısı değere sahiptir, bu durum yakıt sarfiyatını arttırmaktadır.
- Biyodizel ile piyasada satılan katkılı motorin karıştırıldığında motorin içinde bulunan tortular biyodizel tarafından çözülür. Çözünen bu tortular yakıt filtresinin

tıkanmasına neden olabilir. Dizel motorda daha öncesinde dizel yakıt kullanıldıysa kurum ve tortu oluşmuş olabilir. Oluşan bu kurum ve tortu tabakası biyodizel kullanımıyla çözünerek yakıt fitresini tıkayabilir veya enjektör deliğinin kesitini daraltabilir.

- Biyodizelin çözücü özelliğinden dolayı daha önceden dizel yakıtından kaynaklanan kurum ve tortuları çözerek yakıt filtresinin hatta enjektörlerin tıkanmasına sebep olabilir.
- Bazı araçların yakıt sistemleri biyodizel kullanımına uygun değildir. Yakıt sisteminin parçaları ve özellikle de yakıt pompasında sızdırmazlık için kullanılan contalar lastik veya nitrik yapıda ise değiştirilmesi gerekmektedir. Eğer motorda % 100 biyodizel kullanılacaksa sızdırmazlık için kullanılan bu malzemeler değiştirilmesinde yarar vardır. B20 ve altındaki bir oranda karışım kullanılıyorsa bu değişime gerek olmayabilir. Biyodizelden kaynaklı bir korozyon oluşuyorsa, önlemek için lastik contalar plastik contalarla değiştirilmelidir [27].

2.4. Dünyada Biyodizel Üretimi

2005 yılından önce ticari açıdan cazip olmayan biyodizel üretimi, 2005 yılından sonra ülke yönetimlerinin teşvik ve vergi muafiyeti uygulamalarıyla ciddi bir yükselişe geçmiştir. AB ülkelerindeki özel sektör temsilcileri başta olmak üzere, birçok ülkede bu sektöre yatırımlar yapılarak sektör genişletilmiştir [28]. Bu durum Şekil 2.1’de gerçekleşen ve tahmin değerler olarak sunulmuştur.



Şekil 2.1. 2005–2021 yılları arasında Dünyada biyodizel üretimi ve ticareti [28].

AB ülkeleri yılda yaklaşık 14 milyon ton biyodizel üretmektedir. Bu üretimin büyük bir bölümü Almanya’da gerçekleştirilmektedir. Almanya, 2010 yılındaki 2 milyon ton/yıl biyodizel üretme hedefini yakalamıştır. Okul servisleri, belediye araç filoları, iş makineleri, tarım makineleri ve askeri araçlarda öncelikli olarak biyodizel kullanılmaktadır. İngiltere’de her yıl 100,000 ton bitkisel ve hayvansal atık yağ toplanmakta ve biyodizel üretiminde kullanılmaktadır. Bitkisel ve hayvansal atık yağların toplanması, taşınması ve değerlendirilmesi İngiltere’de yeni iş alanları oluşturmıştır. Belçika’da kişi başına toplanabilir atık yağ miktarı yılda 13 kg’dır. ABD’de ise toplanabilir atık yağ miktarı kişi başına yılda 7 kg’dır. Kanada hükümeti 2010 yılına kadar yılda 500 milyon litre biyodizel üretmeye karar vermiş ve hedefini tutturmuştur [28].

2.4.1. Dünya Ülkelerinde Biyodizel Mevzuatları

Arjantin: Biyoyakıt yasası, ticari katılımcıların ve hükümet yetkililerinin katılımı ile kongrede görüşülmüş. Bu yasaya göre; dizel motorlarda biyodizelin, benzinli motorlarda ise etanolün % 5 oranında kullanımının zorunlu olacağı maddeler karara bağlanmıştır. Mali teşvik uygulaması olarak; 15 yıl boyunca biyoyakıtlardan vergi alınmayacağı belirtilmiştir.

Avustralya: Biyoyakıt Aksiyon Planı isimli çalıştayda 2010 yılında biyoyakıt üretiminin 350 milyon litre olması hedeflenmiştir. Mali teşvik uygulamalarının neticesinde 350 milyon litre hedefine ulaşılmıştır.

Brezilya: 2008 yılından önce % 2 oranında biyodizel kullanımı isteğe bağlı iken 2008 yılında zorunlu olmuştur. 2013 yılı itibarıyla bu oranın % 5 olması kararlaştırılmıştır. Mali teşvik uygulaması devam etmektedir.

Avrupa: Avrupa’da Biyoyakıt uzmanlarının belirlediği doğrultuda, benzin ve dizel kullanımına 2005 yılında % 2 ve 2010 yılında ise % 5.75 oranında biyoyakıtlardan karıştırılması gerçekleştirilmiştir. Mali teşvik uygulamaları devam etmektedir. AB üyesi ülkelerde ÖTV muafiyeti mevcuttur.

Endonezya: Toplam yakıt tüketiminin 2010 yılında % 2’sinin, 2025 yılında % 5’inin biyoyakıtlardan karşılanması gerçekleştirilecektir. Mali teşvik uygulaması mevcut değildir.

Malezya: Malezya, “Ulusal Biyoyakıt Programı” çerçevesinde % 5 biyodizel kullanımını gerçekleştirmek için çalışmaktadır. Mali teşvik uygulaması mevcut değildir.

Kanada: Yenilenebilir Yakıtlar Standardı kapsamında 2010 yılında % 5 oranında biyoyakıt kullanılacağı yasalarla sabitlemiştir. Mali teşvik uygulaması halen devam etmektedir.

Yeni Zelanda: Mali teşvik uygulaması olmamasına rağmen 2012 yılı için tasarladıkları 65 milyon litre biyoyakıt üretim hedefini tutturulmuştur.

Avusturya: Gümrük vergi muafiyeti kısmen uygulanmaktadır. Toplam biyoyakıt kullanımı; 1 Ocak 2005'den itibaren % 2.5, 1 Ocak 2007'den itibaren % 4.3, 1 Ocak 2008'den itibaren % 5.75 oranında mecburi kılınmıştır. Direktifle % 5.75 oranında biyoyakıt kullanımının 2010 yılına kadar uygulanması hedeflenmiştir.

Almanya: Gümrük vergi muafiyeti uygulanmaktadır. Biyoyakıtlar kullanımı zorunluluğu 2007'den itibaren yürürlüğe girmiş olup, % karışım oranları henüz kesinleşmemiştir.

İtalya: Gümrük vergi muafiyeti kısmen uygulanmaktadır. Kullanım zorunluluğu teklifi senatodan geçmiştir. Buna göre; 1 Ocak 2006 yılından itibaren, taşımacılıkta kullanılan yakıtlarda % 1 oranında biyoyakıt kullanımı mecburidir. Bu mecburi kullanım oranı, her yıl % 1 oranında arttırılarak 2010 yılına kadar uygulanacaktır.

Hollanda: Gümrük vergi muafiyeti kısmen uygulanmaktadır. 1 Ocak 2007'den itibaren % 2 oranında biyoyakıt karışımı mecburi, 2010 yılında, AB direktifinde yer alan % 5.75 oranındaki biyoyakıt kullanım oranına ulaşılması hedeflenmiştir.

İspanya: Gümrük vergi muafiyeti uygulanmaktadır. Biyoyakıt kullanım zorunluluğu yoktur. 2010 yılında taşımacılıkta kullanılan toplam yakıtın % 5.85'inin biyodizel ve biyoetanoldan karşılanması hedeflenmiştir. Bunu takip eden beş yıl içerisinde de biyodizel ve biyoetanol üreticilerine 2.85 milyar € vergi indirimi yapılarak destek sağlanması hedeflenmiştir.

İsveç: Gümrük vergi muafiyeti uygulanmaktadır. 1 Ocak 2009 yılında biyoyakıt kullanımı zorunlu hale gelmiştir. 2009 yılında “yeşil sertifika” uygulamasına geçilmesi üzerinde çalışılmaktadır. Yeşil sertifika uygulamasına istinaden gümrük muafiyeti tekrar düzenlenecektir.

Fransa: Gümrük vergi muafiyeti kısmen uygulanmaktadır. Genel olarak çevreyi kirletme oranına göre yakıtlar vergilendirilmektedir. Dağıtıcılara, tüm benzin ve dizel kullanımı içinde;

2005 yılında % 1.2, 2006 yılında % 1.75, 2007 yılında % 3.5, 2008 yılında % 5.57, 2009 yılında % 6.25, 2010 yılında da % 7 oranında biyoyakıt karıştırma zorunluluğu getirilmiştir

İngiltere: Gümrük vergi muafiyeti kısmen uygulanmaktadır. Taşımacılıkta biyoyakıt kullanımı, 2008 yılından itibaren zorunlu olmuştur. 2008 yılında taşımacılıkta kullanılan yakıtın % 2.5' i, 2009 yılında % 3.75'i, 2010 yılında % 5'inin biyoyakıtlar dan karşılanması

zorunlu olacaktır. Bu uygulamalar yürütülürken gümrük vergi muafiyeti de mutlaka uygulanacaktır [27].

2.4.2. Ülkemizde Biyodizel

Biyodizel, Türkiye’de mevcut olanaklarla uygulamaya alınabilecek en önemli alternatif yakıt seçeneklerinden biri olarak gösterilebilir. Biyodizeli üretmek ve kullanmak için Türkiye yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Türkiye’de kolza (kanola), ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinin enerji amaçlı tarımı mümkündür. Bu durum, tarım sektörüne ciddi bir hareket kazandırabilir. Kışı ılıman geçen bölgelerimizde kanola ikinci ürün olarak da ekilebilir. Tarımı sorunsuz ve maliyeti buğday ve ayçiçeğinden az olan kanola, Türk çiftçisi için önemli bir kurtarıcı olacağı düşünülmektedir. GAP Bölgesi’nde 10 Milyon Dekar alanda sulu tarım olanağı vardır; bölgede pamuğun yanı sıra dönüşümlü olarak kanola ve/veya soya ekimi olumlu olacaktır. Çok genel bir hesaplama ile GAP Bölgesi’nde kanola ve/veya soya ekimi ve biyodizel üretimi ile yılda 1,5 milyon ton biyodizel üretilbileceği söylenebilir. Enerji amaçlı tarımın, Türkiye tarım politikası içinde yer alması, çiftçinin yönlendirilmesi yararlı olacaktır. Türkiye biyodizel üretimini gerçekleştirebilecek teknolojiye ve yakıtın kullanımına kolaylıkla uyum sağlayabilir. Çeşitli kapasitelerde biyodizel üretim tesisleri öncelikle kırsal kesimde konuşlandırılarak, tarım makinelerinin, kamyonların yakıtı kullanımı özendirilebilir. Ayrıca çevre kirliliğinin yoğun olduğu büyük şehirlerde toplu taşımacılıkta biyodizel kullanımı yararlı olacaktır. Biyodizelin ilgili bakanlıklarca ve devlet kurumlarınca tanımlanması, mevzuatının oluşturulması, yatırım teşvikleri ve vergi indirimleri ile desteklenmesi gereklidir. Konunun başarılı uygulamasının olduğu ülkelerde, devlet- petrol firmaları- biyodizel üreticileri ve tüketicileri koordinasyonu düzgün ilerlemektedir. Biyodizel devletimizce, yenilenebilir enerji olarak tanınmalı ve desteklenmelidir [29,30].

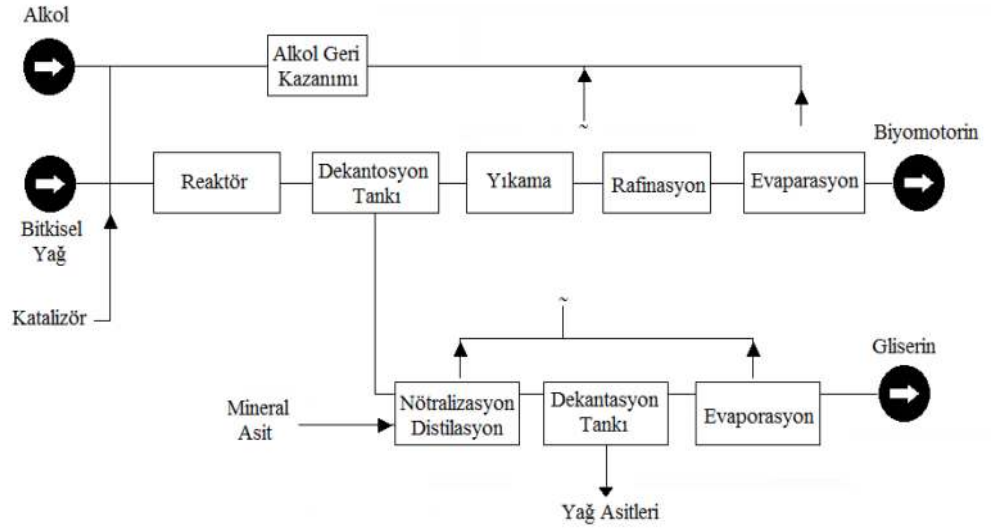
2.5. Biyodizel Üretim Yöntemleri

Farklı bitkisel yağların dizel motorlarda sorunsuz bir şekilde yakıt olarak kullanılabilmesi için bazı ön işlemlere tabi tutulması gerekmektedir. Bu işlemler tercih edilme sırasına göre transesterifikasyon, seyreltme, mikro emülsiyon ve proliz olarak sıralanılabilir.

Yüksek viskoziteli yağların uygun bir seyrelticiyle viskozitelerini düşürme yöntemine seyreltme denir. Genellikle seyreltme işleminde motorin kullanılır. Mikro emülsiyon oluşturma, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfi filinin bir araya getirilmesidir. Proliz veya craking, kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması işlemidir. Bu yöntemde reaksiyon işlemi kapalı bir kapta gerçekleştirilerek ısı parçalanma ile bağları kırılmaktadır. Transesterifikasyon ise, yağların (trigliseridlerin) viskozitesini azaltmak amacıyla uygulanan bir reaksiyondur. Bu işlemde yağ, monohidrik bir alkol türü ile (metanol, etanol, izopropil), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında reaksiyona tabi tutulur. Bu reaksiyon sonucunda yağ asitleri elde edilir. Yukarıda açıklanan yöntemler arasında en rağbet gören işlem transesterifikasyondur.

2.6. Biyodizelin Transesterifikasyon Reaksiyonu ile Üretim Aşamaları

Biyodizel kullanımının çevreci bir yakıt olması ve milli ekonomiye katkısının beklenen düzeyde gerçekleşebilmesi, ancak uluslar arası standartlarda uygun bir üretim ile sağlanabilir. Üretim sürecindeki yetersizlikler hammadde ve ürün kayıplarına yol açmasının yanı sıra, üretimde kesilmelere neden olarak verimliliği düşürecek ve ürünün kalitesini bozacaktır. Düşük kalitedeki ürün kullanım zorluklarına ve kullanıldığı motorların doğrudan zarar görmesine neden olacaktır. Biyodizel üretiminin çeşitli metotları olmakla birlikte günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntem transesterifikasyon yöntemidir. Biyodizel üretiminde aşağıdaki işlem basamakları takip edilmektedir. Ayrıca; biyodizel üretim süreci şematik olarak Şekil 2.2' de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Biyodizel üretim şeması [31].

2.6.1. Alkol ve Katalizörün Karıştırılması

Katalizör olarak genellikle sodyum hidroksit veya potasyum hidroksit kullanılır. Katalizör, bir karıştırıcı kullanılarak alkol içerisinde çözülene kadar karıştırılır. Reaksiyonda kullanılması planlanan katalizörün ve alkolün türü kullanım miktarını değiştirmektedir.

2.6.2. Reaksiyon

Alkol/katalizör karışımı kapalı reaksiyon kabın içerisine doldurulur ve yağ ilave edilir. Daha sonra alkol kaybını önlemek amacıyla sistem tamamen atmosfere kapatılır. Reaksiyon karışımı, reaksiyonu hızlandırmak amacıyla belli bir sıcaklıkta tutulur ve reaksiyon gerçekleşir. Önerilen reaksiyon süresi 1 ile 8 saat arasında değişmekte olup bazı sistemler reaksiyonun oda sıcaklığında olmasını gerektirir. Bitkisel yağların kendi esterlerine tamamen dönüşmesi için normalden daha fazla alkol kullanılır. Beslemedeki bitkisel yağların içerisindeki su ve serbest yağ asitlerinin miktarının izlenmesi konusunda dikkatli olunmalıdır. Serbest yağ asidi veya su seviyesinin yüksek olması sabun oluşumu ve gliserinin ayrılmasına neden olabilir.

2.6.3. Ayırma

Reaksiyon tamamlandıktan sonra iki ana üründen biri gliserin diğeri de biyodizeldir. Her biri reaksiyonda kullanılan miktardan arta kalan önemli miktarda metanol içerir. Gerek görülürse bazen reaksiyon karışımı bu basamakta nötralize edilir. Gliserin fazının yoğunluğu, biyodizel fazınınkinden çok daha fazla olduğundan bu iki faz gravite ile ayrılabilir ve gliserin fazı çöktürme kabının dibinden kolayca çekilebilir. Bazı durumlarda bu iki malzemeyi daha hızlı ayırmak amacıyla santrifüj kullanılır.

2.6.4. Alkolün Uzaklaştırılması

Gliserin ve biyodizel fazları ayrıldıktan sonra her bir fazdaki fazla alkol bir flaş buharlaştırma veya distilasyon prosesi ile uzaklaştırılarak reaksiyon karışımı nötralize edilir. Her iki durumda da alkol distilasyon kolonu kullanılarak geri kazanılır. Geri kazanılan alkol içerisinde su bulunmamalıdır.

2.6.5. Gliserin Nötralizasyonu

Gliserin yan ürünü, kullanılmamış katalizör ve bir asit ile nötralize edilmiş sabunlar içerir ve ham gliserin olarak depolanmak üzere depolama tankına gönderilir. Bazı durumlarda bu fazın geri kazanılması sırasında oluşan tuz gübre olarak kullanılmak üzere geri kazanılır. Pek çok durumda tuz gliserin içerisinde bırakılır. Su ve alkol ham gliserin olarak satışa hazır olan % 80–88 saflıkta gliserin elde etmek amacıyla uzaklaştırılır. Daha ayrıntılı işlemlerde gliserin % 99 veya daha yüksek saflığa kadar distillenerek kozmetik ve ilaç sektörüne pazarlanır.

2.6.6. Metil Ester Yıkama İşlemi

Gliserinden ayrıldıktan sonra elde edilen biyodizel içindeki kalıntı katalizör ve Sabun artıklarının uzaklaştırılması amacıyla ılık suyla yavaşça yıkanır, suyu uzaklaştırılır ve Gerekli koşullarda depolanır. Bazı proseslerde bu basamak gereksizdir. Bu, açık amber-sarı renkte, petrol dizeline yakın viskoziteli bir sıvı veren üretim sürecinin sonudur. Bazı sistemlerde de biyodizel distillenerek uzaklaştırılması sağlanır.

2.7. Biyodizel Üretiminde Dikkat Edilecek Hususlar

- Metil alkol sağlık açısından çok zararlı bir madde olduğundan dikkatli kullanılmalıdır.
- Sodyum hidroksit çok bazik ve nem tutma özelliğine sahip olduğundan nemsiz ortamda depolanmalıdır. Dikkatli kullanılmazsa kalıcı hasarlara sebebiyet verebilir.
- Biyodizel üretiminde atık yağlar kullanıldığında; bu yağlar 20 °C’ de konsantre ve pıhtı halinde ise kimyasallar ilave edilmeden önce kullanılmış yağın ısıtılması gerekir.
- Üretimde kullanılacak kimyasal malzemeler sıcaklığa ve korozyona dayanıklı olmalıdır.

Sodyum metoksit (metil alkol+sodyum hidroksit) çözeltisi, çok toksin ve boyalara karşı çok koroziftir. Sodyum hidroksit, çinko, alüminyum veya teneke kaplarla reaksiyona girer. Dolayısıyla bu tür kaplar kesinlikle kullanılmamalıdır. Mümkünse çelik kaplar kullanılmalıdır [32].

2.8. Transesterifikasyon Reaksiyonuna Etki Eden Faktörler

Transesterifikasyon ile biyodizel üretiminde ürün verimi üzerinde reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi, alkol/yağ molar oranı, katalizör cinsi ve miktarı, alkol cinsi ve miktarı ile yağın içerisinde serbest yağ asidi ve suyun bulunması etkilidir. Bu değişkenlerin etkileri aşağıda açıklanmıştır.

2.8.1. Reaksiyon Sıcaklığının Etkisi

Reaksiyon oranı reaksiyon sıcaklığı tarafından güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Bununla birlikte yeterli zaman olursa oda sıcaklığında da reaksiyon tamamlanma noktasına kadar ilerleyebilir [33]. Reaksiyon sıcaklığının artması, özellikle süper kritik şartlar için ester dönüşüm verimi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir [34]. Transesterifikasyon reaksiyonunun, kullanılan alkol ve yağa bağlı olarak farklı sıcaklıklarda gerçekleşebileceğini ve genelde reaksiyon sıcaklığı alkolün kaynama noktasına yakın bir sıcaklıkta tutulması gerektiğini belirtmişlerdir [35]. Yapılan başka bir çalışmada diğer

şartların aynı olduğu, 60, 45 ve 32 °C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta ester verimlerinin sırasıyla % 94, 87 ve 64 olduğu belirtilmiştir [36].

2.8.2. Alkol/Yağ Molar Oranının Etkisi

Yüksek molar oranlı reaksiyonlarda çok daha kısa sürede daha yüksek oranda ester dönüşümü gerçekleşmektedir [32]. Ester ürünlerini etkileyen en önemli parametrelerden birisi de alkol/yağ molar oranıdır. Stokiyometrik transesterifikasyon reaksiyonu 1 mol gliserid ile 3 mol alkol reaksiyona girerek 3 mol yağ asidi esteri ile 1 mol gliserin oluşturur [36-37]. Molar oranının kullanılan katalizör ile ilişkisi vardır. Asit katalizörlü bir reaksiyonda soya yağı/BuOH molar oranının 30:1 gerektiği durumda, alkali katalizör kullanıldığında sadece 6:1 molar oranda verilen reaksiyon zamanı için aynı ester verimi elde edilmiştir [36-48]. 1:3, 1:6 ve 1:10 olmak üzere üç farklı bitkisel yağ/alkol molar oranlarında ayçiçeği, mısırözü ve kolza yağı kullanarak biyodizel üretimini yaptıkları çalışmalarında 1:3 molar oranında ester veriminin düşük olduğunu 1:6 molar oranında verimin arttığını ve 1:10 molar oranında ise daha yüksek verimin elde edildiğini belirtmişlerdir [39]. Demirbaş yaptığı çalışmada alkol/yağ molar oranının artmasıyla alkil ester veriminde artış olduğunu belirtmiştir [40]. Felizardo ve ark., reaksiyondaki metanol miktarındaki artış ile metil ester fazının ayrışmasının kolaylaştığını bununla beraber viskozitenin azaldığı ve metil ester fazı saflığının % 98'in üzerine arttığını belirtmişlerdir [41].

2.8.3. Katalizör Cinsi ve Miktarının Etkisi

Biyodizel üretiminde alkali katalizör, asidik katalizör veya enzimler kullanılmaktadır. Genellikle asit katalizör olarak sülfürik, organik sülfonik, fosforik, hidroklorik asitler; alkali katalizör olarak da NaOH, KOH, karbonatlar ve sodyum metoksit, sodyum etoksit, sodyum proksit gibi alkoksitler kullanılır. Lipazlar da biyokatalizör olarak kullanılabilirler [39]. Eğer yağın içeriğinde serbest yağ asidi yoksa alkali katalizörlü transesterifikasyon, asit katalizörlü reaksiyondan daha etkilidir. Fakat bitkisel yağ yüksek oranda serbest yağ asidi veya su içeriyorsa asit katalizörlü reaksiyon kaçınılmazdır [37].

