TEK SİLİNDİRLİ DİZEL MOTORDA ATIK KIZARTMA YAĞI METİL ESTERİ İLE POLYESTER İPLİK ÜRETİMİNDE AÇIĞA ÇIKAN ATIK YAĞIN FARKLI ORANLARDAKİ KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANSINA, EGZOZ EMİSYONUNA VE ENJEKTÖR AŞINMASINA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEK SİLİNDİRLİ DİZEL MOTORDA ATIK KIZARTMA YAĞI METİL ESTERİ İLE POLYESTER İPLİK ÜRETİMİNDE AÇIĞA ÇIKAN ATIK YAĞIN FARKLI ORANLARDAKİ KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANSINA, EGZOZ EMİSYONUNA VE ENJEKTÖR AŞINMASINA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Murat ARSLAN

0000-0001-5204-9621

Prof. Dr. İlknur ALİBAŞ
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2024
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

TEK SİLİNDİRLİ DİZEL MOTORDA ATIK KIZARTMA YAĞI METİL ESTERİ İLE POLYESTER İPLİK ÜRETİMİNDE AÇIĞA ÇIKAN ATIK YAĞIN FARKLI ORANLARDAKİ KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANSINA, EGZOZ EMİSYONUNA VE ENJEKTÖR AŞINMASINA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Murat ARSLAN

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İlknur ALİBAŞ

Bu çalışmada, dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımlarının tek silindirli hava soğutmalı direkt enjeksiyonlu dizel jeneratörde motor performansı, emisyon değerleri ve her bir enjektör üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla 6 kW gücündeki dizel jeneratör farklı elektriksel güç aralıklarında dört farklı yakıt ve karışımları kullanılarak 100 saat çalıştırılmıştır. Yapılan performans testlerinde en yüksek moment değeri 6000 W elektriksel güç değerinde biyodizel+%10 ASFY yakıt karışımında 17,28 Nm olarak gerçekleşmiştir. Aynı elektriksel güç değerinde en düşük moment değeri dizel yakıtta %2,98 düşüşle 16,77 Nm olarak görülmüştür. Özgül yakıt tüketiminde 6000 W elektriksel güç değerinde en düşük değer 1,58 kg/saat ile dizel yakıtta gerçekleşmiş aynı yükte biyodizel yakıtta %27,98 artışla 2,03 kg/saat olarak saptanmıştır. Emisyonlarda karbonmonoksit (CO) değeri tam yükte Biyodizel+%20 karışımı dizel yakıta göre %12,5 düşüş göstermiştir. Hidrokarbon (HC) en düşük 1200 W yükte 8 ppm olarak gerçekleşirken en yüksek değeri 2400 W yükte biyodizel+%10 ASFY yakıt karışımında 26 ppm olarak ölçülmüştür. Duman yoğunluğu (is) değerlerinde tam yükte dizel yakıtta 5,81 1/m olarak gerçekleşirken bu oran aynı yükte biyodizel+%10 ASFY yakıt karışımında 0,162 1/m olarak gerçekleşmiştir. Azotoksit (NO_x) değeri 4800 W yükte 73 ppm ile en düşük değerini biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımında ölçülürken, 2400 W yük değerinde %245,2 artışla 179 ppm olarak biyodizel yakıtta gerçekleşmiştir. Her bir yakıt ve karışımları için 100 saatlik çalışmadan sonra, tüm enjektör iğnelerinin ve meme uçlarının görsel inceleme, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını (EDX) analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre dizel enjektör meme ucunda ve birinci bölgede Fe %83,7 değeriyle en yüksek yüzdesel orana sahip element olarak görülmüştür. C oranı %58,5 ile ve O oranı %18,5 ile dizel enjektör meme ucu ve üçüncü bölgede gerçekleşmiştir. Diğer elementlerin ise oransal değerlerinin yüzdesel olarak düşük kaldığı tespit edilmiştir. Enjektör iğnelerinde inorganik bileşenler, enjektör meme uçlarında ise inorganik bileşenlerle birlikte, yaşlandırma ürünleri gözlemlenmiştir. Biyodizel ve dizel yakıt sonuçları arasında enjektör memesi işlevi açısından önemli bir fark bulunmazken, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımlarında işlevsel bozukluklar tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, ASFY, egzoz emisyon, motor performans, enjektör