2.8.4. Serbest Yağ Asitleri ve Suyun Etkisi

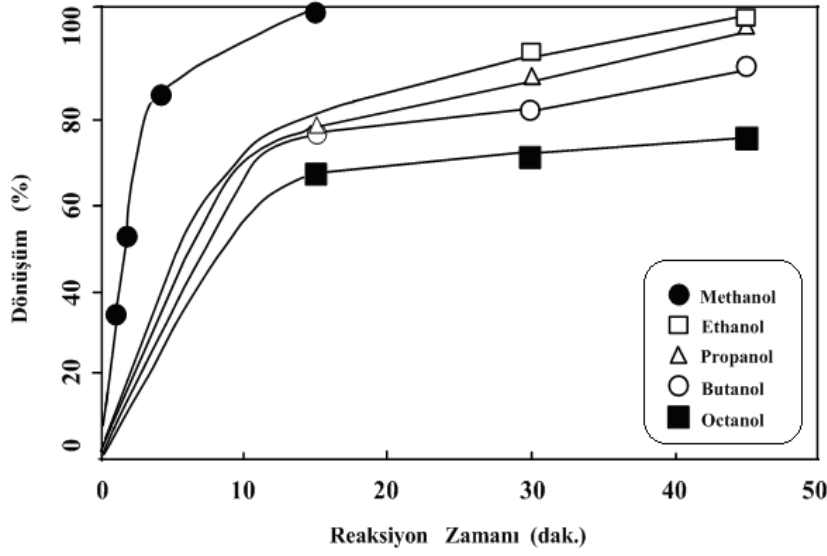
Biyodizel üretimi için normal şartlarda sadece alkali katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu yeterli olmaktadır. Fakat biyodizel üretimi için kullanılacak yağın içeriğinde serbest yağ asidi ve su varsa bu istisnai bir durum olarak değerlendirilir. Serbest yağ asidi ve su; sabunlaşmaya, katalizörün tükenmesi ve katalizör etkinliğinin azalmasına sebep olur. Transesterifikasyon reaksiyonunun gerçekleştirilebilmesi için serbest yağ asidi oranının düşürüleceği ön işlemlerin uygulanması gerekir. Yağın içerisindeki serbest yağ asitlerinin, alkali katalizör kullanıldığında, sabunlaşmaya sebep olduğunu ve bunun da biyodizelin gliserinden ayrılmasını önlediğini belirtmişlerdir [42].

2.8.5. Reaksiyon Süresinin Etkisi

Yağın alkolle reaksiyona girme süresi, alkolün cinsine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Şekil 2.3’de farklı alkol tipleri ile gerçekleştirilen reaksiyonlarda ilk on dakika içerisinde reaksiyonun çok yavaş olduğu görülmektedir. Ayrıca özellikle metil alkolün kullanıldığı reaksiyonun on beşinci dakikalarında maksimum dönüşümün sağlandığı görülmektedir [35].

2.8.6. Alkol Cinsi ve Miktarının Etkisi

Transesterifikasyon reaksiyonunda metanol, etanol, propanol ve bütanol gibi kısa zincirli alkoller kullanılır. Bu alkoller arasında reaksiyon sonu ürünlerde verimsel açıdan bazı farklılıklar vardır. Farklı tip alkol kullanıldığında reaksiyon bitiş zamanına bağlı olarak ester dönüşümü de etkilenmektedir. Bu durumun görsel ifadesi Şekil 2.3’de sunulmuştur [35].



Şekil 2.3. Farklı tip alkol kullanımının reaksiyon zamanına bağlı olarak ester dönüşümü üzerindeki etkisi

2.9. Biyodizelin Özellikleri

Tablo 2.2.'de biyodizel yakıtının ASTM D 6751-02'ye göre sağlaması gereken özellikleri verilmiştir. Biyodizel yakıtlarının viskozite ve yoğunlukları hammadde ve yapılan işlemlere bağlı olarak değişmekle birlikte dizel yakıtından biraz daha yüksektir. Isıl değerleri ise içerisinde oksijen bulundurdukları için yaklaşık % 10 daha azdır. Setan sayıları hammadde olarak kullanılan yağın kompozisyonuna bağlı olarak değişebilmektedir. Biyodizel yakıtları içinde esterleştirme işlemi esnasında kullanılan katalizörlerden gelen ve uzaklaştırılamayan artık metallerin miktarı yakıtın kül miktarını artırır. Yakıt içinde bulunan çözünebilen metaller tortuya neden olurlar ve bu tortular iç parçaları aşındırarak zarar verir.

Tablo 2.2. TS EN 14214 otomotiv yakıtlar-yağ asiti metil esteri

Özellik	Birim	Sınırlar		Ölçüm metodu / Standart
		En az	En çok	
Ester Muhtevası	% (m/m)	96.5	-	EN 14103
Yoğunluk 15 °C	kg/m ³	860	900	EN ISO3675 EN ISO 12185
Viskozite 40 °C	mm ² /s	3.50	5	EN ISO 3104
Parlama Noktası	°C	120	-	EN ISO 3679
Kükürt Muhtevası	mg/kg	-	10	EN ISO20846 EN ISO 20884
Karbon Kalıntısı	% (m/m)	-	0.3	EN ISO 10370
Setan Sayısı	-	51.0	-	EN ISO 5165
Sülfatlanmış Kül Muhtevası	% (m/m)	-	0.02	ISO 3987
Su Muhtevası	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Toplam Kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır Şerit Korozyonu (50 °C 3 saat)	°C	Sınıf 1	Sınıf 1	EN ISO 2160
Oksidasyon Karalılığı (110°C)	H	6.0	-	EN 14112
Asit Sayısı	mg KOH/g	-	0.5	EN 14104
İyot sayısı	g I/100 g	-	120	EN 14111
Linolenik Asit Metil Esteri	% (m/m)	-	12	EN 14103
Metanol Muhtevası	% (m/m)	-	0.2	EN 14110
Monogliserit Muhtevası	% (m/m)	-	0.8	EN 14105
Digliserit Muhtevası	% (m/m)	-	0.2	EN 14105
Trigliserit Muhtevası	% (m/m)	-	0.2	EN 14105
Serbest Gliserol	% (m/m)	-	0.02	EN14105 EN 14106
Toplam Gliserol	% (m/m)	-	0.25	EN 14105
Grup I Metaller (Na + K)	mg/kg	-	5	EN14108 EN 14109
Grup II Metaller (Ca + Mg)	mg/kg	-	5	EN 14538
Fosfor Muhtevası	mg/kg	-	10	EN 14107

Biyodizel hammaddeleri genel olarak çok düşük miktarda kükürt içerirler ancak biyodizel üretim prosesi esnasında proteinler, katalizör ve/veya nötralizasyon materyalleri kükürt oluşumuna neden olabilir. Biyodizel yakıtlarda bulutlanma noktası dizel yakıtına göre daha yüksek olmakta ve bu da soğukta çalışma özelliklerini kötüleştirmektedir. Bulutlanma noktası esterleştirme kompozisyonu içerisindeki doymuş yağ asidi miktarı ile anlaşılabilir. Doymuş yağ asidi miktarı yüksek olan hammaddelerden üretilen biyodizellerin bulutlanma noktası da yüksek olmaktadır. Bu sebepten dolayı bulutlanma noktasının düşürülmesi için yakıt içine özel katkı maddeleri karıştırılmalı veya biyodizel üretimi esnasında kullanılacak yüksek doymuş yağ asitliğine sahip yağlar düşük yağ

asitliğine sahip yağlarla karıştırılmalıdır. Biyodizel üretiminde yıkama sonunda suyun tamamen uzaklaştırılması ve filtrelenmesi de önemli bir noktadır [43].

2.9.1. Soğukta Akış Özellikleri

Biyodizel ve biyodizel-motorin karışımları, motorinden daha yüksek akma ve bulanma noktasına sahiptir; bu durum yakıtların soğukta kullanımında sorun çıkarır. Akma ve bulanma noktaları uygun katkı maddeleri (anti-jel maddeleri) kullanımı ile düşürülebilmektedir. Biyodizel-motorin karışımları 4 °C üzerinde harmanlama ile hazırlanmalıdır. Soğukta harmanlamada biyodizelin motorin üzerine eklenmesi, sıcakta harmanlama da ise karışımda daha fazla olan kısmın az kısım üzerine eklenmesi önerilmektedir. Eğer harmanda soğumaya bağlı olarak kristal yapılar oluşursa, harmanın tekrar normal görünümünü kazanması için bulutlanma noktası üzerine ısıtılması ve karıştırılması gerekmektedir [29].

2.9.2. Toksin Etki

Biyodizelin insan vücudu üzerinde negatif bir toksin etkisi bulunmamaktadır. Biyodizelde toksin bir etki olmamasına, rağmen standart dizel yakıtta olduğu gibi havalandırma sistemi, koruyucu tedbirler alınması gerekmektedir. Ağızdan alınmada öldürücü doz 17.4 g/kg biyomotorin vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1.75 g tuz/kg vücut ağırlığı olup, tuz biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri biyodizelin ciltte % 4'lük sabun çözeltisinden daha az toksin etkisi olduğunu göstermiştir [29].

2.9.3. Biyolojik Olarak Bozunabilirlik

Biyodizelin kimyasal bağ yapısı oluşturan karbon atomu (C₁₆-C₁₈) hızlı ve kolay bir şekilde doğada parçalanarak çözülür. Biyodizel suya bırakıldığında bir ayda % 95 oranında, standart dizel yakıt ise % 40 oranında çözünür [29].

2.9.4. Depolama

Ticari faaliyet gösteren petrol istasyonlarının yapmış olduğu depolama yöntemi, biyodizel için de geçerlidir. Biyodizelin depolandığı tank direkt güneş ışığına maruz kalmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca aşırı sıcak bir ortamda olmamalı, temiz ve nemden uzak tutulmalıdır. Yakıt tankının malzeme yapısı paslanmaz çelik, yumuşak çelik veya florlanmış yapıda olmalıdır. Tank malzemesinde plastik, mika, kauçuk vb. malzemeler kullanılmamalıdır. Çünkü biyodizel bu malzemelerle kimyasal reaksiyona girerek özelliğini kaybeder. Depodaki boru bağlantı noktalarında keçe, conta türü sızdırmazlık elemanları kullanılması gerekirse, biyodizel ile uyumlu Viton B tipi elastomerik malzemelerin kullanımı önerilmektedir [29].

2.10. Mobil Güç Santralleri

Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren elektrik makineleridir. Yakıt olarak dizel kullanılır. Biyodizel de dizel yakıtı alternatif olarak kullanılabilir.

2.10.1. Ana Bileşenleri

Tahrik kaynağı dizel motor,
Elektrik makinesi alternatör,
Mekanik birleştirme elemanları,
Kumanda panosu,
Kuvvet panosu.

2.10.2. Güç Tespitine Etki Eden Faktörler

Alternatör verimi,
Alternatör çalışma ortam yükseklik güç düşümü,
Alternatör çalışma ortam ısısı güç düşümü,
Dizel motor çalışma ortam ısısı güç düşümü,
Dizel motor çalışma ortam yükseklik güç düşümü,
Dizel motor bir adımda yük alabilme oranı.

2.10.3. Mekanik Özellikleri

2.10.3.1. Konstrüksiyon

Tüm senkron alternatörler fırçasız ve döner alanlı makineler olarak dizaynı yapılmışlardır. Alternatörler sabit kutuplu ve daimi mıknatıslı ikaz makinesi, döner kutuplu ana makine, voltaj regülatörü olmak üzere üç ana elemandan oluşur.

Ana stator silisli çelik saçlardan imal edilmiş, desteklenerek çelik gövde içine çakılmıştır. Stator olukları ve ana rotor kutupları dalga formundaki distorsiyonları minimum seviyede tutacak şekilde tasarlanmış ve ana stator sargıları, dalga şeklini bozan harmonikleri engelleyecek şekilde kısa adım olarak konulmuştur.

İkaz statoru üç fazlı sargıdan oluşur. İkaz rotorunun çıkışına bağlı olarak üç fazlı köprü şeklindeki döner diyotları, oluşabilecek ani voltaj yükselmesinden korumak için yüksek gerilim tıkaçı mevcuttur.

Rotorlar çıkık kutuplu olarak imal edilmiş, paralel çalışma ve dengesiz yükler için ana rotora standart olarak damper kafesleri konulmuştur. Fan, ana rotor, ikaz rotoru, döner diyotlar mile kama ile sıkı geçme olarak takılmış, tüm rotor dinamik olarak balanslanmıştır.

2.10.3.2. Soğutma

Sargıların gerekli şekilde soğutulması için optimum hava akışını sağlayacak şekilde hava emişi sağlanmıştır. Uygun şekilde soğutma sargı ömrünü uzatır. Fan yüksek verim, düşük gürültü seviyesi ve minimum güç kaybı için uygun bir şekilde dizayn edilmiştir. Hava giriş ve çıkışları alternatörün düzenli şekilde soğutulmasını sağlayacak şekilde yerleştirilmiştir.

2.10.3.3. Dönüş Yönü

Senkron tip alternatörler hava emişini etkilemeyecek şekilde her iki yönde de dönebilirler. Çıkış terminalindeki U-V-W yerleşimi, alternatörün arka kapak tarafından bakıldığında saat yönü tersi, dönüş yönüne denk gelmektedir.

2.10.3.4. Aşırı Hız

Alternatör nominal hızın % 120' sinde 2 dakika çalışacak şekilde dizayn edilmiştir.

2.10.3.5. Rulmanlar ve Yağlama

Alternatörler yağlamaya ihtiyaç duymayan bilyeli rulmanlarla donatılmıştır. Rulmanlardaki gres miktarı otomatik olarak ayarlanır ve aşırı ısınmalar önlenir.

2.10.4. Elektriksel Özellikler

2.10.4.1. Alternatör

Ana makine üzerindeki yardımcı sargı, voltaj regülatörü üzerindeki kontrol elemanı üzerinden fırçasız ikaz makinesinin statorunu besler. İkaz rotorunda üretilen voltaj silikon diyotlu köprü tarafından doğrultularak ana makinenin rotoruna DC akım verir. Yük değişikliklerinde, voltaj regülatörü tarafından ikaz akımı otomatik olarak değiştirilerek, voltaj stabilizasyonu tam uygun şekilde sağlanır.

2.10.4.2. Voltaj ve Frekans

Uluslar arası standartlara uygun olarak alternatörler 695 V'a kadar imal edilirler. Standart uygulamamız 400 V ile 50 Hz' dir. Değişik voltaj ve frekans istenmesi durumunda özel olarak imal edilir.

2.10.4.3. Voltaj Regülatörü

Senkron alternatörün en önemli elemanlarındanıdır. Alternatörün dengesiz yüklendiği şartlarda, voltaj regülatörü üç fazı referans olarak gördüğü için voltaj asimetrikliği maksimum % 6' dır. Alternatöre monte edilmeden önce elektrik ve ısınma testleri yapılmaktadır. Voltaj ayarının uzaktan yapılabilmesi için potansiyometre bağlantı klemensleri konulmuştur.

2.10.4.4. Dinamik Voltaj Düşümü

Manyetik devre ve sargılar ani olan yük değişimlerinde minimum dinamik voltaj düşümü için dizayn edilmiştir. Ani yük değişimlerinde, alternatörün tekrar nominal voltaja erişmesi için geçen süre 0.2-0.4 saniyedir.

2.10.4.5. Aşırı Yükleme

Alternatörler, içten yanmalı makinelerin aşırı yüklenme kapasitelerine uygun olarak 6 saatlik çalışma periyotlarında % 110 yük ile bir saat çalışacak şekilde imal edilmiştir. Ayrıca % 150 yük ile iki dakikaya kadar çalışmaya uygundur.

2.10.5. Kontrol Çalışma Özellikleri

2.10.5.1. Manuel Olarak Kontrol

Mobil güç santrallerinin çalıştırılma ve durdurulma zamanları personel tarafından yapılır. Bu kontrol tipinde mutlaka dizel korumaları, düşük yağ basıncı, aşırı su soğutma sıcaklığı, aşırı devir ve alternatörde voltaj korumaları bulunması gerekmektedir. Ölçü elemanları olarak işletme zaman saati, yağ basınç göstergesi, su sıcaklık göstergesi, frekans metre, voltmetre, ampermetre ve akü gerilim voltmetreleri bulunmalıdır. Sistemin korunması için ise mutlaka uygun amperde termik manyetik şalterler kullanılmalıdır.

2.10.5.2. Otomatik Olarak Kontrol

Mobil güç santrallerinin çalışma ve durdurulma zaman seçenekleri otomatik kontrol ünitesi tarafından sağlanır. Sistemin korunması için ise mutlaka uygun amperde şebeke ve alternatör girişine kontaktörler ile termik manyetik şalterler kullanılmalıdır.

3. BİYODİZEL YAKITLARININ HAZIRLANMASI

Bu bölümde, biyodizel üretimi için kullanılan bitkisel yağlar ve bu yağlara özgü biyodizel üretim adımları ayrıntılı bir şekilde belirtilmiştir. Dizel yakıtı karıştırılan biyodizel oranları da sunulmuştur.

3.1. Çalışmada Kullanılan Yağlar ve Özellikleri

Bu çalışmada, kanola yağı, soya yağı ve atık ayçiçeği yağı olmak üzere toplam 3 farklı bitkisel yağdan biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu 3 yağın biyodizel yakıtına uygunluğu incelenmiş ve özellikleri çıkarılmıştır. Yağlar (kanola yağı, soya yağı ve atık ayçiçeği yağı) karşılaştırma amaçlı olarak da kullanılmıştır.

3.1.1. Kanola Yağı

Kanola yağı, kolza bitki tohumlarının genetik yollarla ıslah edilmesiyle elde edilmiş tohumlardan üretilen bir yağ çeşididir. Kanada tarafından geliştirilip tüm dünyaya tanıtıldığı için Canadian Oil, Low Acid olarak bilinmektedir. Uzun yıllar makinelerde özellikle de buharlı makinelerde yağlama amaçlı kullanılmış ve 1950 yıllarında market raflarında yer almaya başlamıştır.

Kanola yağının insanlar üzerindeki zararlı etkilerinden ziyade şu anda piyasada satılan kanola yağları, kolza bitkilerinin olumsuzluklarından arındırılmış olup kanola yağlarındaki erüik asit oranı % 40'tan % 0.1 oranlarına kadar düşürülmüştür ve bu kadar düşük bir oran da insan sağlığına olumsuz etki oluşturmamaktadır [44].

Kanola yağının bir diğer olumlu yönü ise doymuş yağ oranının düşük olmasıdır. Doymuş yağ oranı; zeytinyağında % 15, ayçiçek yağlarında % 12 iken bu oran kanola yağlarında % 7 civarındadır. Kanola yağındaki doymuş yağ oranındaki bu düşüklük ve içeriğinde omega-3 yağ asidi içermesi sağlığa önemli bir katkıdır [44].

Kanola yağı aynı zamanda tekli doymamış yağ oranının düşük olması sebebiyle de tercih ediliyor. Zeytinyağında tekli doymamış yağ oranı % 73 lerde iken bu oran kanola yağında % 63 tür. Tekli doymamış yağlar ise kandaki kötü kolesterolü (LDL) engelleyerek sağlıklı yaşam için büyük rol oynamaktadır [44].

Kanola yağının bir diğer tercih sebebi ise ayçiçeği yağına oranla ısıya karşı daha dayanıklı olmasıdır. Bu da kızartma yağı olarak tercih edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca kızartma sonrası yağda tat değişikliği de oluşmamaktadır. Kanola yağı, kolza bitkisinin genetiği değiştirilerek elde edilir. Kolza bitkisi Şekil 3.1’ de görülmektedir.



Şekil 3.1. Kolza bitkisi [44].

Kolza bitkisinin genetiği değiştirilerek oluşan kanoladan üretilen yağda Şekil 3.2’ de görülmektedir.



Şekil 3.2. Kanola yağı [44].

3.1.2. Soya yağı

Soya yağı, soya yağı leguminosae familyasından glycine maksimum türlerinin tohumlarından elde edilir.

Soya ziraatının yaygın olarak yapıldığı başlıca ülkeler Amerika, Brezilya, Arjantin, Çin ve Japonya' dır. Soya yağının ülkemizde ayçiçeği yağının liderliğinin sürdüğü sıvı yağ pazarı içindeki payı ise % 1'den daha düşüktür. Soya tohumunun kimyasal bileşiminin verildiği Tablo 3.1'de de görüldüğü gibi, protein içeriği (% 40) yüksek olan küspesi için ekimi yapılan soya tohumunda % 18-20 oranında yağ bulunmaktadır [45].

Tablo 3.1. Soya tohumunun bileşimi [45].

Bileşim	Oran (%)
Su	5-9.2
Yağ	18-20
Protein	30-40
Karbonhidratlar	18.8-31.3
Ham lifler	4.7-6.3
Kül	3.3-6.5
Lesitin	0.6-1.5

3.1.3. Atık Ayçiçeği Yağı

Bu çalışmada atık kızartma yağının biyodizel üretiminde kullanımının nedeni tamamen karşılaştırma amaçlıdır. Karşılaştırma için özellikle bu yağın seçilmesinin nedeni biyodizel üretiminde en çok kullanılıyor olması ve maliyet açısından en ucuz olmasıdır. Ayrıca bu metil esterleri katkı maddeleriyle destekleyip, fiziksel ve kimyasal yönden daha kaliteli bir yakıt haline getirmek atık yağların incelenmesinin nedenleri arasındadır. Ayrıca çevreye ve insan sağlığına verdiği zarar da düşünüldüğünde atık yağlar hususunda daha detaylı çalışmalar yapılması gerekliliği hassasiyetle değerlendirilmelidir.

3.2. Yağ Asit Kompozisyonu

Yağlı tohumlu bitkilerde; yetiştikleri coğrafyanın, iklimin, hava şartlarının, az ya da çok sulanmasının ve farklı yetiştirme özelliklerinin, yağın asit dağılımı üzerinde değişikliğe sebep olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, çalışmada kullanılan yağların, yağ asit kompozisyonlarının bilinmesi gerekmektedir. Yağ asit kompozisyonu, bir yağdan üretilecek yakıtın motordaki performansı ve emisyonu hakkında net bir sonuç üretmese de yağın bir yakıt olarak kullanılabilirliği hakkında ön bilgiler vermektedir.

Bir yağın doymuş yağ asitlerinden oluşması (C14:0, C16:0, C18:0) üretilcek olan biyodizel yakıtının setan sayısının yüksek değerde olacağına işaret eder. Ayrıca doymamış yağlara göre oksidasyona daha az yatkın olmasını sağlamaktadır [46]. Çalışmada kullanılan yağların asit içerikleri Tablo 3.2’de sunulmuştur [47]. Yağların asit oranları incelendiğinde oleik ve linoleik asit bakımından oldukça zengin bir kimyasal yapıda olduğu görülmektedir.

Tablo 3.2. Yağ asit kompozisyonu [47].

Yağ asiti türü	Karbon Bağı	Soya yağı (%)	Kanola yağı (%)	Atık ayçiçeği yağı (%)
Oleik asit	C18:1	26.3	20.71	49.45
Linoleik asit	C18:2	53.25	54.50	42.15
Palmitik asit	C16:0	10	7.65	5.40
Stearik asit	C18:0	3.35	2.94	2.73
Palmitoleik asit	C16:1	0.5	0.11	0.12
Margarik asit	-	-	-	-
Linolenik asit	C18:3	6.1	13.42	0.07
Miristik asit	C14:0	0.5	-	0.06
Ekosenoik asit	-	-	0.21	-
Araşidik asit	C20:0	-	0.12	-
Heptadesenenoik asit	-	-	-	-
Toplam (%)	-	100	100	100

Tüm yağlı tohumlu bitkilerden elde edilen yağlar ile biyodizel üretimi yapılabilmesine rağmen biyodizel üretimindeki kalite ve verimin sağlanması, yağların özellikleriyle yakından ilgilidir. Bu yağlarla biyodizel üretilirken üretim yöntemi değişebilmektedir. Çünkü kullanılması planlanan yağın içeriğinde su, serbest yağ asidi (SYA) veya her ikisi birden bulunabilir. Suyun yağ içerisinden uzaklaştırılması, yağ ve suyun kaynama noktalarının farklı olması nedeniyle oldukça kolaydır. Fakat SYA'nın durumu farklıdır. SYA oranı % 5'in üzerindeki yağlarda sadece transesterifikasyon yönteminin uygulanması yeterli olmamaktadır. Yağlar SYA oranlarına göre sarı yağ ve kahverengi yağ olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. SYA oranı % 5–15 aralığındaki yağlar sarı yağ, % 15 ten büyük yağlar ise kahverengi yağ olarak adlandırılmaktadır. Bu özellikteki yağlara sadece transesterifikasyon işlemi uygulandığında reaksiyonun gerçekleşmemesi muhtemel bir sonuçtur. Yüksek SYA'ne sahip yağlar, reaksiyon sırasında sabun oluşumuna neden olmakla beraber biyodizel fazı ile gliserin fazının ayrıştırılmasını olanaksız hale getirerek reaksiyonların olumsuz neticelenmesine sebebiyet vermektedir. Transesterifikasyon reaksiyonunun gerçekleştirilebilmesi için SYA oranının düşürüleceği ön işlemlerin uygulanması gerekir. Üretilen biyodizel yakıtlarının içeriğini tespit etmek amacıyla üretim prosesi oluşturulmadan önce serbest yağ asidi tayini yapılmalıdır [26,48].

Çalışmada kullanılacak olan yağların SYA oranları ölçülmüş ve sarı yağ statüsünde oldukları tespit edilmiştir. Diğer bir deyişle yağlardaki SYA oranları % 5 in altında olduğu için sadece transesterifikasyon yönteminin uygulanması biyodizel üretimi için yeterli olduğu görülmüştür.

3.3. Yağdaki Nemin Uzaklaştırılması

Reaksiyon işleminde kullanılacak olan yağların nemden arındırılmış olması oldukça önemlidir. Çünkü suyun, reaksiyonu olumsuz etkilemesinin yanı sıra yeni serbest yağ asitlerinin oluşumuna da sebebiyet vereceği bilinmektedir. Temin edilmiş olan yağlar, soğuk pres yöntemi ile elde edildiği için içeriğinde nem bulunma ihtimali yüksektir. Bu sebepten dolayı, transesterifikasyon işlemine başlamadan önce Şekil 3.3'deki Heidolph Brinkmann Evaporatör Advant H1 G1 115 036.000.150 / 97.043–364 cihazında vakum altında 72 °C sıcaklıkta, yağın içeriğindeki olası nem uzaklaştırılmıştır.



Şekil 3.3. Yağın ve biyodizelin içeriğindeki olası nemin uzaklaştırıldığı buharlaştırma işlemi

3.4. Metil Esterlerin Hazırlanması

Bu aşamada bitkisel yağların metil estere dönüştürüldüğü işlem basamakları her yağ için ayrı ayrı aşağıda sunulmuştur. Numuneler arasında üretim prosesinden kaynaklı farklılıklar oluşmaması için üretimin her aşamasında; alkol oranının, katalizör oranının, reaksiyon sıcaklığın, reaksiyon süresinin aynı olmasına özen gösterilmiştir.

3.4.1. Kanola Yağı Metil Esterinin Hazırlanması

1000 ml kanola yağı üç boyunlu bir balon içerisinde manyetik karıştırıcıda 500 RPM ve 60 °C de karıştırılmıştır. Bir diğer manyetik karıştırıcıda ise kullanılan yağın % 20'si kadar (200 ml) metanol içerisinde, yağın % 0,4'ü kadar (4 gr) sodyum hidroksit (NaOH) tuzu tamamen çözünene kadar karıştırılmıştır. NaOH tuzu metanol içerisinde tamamen çözüldükten sonra, 60 °C de sabit sıcaklıkta karıştırılmakta olan kanola yağına azar azar ilave edilmiştir. Şekil 3.4'deki gibi geri soğutuculu sistem altında 2 saat süreyle Transesterifikasyon reaksiyonu devam ettirilmiştir.



Şekil 3.4. Transesterifikasyon reaksiyonu

2 saatin sonunda, Şekil 3.5(a)'da görüldüğü gibi madde ayırma hunisine alınarak gliserin ve metil esterlerin faz ayrışmasını sağlamak için 24 saatlik bir bekleme süresine tabi tutulmuştur. Bekleme süresinin bitiminde yoğunluğu fazla olan gliserinin alt fazı oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ayırma hunisinin vanası açılarak alt faz yani gliserin fazı alınmıştır. Her ne kadar reaksiyon sonunda gliserin fazı ayrılmış olsa da; gliserin, tuz ve artık metanol metil ester fazında bulunmaktadır. Biyodizel içerisinde homojen olarak karışan bu maddeleri, metil ester içinden ayırtırmak için yıkama işlemine tabi tutmak gerekmektedir. Yıkama işlemi Şekil 3.5(b)'de verilmiştir. Gliserin, tuz ve metanol'ün ortak özelliği suda çözünüyor olmalarıdır. Yıkama işleminde bu maddeler suda çözünerek alt faza alınır. Bu sayede metil esterden ayrıştırılmış olur. Daha da saflaşan biyodizel son olarak buharlaştırma işlemine tabi tutularak içeriğindeki nem uzaklaştırılmıştır. Ürün son halini aldıktan sonra filtrelenerek depolanmıştır.



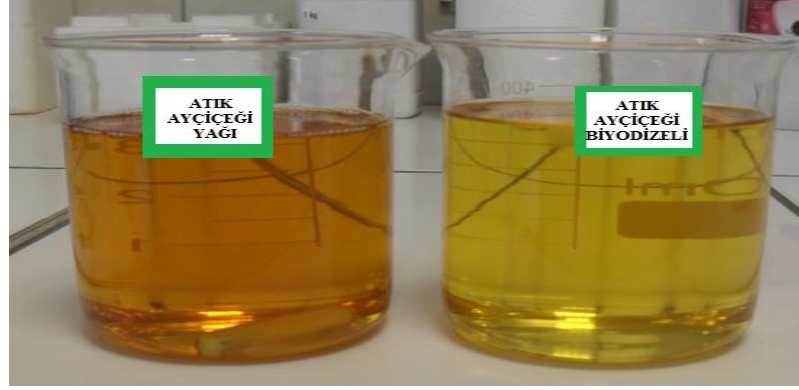
(a)

(b)

Şekil 3.5. Kanola yağı için; (a) faz ayrışması, (b) yıkama işlemi

3.4.2. Atık Ayçiçeği Yağı Metil Esterinin Hazırlanması

Kızartma işlemi esnasında kızgın yağ içerisinde ısı ve kütle transferiyle birlikte pişme ve kuruma gerçekleşmektedir. Yağdan gıdaya ısı aktarılmakta ve gıdadan su buharlaşmaktadır. Buharlaşan bu su pişirmek istenen gıdadan ayrılan sudur. Pişirme işleminin bitiminde suyun büyük kısmı buharlaşıyor olsa da bir kısmı yağ içerisinde kalmaktadır. Kızartma esnasında oluşan reaksiyonlar; hidroliz, oksidasyon ve polimerleşme olarak sınıflandırılmaktadır. Kızartma yağlarının atmosferik oksijen içerisinde özellikle yüksek sıcaklığa maruz kalmasından dolayı yapısında fiziksel ve kimyasal değişimler olmaktadır. Biyodizel üretimi için tedarik edilen atık kızartma yağları önce filtrelenerek içlerindeki katı parçacıklar uzaklaştırılmış, daha sonra buharlaştırılarak içlerinde bulunan su ayrıştırılmıştır. Serbest yağ asidi (SYA) oranı % 5'in altında olduğundan kanola için uygulanan transesterifikasyon reaksiyonu aynı şekilde bu yağ içinde uygulanmıştır.



Şekil 3.6. Atık ayçiçeği yağı ve elde edilen biyodizeli

3.4.3. Soya Yağı Metil Esterinin Hazırlanması

SYA oranı % 5'in altında olduğundan kanola için uygulanan transesterifikasyon reaksiyonu aynı şekilde bu yağ içinde uygulanmıştır.

3.5. Test Yakıtlarının Hazırlanması

Kimyasal çalışmanın neticesinde elde edilen biyodizel yakıtları, dizel yakıt ile dereceli beherde hacimsel olarak % 5, % 10 ve % 20 oranlarında karıştırılmak suretiyle numuneler hazırlanmıştır. Üretilen biyodizel yakıt numunelerinin son hali Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Üretim sonrası elde edilen biyodizeller

Tablo 3.3. Hazırlanan yakıt numunelerinin kısaltılmış isimleri ve içerik bilgileri

Yakıtın Kısa Adı	Test Yakıtlarının İçeriği
D	%100 Dizel yakıtı
%5 KYME + %95 D	%5 Kanola Yağı Metil Esteri + %95 Dizel Yakıtı
%10 KYME + %90 D	%10 Kanola Yağı Metil Esteri + %90 Dizel Yakıtı
%20 KYME + %80 D	%20 Kanola Yağı Metil Esteri + %80 Dizel Yakıtı
%5 SYME + %95 D	%5 Soya Yağı Metil Esteri + %95 Dizel Yakıtı
%10 SYME + %90 D	%10 Soya Yağı Metil Esteri + %90 Dizel Yakıtı
%20 SYME + %80 D	%20 Soya Yağı Metil Esteri + %80 Dizel Yakıtı
%5 AAYME + %95 D	%5 Atık Ayçiçeği Yağı Metil Esteri + %95 Dizel Yakıtı
%10 AAYME + %90 D	%10 Atık Ayçiçeği Yağı Metil Esteri + %90 Dizel Yakıtı
%20 AAYME + %80 D	%20 Atık Ayçiçeği Yağı Metil Esteri + %80 Dizel Yakıtı

3.6. Yakıt Özelliklerinin Kimyasal Analizleri

Yakıt analizlerinin bir kısmı Siirt üniversitesi Kimya Laboratuvarı'nda bir kısmı da İnönü Üniversitesi Petrol Analiz Laboratuvarında (PAL) gerçekleştirilmiştir. Her analiz üç kez tekrarlanmış olup, farklılığın $\pm$ % 3 civarında olduğu görülmüştür. Aşağıdaki tablolarda sunulmuş olan değerler üç değerın ortalaması hesaplanarak tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonuçları Tablo 3.4'de sunulmuştur.

Tablo 3.4. Dizel ve biyodizel yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Yakıt türü	Yoğunluk (gr/cm ³) (18 °C)	Viskozite (mm ² /sn) (18 °C)	Alevlenme noktası (°C)	Donma noktası (°C)	Setan sayısı (SS)	Alt Isıl Değer (kJ/kg)
Dizel Yakıtı	0.832	3.72	79.50	-25.0	53.10	42,700
%100 KYME	0.879	5.628	153.9	-9.5	56.8	39,650
%100 SYME	0.871	5.938	155.2	-10.2	54.2	39,445
%100 AAYME	0.886	5.885	159.8	-4	55.4	39,120

4. MOTOR TEST MATERYALLERİ VE METOTLAR

4.1. Deney Seti

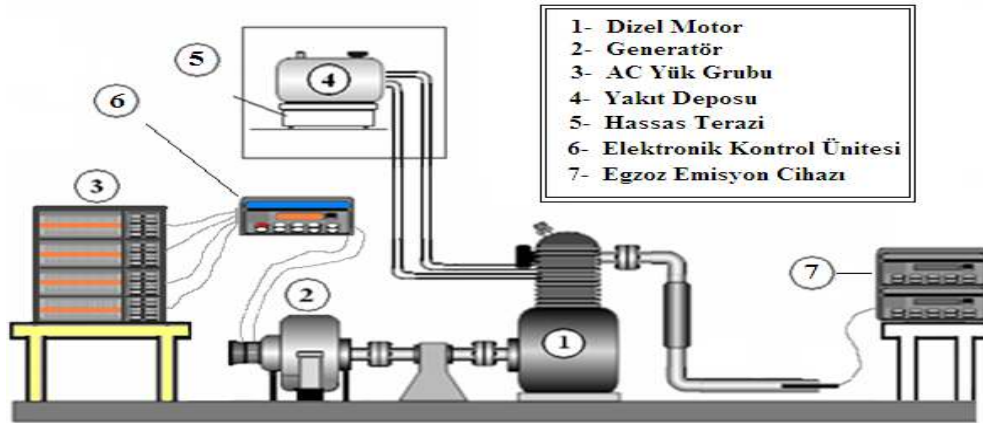
Deney seti, dizel motor, senkron jeneratör, hassas terazi, AC yük grubu, egzoz gazı analiz ve duman ölçüm cihazından oluşmaktadır.

Deneysel çalışma Genpower marka bir dizel jeneratörde gerçekleştirilmiştir. Çalışma esnasında motorda, jeneratörde veya herhangi bir aksamda modifikasyon yapılmamıştır. Aynı standart şartlarda yakıt numuneleri teste tabi tutulmuştur. Tablo 4.1’de dizel motorun teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri

MARKASI	INTER-IDE314NG
Püskürtme sistemi	Direkt püskürtmeli
Soğutma sistemi	Radyatör ile su soğutmalı
Silindir sayısı	3
Çap x Strok	80 x 90
Strok hacmi (lt)	1.4
Sıkıştırma oranı	18/1
Maksimum Güç (kW/HP)	13.5 / 18

Deney düzeneğinin şematik görüntüsü Şekil 4.1’de, test düzeneği Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü



Şekil 4.2. Deneylerin yapıldığı test düzeneği

Deneylerde motorun yüklenmesi için maksimum aktif gücü 10 kW olan senkron bir jeneratör kullanılmıştır. Tablo 4.2’de teknik özellikleri sunulmuştur. Kontrol cihazı yardımı ile jeneratöre, dolayısıyla motora, yük kademeli olarak (0–10 kW aralığında) istenilen değerde uygulanabilmektedir.

Tablo 4.2. Deneylerde kullanılan jeneratörün teknik özellikler

MARKASI	GENPOWER (GNT 13)
Tipi	Senkron-Fırçasız
Aktif Gücü	10 KW
Akım Dağılımı	L1 - L2 -L3
Gerilimi	231/400 V
Gerilim Toleransı	0.5
Dayanımı	2U+1000V Minimum 1800 Volt
İzolasyon Sınıfı	H

4.1.1. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Deneylerde egzoz gazlarının analizi için CAPELEC CAP 3200 gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz hacimsel olarak HC ve NOx'i ppm cinsinden CO, CO₂ ve O₂'yi % cinsinden tespit etmektedir. Şekil 4.3'de egzoz emisyon cihazı, Tablo 4.3'de de hassasiyet özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.3. Egzoz emisyon ölçüm cihazı

Tablo 4.3. Egzoz emisyon ölçüm cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyet değerleri

Parametre	Ölçme aralığı	Ayırıcılık
HC	0 – 20000 ppm	1 ppm
CO	0 – 15 %	0.001 %
CO ₂	0 – 20 %	0.1 %
O ₂	0 – 21.7 %	0.01 %
NO _x	0 – 5000 ppm	1 ppm

4.1.2. Duman Ölçüm Cihazı

Duman ölçümü için CAP 3200 D dizel duman ölçer kullanılmıştır. LCD grafik ekranlıdır. Bu cihaz egzoz gazlarındaki duman koyuluğunu hem (%) hem (m–1) cinsinden ölçebilmektedir. Cihazın ölçüm aralığı ve hassasiyeti Tablo 4.4’de deney düzeneğindeki konumu ise Şekil 4.4.’de verilmiştir.

Tablo 4.4. Duman ölçüm cihazı ölçüm aralığı ve hassasiyet değerleri

PARAMETRE	ÖLÇME ARALIĞI	AYIRICILIK
N	0 – 100 %	0.1 %
K	0.00 – 9.99 m ^{–1}	0.01 m ^{–1}



Şekil 4.4. Çalışmadaki duman ölçüm cihazının görüntüsü

4.1.3. Egzoz gazı sıcaklık ölçümü

Sıcaklık ölçümünde; 200 gr ağırlığında, -35, 360 °C aralığında ölçüm yapan, 1 °C hassasiyetinde kızılötesi bir termometre kullanılmıştır. Şekil 4.5’de egzoz gazı sıcaklık ölçümü için kullanılan cihazın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.5. Deneylerde kullanılan kızılötesi termometre

4.2. Yöntem

Deneylere başlamadan önce yağlama yağının değişimi, hava filtresinin temizlenmesi gibi bir takım rutin motor bakımları yapılmıştır. Motorun yakıt enjektörleri sökülerek kontrolleri yapılmıştır. Tüm yakıt testleri motorda herhangi bir modifikasyon yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Motor standart dizel yakıt ile bir süre yüksüz çalıştırılmış ve sonra motor optimum çalışma sıcaklığına geldikten sonra motora 2,5 kW (% 25) – 5 kW (% 50) – 7,5 kW (% 75) – 10 kW (% 100) değerlerde 4 ayrı kademede yük uygulanmıştır. Bu işlem üç defa tekrar edilmiş ve ölçülen değerlerin ortalaması hesaplanmıştır. Bir yakıt türü için ölçümler tamamlandıktan sonra motor durdurulup, bir süre beklendikten sonra diğer yakıt türü ile çalışmaya geçilmiştir. Deneysel çalışmada yukarıda belirtilen değişken yük değerlerinde özgül yakıt tüketimi (gr/kWh), HC (ppm), CO (%), CO₂ (%), O₂ (%), NO_x (ppm), egzoz çıkış sıcaklığı (°C) ve duman (is) değerleri ölçülmüştür.

5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde; biyodizel yakıtları hacimsel olarak % 5, % 10 ve % 20 oranında standart dizel yakıt ile karıştırılarak, sabit devir ve değişken yükteki performans ve emisyon değerleri incelenmiştir. Ölçülen ve hesaplanan değerler tablo ve grafik olarak verilmiştir.

5.1. KYME İçin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kanola yağından elde edilen biyodizeller (KYME), belli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak üç farklı yakıt numunesi elde edilmiştir. Elde edilen yeni yakıt numunelerinin ÖYT ve egzoz emisyon değerleri test edilmiştir. Test işleminin sonunda elde edilen değerler karşılaştırmalı bir şekilde aşağıda sunulmuştur.

5.1.1. KYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Özgül Yakıt Tüketimi Analizi

Özgül yakıt tüketimi, birim güç başına tüketilen kütleli yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışmada, sabit hızda, yük değişimine bağlı ÖYT ölçümü gerçekleştirilmiştir. Mobil güç santrallerinin standartları dikkate alınarak hazırlanmış bir dizel jeneratör, 1500 dev/dak.'lık sabit hızda, % 25, % 50, % 75 ve % 100 değişken yük şartlarında çalıştırılarak ÖYT değerleri ölçülmüştür. Motor devri, motor test düzeneğinde bulunan elektronik hız kontrol ünitesiyle sabit tutulmuştur. Elektronik hız kontrol ünitesi, motor devrini sabit tutmak için, yükün artışına bağlı olarak tüketilecek yakıtın miktarını otomatik olarak arttırmaktadır.

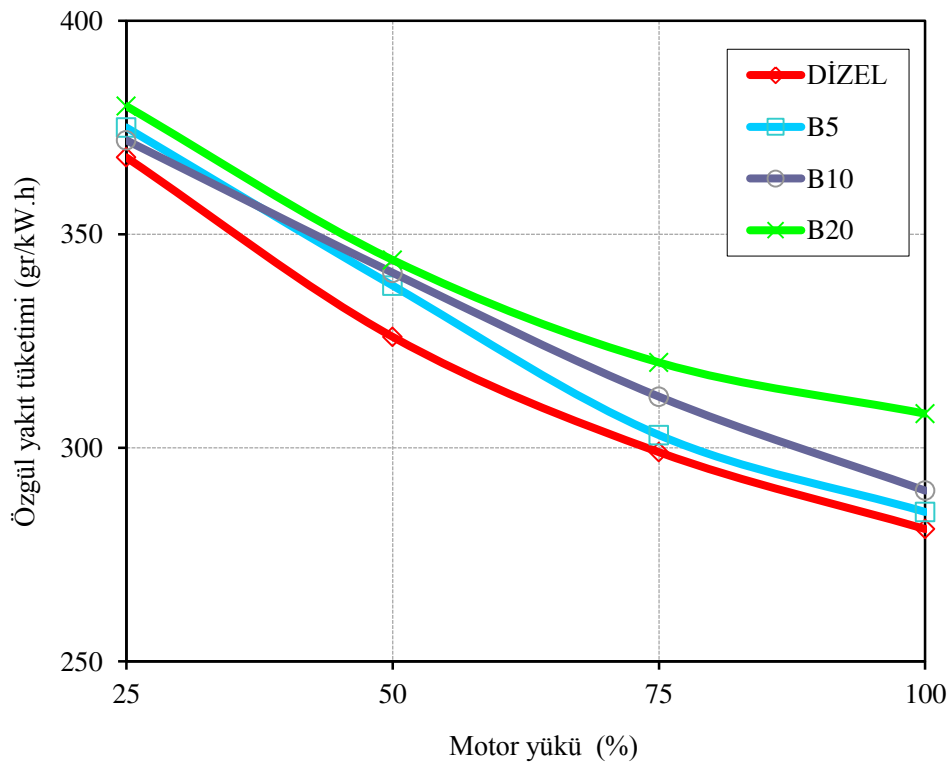
KYME'den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının ÖYT değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen ÖYT değerleri Tablo 5.1'de sunulmuştur. Biyodizel içerikli yakıtlarının ÖYT değerleri, dizel yakıt ile kıyaslandığında sırasıyla; B5 yakıtında % 2.11, B10 yakıtında % 3.21 ve B20 yakıtında % 6.12 oranında bir artış olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.1. KYME yakıt numunelerinin değişken yükteki ÖYT değerleri

Yakıt türü	ÖYT değeri (gr/kWh)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	368	326	299	281
B5	375	338	303	285
B10	372	341	312	290
B20	380	344	320	308

Şekil 5.1 incelendiğinde, tüm yakıt numuneleri arasında en düşük ÖYT değerinin dizel yakıt kullanımında, en yüksek ÖYT değerinin ise B20 yakıtının kullanımında elde edilmiştir. Dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının hacimsel olarak artmasıyla orantılı bir şekilde ÖYT değeri artmaktadır. Tablo 3.4'deki yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri incelendiğinde biyodizel yakıtının; ısı değeri düşük, viskozite ve yoğunluk değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu özelliklerdeki farklılığın ÖYT değerlerini etkilediği düşünülmektedir. Dizel ve biyodizel içerikli yakıtlar aynı gücü üretmelerine rağmen biyodizel içerikli yakıtların ÖYT değeri dizel yakıtı kıyasla daha yüksektir. Belirtilen bu durum üç farklı nedene bağlanmıştır. Birinci neden, Yakıt numunelerinin birbirleri arasındaki yoğunluk farkıdır. Çünkü enjeksiyon pompası yakıtları hacimsel olarak ölçerek silindirlere göndermektedir. Biyodizelin yoğunluğunun dizel yakıtı göre yüksek olmasından dolayı kütleli yakıt tüketimi, biyodizel yakıtlarında yüksek değerlerde çıkmaktadır. Diğer bir deyişle, yoğunluğu yüksek olan yakıt numunesinin silindirlere gönderilen gram cinsinden değeri fazladır. Yoğunluğu yüksek değerlerde olan yakıt numunelerinde ÖYT değerlerinin yüksek çıkması kaçınılmaz bir sonuçtur. İkinci neden ise; test yakıtları arasındaki viskozite farklılığıdır. Biyodizel içerikli yakıt numuneleri aynı enjektör basıncıyla ve aynı enjektör memesinin delik çapından püskürtüldüğünde daha iri taneli olarak yanma odasına giriş yapmaktadır. Bu durumda yakıt molekülleri, sıkıştırılmış hava ile iyi bir karışım gerçekleştiremeyecektir. Sonuç olarak, yakıtın buharlaşma ve yanma verimi olumsuz etkilenecektir. Bu durum harcanan yakıt miktarını arttıracığından, ÖYT değerlerini de yanma verimindeki olumsuzluk nispetinde yükselecektir [49-50]. ÖYT'yi etkileyen faktörlerden bir diğeri ise yakıtın ısı değeridir. Her yakıt numunesi için

aynı yük şartlarında test yapıldığında, yanma reaksiyonunun sonunda aynı ısı enerjisi elde edilmesi gerekir. Eşit ısı enerjisi sağlayabilmek için, dizel yakıtına kıyasla biyodizel yakıtından kütleli olarak daha fazla yanma odasına yakıt alınması gerekir. Ancak bu şartlarda yakıtlar arası enerji eşdeğerliği sağlanmış olabilir. Bu durum ise, biyodizel yakıtlarında daha fazla yakıt tüketimine sebep olmaktadır. Yapılan detaylı açıklamaları özetlemek gerekirse, yanma odasına püskürtülen yakıtın; yoğunluğu, viskozitesi ve ısı değeri ÖYT değerlerini doğrudan etkileyen unsurlardır [12,51-53].