2024, viii + 117 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

DETERMINATION OF THE EFFECT OF DIFFERENT RATIOS OF MIXTURE OF WASTE OIL IN THE SINGLE CYLINDER DIESEL ENGINE WITH THE PRODUCTION OF METHYL ESTER AND POLYESTER YARN ON ENGINE PERFORMANCE, EXHAUST EMISSION AND INJECTOR WEAR

Murat ARSLAN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystem Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İlknur ALİBAŞ

In this study, the engine performance, emission values, and effects on each injector of diesel, biodiesel, biodiesel+10% ASFY, and biodiesel+20% ASFY fuel blends were investigated in a single-cylinder air-cooled direct injection diesel generator. For this purpose, a 6 kW diesel generator was run for 100 hours using four different fuels and blends at various electrical power intervals. In performance tests, the highest torque value of 17,28 Nm was achieved with the biodiesel + 10% ASFY fuel blend at 6000 W electrical power. At the same electrical power, the lowest torque value was observed in diesel fuel with a 2.98% decrease, reaching 16,77 Nm. The specific fuel consumption at 6000 W electrical power reached its lowest value of 1.58 kg/h with diesel fuel, while with biodiesel fuel at the same load, it increased by 27.98% to 2.03 kg/h. In emissions, carbon monoxide (CO) showed a 12.5% decrease with the biodiesel + 20% blend compared to diesel fuel at full load. Hydrocarbon (HC) was lowest at 8 ppm at 1200 W load and highest at 26 ppm at 2400 W load in biodiesel+10% ASFY fuel blend. Smoke density (carbon deposit) was 5,81 1/m with diesel fuel at full load, while with the biodiesel + 10% ASFY fuel blend at the same load, it was 0.162. Nitrogen oxide (NO_x) value gave its lowest value of 73 ppm with the biodiesel + 20% ASFY blend at 4800 W load, while at 2400 W load, it was 179 ppm with biodiesel fuel, showing a 245.2% increase. After 100 hours of operation with each fuel and blend, visual inspection, scanning electron microscope (SEM), and energy-dispersive X-ray (EDX) analyses were conducted on each injector needle and nozzle tip. According to the analysis results, the highest percentage of Fe (iron) at 83.7% was observed in the diesel injector nozzle tip and the first region. The C (carbon) ratio was 58.5% in the diesel injector nozzle tip and the third region, while the O (oxygen) ratio was 18.5% in the diesel injector nozzle tip and the third region. The proportional values of other elements were found to be relatively low. Inorganic components were observed in injector needles, while aging products and inorganic components were observed in injector nozzle tips. There was no significant difference between biodiesel and diesel fuel results in terms of injector nozzle function, but dysfunctions were detected in biodiesel+10% ASFY and biodiesel+20% ASFY fuel blends.

Key words: Biodiesel, ASFY, exhaust emission, fuel analysis, engine performance, injector

2024, viii + 117 pages.

ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren yüksek lisans ve doktora eğitim sürecim boyunca akademik tecrübelerini benden esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Kamil Alibaş ve Prof. Dr. İlknur Alibaş'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine tezimi FDK-2022-1205 kodlu proje ile destekledikleri için teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans ve doktora eğitim sürecinde desteklerini esirgemeyen eşim Çiğdem Arslan, kızlarım Ece ve Eda Arslan'a teşekkürü bir borç bilirim.