Şekil 5.1. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin ÖYT değerlerinin değişimi

5.1.2. KYME İçerikli Yakıt Numunelerinin NO_x Emisyonları Analizi

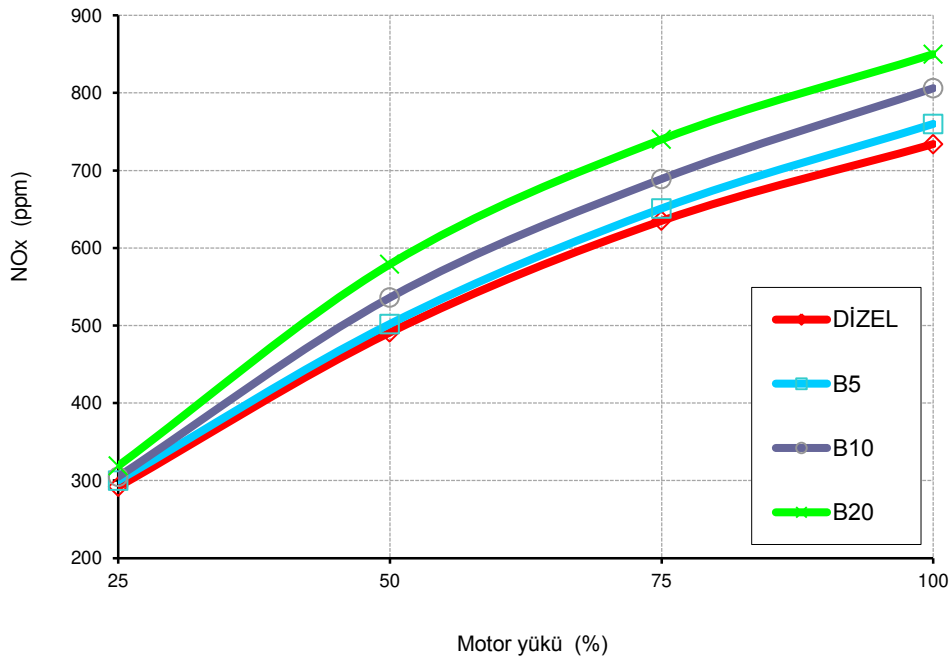
NO_x emisyonu, NO ve NO₂'nin atmosferdeki toplam yoğunluğu şeklinde tanımlanmaktadır. NO_x emisyonu genellikle, motorun yüksek sıcaklıklardaki çalışma şartlarında oluşmaktadır. Dizel motorlar yanma reaksiyonunu oluştururken diğer motor tiplerine göre daha fazla hava kullanmaktadır. Kullanılan havanın içeriğindeki oksijen, aşırı sıcak çalışma şartlarında ve yanma için yeterli zaman olduğunda, azot ile reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda NO_x emisyonları oluşur. NO_x genellikle, kontrolsüz yanma aşamasında meydana gelmektedir. Biyodizelin oksijen içeriği nedeniyle dizel yakıtı kıyasla daha yüksek NO_x salınımına sebebiyet vereceği belirtilmiştir [54-56]. Biyodizel ile çalışan motorlarda silindir içi basıncın ve sıcaklık değerlerinin yüksek oluşu, NO_x emisyonu oluşmasına neden olarak gösterilmiştir [54-56]. NO_x oluşumu büyük oranda silindir içi sıcaklığa, basınca, tutuşma gecikmesi ve yanma süresine bağlıdır [57-59].

KYME'den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının NO_x emisyonu değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen NO_x emisyonu değerleri Tablo 5.2'de sunulmuştur. Biyodizel yakıtları, dizel yakıtın NO_x emisyonu değerleriyle kıyaslandığında sırasıyla; B5 yakıtında % 2.80, B10 yakıtında % 8.55 ve B20 yakıtında ise % 15.60 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Tablo 5.2. KYME yakıt türlerinin değişken yükteki NO_x değerleri

Yakıt türü	NO _x emisyonu (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	292	491	635	734
B5	300	502	651	760
B10	305	536	689	806
B20	319	579	740	850

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi, % 25 yük şartlarında silindir içi sıcaklığının düşük olması, bütün test yakıtları için NO_x emisyonunun düşük çıkmasına neden olmuştur. Motordaki yükün artışı ile NO_x emisyonlarında da aynı paralelde bir artış gözlemlenmiştir. Yükün artmasıyla beraber NO_x emisyon değerlerindeki bu artış; silindir içi sıcaklığın artması ve daha fazla yakıt tüketiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 5.8 ’deki egzoz çıkış sıcaklık değerleri ve Şekil 5.1’deki ÖYT değerleri de bu durumu desteklemektedir. Silindir içi sıcaklığın artması, silindir içi hava hareketliliğini oluşturarak NO_x emisyonlarının oluşumuna zemin hazırlamaktadır [56]. Ayrıca biyodizel yakıtlarının viskozitelerinin ve parlama noktalarının yüksek olması, tutuşma gecikmesine sebep olmakta, neticesinde azot ile oksijenin reaksiyona girebileceği zaman diliminin oluşturmaktadır [55].



Şekil 5.2. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin NO_x emisyonlarının değişimi

5.1.3. KYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Karbon Monoksit (CO) Emisyonları Analizi

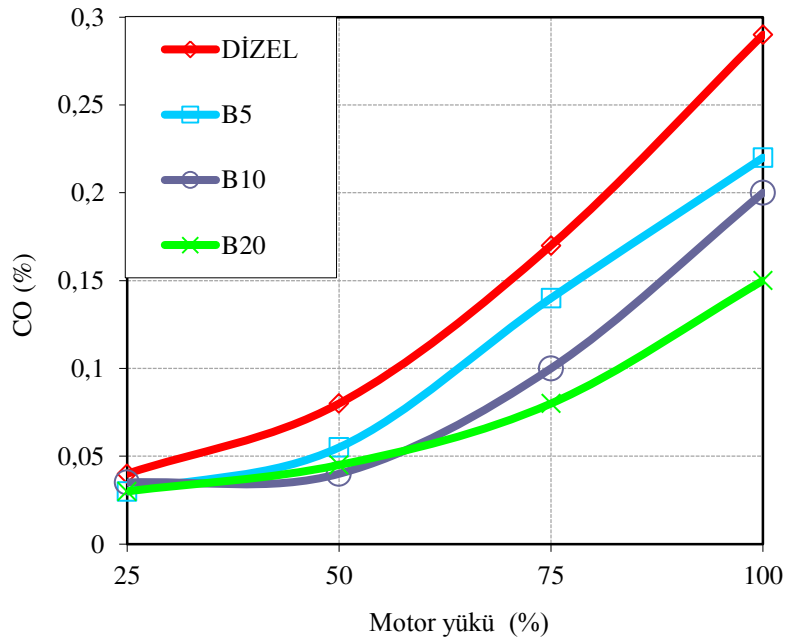
CO emisyonlarının oluşumu dizel motorlarda birçok nedene bağlanabilir. Gaz sıcaklığının düşük olması, yeterli oksijenin bulunmaması ve CO₂'ye dönüşüm için yeterli zamanın kalmamasından dolayı yanmanın tamamlanmamış olması CO miktarını artırır [69]. Biyodizel yakıtının oksijen içermesi, düşük karbon oranı ve yüksek setan sayısı CO emisyonlarındaki azalmanın temel sebepleridir [43,60-61].

KYME'den hazırlanan B5, B10, B20 yakıtlarının ölçülen CO emisyonu değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen CO emisyonu değerleri Tablo 5.3'de sunulmuştur. Biyodizel yakıtları, dizel yakıtının CO emisyonu değerleriyle kıyaslandığında; B5 yakıtında % 23.27, B10 yakıtında % 35.34 ve B20 yakıtında % 47.58 oranında bir azalma tespit edilmiştir.

Tablo 5.3. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki CO değerleri

Yakıt türü	CO emisyonu (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	0.04	0.08	0.17	0.29
B5	0.03	0.055	0.14	0.22
B10	0.035	0.04	0.1	0.2
B20	0.03	0.045	0.08	0.15

Tüm test yakıtları için motordaki yük arttıkça CO emisyonlarının da aynı paralelde arttığı Şekil 5.3’de görülmektedir. Yükün artmasıyla beraber CO emisyonu değerlerindeki bu artış, kütsel olarak daha fazla yakıt kullanılmasına bağlanmıştır. Yükün artmasıyla beraber gram cinsinden daha fazla yakıt kullanılması CO emisyonlarının artışına sebep olarak gösterilebilir. Biyodizel yakıtlarının CO emisyonlarının, dizel yakıtına göre daha düşük değerlerde olduğu Şekil 5.3’de görülmektedir. Biyodizel yakıtının setan sayısının yüksek olması ve kimyasal bağ yapısında oksijen bulundurması biyodizel yakıtlarının CO emisyonu değerlerindeki azalmaya sebep olduğu düşünülmektedir. Test yakıtlarının CO emisyon değerleri % 25 yükte benzer değerde iken, % 50, % 75, % 100 yük şartlarında, yakıtların CO emisyon değerleri arasında belirgin farklılıklar olduğu Şekil 5.3’de görülmektedir. Dizel yakıtı içerisindeki biyodizel oranının artırılmasıyla, setan sayısı ve oksijen içeriği gibi değerlerin arttığı ve bu durumun ise test yakıtları arasındaki CO emisyonlarının farklı değerlerde olmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Yakıtların yanma performansını etkileyecek özellikleri ne kadar iyi olursa, CO emisyon değerlerinin de o nispette düşük olacağı düşünülmektedir.



Şekil 5.3. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin CO emisyonlarının değişimi

5.1.4. KYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Hidrokarbon (HC) Emisyonları Analizi

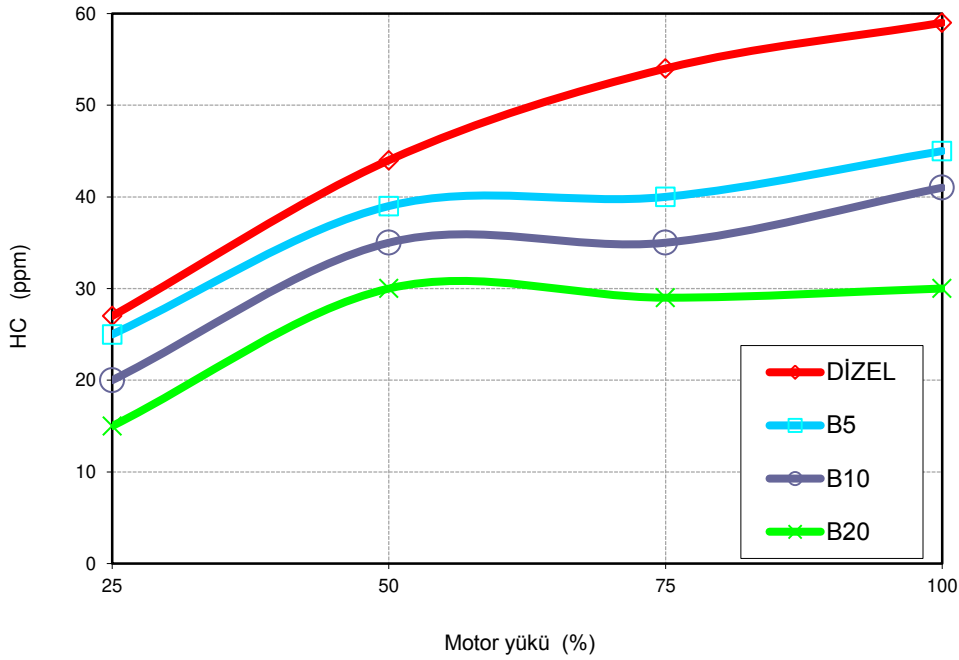
HC emisyonlarının oluşmasında iki önemli unsur ön plana çıkmaktadır. Birincisi, önceki çevrimden kalan yanmış gazlardır [62]. Motordaki iş sonunda, enjektör ucuna yakın kör noktalarda ve enjektör deliğinde bir miktar da olsa, bir sonraki çevrime yanmış gazlar kalır. Yanma odasında kalan bu gazlar bir sonraki çevrimde sıkıştırılan hava ile karışır. Bu durum yeni hava-yakıt karışımının oksijen oranını düşürerek HC emisyonlarının oluşmasına sebebiyet vermektedir [63].

KYME’den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının ölçülen HC emisyonu değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen HC emisyonu değerleri Tablo 5.4’de sunulmuştur. Biyodizel yakıtları, dizel yakıtın HC emisyonu değerleriyle kıyaslandığında; B5 yakıtında % 19.02, B10 yakıtında % 28.80 ve B20 yakıtında % 43.47 oranında bir azalma tespit edilmiştir.

Tablo 5.4. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki HC değerleri

Yakıt türü	HC emisyonu (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	27	44	54	59
B5	25	39	40	45
B10	20	35	35	41
B20	15	30	29	30

Motorda biyodizel yakıtının kullanılmasıyla HC emisyonlarında azalma olduğu Şekil 5.4’de görülmektedir. Bu azalmanın, biyodizel yakıtlarının yapısındaki oksijenden kaynaklandığı düşünülmektedir. Biyodizel yakıtının oksijen içeriğinin fazla olması yanma reaksiyonuna ek katkı sağlayarak, HC emisyonlarının azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Test edilen yakıt numunelerinin HC emisyon değerlerinde belirgin farklılığın olduğu Şekil 5.4’de görülmektedir. Her yakıt numunesinin kimyasal içeriğinde değişken oranda oksijen bulunması ve dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla setan sayısı değerinin de aynı paralelde artış göstermesi bu belirgin farklılığın sebebi olarak gösterilebilir. Motordaki yükün artmasıyla beraber tüm yakıtların CO emisyon değerlerinde artış gözlenmiştir. Bu artışın nedeni; yükün artmasına paralel olarak kütleli yakıt sarfiyatının artması şeklinde açıklanabilir.



Şekil 5.4. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin HC emisyonlarının değişimi

Literatürde yapılan çalışmalarda; dizel yakıtının, yanma odasında hava ile istenen düzeyde bir karışım oluşturmaması neticesinde yüksek CO ve HC emisyonlarının olduğu belirtilmiştir [62-65]. Biyodizel karışimli yakıtların yapısında oksijen bulunması sebebiyle; CO, HC ve duman emisyonlarında azalma tespit edilmiştir. Çünkü yakıtın oksijen içeriği yanma sırasında ek oksijen sağlayarak tam yanmayı geliştirmekte ve bu

durumun HC emisyonlarının azalmasına katkı sağladığı belirtilmiştir. Bununla beraber setan sayısı, kaynama noktası, kükürt ve aromatik bileşen içeriği gibi özelliklerin de CO, HC ve duman emisyonlarındaki değişim üzerinde etkili olduğunu ifade edilmiştir [62-65].

5.1.5. KYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Duman (İs) Emisyonları Analizi

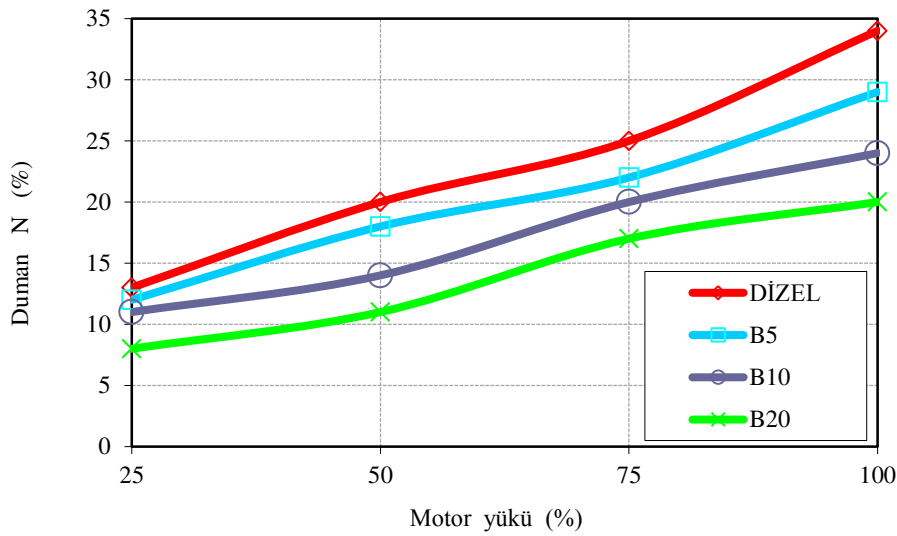
Alev içerisindeki türbülanslı karışım alanları ve sıcaklık is oluşumunu etkileyen önemli parametrelerdir. Bölgesel sıcaklık değişimi ve oksijen konsantrasyonu dağılımı is oluşum mekanizmasının temel fiziksel büyüklükleridir. Bununla beraber yakıtın yüksek oksijen içeriği, düşük C/H oranı ve aromatik bileşenlerin olmaması duman oluşumunda önemli bir etkiye sahiptir [61].

KYME'den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının ölçülen duman (is) emisyon değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen duman emisyonu değerleri Tablo 5.5'de sunulmuştur. Biyodizel yakıtları, dizel yakıtın duman emisyon değerleriyle kıyaslandığında; B5 yakıtında % 11.95, B10 yakıtında % 25 ve B20 yakıtında % 39.13 oranında bir azalma tespit edilmiştir.

Tablo 5.5. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki duman emisyon değerleri

Yakıt türü	İs (duman) salınımı (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	13	20	25	34
B5	12	18	22	29
B10	11	14	20	24
B20	8	11	17	20

Biyodizel kullanıldığında duman emisyonu değerlerinin dizel yakıtına göre düşük çıkmasının temel nedeni, biyodizelin oksijen bakımından zengin bir yapıya sahip olması olarak açıklanabilir. Ayrıca dizel yakıtına kıyasla daha düşük karbon atomu içeren biyodizel, yapısındaki oksijenden dolayı yanma sırasında oksitlenme miktarını artırarak, duman emisyonlarının oluşumunu azalttığı düşünülmektedir. Nitekim; dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla duman emisyonlarının azaldığı Şekil 5.5'de görülmektedir.



Şekil 5.5. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin duman emisyonlarının değişimi

Biyodizelin oksijen içeriğinden dolayı, duman emisyonlarında önemli bir düşüş sağlandığı belirtilmiştir [62]. Ayrıca karbon içeriğinin düşük olmasından dolayı duman emisyonlarının azaldığı da belirtilmiştir. Oksijen miktarının artması, yanma sırasında oksitlenme reaksiyonu hızlandırarak duman oluşumu azalttığı düşünülmektedir. Ayrıca yakıtta ilave edilen biyodizelin yanma reaksiyonuna istikrarlı bir yapı kazandırıp, alev içerisinde türbülanslı karışım alanları ve duman emisyonları oluşumlarını engellediği düşünülmektedir.

5.1.6. KYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Egzoz Gazları Sıcaklık Analizi

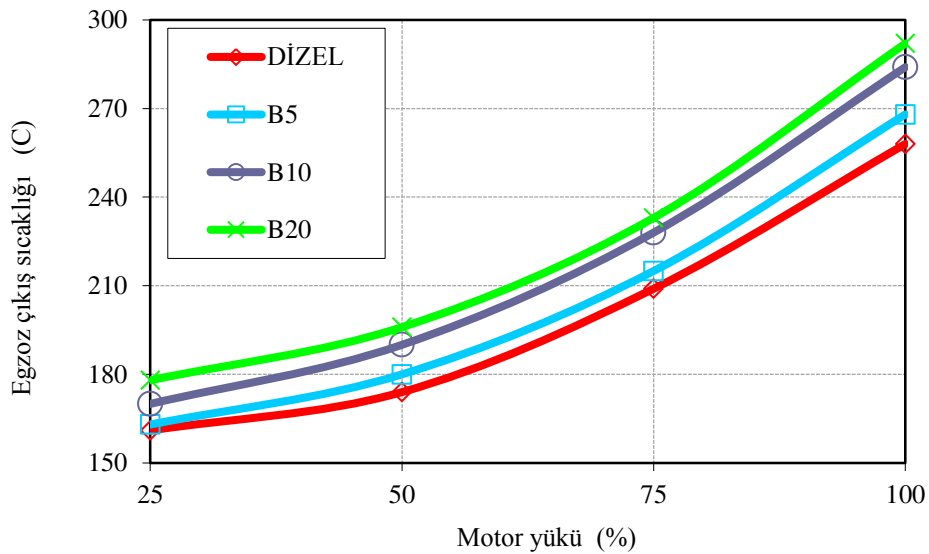
İçten yanmalı motorlarda silindir içerisinde yakıtın yanması sonucu elde edilen ısı enerjisinin bir kısmı soğutma, egzoz ve sürtünme yolu ile kaybedilmektedir. Kaybedilen bu enerji kayıplar neticesinde geriye kalan ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülerek motordaki güç elde edilmektedir.

KYME’den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının ölçülen egzoz çıkış sıcaklığı değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen egzoz çıkış sıcaklığı değerleri Tablo 5.6’da sunulmuştur. Biyodizel yakıtları, dizel yakıtın egzoz çıkış sıcaklığı değerleriyle kıyaslandığında; B5 yakıtında % 3, B10 yakıtında % 8.72, B20 yakıtında % 12.09 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Tablo 5.6. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki egzoz çıkış sıcaklığı değerleri

Yakıt türü	Egzoz ıkış sıcaklığı (°C)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	161	174	209	258
B5	163	180	215	268
B10	170	190	228	284
B20	178	196	233	292

Şekil 5.6'da görüldüğü gibi, motordaki yükün artmasıyla beraber test yakıtlarının egzoz çıkış sıcaklıkları artmıştır. Motorda üretilmesi gereken gücü arttırabilmek için daha fazla ısı enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Yanma odasındaki ısı enerjisinin yüksek olması, egzoz çıkış sıcaklığının yüksek olmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Motorda biyodizel yakıtının kullanılmasıyla egzoz çıkış sıcaklığının arttığı Şekil 5.8'de görülmektedir. Dizel yakıtı ile biyodizel yakıtının egzoz çıkış sıcaklığı değerlerindeki farklılığa, biyodizel yakıtının oksijen içeriği ve setan sayısının yüksek olması gibi özelliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Test yakıtlarının, içeriğindeki oksijen nispetinde iyi bir yanma performansı sergileyerek, farklı değerlerde egzoz çıkış sıcaklığı oluşturduğu düşünülmektedir. Ayrıca biyodizelin sahip olduğu yüksek viskozite ve setan sayısından dolayı daha yavaş ve uzun bir yanmanın gerçekleşiyor olması biyodizel kullanımında daha yüksek egzoz sıcaklığın oluşmasına sebep olarak gösterilebilir. Dizel motorlarda yakıt olarak biyodizel kullanıldığında yanmanın daha uzun devam etmesinden dolayı egzoz sıcaklığının daha yüksek çıktığını belirtmiştir [63]. Egzoz gazı sıcaklığının tutuşma gecikmesinden etkilendiğini ve biyodizelin setan sayısının yüksek olmasından dolayı daha düşük tutuşma gecikmesi periyodu sergilediğini ve bunun da biyodizel kullanıldığında egzoz gazı sıcaklığını artırdığını belirtmiştir [13]. Yakıtın kimyasal bağ yapısındaki oksijen miktarının artması, yakıtlara olumlu bir yanma performansı kazandırarak, egzoz çıkış sıcaklığını arttırmaktadır [13,63].



Şekil 5.6. KYME için hazırlanan yakıt türlerinin egzoz çıkış sıcaklığı değişimi;

5.2. SYME İçin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Soya yağından elde edilen biyodizeller (SYME), belli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak üç farklı yakıt numunesi elde edilmiştir. Elde edilen yeni yakıt numunelerinin ÖYT ve egzoz emisyon değerleri test edilmiştir. Test işleminin sonunda elde edilen değerler karşılaştırmalı bir şekilde aşağıda sunulmuştur.

5.2.1. SYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Özgül Yakıt Tüketimi Analizi

Özgül yakıt tüketimi, birim güç başına tüketilen kütleli yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır.

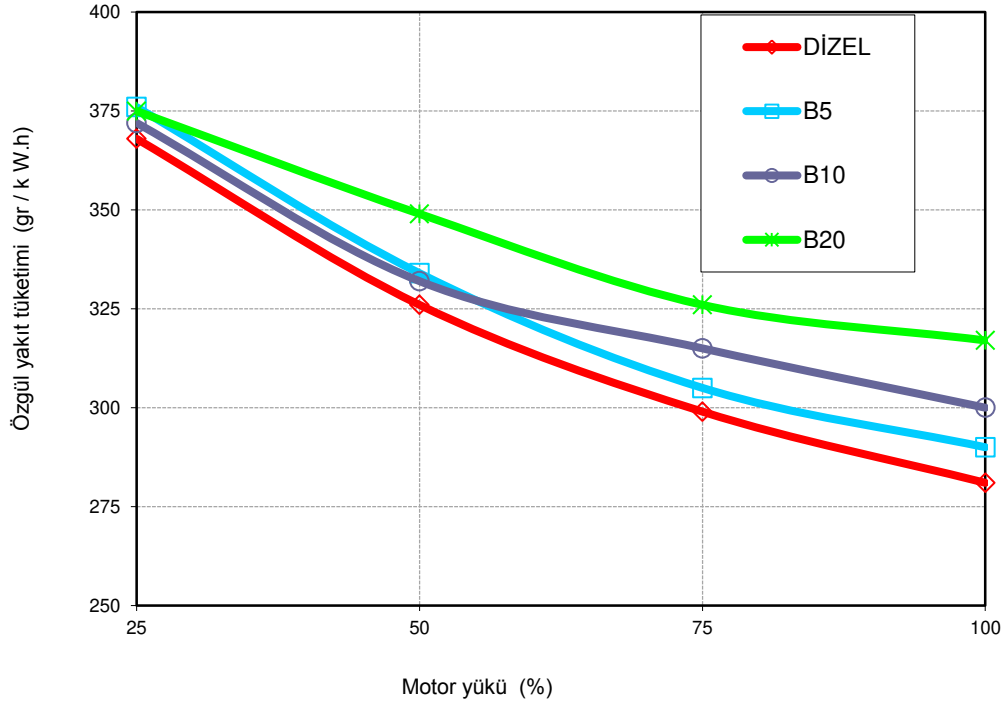
Bu çalışmada, sabit hızda, yük değişimine bağlı ÖYT ölçümü gerçekleştirilmiştir. Mobil güç santrallerinin standartları dikkate alınarak hazırlanmış bir dizel jeneratör, 1500 dev/dak.'lık sabit hızda, % 25, % 50, % 75 ve % 100 değişken yük şartlarında çalıştırılarak ÖYT değerleri ölçülmüştür. Motor devri, motor test düzeneğinde bulunan elektronik hız kontrol ünitesiyle sabit tutulmuştur. Elektronik hız kontrol ünitesi, motor devrini sabit tutmak için, yükün artışına bağlı olarak tüketilecek yakıtın miktarını otomatik olarak arttırmaktadır.

SYME'den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının ÖYT değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen ÖYT değerleri Tablo 5.7'de sunulmuştur. Biyodizel içerikli yakıtlarının ÖYT değerleri, dizel yakıt ile kıyaslandığında sırasıyla; B5 yakıtında % 2.43, B10 yakıtında % 3.53 ve B20 yakıtında % 7.30 oranında bir artış olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.7. SYME yakıt numunelerinin değişken yükteki ÖYT değerleri

Yakıt türü	ÖYT değeri (gr/kWh)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	368	326	299	281
B5	376	334	305	290
B10	372	332	315	300
B20	375	349	326	317

Şekil 5.7 incelendiğinde, tüm yakıt numuneleri arasında en düşük ÖYT değerinin dizel yakıt kullanımında, en yüksek ÖYT değerinin ise B20 yakıtının kullanımında elde edilmiştir. Dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının hacimsel olarak artmasıyla orantılı bir şekilde ÖYT değeri artmaktadır. Tablo3.4'deki yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri incelendiğinde biyodizel yakıtının; ısıl değerinin düşük, viskozite ve yoğunluk değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu özelliklerdeki farklılığın ÖYT değerlerini etkilediği düşünülmektedir. Dizel ve biyodizel içerikli yakıtlar aynı gücü üretmelerine rağmen biyodizel içerikli yakıtların ÖYT değeri dizel yakıtla kıyasla daha yüksektir. Belirtilen bu durum üç farklı nedene bağlanmıştır. Birinci neden, yakıt numunelerinin birbirleri arasındaki yoğunluk farkıdır. Çünkü enjeksiyon pompası yakıtları hacimsel olarak ölçerek silindirlere göndermektedir. Biyodizelin yoğunluğunun dizel yakıtla göre yüksek olmasından dolayı kütleli yakıt tüketimi, biyodizel yakıtlarında yüksek değerde çıkmaktadır. Diğer bir deyişle, yoğunluğu yüksek olan yakıt numunesinin silindirlere gönderilen gram cinsinden değeri fazladır. Yoğunluğu yüksek değerde olan yakıt numunelerinde ÖYT değerlerinin yüksek çıkması kaçınılmaz bir sonuçtur. İkinci neden ise; test yakıtları arasındaki viskozite farklılığıdır. Biyodizel içerikli yakıt numuneleri aynı enjektör basıncıyla ve aynı enjektör memesinin delik çapından püskürtüldüğünde daha iri taneli olarak yanma odasına giriş yapmaktadır. Bu durumda yakıt molekülleri, sıkıştırılmış hava ile iyi bir karışım gerçekleştiremeyecektir. Sonuç olarak, yakıtın buharlaşma ve yanma verimi olumsuz etkilenecektir. Bu durum harcanan yakıt miktarını arttıracığından, ÖYT değerlerini de yanma verimindeki olumsuzluk nispetinde yükselecektir [49-50]. ÖYT'yi etkileyen faktörlerden bir diğeri ise yakıtın ısıl değeridir. Her yakıt numunesi için aynı yük şartlarında test yapıldığında, yanma reaksiyonunun sonunda aynı ısıl enerji elde edilmesi gerekir. Eşit ısı enerjisi sağlayabilmek için, dizel yakıtına kıyasla biyodizel yakıtından kütleli olarak daha fazla yanma odasına yakıt alınması gerekir. Ancak bu şartlarda yakıtlar arası enerji eşdeğerliği sağlanmış olabilir. Bu durum ise, biyodizel yakıtlarında daha fazla yakıt tüketimine sebep olmaktadır. Yapılan detaylı açıklamaları özetlemek gerekirse, yanma odasına püskürtülen yakıtın; yoğunluğu, viskozitesi ve ısıl değeri ÖYT değerlerini doğrudan etkileyen unsurlardır [12,51-53].



Şekil 5.7. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin ÖYT değerlerinin değişimi

5.2.2. SYME İçerikli Yakıt Numunelerinin NO_x Emisyonları Analizi

NO_x emisyonu NO ve NO₂'nin atmosferdeki toplam yoğunluğunu şeklinde tanımlanmaktadır. NO_x emisyonu genellikle, motorun yüksek sıcaklıklardaki çalışma şartlarında oluşmaktadır. Dizel motorlar yanma reaksiyonunu oluştururken diğer motor tiplerine göre daha fazla hava kullanmaktadır. Kullanılan havanın içeriğindeki oksijen, aşırı sıcak çalışma şartlarında ve yanma için yeterli zaman oluştuğunda, azot ile reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda NO_x emisyonları oluşur. NO_x genellikle, kontrolsüz yanma aşamasında meydana gelmektedir. Biyodizelin oksijen içeriği nedeniyle dizel yakıtı kıyasla daha yüksek NO_x salınımına sebebiyet vereceği belirtilmiştir [54-56]. Biyodizel ile çalışan motorlarda silindir içi basıncın ve sıcaklık değerlerinin yüksek oluşu, NO_x emisyonu oluşmasına neden olarak gösterilmiştir [54-56]. NO_x oluşumu büyük oranda silindir içi sıcaklığa, basınca, tutuşma gecikmesi ve yanma süresine bağlıdır [57-59].

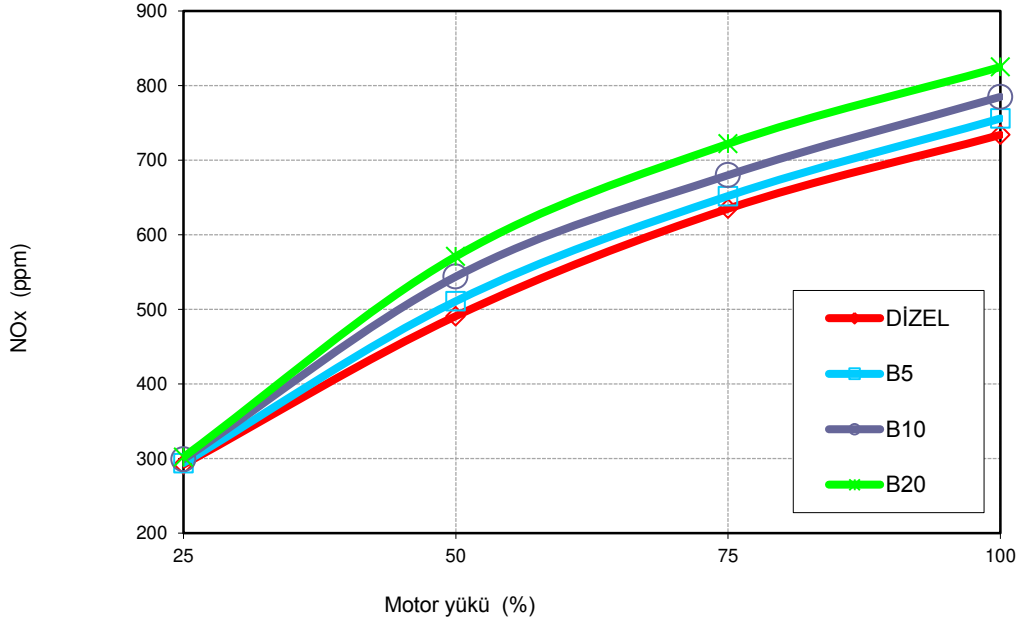
SYME'den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının NO_x emisyonu değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen NO_x emisyonu değerleri Tablo 5.8'de sunulmuştur. Biyodizel yakıtları, dizel yakıtın NO_x emisyonu değerleriyle kıyaslandığında sırasıyla; B5

yakıtında % 2.83, B10 yakıtında % 7.24 ve B20 yakıtında ise % 12.45 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Tablo 5.8. SYME yakıt türlerinin değişken yükteki NO_x değerleri

Yakıt türü	NO _x emisiyonu (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	292	491	635	734
B5	294	511	652	756
B10	299	544	680	785
B20	302	571	722	825

Şekil 5.8’de görüldüğü gibi, % 25 yük şartlarında silindir içi sıcaklığının düşük olması, bütün test yakıtları için NO_x emisyonunun düşük çıkmasına neden olmuştur. Motordaki yükün artışı ile NO_x emisyonlarında da aynı paralelde bir artış gözlemlenmiştir. Yükün artmasıyla beraber NO_x emisyon değerlerindeki bu artış; silindir içi sıcaklığın artması ve daha fazla yakıt tüketiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil5.8’deki egzoz çıkış sıcaklık değerleri ve Şekil 5.1’deki ÖYT değerleri de bu durumu desteklemektedir. Silindir içi sıcaklığın artması, silindir içi hava hareketliliğini oluşturarak NO_x emisyonlarının oluşumuna zemin hazırlamaktadır [56]. Ayrıca biyodizel yakıtlarının viskozitelerinin ve parlama noktalarının yüksek olması, tutuşma gecikmesine sebep olmakta, neticesinde azot ile oksijenin reaksiyona girebileceği zaman diliminin oluşturmaktadır [55].



Şekil 5.8. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin NO_x emisyonlarının değişimi

5.2.3. SYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Karbon Monoksit (CO) Emisyonları Analizi

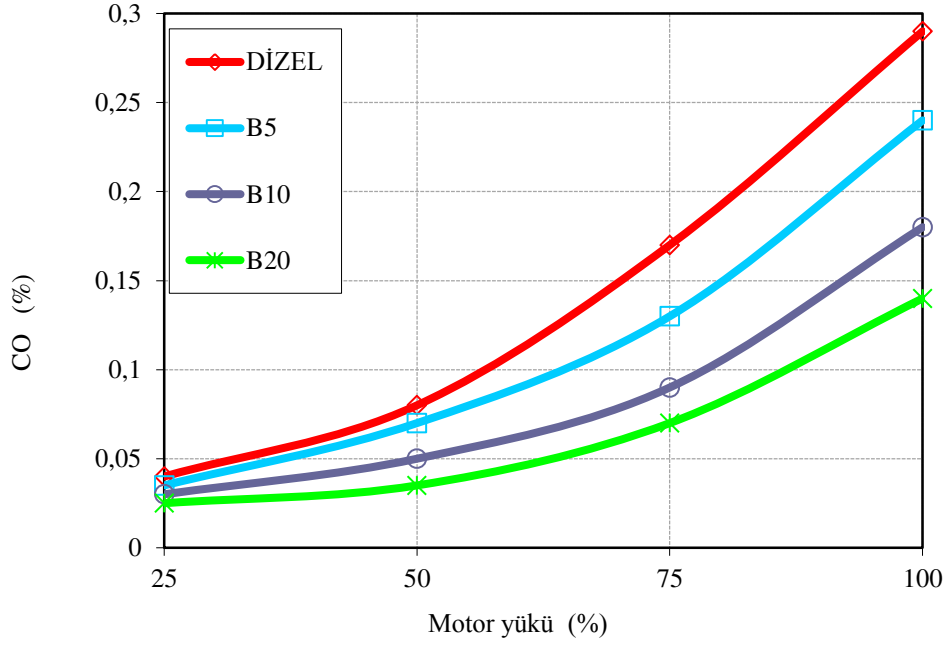
CO emisyonlarının oluşumu dizel motorlarda birçok nedene bağlanabilir. Gaz sıcaklığının düşük olması, yeterli oksijenin bulunmaması ve CO₂'ye dönüşüm için yeterli zamanın kalmamasından dolayı yanmanın tamamlanmamış olması CO miktarını artırır [70]. Biyodizel yakıtının oksijen içermesi, düşük karbon oranı ve yüksek setan sayısı CO emisyonlarındaki azalmanın temel sebepleridir [43,60-61].

SYME'den hazırlanan B5, B10, B20 yakıtlarının ölçülen CO emisyonu değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen CO emisyonu değerleri Tablo 5.9'da sunulmuştur. Biyodizel yakıtları, dizel yakıtının CO emisyonu değerleriyle kıyaslandığında; B5 yakıtında % 18.10, B10 yakıtında % 39.65 ve B20 yakıtında % 53.44 oranında bir azalma tespit edilmiştir.

Tablo 5.9. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki CO değerleri

Yakıt türü	CO emisyonu (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	0.04	0.08	0.17	0.29
B5	0.035	0.07	0.13	0.24
B10	0.03	0.05	0.09	0.18
B20	0.025	0.035	0.07	0.14

Tüm test yakıtları için motordaki yük arttıkça CO emisyonlarının da aynı paralelde arttığı Şekil 5.9’da görülmektedir. Yükün artmasıyla beraber CO emisyonu değerlerindeki bu artış, kütsel olarak daha fazla yakıt kullanılmasına bağlanmıştır. Yükün artmasıyla beraber gram cinsinden daha fazla yakıt kullanılması CO emisyonlarının artışına sebep olarak gösterilebilir. Biyodizel yakıtlarının CO emisyonlarının, dizel yakıtına göre daha düşük değerlerde olduğu Şekil 5.3’de görülmektedir. Biyodizel yakıtının setan sayısının yüksek olması ve kimyasal bağ yapısında oksijen bulundurması biyodizel yakıtlarının CO emisyonu değerlerindeki azalmaya sebep olduğu düşünülmektedir. Test yakıtlarının CO emisyon değerleri % 25 yükte benzer değerde iken, % 50, % 75, % 100 yük şartlarında, yakıtların CO emisyon değerleri arasında belirgin farklılıklar olduğu Şekil 5.3’de görülmektedir. Dizel yakıtı içerisindeki biyodizel oranının arttırılmasıyla, setan sayısı ve oksijen içeriği gibi değerlerin arttığı ve bu durumun ise test yakıtları arasındaki CO emisyonlarının farklı değerlerde olmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Yakıtların yanma performansını etkileyecek özellikleri ne kadar iyi olursa, CO emisyon değerlerinin de o nispette düşük olacağı düşünülmektedir.



Şekil 5.9. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin CO emisyonlarının değişimi

5.2.4. SYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Hidrokarbon (HC) Emisyonları Analizi

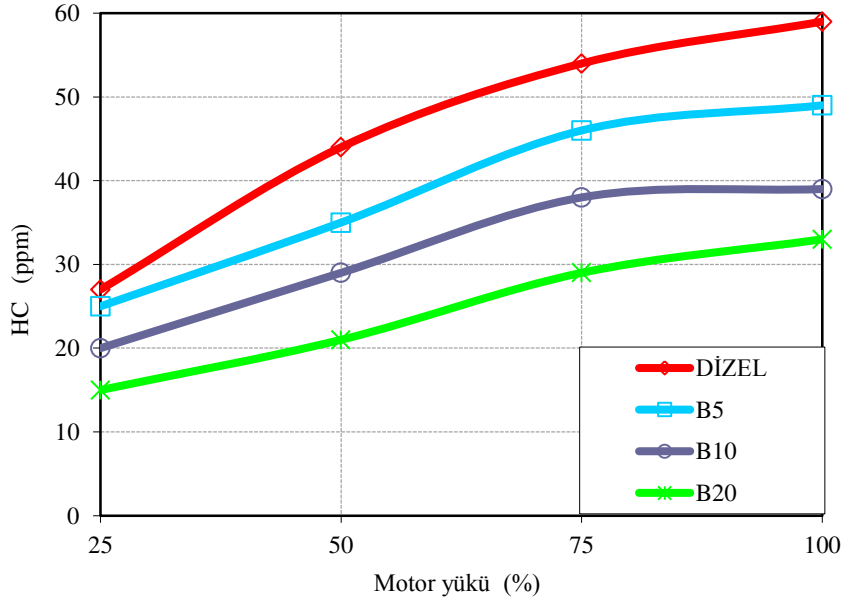
HC emisyonlarının oluşmasında iki önemli unsur ön plana çıkmaktadır. Birincisi, önceki çevrimden kalan yanmış gazlardır [62]. Motordaki iş sonunda, enjektör ucuna yakın kör noktalarda ve enjektör deliğinde bir miktar da olsa, bir sonraki çevrime yanmış gazlar kalır. Yanma odasında kalan bu gazlar bir sonraki çevrimde sıkıştırılan hava ile karışır. Bu durum yeni hava-yakıt karışımının oksijen oranını düşürerek HC emisyonlarının oluşmasına sebebiyet vermektedir [63].

SYME'den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının ölçülen HC emisyonu değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen HC emisyonu değerleri Tablo 5.10'da sunulmuştur. Biyodizel yakıtları, dizel yakıtın HC emisyonu değerleriyle kıyaslandığında; B5 yakıtında % 15.76, B10 yakıtında % 31.52 ve B20 yakıtında % 46.73 oranında bir azalma tespit edilmiştir.

Tablo 5.10. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki HC değerleri

Yakıt türü	HC emisyonu (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	27	44	54	59
B5	25	35	46	49
B10	20	29	38	39
B20	15	21	29	33

Motorda biyodizel yakıtının kullanılmasıyla HC emisyonlarında azalma olduğu Şekil 5.10'da görülmektedir. Bu azalmanın, biyodizel yakıtlarının yapısındaki oksijenden kaynaklandığı düşünülmektedir. Biyodizel yakıtının oksijen içeriğinin fazla olması yanma reaksiyonuna ek katkı sağlayarak, HC emisyonlarının azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Test edilen yakıt numunelerinin HC emisyon değerlerinde belirgin farklılığın olduğu Şekil 5.10'da görülmektedir. Her yakıt numunesinin kimyasal içeriğinde değişken oranda oksijen bulunması ve dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla setan sayısı değerinin de aynı paralelde artış göstermesi bu belirgin farklılığın sebebi olarak gösterilebilir. Motordaki yükün artmasıyla beraber tüm yakıtların CO emisyon değerlerinde artış gözlenmiştir. Bu artışın nedeni; yükün artmasına paralel olarak kütleli yakıt sarfiyatının artması şeklinde açıklanabilir.



Şekil 5.10. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin HC emisyonlarının değişimi

Literatürde yapılan çalışmalarda; dizel yakıtının, yanma odasında hava ile istenen düzeyde bir karışım oluşturmaması neticesinde yüksek CO ve HC emisyonlarının oluştuğu belirtilmiştir [62-65]. Biyodizel karışimli yakıtların yapısında oksijen bulunması sebebiyle; CO, HC ve duman emisyonlarında azalma tespit edilmiştir. Çünkü yakıtın oksijen içeriği yanma sırasında ek oksijen sağlayarak tam yanmayı geliştirmekte ve bu durumun HC emisyonlarının azalmasına katkı sağladığı belirtilmiştir. Bununla beraber setan sayısı, kaynama noktası, kükürt ve aromatik bileşen içeriği gibi özelliklerin de CO, HC ve duman emisyonlarındaki değişim üzerinde etkili olduğunu ifade edilmiştir [62-65].

5.2.5. SYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Duman (İs) Emisyonları Analizi

Alev içerisindeki türbülanslı karışım alanları ve Sıcaklık is oluşumunu etkileyen önemli parametrelerdir. Bölgesel sıcaklık değişimi ve oksijen konsantrasyonu dağılımı is oluşum mekanizmasının temel fiziksel büyüklükleridir. Bununla beraber yakıtın yüksek oksijen içeriği, düşük C/H oranı ve aromatik bileşenlerin olmaması duman oluşumunda önemli bir etkiye sahiptir [61].

SYME'den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının ölçülen duman (is) emisyon değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen duman emisyonu değerleri Tablo 5.11'de sunulmuştur. Biyodizel yakıtları, dizel yakıtın duman emisyon değerleriyle kıyaslandığında;

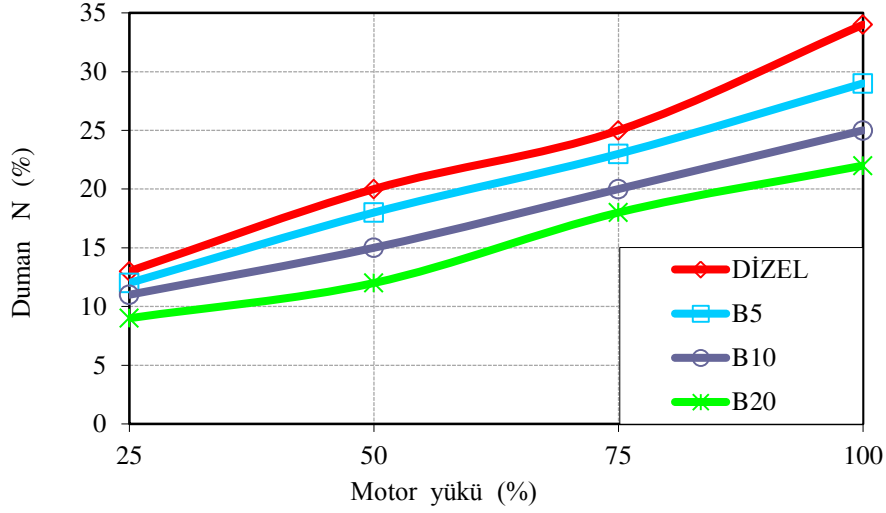
B5 yakıtında % 10.86, B10 yakıtında % 22.82 ve B20 yakıtında % 33.69 oranında bir azalma tespit edilmiştir.

Tablo 5.11. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki duman emisyon değerleri

Yakıt türü	İs (duman) salınımı (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	13	20	25	34
B5	12	18	23	29
B10	11	15	20	25
B20	9	12	18	22

Biyodizel kullanıldığında duman emisyonu değerlerinin dizel yakıtına göre düşük çıkmasının temel nedeni, biyodizelin oksijen bakımından zengin bir yapıya sahip olması olarak açıklanabilir. Ayrıca dizel yakıtına kıyasla daha düşük karbon atomu içeren biyodizel, yapısındaki oksijenden dolayı yanma sırasında oksitlenme miktarını arttırarak, duman emisyonlarının oluşumunu azalttığı düşünülmektedir. Nitekim; dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla duman emisyonlarının azaldığı Şekil 5.11'de görülmektedir.

Biyodizelin oksijen içeriğinden dolayı, duman emisyonlarında önemli bir düşüş sağlandığı belirtilmiştir [62]. Ayrıca karbon içeriğinin düşük olmasından dolayı duman emisyonlarının azaldığı da belirtilmiştir. Oksijen miktarının artması, yanma sırasında oksitlenme reaksiyonu hızlandırarak duman oluşumu azalttığı düşünülmektedir. Ayrıca yakıtı ilave edilen biyodizelin yanma reaksiyonuna istikrarlı bir yapı kazandırıp, alev içerisinde türbülanslı karışım alanları ve duman emisyonları oluşumlarını engellediği düşünülmektedir.



Şekil 5.11. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin duman emisyonlarının değişimi

5.2.6. SYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Egzoz Gazları Sıcaklık Analizi

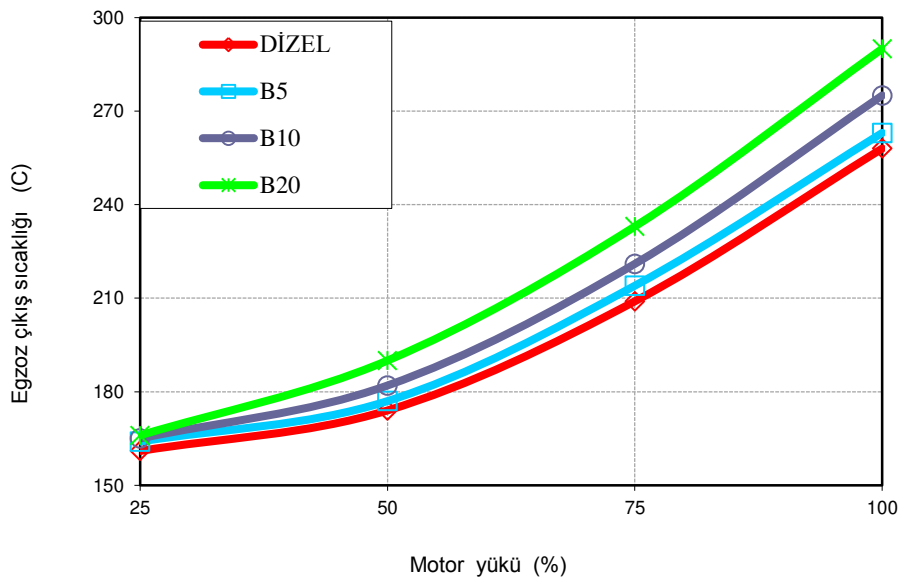
İçten yanmalı motorlarda silindir içerisinde yakıtın yanması sonucu elde edilen ısı enerjisinin bir kısmı soğutma, egzoz ve sürtünme yolu ile kaybedilmektedir. Kaybedilen bu enerji kayıplar neticesinde geriye kalan ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülerek motordaki güç elde edilmektedir.