Murat ARSLAN

20/02/2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ ix
ÇİZELGELER DİZİNİ xii
1. GİRİŞ 1
1.1. Bitkisel Yağlar 2
1.2. Biyodizel 5
1.3. Biyodizel Üretim Yöntemleri 8
1.3.1. Seyreltme (İnceltme) 9
1.3.2. Mikroemülsiyon 9
1.3.3. Piroliz 10
1.3.4. Transesterifikasyon 10
1.4. Biyodizel Üretiminin İşlem Basamakları 11
1.5. Biyodizelin Özellikleri 12
1.5.1. Biyobozunabilirlik 12
1.5.2. Toksik Etkisi 13
1.5.3. Kinematik Viskozite 13
1.5.4. Yoğunluk 14
1.5.5. Setan Sayısı 14
1.5.6. İyot sayısı 15
1.5.7. Isıl Değer 15
1.5.8. Parlama (Alevlenme) Noktası 15
1.5.9. Düşük Sıcaklık Akış Özellikleri 16
1.5.10. Kükürt İçeriği 16
1.5.11. Yağlayıcılık 17
1.5.12. Su ve Tortu İçeriği 17
1.6. Dizel ve Biyodizelin Karşılaştırılması 18
1.7. Biyodizel Kaynaklarının Ülkemizdeki Durumu 19
1.8. Biyodizel Kullanımının Avantajları 22
1.9. Biyodizel Kullanımının Dezavantajları 23
1.10. Tekstil Lifleri 23
1.10.1. Polyester İplik Üretimi 27
1.10.2. Polyester Liflerin Elde Edilme Şartları 27
1.10.3. Polyester İplik Üretim Aşamaları 28
1.10.4. Yağlama ve Anti Statik İşlem 29
1.10.5. Yağlama ile Kazandırılan Özellikler 30
1.10.6. Spin Finish Yağının Özellikleri 30
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 31
3. MATERYAL ve YÖNTEM 40
3.1. Materyal 40
3.1.1. Test Jeneratörünün Özellikleri 41

3.1.2. Elektrikli Isıtıcı 42
3.1.3. Akkor Ampuller 42
3.1.4. Ampermetre 43
3.1.5. Voltmetre 43
3.1.6. Mekanik Devir Ölçer 44
3.1.7. Hassas Terazi 44
3.1.8. Egzoz Sıcaklığı Ölçüm Cihazı 45
3.1.9. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı 45
3.1.10. Yoğunluk Ölçüm Cihazı 46
3.1.11. Kinematik Viskozite Ölçüm Cihazı 47
3.1.12. Parlama Noktası Tayin Cihazı 47
3.1.13. Su İçeriği Tayin Cihazı 48
3.1.14. Bakır Şerit Korozyonu Test Cihazı 48
3.1.15. Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (SFTN) Tayin Cihazı 49
3.1.16. Karbon Kalıntı Miktarı Ölçüm Cihazı 50
3.1.17. Kronometre 50
3.1.18. Metil Alkol (Metanol) 51
3.1.19. Sodyum Hidroksit 51
3.1.20. Biyodizel Üretim Tesisi 51
3.1.21. Enjektör İncelemesinde Kullanılan Cihazlar 52
3.2. Yöntem 53
3.2.1. Yakıtların Temin Edilmesi 54
3.2.2. Atık Kızartma Yağı Metil Esterinin (AKYME) Üretilmesi 54
3.2.3. Atık Spin Finish Yağının Hazırlanması 56
3.2.4. Biyodizel ve Atık Spin Fininish Yağı Yakıt Karışımlarının Hazırlanması 57
3.2.5. Deneylerde Kullanılan AKYME, SFY, ASFY ve Motorin Yakıtlarının Analizi 58
3.2.6. Motor Performans Deneyleri 59
3.2.7. Elektriksel Güç 59
3.2.8. Moment 59
3.2.9. Özgül Yakıt Tüketimi 60
3.2.10. Emisyon Ölçümleri 60
3.2.11. Enjektör Test ve Analizleri 60
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 61
4.1. Motor Performans Değerlerinin Karşılaştırılması 61
4.1.1. Motor Moment Değerlerinin Karşılaştırılması 61
4.1.2. Elektriksel Güç Değerlerinin Karşılaştırılması 63
4.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi Değerlerinin Karşılaştırılması 65
4.1.4. Egzoz Sıcaklığı Değerlerinin Karşılaştırılması 67
4.1.5. Motor Devir Değerlerinin Karşılaştırılması 68
4.2. Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması 70
4.2.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Değerleri 70
4.2.2. Karbondioksit (CO_2) Emisyonu Değerleri 72
4.2.3. Oksijen (O_2) Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması 73
4.2.4. Azot Oksit (NO_x) Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması 75
4.2.5. Hidrokarbon (HC) Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması 77
4.2.6. Hava Fazlalık Katsayısı (λ) Değerlerinin Karşılaştırılması 80
4.2.7. Duman Yoğunluğu (İs) Değerlerinin Karşılaştırılması 82
4.3. Enjektör Meme ve İğne Analiz Sonuçları 84

4.3.1. Enjektör Memelerinin Görsel Kontrolü 84
4.4. SEM ve EDX Analizleri 86
4.4.1. Enjektör Meme Uçlarının ve Meme İğnelerinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi 86
4.4.2. EDX Element Analizleri 88
5. SONUÇLAR 94
6. KAYNAKLAR 96
EKLER 113
ÖZGEÇMİŞ 116

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
B	Saatlik yakıt tüketimi
Ba	Baryum
B_e	Kütlesel yakıt tüketimi
C	Karbon
C_2H_6O	Etil alkol (Etanol)
Ca	Kalsiyum
CO	Karbon monoksit
CO_2	Karbon dioksit
CN	Setan sayısı
Cos φ	Güç faktörü
CH_3OH	Metil alkol (Metanol)
ffa	Free fatty acid
g	Gram
g/cm^3	Gram/santimetreküp
H	Hidrojen
h	Saat
HC	Hidrokarbon
KCl	Potasyum klörür
KOH	Potasyum hidroksit
I	Akım
L	Litre
d dak^{-1}	Devir/dakika
mt	Milyon ton
n	Motor hızı (devir sayısı)
Nm	Newton metre
Na	Sodyum
NaOH	Sodyum hidroksit
NO	Azot monoksit
NO_x	Azot oksit
M	Moment
O	Oksijen
U	Gerilim
P	Elektriksel güç
PAH	Poliaromatik hidrokarbon
PM	Partikül madde
ppm	Milyondaki parçacık sayısı
rpm	Dakikadaki devir sayısı
S_p	Piston hızı
SO_x	Kükürt oksit
λ	Hava fazlalık katsayısı (lamda)