SYME'den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının ölçülen egzoz çıkış sıcaklığı değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen egzoz çıkış sıcaklığı değerleri Tablo 5.12'de sunulmuştur. Biyodizel yakıtları, dizel yakıtın egzoz çıkış sıcaklığı değerleriyle kıyaslandığında; B5 yakıtında % 2, B10 yakıtında % 5.11, B20 yakıtında % 9.60 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Tablo 5.12. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki egzoz çıkış sıcaklığı değerleri

Yakıt türü	Egzoz çıkış sıcaklığı (°C)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	161	174	209	258
B5	164	177	214	263
B10	165	182	221	275
B20	166	190	233	290

Şekil 5.12'de görüldüğü gibi, motordaki yükün artmasıyla beraber test yakıtlarının egzoz çıkış sıcaklıkları artmıştır. Motorda üretilmesi gereken gücü arttırabilmek için daha fazla ısı enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Yanma odasındaki ısı enerjisinin yüksek olması, egzoz çıkış sıcaklığının yüksek olmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Motorda biyodizel yakıtının kullanılmasıyla egzoz çıkış sıcaklığının arttığı Şekil 5.8'de görülmektedir. Dizel yakıtı ile biyodizel yakıtının egzoz çıkış sıcaklığı değerlerindeki farklılığa, biyodizel yakıtının oksijen içeriği ve setan sayısının yüksek olması gibi özelliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Test yakıtlarının, içeriğindeki oksijen nispetinde iyi bir yanma performansı sergileyerek, farklı değerlerde egzoz çıkış sıcaklığı oluşturduğu düşünülmektedir. Ayrıca biyodizelin sahip olduğu yüksek viskozite ve setan sayısından dolayı daha yavaş ve uzun bir yanmanın gerçekleşiyor olması biyodizel kullanımında daha yüksek egzoz sıcaklığın oluşmasına sebep olarak gösterilebilir. Dizel motorlarda yakıt olarak biyodizel kullanıldığında yanmanın daha uzun devam etmesinden dolayı egzoz sıcaklığının daha yüksek çıktığını belirtmiştir [63]. Egzoz gazı sıcaklığının tutuşma gecikmesinden etkilendiğini ve biyodizelinsetan sayısının yüksek olmasından dolayı daha düşük tutuşma gecikmesi periyodu sergilediğini ve bunun da biyodizel kullanıldığında egzoz gazı sıcaklığını artırdığını belirtmiştir [13]. Yakıtın kimyasal bağ yapısındaki oksijen miktarının artması, yakıtlara olumlu bir yanma performansı kazandırarak, egzoz çıkış sıcaklığını arttırmaktadır [13,63].



Şekil 5.12. SYME için hazırlanan yakıt türlerinin egzoz çıkış sıcaklığı değişimi

5.3. AAYME İçin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Atık ayçiçek yağından elde edilen biyodizeller (AAYME), belli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak üç farklı yakıt numunesi elde edilmiştir. Elde edilen yeni yakıt numunelerinin ÖYT ve egzoz emisyon değerleri test edilmiştir. Test işleminin sonunda elde edilen değerler karşılaştırmalı bir şekilde aşağıda sunulmuştur.

5.3.1. AAYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Özgül Yakıt Tüketimi Analizi

Özgül yakıt tüketimi, birim güç başına tüketilen kütleli yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır.

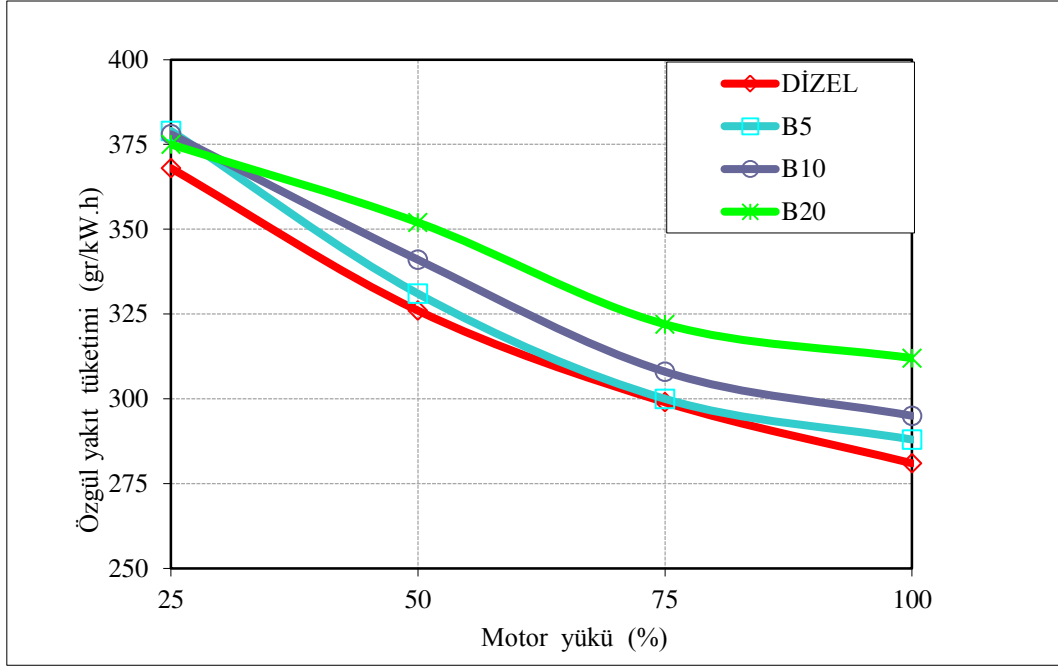
Bu çalışmada, sabit hızda, yük değişimine bağlı ÖYT ölçümü gerçekleştirilmiştir. Mobil güç santrallerinin standartları dikkate alınarak hazırlanmış bir dizel jeneratör, 1500 dev/dak.'lık sabit hızda, % 25, % 50, % 75 ve % 100 değişken yük şartlarında çalıştırılarak ÖYT değerleri ölçülmüştür. Motor devri, motor test düzeneğinde bulunan elektronik hız kontrol ünitesiyle sabit tutulmuştur. Elektronik hız kontrol ünitesi, motor devrini sabit tutmak için, yükün artışına bağlı olarak tüketilecek yakıtın miktarını otomatik olarak arttırmaktadır.

AAYME'den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının ÖYT değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen ÖYT değerleri Tablo 5.13'de sunulmuştur. Biyodizel içerikli yakıtlarının ÖYT değerleri, dizel yakıt ile kıyaslandığında sırasıyla; B5 yakıtında %1.88, B10 yakıtında % 3.76 ve B20 yakıtında % 6.82 oranında bir artış olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.13. AAYME yakıt numunelerinin değişken yükteki ÖYT değerleri

Yakıt türü	ÖYT değeri (gr/kWh)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	368	326	299	281
B5	379	331	300	288
B10	378	341	308	295
B20	375	352	322	312

Şekil 5.13 incelendiğinde, tüm yakıt numuneleri arasında en düşük ÖYT değerinin dizel yakıt kullanımında, en yüksek ÖYT değerinin ise B20 yakıtının kullanımında elde edilmiştir. Dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının hacimsel olarak artmasıyla orantılı bir şekilde ÖYT değeri artmaktadır. Tablo3.4'deki yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri incelendiğinde biyodizel yakıtının; ısıl değerinin düşük, viskozite ve yoğunluk değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu özelliklerdeki farklılığın ÖYT değerlerini etkilediği düşünülmektedir. Dizel ve biyodizel içerikli yakıtlar aynı gücü üretmelerine rağmen biyodizel içerikli yakıtların ÖYT değeri dizel yakıtla kıyasla daha yüksektir. Belirtilen bu durum üç farklı nedene bağlanmıştır. Birinci neden, Yakıt numunelerinin birbirleri arasındaki yoğunluk farkıdır. Çünkü enjeksiyon pompası yakıtları hacimsel olarak ölçerek silindirlere göndermektedir. Biyodizelin yoğunluğunun dizel yakıtla göre yüksek olmasından dolayı kütleli yakıt tüketimi, biyodizel yakıtlarında yüksek değerde çıkmaktadır. Diğer bir deyişle, yoğunluğu yüksek olan yakıt numunesinin silindirlere gönderilen gram cinsinden değeri fazladır. Yoğunluğu yüksek değerde olan yakıt numunelerinde ÖYT değerlerinin yüksek çıkması kaçınılmaz bir sonuçtur. İkinci neden ise; test yakıtları arasındaki viskozite farklılığıdır. Biyodizel içerikli yakıt numuneleri aynı enjektör basıncıyla ve aynı enjektör memesinin delik çapından püskürtüldüğünde daha iri taneli olarak yanma odasına giriş yapmaktadır. Bu durumda yakıt molekülleri, sıkıştırılmış hava ile iyi bir karışım gerçekleştiremeyecektir. Sonuç olarak, yakıtın buharlaşma ve yanma verimi olumsuz etkilenecektir. Bu durum harcanan yakıt miktarını arttıracığından, ÖYT değerlerini de yanma verimindeki olumsuzluk nispetinde yükselecektir [49, 50]. ÖYT'yi etkileyen faktörlerden bir diğeri ise yakıtın ısıl değeridir. Her yakıt numunesi için aynı yük şartlarında test yapıldığında, yanma reaksiyonunun sonunda aynı ısı enerjisi elde edilmesi gerekir. Eşit ısı enerjisi sağlayabilmek için, dizel yakıtına kıyasla biyodizel yakıtından kütleli olarak daha fazla yanma odasına yakıt alınması gerekir. Ancak bu şartlarda yakıtlar arası enerji eşdeğerliği sağlanmış olabilir. Bu durum ise, biyodizel yakıtlarında daha fazla yakıt tüketimine sebep olmaktadır. Yapılan detaylı açıklamaları özetlemek gerekirse, yanma odasına püskürtülen yakıtın; yoğunluğu, viskozitesi ve ısıl değeri ÖYT değerlerini doğrudan etkileyen unsurlardır [12, 51-53].



Şekil 5.13. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin ÖYT değerlerinin değişimi

5.3.2. AAYME İçerikli Yakıt Numunelerinin NO_x Emisyonları Analizi

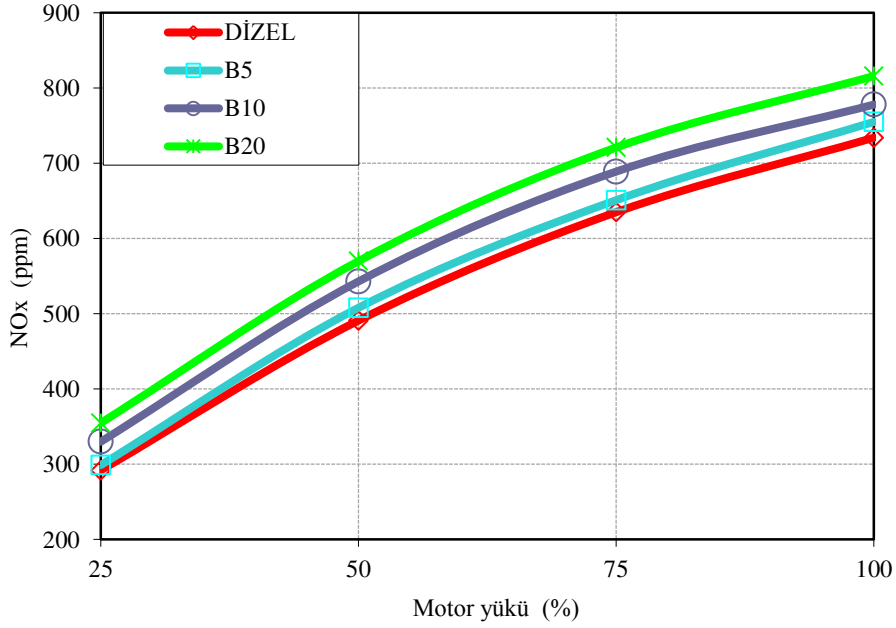
NO_x emisyonu NO ve NO₂'nin atmosferdeki toplam yoğunluğunu şeklinde tanımlanmaktadır. NO_x emisyonu genellikle, motorun yüksek sıcaklıklardaki çalışma şartlarında oluşmaktadır. Dizel motorlar yanma reaksiyonunu oluştururken diğer motor tiplerine göre daha fazla hava kullanmaktadır. Kullanılan havanın içeriğindeki oksijen, aşırı sıcak çalışma şartlarında ve yanma için yeterli zaman oluştuğunda, azot ile reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda NO_x emisyonları oluşur. NO_x genellikle, kontrolsüz yanma aşamasında meydana gelmektedir. Biyodizelin oksijen içeriği nedeniyle dizel yakıtla kıyasla daha yüksek NO_x salınımına sebebiyet vereceği belirtilmiştir [54-56]. Biyodizel ile çalışan motorlarda silindir içi basıncın ve sıcaklık değerlerinin yüksek oluşu, NO_x emisyonu oluşmasına neden olarak gösterilmiştir [54-56]. NO_x oluşumu büyük oranda silindir içi sıcaklığa, basınca, tutuşma gecikmesi ve yanma süresine bağlıdır [57-59].

AAYME'den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının NO_x emisyonu değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen NO_x emisyonu değerleri Tablo 5.14'de sunulmuştur. Biyodizel yakıtları, dizel yakıtın NO_x emisyonu değerleriyle kıyaslandığında sırasıyla; B5 yakıtında % 2.83, B10 yakıtında % 8.73 ve B20 yakıtında ise % 14.40 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Tablo 5.14. AAYME yakıt türlerinin değişken yükteki NO_x değerleri

Yakıt türü	NO _x emisyonu (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	292	491	635	734
B5	299	508	651	755
B10	330	543	689	778
B20	355	570	721	816

Şekil 5.14’de görüldüğü gibi, % 25 yük şartlarında silindir içi sıcaklığının düşük olması, bütün test yakıtları için NO_x emisyonunun düşük çıkmasına neden olmuştur. Motordaki yükün artışı ile NO_x emisyonlarında da aynı paralelde bir artış gözlemlenmiştir. Yükün artmasıyla beraber NO_x emisyon değerlerindeki bu artış; silindir içi sıcaklığın artması ve daha fazla yakıt tüketiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 5.8 ’deki egzoz çıkış sıcaklık değerleri ve Şekil 5.13’deki ÖYT değerleri de bu durumu desteklemektedir. Silindir içi sıcaklığın artması, silindir içi hava hareketliliğini oluşturarak NO_x emisyonlarının oluşumuna zemin hazırlamaktadır [56]. Ayrıca biyodizel yakıtlarının viskozitelerinin ve parlama noktalarının yüksek olması, tutuşma gecikmesine sebep olmakta, neticesinde azot ile oksijenin reaksiyona girebileceği zaman diliminin oluşturmaktadır [55].



Şekil 5.14. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin NO_x emisyonlarının değişimi

5.3.3.AAYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Karbon Monoksit (CO) Emisyonları Analizi

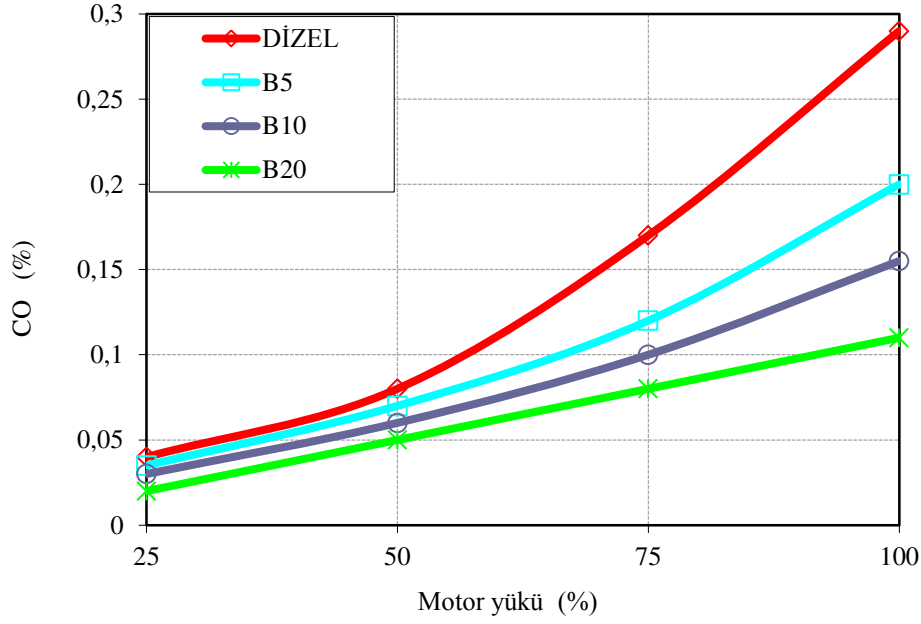
CO emisyonlarının oluşumu dizel motorlarda birçok nedene bağlanabilir. Gaz sıcaklığının düşük olması, yeterli oksijenin bulunmaması ve CO₂'ye dönüşüm için yeterli zamanın kalmamasından dolayı yanmanın tamamlanmamış olması CO miktarını artırır [70]. Biyodizel yakıtının oksijen içermesi, düşük karbon oranı ve yüksek setan sayısı CO emisyonlarındaki azalmanın temel sebepleridir [43, 60, 61].

AAYME'den hazırlanan B5, B10, B20 yakıtlarının ölçülen CO emisyonu değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen CO emisyonu değerleri Tablo 5.15'de sunulmuştur. Biyodizel yakıtları, dizel yakıtının CO emisyonu değerleriyle kıyaslandığında; B5 yakıtında % 26.72, B10 yakıtında % 40.51 ve B20 yakıtında % 55.17 oranında bir azalma tespit edilmiştir.

Tablo 5.15. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki CO değerleri

Yakıt türü	CO emisyonu (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	0.04	0.08	0.17	0.29
B5	0.035	0.07	0.12	0.2
B10	0.03	0.06	0.1	0.155
B20	0.02	0.05	0.08	0.11

Tüm test yakıtları için motordaki yük arttıkça CO emisyonlarının da aynı paralelde arttığı Şekil 5.3’de verilmiştir. Yükün artmasıyla beraber CO emisyonu değerlerindeki bu artış, kütsel olarak daha fazla yakıt kullanılmasına bağlanmıştır. Yükün artmasıyla beraber gram cinsinden daha fazla yakıt kullanılması CO emisyonlarının artışına sebep olarak gösterilebilir. Biyodizel yakıtlarının CO emisyonlarının, dizel yakıtına göre daha düşük değerlerde olduğu Şekil 5.15’de görülmektedir. Biyodizel yakıtının setan sayısının yüksek olması ve kimyasal bağ yapısında oksijen bulundurması biyodizel yakıtlarının CO emisyonu değerlerindeki azalmaya sebep olduğu düşünülmektedir. Test yakıtlarının CO emisyon değerleri % 25 yükte benzer değerde iken, % 50, % 75 ve % 100 yük şartlarında, yakıtların CO emisyon değerleri arasında belirgin farklılıklar olduğu Şekil 5.3’de görülmektedir. Dizel yakıtı içerisindeki biyodizel oranının arttırılmasıyla, setan sayısı ve oksijen içeriği gibi değerlerin arttığı ve bu durumun ise test yakıtları arasındaki CO emisyonlarının farklı değerlerde olmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Yakıtların yanma performansını etkileyecek özellikleri ne kadar iyi olursa, CO emisyon değerlerinin de o nispette düşük olacağı düşünülmektedir.



Şekil 5.15. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin CO emisyonlarının değişimi

5.3.4. AAYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Hidrokarbon (HC) Emisyonları Analizi

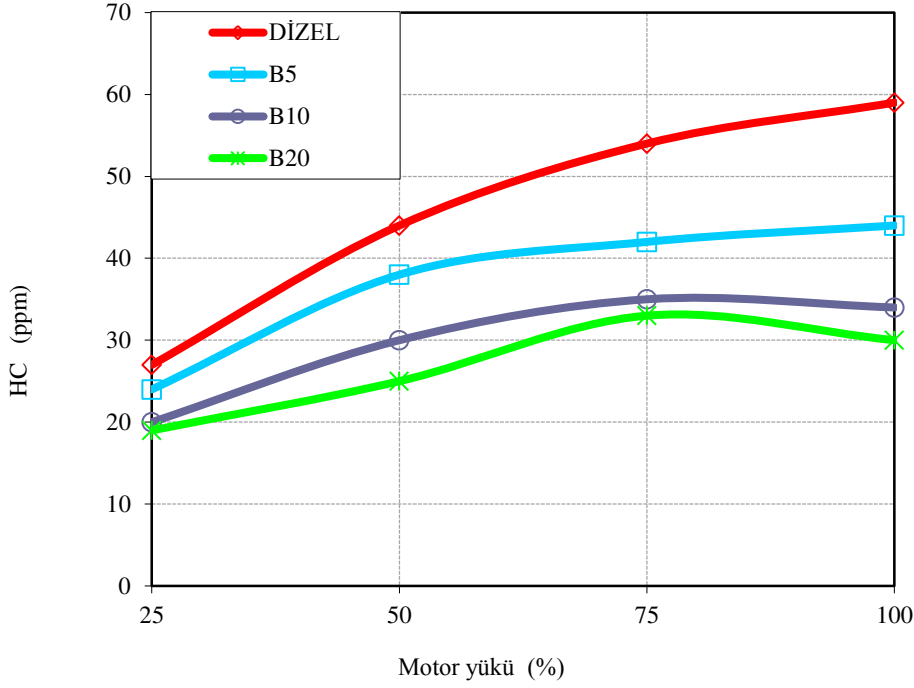
HC emisyonlarının oluşmasında iki önemli unsur ön plana çıkmaktadır. Birincisi, önceki çevrimden kalan yanmış gazlardır [62]. Motordaki iş sonunda, enjektör ucuna yakın kör noktalarda ve enjektör deliğinde bir miktar da olsa, bir sonraki çevrime yanmış gazlar kalır. Yanma odasında kalan bu gazlar bir sonraki çevrimde sıkıştırılan hava ile karışır. Bu durum yeni hava-yakıt karışımının oksijen oranını düşürerek HC emisyonlarının oluşmasına sebebiyet vermektedir [63].

AAYME'den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının ölçülen HC emisyonu değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen HC emisyonu değerleri Tablo 5.16'da sunulmuştur. Biyodizel yakıtları, dizel yakıtın HC emisyonu değerleriyle kıyaslandığında; B5 yakıtında % 19.56, B10 yakıtında % 35.32 ve B20 yakıtında % 41.84 oranında bir azalma tespit edilmiştir.

Tablo 5.16. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki HC değerleri

Yakıt türü	HC emisyonu (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	27	44	54	59
B5	24	38	42	44
B10	20	30	35	34
B20	19	25	33	30

Motorda biyodizel yakıtının kullanılmasıyla HC emisyonlarında azalma olduğu Şekil 5.16'da görülmektedir. Bu azalmanın, biyodizel yakıtlarının yapısındaki oksijenden kaynaklandığı düşünülmektedir. Biyodizel yakıtının oksijen içeriğinin fazla olması yanma reaksiyonuna ek katkı sağlayarak, HC emisyonlarının azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Test edilen yakıt numunelerinin HC emisyon değerlerinde belirgin farklılığın olduğu Şekil 5.16'da görülmektedir. Her yakıt numunesinin kimyasal içeriğinde değişken oranda oksijen bulunması ve dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla setan sayısı değerinin de aynı paralelde artış göstermesi bu belirgin farklılığın sebebi olarak gösterilebilir. Motordaki yükün artmasıyla beraber tüm yakıtların CO emisyon değerlerinde artış gözlenmiştir. Bu artışın nedeni; yükün artmasına paralel olarak kütleli yakıt sarfiyatının artması şeklinde açıklanabilir.



Şekil 5.16. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin HC emisyonlarının değişimi

Literatürde yapılan çalışmalarda; dizel yakıtının, yanma odasında hava ile istenen düzeyde bir karışım oluşturmaması neticesinde yüksek CO ve HC emisyonlarının oluştuğu belirtilmiştir [62-65]. Biyodizel karışımlı yakıtların yapısında oksijen bulunması sebebiyle; CO, HC ve duman emisyonlarında azalma tespit edilmiştir. Çünkü yakıtın oksijen içeriği yanma sırasında ek oksijen sağlayarak tam yanmayı geliştirmekte ve bu durumun HC emisyonlarının azalmasına katkı sağladığı belirtilmiştir. Bununla beraber setan sayısı, kaynama noktası, kükürt ve aromatik bileşen içeriği gibi özelliklerin de CO, HC ve duman emisyonlarındaki değişim üzerinde etkili olduğunu ifade edilmiştir [62-65].

5.3.5. AAYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Duman (İs) Emisyonları Analizi

Alev içerisindeki türbülanslı karışım alanları ve Sıcaklık is oluşumunu etkileyen önemli parametrelerdir. Bölgesel sıcaklık değişimi ve oksijen konsantrasyonu dağılımı is oluşum mekanizmasının temel fiziksel büyüklükleridir. Bununla beraber yakıtın yüksek oksijen içeriği, düşük C/H oranı ve aromatik bileşenlerin olmaması duman oluşumunda önemli bir etkiye sahiptir [61].

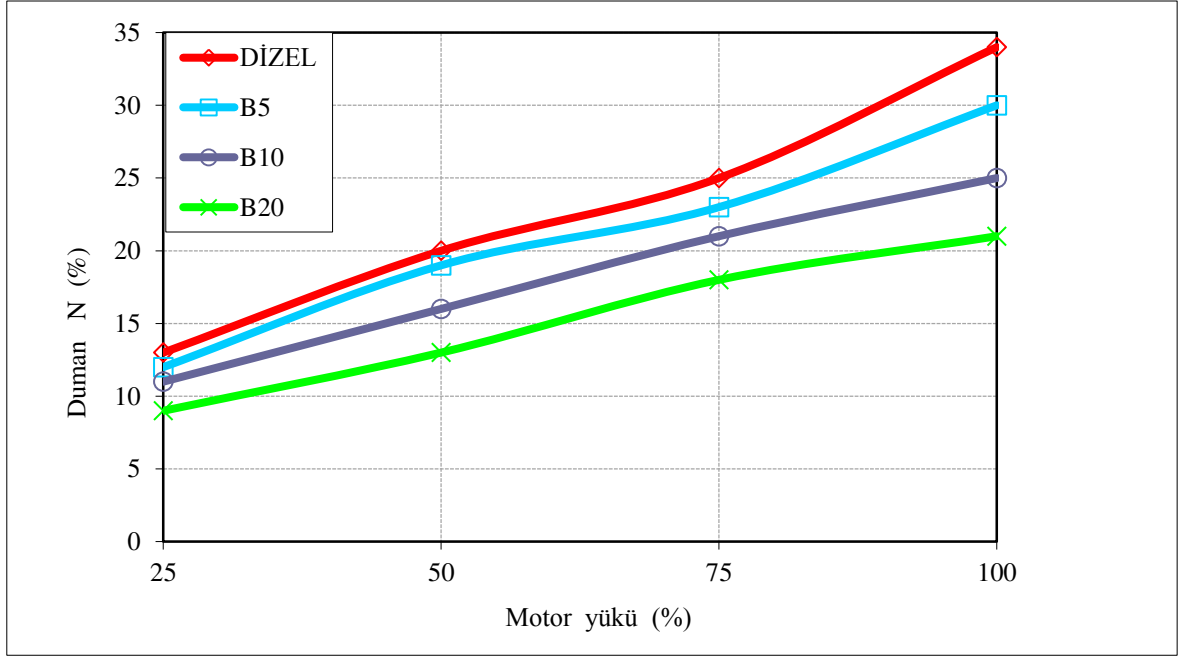
AAYME'den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının ölçülen duman (is) emisyon değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen duman emisyonu değerleri Tablo 5.17'de sunulmuştur. Biyodizel yakıtları, dizel yakıtın duman emisyon değerleriyle kıyaslandığında; B5 yakıtında % 8.69, B10 yakıtında % 18.47 ve B20 yakıtında % 33.69 oranında bir azalma tespit edilmiştir.

Tablo 5.17.AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki duman emisyon değerleri

Yakıt türü	İs (duman) salınımı (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	13	20	25	34
B5	12	19	23	30
B10	11	16	21	25
B20	9	13	18	21

Biyodizel kullanıldığında duman emisyonu değerlerinin dizel yakıtına göre düşük çıkmasının temel nedeni, biyodizelin oksijen bakımından zengin bir yapıya sahip olması olarak açıklanabilir. Ayrıca dizel yakıtına kıyasla daha düşük karbon atomu içeren biyodizel, yapısındaki oksijenden dolayı yanma sırasında oksitlenme miktarını arttırarak, duman emisyonlarının oluşumunu azalttığı düşünülmektedir. Nitekim; dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla duman emisyonlarının azaldığı Şekil 5.17'de görülmektedir.

Biyodizelin oksijen içeriğinden dolayı, duman emisyonlarında önemli bir düşüş sağlandığı belirtilmiştir [62]. Ayrıca karbon içeriğinin düşük olmasından dolayı duman emisyonlarının azaldığı da belirtilmiştir. Oksijen miktarının artması, yanma sırasında oksitlenme reaksiyonu hızlandırarak duman oluşumu azalttığı düşünülmektedir. Ayrıca yakıtı ilave edilen biyodizelin yanma reaksiyonuna istikrarlı bir yapı kazandırıp, alev içerisinde türbülanslı karışım alanları ve duman emisyonları oluşumlarını engellediği düşünülmektedir.



Şekil 5.17. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin duman emisyonlarının değişimi

5.3.6. AAYME İçerikli Yakıt Numunelerinin Egzoz Gazları Sıcaklık Analizi

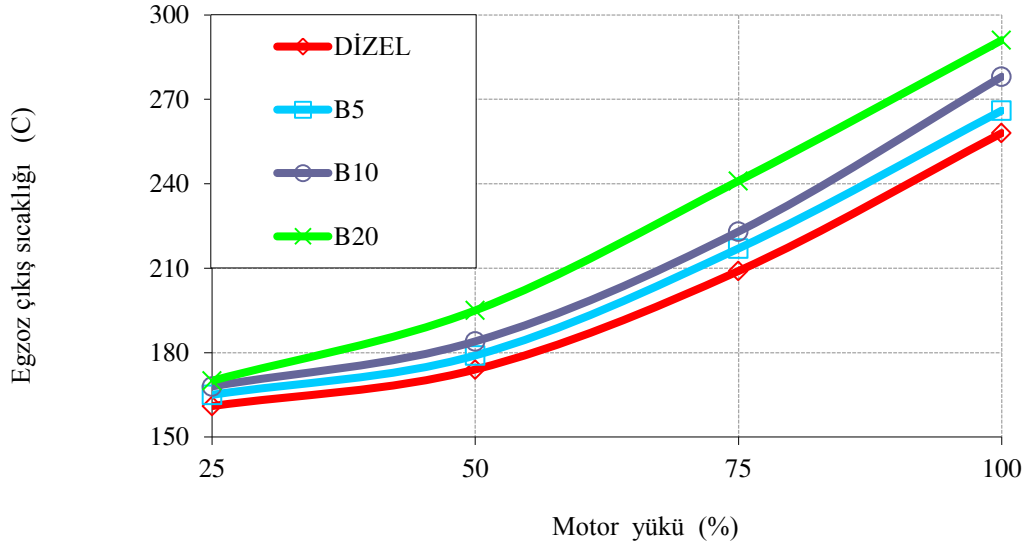
İçten yanmalı motorlarda silindir içerisinde yakıtın yanması sonucu elde edilen ısı enerjisinin bir kısmı soğutma, egzoz ve sürtünme yolu ile kaybedilmektedir. Kaybedilen bu enerji kayıplar neticesinde geriye kalan ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülerek motordaki güç elde edilmektedir.

AAYME'den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının ölçülen egzoz çıkış sıcaklığı değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen egzoz çıkış sıcaklığı değerleri Tablo 5.18'de sunulmuştur. Biyodizel yakıtları, dizel yakıtın egzoz çıkış sıcaklığı değerleriyle kıyaslandığında; B5 yakıtında % 3.11, B10 yakıtında % 6.35, B20 yakıtında % 11.84 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Tablo 5.18. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin değişken yükteki egzoz çıkış sıcaklığı değerleri

Yakıt türü	Egzoz çıkış sıcaklığı (°C)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	161	174	209	258
B5	165	179	217	266
B10	168	184	223	278
B20	170	195	241	291

Şekil 5.18'de görüldüğü gibi, motordaki yükün artmasıyla beraber test yakıtlarının egzoz çıkış sıcaklıkları artmıştır. Motorda üretilmesi gereken gücü arttırabilmek için daha fazla ısı enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Yanma odasındaki ısı enerjisinin yüksek olması, egzoz çıkış sıcaklığının yüksek olmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Motorda biyodizel yakıtının kullanılmasıyla egzoz çıkış sıcaklığının arttığı Şekil 5.8'de görülmektedir. Dizel yakıtı ile biyodizel yakıtının egzoz çıkış sıcaklığı değerlerindeki farklılığa, biyodizel yakıtının oksijen içeriği ve setan sayısının yüksek olması gibi özelliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Test yakıtlarının, içeriğindeki oksijen nispetinde iyi bir yanma performansı sergileyerek, farklı değerlerde egzoz çıkış sıcaklığı oluşturduğu düşünülmektedir. Ayrıca biyodizelin sahip olduğu yüksek viskozite ve setan sayısından dolayı daha yavaş ve uzun bir yanmanın gerçekleşiyor olması biyodizel kullanımında daha yüksek egzoz sıcaklığın oluşmasına sebep olarak gösterilebilir. Dizel motorlarda yakıt olarak biyodizel kullanıldığında yanmanın daha uzun devam etmesinden dolayı egzoz sıcaklığının daha yüksek çıktığını belirtmiştir [63]. Egzoz gazı sıcaklığının tutuşma gecikmesinden etkilendiğini ve biyodizelinsetan sayısının yüksek olmasından dolayı daha düşük tutuşma gecikmesi periyodu sergilediğini ve bunun da biyodizel kullanıldığında egzoz gazı sıcaklığını artırdığını belirtmiştir [13]. Yakıtın kimyasal bağ yapısındaki oksijen miktarının artması, yakıtlara olumlu bir yanma performansı kazandırarak, egzoz çıkış sıcaklığını arttırmaktadır [13,63].



Şekil 5.18. AAYME için hazırlanan yakıt türlerinin egzoz çıkış sıcaklığı değişimi;

5.4. BİYODİZELİN ÜRETİM AŞAMASINDAKİ MALİYET ANALİZLERİ

Bu çalışmada üretilen biyodizel yakıtlarının üretimsel maliyetleri her bir yakıt türü için ayrı ayrı hesaplanmıştır. 10 lt kanola yağı için % 97.8 üretim verimi ile 9.78 lt, 10 lt soya yağı için % 97.2 üretim verimi ile 9.72 lt ve 10 lt atık ayçiçeği yağı için % 96.8 verim ile 9.68 lt biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Bölüm 3’de izah edilen gerekçe doğrultusunda yağın gliserin oranı ve içeriğindeki tortu oranı üretim verimini etkilemektedir. Yağlar, Kula yağ ve Emek yem san. tic. a.ş.’den temin edilmiştir. Metil alkol litre fiyatı 4.25 TL 'ye ve Sodyum Hidroksit (NaOH) kilogram fiyatı 9.2 TL olarak Laçın Kimya 'dan temin edilmiştir. Üretim aşamasında kullanılan sarf malzemelerin miktarları ve birim fiyatları her bir yağ için ayrı ayrı incelenerek Tablo 5.19 , 5.20 ve 5.21’ de sunulmuştur.

Tablo 5.19.Kanola yağı için reaksiyona giren malzemelerin miktar ve fiyatları

Reaksiyonda kullanılan malzemeler	Kullanılan ürün miktarı	Birim fiyat (TL)	Toplam tutar(TL)
Kanola Yağı	1 lt	1.68	1.68
Metil alkol	0.2 lt	4.25	0.85
NaOH	4 gr	9.2	0.036
Toplam			2.566

Tablo 5.20. Soya yağı için reaksiyona giren malzemelerin miktar ve fiyatlar

Reaksiyonda kullanılan malzemeler	Kullanılan ürün miktarı	Birim fiyat (TL)	Toplam tutar(TL)
Soya Yağı	1 lt	2.28	2.28
Metil alkol	0.2 lt	4.25	0.85
NaOH	4 gr	9.2	0.036
Toplam			3.166

Tablo 5.21. Atık yağ için reaksiyona giren malzemelerin miktar ve fiyatları

Reaksiyonda kullanılan malzemeler	Kullanılan ürün miktarı	Birim fiyat (TL)	Toplam tutar(TL)
Atık Ayçiçeği Yağı	1 lt	Bedelsiz	-
Metil alkol	0.2 lt	4.25	0.85
NaOH	4 gr	9.2	0.036
Toplam			0.886

*Çevre ve Orman Bakanlığının Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği kapsamında Atık yağ ücretsiz olarak temin edilmiştir.

Ayrıca reaksiyon odasının ısıtılması ve karıştırılması için gerekli olan cihazların elektriksel maliyetleri hesaplanarak Tablo 5.22’de sunulmuştur. Bu işlemler 30 litre kapasiteli bir üretim prosesi için uygulanmıştır. Elektriksel maliyetlerin toplamı üretim miktarına bölünerek ($2.16/30=0.072$ TL/litre) hesaplanmıştır.

Tablo 5.22. Elektrikli cihazların harcadığı enerji miktarları

Cihaz	Cihazın gücü(kW)	Çalışma süresi(h)	Harcanan enerji(kWh)	Elektriğin birim fiyatı (TL/kWh)	Tutar(TL)
Manyetik karıştırıcı	0.5	2	1	0.36	0.36
Isıtıcı	2	2	4	0.36	1.44
Elektrik motoru	0.4	2.5	1	0.36	0.36
Toplam	2.9	6.5	6	-	2.16

* Elektriğin birim fiyatı, tüm bedeller dahil, mesken tipi abone fiyatı baz alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.19'a göre kanola yağından elde edilen biyodizelin maliyeti 2.566 TL olarak tespit edilmiştir. Bu rakam üretim verimine bölünerek gerçek maliyet ($2.566/0.978=2.613$) olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında elektriksel cihazların maliyeti de malzeme maliyetine eklendiğinde ($2.613+0.072=2.685$) kanola yağından üretilen biyodizel için toplam maliyet bulunmuştur. Diğer bir deyişle 1 lt kanola biyodizeli 2.685 TL'ye mal olmuştur.

Tablo 5.20'ye göre soya yağından elde edilen biyodizelin maliyeti 3.166 TL bulunmuştur. Bu rakam üretim verimine bölünerek gerçek maliyet ($3.166/0.972=3.257$) olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında elektriksel cihazların maliyeti de malzeme maliyetine eklendiğinde ($3.257+0.072=3.329$) soya yağından üretilen biyodizel için toplam maliyet bulunmuştur. Diğer bir deyişle 1 lt soya biyodizeli 3.329 TL'ye mal olmuştur.

Tablo 5.21'e göre atık ayçiçek yağından elde edilen biyodizelin maliyeti 0.886 TL bulunmuştur. Bu rakam üretim verimine bölünerek gerçek maliyet ($0.886/0.968=0.915$) olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında elektriksel cihazların maliyeti de malzeme maliyetine eklendiğinde ($0.915+0.072=0.987$) atık ayçiçek yağından üretilen biyodizel için toplam maliyet bulunmuştur. Diğer bir deyişle 1 lt atık ayçiçek biyodizeli 0.987 TL'ye mal olmuştur.

Yapılan hesaplamalar neticesinde, her yakıt numunesinin 1 lt'lik üretim maliyet fiyatları Tablo 5.23' de dizel yakıtın fiyatları ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.23. Üretilen biyodizellerin birim fiyatları

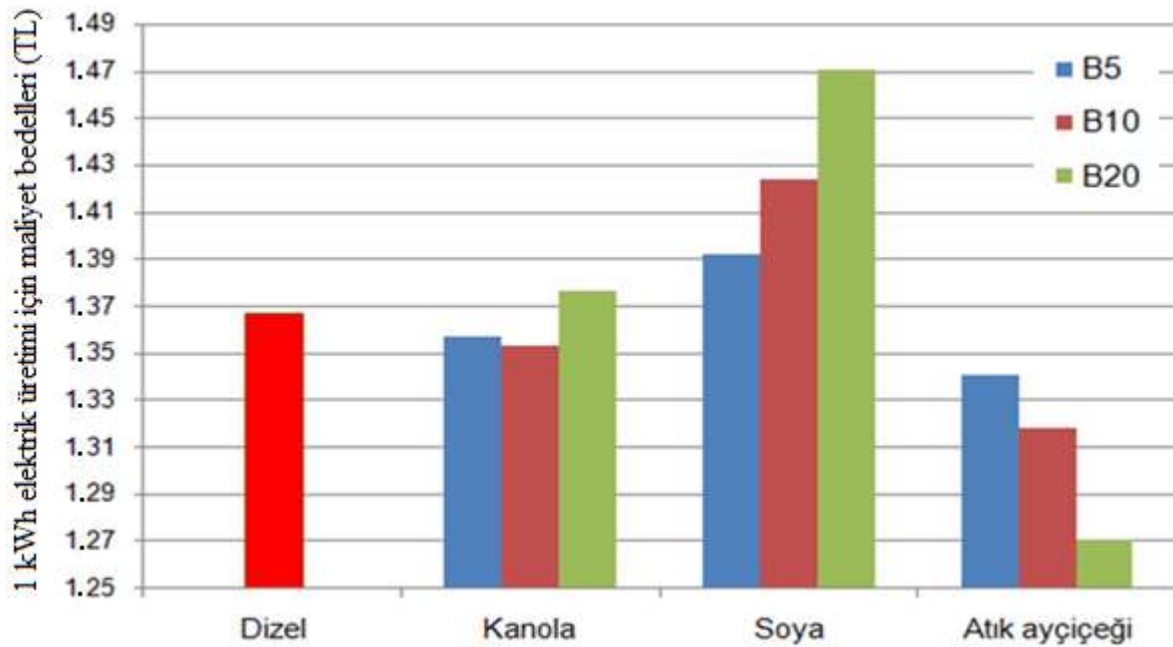
Yakıt türü	Birim fiyat TL/L
Dizel	4.050
Atık ayçiçeği	0.987
Kanola	2.685
Soya	3.329

5.4.1. Elektrik üretimindeki fiyat analizleri

Bu bölümde biyodizel içerikli yakıt numunelerinin, sabit hız ve tam yükteki yakıt sarfıyat verileri kullanılarak elektrik üretim maliyetleri hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada elde edilen veriler kullanılarak hesaplamalar yapılarak Tablo 5.24 ve şekil 5.19’ da detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Tablo 5.24. Yakıt numunelerinin birim enerji üretimindeki maliyetleri

Yakıt türü	Dizel	Kanola			Soya			Atık ayçiçeği		
Yakıt numuneleri	Dizel	B5	B10	B20	B5	B10	B20	B5	B10	B20
Üretim maliyeti (TL)	1.367	1.357	1.353	1.377	1.392	1.424	1.471	1.341	1.318	1.271



Şekil 5.19. Yakıt numunelerinin birim enerji üretimindeki maliyetleri

5.4.1.1. Kanola yağı biyodizeli için elektrik üretim maliyetlerinin analizi

KYME'den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının elektrik üretim maliyet değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. KYME içerikli yakıtlarının elektrik üretim maliyet değerleri, dizel yakıt ile kıyaslandığında sırasıyla; B5 yakıtında % 0.7 ve B10 yakıtında % 1 azalma, B20 yakıtında ise % 8 oranında bir artış olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.19'daki kanola ile ilgili değerler incelendiğinde B5 karışım oranında kısmi bir azalma, B10 karışım oranında önemli sayılabilecek miktarda bir azalma ve B20 karışım oranında ise ciddi bir artış gözlemlenmektedir. Gözlemlenen bu durumdan yola çıkarak, standart dizel yakıtı kanola biyodizelinin ilave edilme miktarının maliyetler açısından oldukça önemli olduğu söylenebilir. Biyodizelin ısı enerji değerinin, dizel yakıtı oranla düşük olması sebebiyle B5, B10 ve B20 yakıt numunelerinin hepsinde de artış olması beklenirken B5 ve B10 karışım oranlarında belli oranlarda azalma olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen bu azalmanın temel sebebi, ilave edilen biyodizelin setan sayısının ve oksijen içeriğinin yüksek olması sebebiyle yanma reaksiyonunda katalizör etkisi yaparak kaliteli bir yanma performansı sağladığı düşünülmektedir. B20 numunesinin ilavesinin de yanma reaksiyonunda katalizör etkisi yapmasına rağmen, karışım içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla orantılı olarak ısı enerji değerinin % 20 oranında azaldığı bilinmektedir. Isı enerji değerindeki bu düşüşün % 8 lik bir maliyet artışına sebep olduğu düşünülmektedir. Bu analizlerin neticesinde kanola biyodizelinin dizel yakıtla en uygun karışım oranının % 10 (B10) olduğu tespit edilmiştir.

5.4.1.2. Soya yağı biyodizeli için elektrik üretim maliyetlerinin analizi

SYME'den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının elektrik üretim maliyet değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. SYME içerikli yakıtlarının elektrik üretim maliyet değerleri, dizel yakıt ile kıyaslandığında sırasıyla; B5 yakıtında % 1.85, B10 yakıtında % 4.2 , B20 yakıtında ise % 7.65 oranında bir artış olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.19'deki soya ile ilgili değerler incelendiğinde her üç karışımında da (B5, B10 ve B20) önemli miktarda maliyet artışı olduğu görülmektedir. Ayrıca bu numunelerin maliyet değerleri dizel yakıtın değerlerinin de çok üzerindedir. Hesaplanan bu artış üç sebebe bağlanmıştır. İlk olarak, piyasada satılan soya yağının litre fiyatının yüksek olması yakıtın birim litre fiyatını ciddi bir şekilde arttırmaktadır. Soya yağının litre fiyatı ile kanola yağının

litre fiyatı kıyaslandığı zaman soya yağının litre fiyatının yaklaşık % 40 oranında fazla olması maliyet artışının öncelikli sebebidir. İkinci sebep olarak, soya biyodizelinin ısıl enerji değerinin ve setan sayısının düşük olması gösterilebilir. Her yakıt numunesi için aynı yük şartlarında test yapıldığında, yanma reaksiyonunun sonunda aynı ısıl enerji elde edilmesi gerekir. Eşit ısı enerjisi sağlayabilmek için, dizel yakıtına kıyasla biyodizel yakıtından kütleli olarak daha fazla yanma odasına yakıt alınması gerekir. Ancak bu şartlarda yakıtlar arası enerji eşdeğerliği sağlanmış olabilir. Bu durum ise, biyodizel yakıtlarında daha fazla yakıt tüketimine sebep olmaktadır. Yapılan detaylı açıklamaları özetlemek gerekirse, yanma odasına püskürtülen yakıtın; yoğunluğu, viskozitesi ve ısıl değeri ÖYT değerlerini doğrudan etkileyen unsurlardır [12,51-53]. Kilowatt başına yakıt miktarının artmış olması ile elektrik üretim maliyetin arttığı düşünülmektedir. Maliyet artışındaki üçüncü sebep ise; test yakıtları arasındaki viskozite farklılığıdır. Soya biyodizelinin viskozite değerinin yüksek olduğu Tablo 3.4’de gösterilmiştir. Biyodizel içerikliğin fazla olduğu yakıt numuneleri aynı enjektör basıncıyla ve aynı enjektör memesinin delik çapından püskürtüldüğünde daha iri taneli olarak yanma odasına giriş yapmaktadır. Bu durumda yakıt molekülleri, sıkıştırılmış hava ile iyi bir karışım gerçekleştiremeyecektir. Sonuç olarak, kötü atomizasyon neticesinde yakıtın buharlaşma ve yanma verimi olumsuz etkilenecektir. Bu durum harcanan yakıt miktarını arttıracığından, yakıt tüketim değerlerini de yanma verimindeki olumsuzluk nispetinde yükselecektir [49, 50].

5.4.1.3. Atık ayçiçek yağı biyodizeli için elektrik üretim maliyetlerinin analizi

AAYME’den hazırlanan B5, B10 ve B20 yakıtlarının elektrik üretim maliyet değerleri, dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. AAYME içerikli yakıtlarının elektrik üretim maliyet değerleri, dizel yakıt ile kıyaslandığında sırasıyla; B5 yakıtında % 1.9, B10 yakıtında % 3.6, B20 yakıtında ise % 7 oranında bir azalma olduğu tespit edilmiştir.

Atık ayçiçek biyodizelinin dizel jeneratörde kullanılmasıyla en az maliyetle elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu maliyet değerlerinin dizel yakıtın değerlerine kıyasla çok düşük oranda olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlerin düşük olmasının sebebi, Atık ayçiçek biyodizelinin bir litresinin üretim maliyeti 0.987 TL iken dizel yakıtın litre fiyatı 4.050 TL dir. Diğer bir deyişle iki yakıtın litre fiyatları arasında yaklaşık 4 katlık fiyat farkı mevcuttur. Atık ayçiçek biyodizelinin litre fiyatının düşük olmasının sebebi, Çevre ve Orman Bakanlığının Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği neticesinde atık yağın ücretsiz olarak temin edilmesidir.

Şekil 5.19'daki atık ayçiçek biyodizeli ile ilgili değerler incelendiğinde biyodizelin dizel yakıt içerisine ilave edilme oranının artmasıyla elektrik üretim maliyetlerinin çok önemli oranda azaldığı görülmektedir. Diğer biyodizellerle yaklaşık olarak aynı kimyasal özelliklere sahip olan atık ayçiçek biyodizelinin litre maliyetinin düşük olması, elektrik üretim maliyetlerindeki düşüşe sebep olduğu düşünülmektedir. Temsili bir örnekle ifade etmek gerekirse, bir kuruyemişçinin karışık çerezin içerisine leblebi ilave ederek toplam maliyeti düşürmesi ile benzeştirebiliriz. Maliyeti ucuz olan bir yakıt numunesinin standart dizel yakıtı ilave edilme miktarı ne kadar artarsa maliyet o nispette düşmektedir.

Sonuç olarak, kanola, soya ve atık ayçiçek yağlarından elde edilen biyodizellerin dizel bir jeneratörde uzun süreli kullanımı uygundur. Dizel yakıttan ucuz olanları en ucuzdan başlayarak sıralamak gerekirse; atık ayçiçeğinden elde edilen yakıt numunelerindeki B20 , B10 ve B5 oranlarındaki karışımlarıdır. Sıralamayı devam ettirmek gerekirse, kanoladan elde edilen numunelerdeki B5 ve B10 dizel yakıttan daha ekonomiktir. Diğer yakıt numunelerinin maliyet fiyatı her ne kadar dizel yakıttan fazla olsa da jeneratördeki elektrik üretimi esnasındaki test çalışmalarında herhangi bir olumsuzluğa rastlanmamıştır. İleriki yıllarda yaşanacak olası bir petrol krizinde emniyetli ve güvenli bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmanın temel amacı, farklı özelliklere sahip biyodizel yakıtlarının bir dizel motorda, performans ve emisyon değerlerini incelemektir. Bu amaç doğrultusunda, belirtilen yağlardan NaOH ve metanol kullanılarak biyodizel üretilmiştir. Üretilen bu biyodizel (B5,B10,B20), yakıtları hacimsel olarak % 5, 10 ve 20 oranda dizel yakıt ile karıştırılarak, dizel bir motorda performans ve emisyon testlerine tabi tutulmuştur. Yapılan bu çalışmalarda ulaşılan sonuçları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

Bitkisel yağlardan, (soya yağı, kanola yağı ve atık ayçiçeği yağı) asit ve baz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu ile yağ asidi metil esteri (biyodizel) üretilmiştir. Esterleşme reaksiyonu için metanol tercih edilmiştir. Katalizör olarak da sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Kullanılan yağın % 20'si kadar metanol, % 0.4'ü kadar sodyum hidroksit (NaOH) tuzu kullanılmıştır. 2 saat süreyle ve 60 °C sıcaklıkta % 93-95 aralığındaki ester dönüşüm verimi ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim için önce yağların içeriğindeki nem uzaklaştırılmıştır. Daha sonra SYA analizi yapılmıştır. Bu analiz neticesinde yağın SYA % 5'in üzerinde ise önce asit katalizörlü reaksiyon daha sonra baz katalizörlü reaksiyon uygulanmıştır. SYA oranı % 5'in altında olan yağlarda sadece baz katalizörlü reaksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

- KYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının ÖYT değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 2.11, B10 yakıtında % 3.21 ve B20 yakıtında % 6.12 oranında bir artış tespit edilmiştir.
- SYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının ÖYT değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 2.43, B10 yakıtında % 3.53 ve B20 yakıtında % 7.30 oranında bir artış tespit edilmiştir.
- AAYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının ÖYT değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 1.88, B10 yakıtında % 3.76 ve B20 yakıtında % 6.82 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla beraber ÖYT değerleri de o paralelde artmıştır. Bu artışın sebebi, biyodizel yakıtlarının viskozite ve yoğunluk değerlerinin yüksek, ısıl değerinin düşük olmasıdır.

- KYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının NO_x değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 2.80, B10 yakıtında % 8.55 ve B20 yakıtında % 15.60 oranında bir artış tespit edilmiştir.
- SYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının NO_x değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 2.83, B10 yakıtında % 7.24 ve B20 yakıtında % 12.45 oranında bir artış tespit edilmiştir.
- AAYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının NO_x değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 2.83, B10 yakıtında % 8.73 ve B20 yakıtında % 14.40 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla silindir içi basınç ve sıcaklık değerlerinin yüksek seviyelere ulaşması, tutuşma gecikmesi ve yanma süresi NO_x emisyonu oluşmasına neden olarak gösterilebilir.

- KYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının CO değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 23.27, B10 yakıtında % 35.34 ve B20 yakıtında % 47.58 oranında bir azalma tespit edilmiştir.
- SYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının CO değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 18.10, B10 yakıtında % 39.65 ve B20 yakıtında % 53.44 oranında bir azalma tespit edilmiştir.
- AAYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının CO değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 26.72, B10 yakıtında % 40.51 ve B20 yakıtında % 55.17 oranında bir azalma tespit edilmiştir.

Ek oksijen yakıtın yanma performansını iyileştirmesiyle CO emisyonları azalmaktadır. Bununla beraber yakıtlardaki biyodizel oranın artmasıyla CO emisyonları azalmıştır.

- KYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının HC değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 19.02, B10 yakıtında % 28.80 ve B20 yakıtında % 43.47 oranında bir azalma tespit edilmiştir.

- SYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının HC değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 15.76, B10 yakıtında % 31.52 ve B20 yakıtında % 46.73 oranında bir azalma tespit edilmiştir.
- AAYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının HC değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 19.56, B10 yakıtında % 35.32 ve B20 yakıtında % 41.84 oranında bir azalma tespit edilmiştir.

Biyodizel yakıtlarının oksijen içeriğinin fazla olması yanma reaksiyonuna ek katkı sağlayarak, HC emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Düşük yük şartlarında HC emisyonları arasında belirgin bir fark oluşmamıştır. Yükün artırılmasıyla HC emisyonları arasındaki fark belirginleşmiştir. Bu durum, yükün artmasıyla beraber yanma için ayrılan sürenin kısılması sebebine bağlanmıştır.

- KYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının duman emisyon değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 11.95, B10 yakıtında % 25 ve B20 yakıtında % 39.13 oranında bir azalma tespit edilmiştir..
- SYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının duman emisyon değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 10.86, B10 yakıtında % 22.82 ve B20 yakıtında % 33.69 oranında bir azalma tespit edilmiştir.
- AAYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının duman emisyon değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 8.69, B10 yakıtında % 18.47 ve B20 yakıtında % 33.69 oranında bir azalma tespit edilmiştir.

Biyodizel içerikli numunelerin duman salınımlarının dizel yakıtına göre düşük çıkmasının nedeni biyodizelin oksijen içermesidir. Oksijen içerikli yakıtlar silindir içi sıcaklığı arttırmaktadır. Bu artış yanma verimini olumlu etkileyerek bölgesel sıcaklık değişimini önlemektedir.

- KYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının egzoz çıkış sıcaklığı değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 3, B10 yakıtında % 8.72 ve B20 yakıtında % 12.09 oranında bir artış tespit edilmiştir.

- SYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının egzoz çıkış sıcaklığı değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 2, B10 yakıtında % 5.11 ve B20 yakıtında % 9.60 oranında bir artış tespit edilmiştir.
- AAYME içerikli yakıtlar, dizel yakıtının egzoz çıkış sıcaklığı değerleri ortalamasıyla kıyaslandığında; B5 yakıtında % 3.11, B10 yakıtında % 6.35 ve B20 yakıtında % 11.84 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Motordaki yükün artmasıyla beraber bütün yakıt numuneleri için egzoz çıkış sıcaklığında artışlar gözlenmiştir. Dizel ile biyodizel içerikli yakıtların egzoz emisyon değerlerindeki farklılığın temel nedeni, biyodizel yakıtlarının oksijen içermesi ve setan sayısının yüksek olmasıdır. İyi bir yanma karakteristiği, her zaman egzoz çıkış sıcaklığının yüksek değerlere ulaşmasına sebep olmaktadır.

Biyodizelin alt ısı değeri dizel yakıtı ile kıyaslandığında düşük olması özgül yakıt tüketimini arttırmakta motor performansını düşürmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar, üretilen bu biyodizel yakıtlarının ve bu yakıtlardan elde edilen karışımların, direk püskürtmeli dizel motorlarında modifikasyonsuz bir şekilde dizel yakıtı yerine kullanılabileceğini göstermiştir.

B20 yakıtı ile 100 saatlik çalışma sonunda motorun genel görünümü dizel yakıtı ile çalışmaya benzer durumda olduğu görülmüştür. Yani yanma odası islenmiş fakat motordaki çalışma verimini etkileyecek seviyede bir kurum tabakası oluşmamıştır. B20 yakıtı 100 saat boyunca deney motorunda sorunsuz bir şekilde kullanılmıştır. 100 saatlik çalışma sonunda motor söküldüğünde yanma odası, piston üst tablası, silindir cidarları ve supaplarda dizel yakıtı ile çalışmaya göre benzer birikintilerin olduğu görülmüştür. B20 yakıtı ile çalışan motor parçalarının üzerindeki birikintinin motor elemanlarına az da olsa yapıştığı ve renk farklılığıdır. Dizel yakıtı ile çalışmada oluşan is siyah parlak bir renkte iken, B20 yakıtında gri ve mat bir renkte oluşmuştur. Bununla beraber B20 ile 100 saat boyunca ilk hareket problemi olmamış, segman yapışmasına ve kırılmasına rastlanılmamış, egzoz supabında ve yanma odasının bazı bölgelerinde daha fazla birikinti görülmüş ve supaplarda herhangi bir hasara rastlanılmamıştır. Dizel yakıtı ile çalışan silindir gömleği ve segman yüzeyi üzerinde daha derin aşınma çizgilerinin olduğu görülmektedir. bu durum dizel yakıtının kimyasal yapısındaki çözücülerin yağlama yağının viskozitesini düşürmesi sonucu aşınmayı arttırmasıyla izah edilebilir. Motor sıcaklığının artmasıyla birlikte

yağlama yağının viskozitesi düşer. Ancak biyodizel yakıtının dizel yakıtına göre daha fazla yağlama özelliğine sahip olması aşınmayı azaltıcı yönde bir etki yaptığı düşünülmektedir. Özellikle motor sıcaklığının yükselmesiyle beraber yağlama yağının viskozitesi düşer ve yağlama verimi azalır. Bu durum silindir, piston ve segman parçaları üzerinde olumsuz bir etki sağlar. Biyodizel yakıtının yağlama özelliğinin dizel yakıtına göre daha iyi olması bu parçalar üzerinde aşınma yönünde olumlu bir davranış olarak görülmektedir.

Biyodizeli üretmek ve kullanmak için Türkiye yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Türkiye’de kolza (kanola), ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinin enerji amaçlı tarımı mümkündür. Bu durum, tarım sektörüne ciddi bir hareket kazandırabilir. Kış ılıman geçen bölgelerimizde kanola ikinci ürün olarak da ekilebilir. Tarımı sorunsuz ve maliyeti buğday ve ayçiçeğinden az olan kanolanın, türk çiftçisi için önemli bir kurtarıcı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca yemeklik yağ statüsünde olmayan ve tarım alanlarını işgal etmeden üretilebilen yağlı ürünlerin (alg ve yosun türleri) yetiştiriciliği teşvik edilebilir. Bu sayede gıda olarak kullanılmayan yağların biyodizel üretiminde tercih edilmesi ekonomik ve çevresel avantajlar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Alptekin, E. and Çanakçı, M.**, 2010. Optimization of pretreatment reaction for methyl ester production from chicken fat, *Fuel*, **89**, 4035-4039.
- [2] **Lapuerta, M., Armas, O., and Rodriguez-Fernandez, J.**, 2008. effect of biodiesel fuels on engine emissions, *Progress in Energy and Combustion Science*, **34**, 198-223.
- [3] **Mazed, M.A.**, 1984. Test of vegetable oil as fuel in direct and indirect injection diesel engine, *PhD.Thesis*, Oklahoma State University, ABD.
- [4] **Behçet, R. ve Çakmak, A.V.**, 2011. Bir dizel motorda yakıt olarak kullanılan balık yağı metil esteri karışımlarının motor performans ve emisyonlarına etkisi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 Mayıs, Elazığ, Turkey, 161-165.
- [5] **Gürü, M., Koca, A., Can, Ö., Çakır, C. and Şahin, F.**, 2010. Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine, *Renewable Energy*, **35**, 637-643.
- [6] **Altun, Ş.**, 2009. Hayvansal yağlardan biyo-yakıt üretimi ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [7] **Budak, N., Bayındır, H., ve Yücel, H.L.**, 2009. Dizel motorlarda biyodizel kullanımının performans ve egzoz emisyonları açısından değerlendirilmesi, *V. Yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu* Diyarbakır 123-130.
- [8] **Gomez, M.E.G., Howard-Hildige, R., Leahy, J.J., O'Reilly, T., Supple, B. and Malone, M.**, 2000. Emission and performance characteristics of a 2 liter Toyota Diesel van operating on esterified waste cooking oil and mineral diesel fuel, *Environmental Monitoring and Assessment*, **65**, 13-20.
- [9] **Arpa, O., Yumrutaş, R. ve Kaşka, Ö.**, 2008. Atık motor yağından elde edilen dizel benzeri yakıtın motor performans ve eksoz emisyonu üzerindeki etkisinin incelenmesi, *VII. Ulusal Temiz enerji Sempozyumu*, 17-19 Aralık, İstanbul, 293-304.
- [10] **Demirbaş, A. and Karşlıoğlu, S.**, 2007. Biodiesel production facilities from vegetable oils and animal fats, *Energy Sources, Part: A*, **29**, 133-141.
- [11] **Meher, L.C., Sagar, D.V. and Naik, S.N.**, 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **10**, 248-268.
- [12] **Ramadhas, A.S., Jayaraj, S. and Muraleedharan, C.**, 2004. Use of vegetable oils as CI engine fuels: A review, *Renewable Energy*, **29**, 727-742.
- [13] **Çanakçı, M.**, 2007. Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel, *Bioresource Technology*, **98**, 1167-1175.
- [14] **Lin, C.H., Lin, H.A. and Hung, L.B.**, 2006. Fuel structure and properties of biodiesel produced by the peroxidation process, *Fuel*, **85**, 1743-1749.
- [15] **Kegl, B.**, 2008. Biodiesel usage at low temperature, *Fuel*, **87**, 1306-1317.

- [16] **Acaroğlu, M.**, 2003. Alternatif Enerji Kaynakları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, **75–78**, 229–256.
- [17] **Roy, M.M., Wang, W. and Alawi, M.**, 2015. Performance and emissions of a diesel engine fueled by biodiesel - diesel, biodiesel - diesel-additive and kerosene-biodiesel blends, *Energy Conversion and Management*, **84**, 164-173.
- [18] **How, H.G., Masjuki, H.H., Kalam, M.A. and Teoh, Y.H.**, 2014. An investigation of the engine performance, emissions and combustion characteristics of coconut biodiesel in a high-pressure common-rail diesel engine, *Energy*, **69**, 749-759.
- [19] **Abedin, M.J., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Sanjid, A., Ashrafur Rahman, S.M., Rizwanul Fattah, I.M.**, 2014. Performance, emissions, and heat losses of palm and jatropha biodiesel blends in a diesel engine, *Industrial Crops and Products*, **59**, 96-104.
- [20] **Palash, S.M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Atabani, A.E., Rizwanul Fattah, I.M., Sanjid, A.**, 2015. Biodiesel production, characterization, diesel engine performance, and emission characteristics of methyl esters from *Aphanamixis polystachya* oil of Bangladesh, *Energy Conversion and Management*, **91**, 149-157.
- [21] **An, H., Yang, W.M., Maghbouli, A., Li, J., Chou, S.K., Chua, K.J.**, 2013. Performance, combustion and emission characteristics of biodiesel derived from waste cooking oils, *Applied Energy*, **112**, 493-499.
- [22] **Agosto, M.D.A.D., Silva, M.A.V.D., Oliveira, C.M.D., Franca, L.S., Marques, L.G.D.C., Murta, A.L.S., Freitas, M.A.V.D.**, 2015. Evaluating the potential of the use of biodiesel for power generation in Brazil, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **43**, 807-817.
- [23] **Feng, Y., Yang, Q., Wang, X., Liu, Y., Lee, H., Ren, N.**, 2011. Treatment of biodiesel production wastes with simultaneous electricity generation using a single-chamber microbial fuel cell, *Bioresource Technology*, **102**, 411-415.
- [24] **Kalam, M.A. and Majuski, H.H.**, 2008. Testing palm biodiesel and NPAA additives to control NOx and CO while improving efficiency in diesel engines, *Biomass Bioenergy*, **32**, 1116–1122.
- [25] **Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A.**, 1995. İçten Yanmalı Motorlar, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Ankara, 253s.
- [26] **Keskin, A.**, 2005. Tall yağı esaslı biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretimi ve bunların dizel motor performansı üzerindeki etkileri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [27] <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx>, 12 Eylül 2014.
- [28] **FAO**, 2012, OECD, Food and agriculture organization of the united nations. sayfa:286 ISBN. 9789264173071 PDF;9789264173026 DOI: 10.1787/agr_outlook-en
- [29] **Karaosmanoğlu, F.**, 2002. Türkiye için çevre dostu - yenilenebilir bir yakıt adayı: biyomotorin, *Kojenerasyon Dergisi*, **10**, 50-56.
- [30] **Karaosmanoğlu, F.**, 2007. Biyomotorin ve Türkiye, www.biyomotorin-biyodiesel.com/biomoto.html.
- [31] **Güler, K.**, 2008, Biyodizel Teknolojisi, Sistem Tasarımı ve Deneysel Olarak Biyodizel Üretimi, *Yüksek Lisans Tezi* S.D.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü, Isparta,
- [32] www.cevreorman.gov.tr/belgeler/yaglar.pdf 19 Aralık 2014

- [33] **Srivastava, A. and Prasad, R.,** 2000. Triglycerides-based diesel fuels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **4**, 111-133.
- [34] **Demirbaş, A. and Karşoğlu, S.,** 2007. Biodiesel production facilities from vegetable oils and animal fats, *Energy Sources, Part: A*, **29**, 133–141.
- [35] **Marchetti, J.M., Miguel, V.U. and Errazu, A.F.,** 2007. Possible methods for biodiesel production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **11**, 1300–1311.
- [36] **Ma, F. and Hanna, M.A.,** 1999. Biodiesel production: A review, *Bioresource Technology*, **70**, 1-15.
- [37] **Agarwal, A.K.,** 2007. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines, *Progress in Energy and Combustion Science*, **33**, 233-271.
- [38] **Freedman, B., Butterfield, R.O. and Pryde, E.H.,** 1986. Transesterification kinetics of soybean oil, *JAOCs*, **63**, 1375-1380.
- [39] **Çıldır, O. ve Çanakçı, M.,** 2006. Çeşitli bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde katalizör ve alkol miktarının yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, **21**, 367-372.
- [40] **Demirbaş, A.,** 2002. Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol, *Energy Conversion and Management*, **43**, 2349–2356.
- [41] **Felizardo, P., Correia, M.J.N., Raposo, I., Mendes, J.F., Berkemeier, R. And Bordado, J.M.,** 2006. Production of biodiesel from waste frying oils, *Waste Management*, **26**, 487–494.
- [42] **Çanakçı, M. And Van Gerpen, J.,** 1999. Biodiesel production via acid catalysis, *Transactions of the ASAE*, **42**, 1203-1210.
- [43] **Tillem, İ.,** 2005. Dizel motorları için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı, *Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli*.
- [44] <http://www.bilgiustam.com/kanola-yagi-nedir-zararlari-ve-yararlari-nelerdir/> 28 Eylül 2014
- [45] **Yazıcıoğlu, T., Karaali, A.,** 2006. On the Fatty Acid Composition of Turkish Vegetable Oils *European journal of lipid science and technology*, **10**, 23-29.
- [46] **Alptekin, E., ve Çanakçı, M.,** 2010. Optimization of pretreatment reaction for methyl ester production from chicken fat, *Fuel*, **89**, 4035-4039.
- [47] <http://www.dikmaksan.com/>
- [48] **Gürü, M., Karakaya, U., Altıparmak, D. and Ahcılar, A.,** 2002. Improvment of diesel fuel properties by using additives, *Energy Conversion & Management*, **43**, 1021-1025.
- [49] **Keskin, A., Gürü, M. and Altıparmak, D.,** 2007. Biodiesel production from tall oil synthesized Mn and Ni based additives: effects of the additives on fuel consumption and emissions, *Fuel*, **86**, 1139–1143.
- [50] **Ali, Y., and Hanna, M.A.,** 1994, Physical Properties of Tallow Ester and Diesel Fuel Blends, *Bioresource Technology*, **47**, 131-134.
- [51] **Sims, Ralph E.H.,** 1985, Tallow esters as an alternative diesel fuel, *transactions of ASAE*, **28**, 716-721.
- [52] **Pugazhivadivu, M. and Jeyachandran, K.,** 2005, Investigations on the Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Using Preheated Waste Frying Oil as Fuel, *Renewable Energy*, **30**, 2189–2202.

- [53] **Raheman, H., and Phadatare, A.G.,** 2004, Diesel Engine Emissions and Performance from Blends of Karanja Methyl Ester and Diesel, *Biomass and Bioenergy*, **27**, 393 – 397.
- [54] **Gomez, M.E.G., Howard-Hildige, R., Leahy, J.J., O'Reilly, T., Supple, B. and Malone, M.,** 2000. Emission and performance characteristics of a 2 liter Toyota Diesel van operating on esterified waste cooking oil and mineral diesel fuel, *Environmental Monitoring and Assessment*, **65**, 13-20.
- [55] **Dorado, MP., Ballesteros, E., Arnal, JM., Gomez, J., Lopez, FJ.,** 2003. Exhaust emissions from a diesel engine fuelled with transesterified waste olive oil, *Fuel*, **82**, 1311-1315.
- [56] **Usta N.,** 2005. An experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with tobacco seed oil methyl ester, *Energy Conversion and Management*, **46**, 2373-2386.
- [57] **Altın, R., Cetinkaya, S. and Yücesu, H.S.,** 2001. The potential of using vegetable oil fuels as fuel for Diesel engines, *Energy Conversion and Management*, **42**, 529-538.
- [58] **Fernando, S., Hall, C. and Jha, S.,** 2006. NOx reduction from biodiesel fuels, *Energy & Fuels*, **20**, 376-382.
- [59] **Tat, ME.,** 2003. Investigation of oxides of nitrogen emissions from biodiesel-fueled engines, Ph.D. dissertation, Iowa State University, ABD.
- [60] **Altıparmak D., Keskin A., Koca A. And Gürü M.,** 2007. Alternative fuel properties of tall oil fatty acid methyl ester-diesel fuel blends, *Bioresource Technology*, **98**, 241-246.
- [61] **Kumar, M.S., Kerihuel, A., Belletre, J. and Tazerout, M.,** 2005. Experimental investigation on the use of preheated animal fat as fuel in a compression ignition engine, *Renewable Energy*, **30**, 1443-1456.
- [62] **Lapuerta, M., Rodriguez-Fernandez, J. and Agudelo, J.R.,** 2008. Diesel particulate emissions from used cooking oil biodiesel, *Bioresource Technology*, **99**, 731–740.
- [63] **Puhana, S., Vedaramana, N., Rama, B.V.B., Sankarnarayananb, G. and Jeychandran, K.,** 2005. Mahua oil (madhuca indica seed oil) methyl ester as biodiesel-preparation and emission characteristics, *Biomass and Bioenergy*, **28**, 87–93.
- [64] **Altıparmak D., Keskin A., Koca A. And Gürü M.,** 2007. Alternative fuel properties of tall oil fatty acid methyl ester-diesel fuel blends, *Bioresource Technology*, **98**, 241-246.
- [65] **Abdel-Rahman A.A.,** 1998. On the emissions from internal-combustion engines: A review, *International Journal of Energy Research*, **22**, 483-513.

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Elazığ merkezde tamamladı. 2008 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümüne başladı. 2012 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirdi. 2012–2014 yılları arasında asansör denetimi ve mekanik tesisat konusunda uzman olarak çalıştı. 2012 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği yenilenebilir enerji A.B.D' da yüksek lisansa başladı. 2014 yılında İnönü Üniversitesi Arapgir Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü Doğalgaz ve Tesisatı Teknolojisi programına öğretim görevlisi olarak atandı.