Kısaltmalar	Açıklama
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ALBİYOBİR	Alternatif Enerji ve Biyodizel Üreticileri Birliği
AÖN	Alt ölü nokta
ASTM	American Society for Testing and Material
AKYB	Atık kızartma yağı biyodizeli
AKYME	Atık kızartma yağı metil esteri
ASFY	Atık spin finish yağı
BYME	Bitkisel yağ metil esteri
BAB	Bilimsel Araştırma Birimi
DBY	Dizel Benzeri Atık Yağlama Yağı
DIN	Deutsches Institut für Normung (Alman Standartları)
EDS	Enerji Dispersiv Spektrum
EDX	Enerji dağıtıcı x-ışını
EN	European Norm (Avrupa Standartları)
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EtOH	Etil alkol
FDY	Fully Drawn Yarn (Tam Çekimli iplik)
IEA	International Energy Agency.
ISO	International Organization for Standardization
ÜÖN	Üst ölü nokta
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
KOH	Potasyum hidroksit
MAM	Marmara Araştırma Merkezi
MeOH	Metil alkol
MTEP	Milyon ton petrol eşdeğeri
NaOH	Sodyum hidroksit
ÖTV	Özel Tüketim Vergisi
POY	Particully Oriented Yarn (Yarı İşlenmiş İplik)
PM	Partikül madde
RAM	Gergili Kurutma Makinaları
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SH	Standart Hata
SFY	Spin finish yağı
TUİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TS EN 14214	Oto biyodizel standardı
YAME	Yağ asidi metil esteri
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılabilme imkânları (Oğuz ve ark., 2009)	5
Şekil 1.2.	Biyodizelin kimyasal reaksiyonu (Arslan ve Alibaş, 2015)	11
Şekil 1.3.	Metil ester üretim süreci (Eryılmaz vd., 2014)	12
Şekil 1.4.	Toplanan atık bitkisel yağ miktarı (Yanmaz, 2018)	21
Şekil 1.5.	Türkiye'de yıllara göre üretilen biyodizel miktarı (Şahbaz, 2019)	22
Şekil 1.6.	Dünya iplik üretiminde liflerin oranları (Kutlucan, 2018)	25
Şekil 1.7.	Dünya iplik talebi (milyon ton) (Kutlucan, 2018)	26
Şekil 1.8.	Polyester iplik üretim aşamaları (Acar vd., 2006).	29
Şekil 3.1.	Deneyde kullanılan jeneratör ve yük kaynakları	40
Şekil 3.2.	Deney düzeneğinin şematik görünüşü	41
Şekil 3.3.	Antrac Ant Gen 6000 C tek silindir dizel jeneratör	41
Şekil 3.4.	Roehler Zen Home 3000 W IR 3001 B Quartz Isıtıcı	42
Şekil 3.5.	Longlite 200 watt akkor ampul	43
Şekil 3.6.	ENTES 8699421404355 ampermetre	43
Şekil 3.7.	Federal, FV72 marka voltmetre	44
Şekil 3.8.	AT-8 dijital / mekanik devir ölçer	44
Şekil 3.9.	Swock TCS Hassas Terazi	45
Şekil 3.10.	Cem DT836 Lazer Işıklı, K tipi sensörü ve kiti bulunan termometre	45
Şekil 3.11.	Bilsa MOD 2210 WINXP-K egzoz emisyon cihazı	46
Şekil 3.12.	Anton Paar DMA 4500 yoğunlık ölçüm cihazı	47
Şekil 3.13.	Herzog HVM 482 model viskozite ölçüm cihazı	47
Şekil 3.14.	Herzog HFP 360-Pensky Martens parlama noktası tayin cihazı	48
Şekil 3.15.	Mitsubishi CA 200 su içeriği ölçüm cihazı	48
Şekil 3.16.	Koehler BK bakır şerit korozyonu test cihazı	49
Şekil 3.17.	FPP 5Gs soğuk filtre tıkanma noktası tayin cihazı	49
Şekil 3.18.	Seta – Tanaka Acr – M3 karbon kalıntı miktar ölçüm cihazı	50
Şekil 3.19.	Kenko KK-613D markalı kronometre	50
Şekil 3.20.	Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisinin şematik görünüşü	52
Şekil 3.21.	Tescan Vega3 SB Elektron Mikroskobu ve Enerji dağılımlı X Işını Spektrometresi	53
Şekil 3.22.	Deneylerde kullanılan yağlar	54
Şekil 3.23.	Atık spin finish yağının ön işlem aşaması	56
Şekil 3.24.	%10 ve %20 atık spin finish yağı katılmış biyodizel karışımları	57
Şekil 4.1.	Dizel (a), Biyodizel (b), Biyodizel+%10 ASFY (c) ve Biyodizel+%20 (d)ASFY yakıtlarının elektriksel güç yüklemelerine bağlı olarak moment değerleri ve istatistiksel hata sonuçları	62
Şekil 4.2.	Dizel (a), Biyodizel (b), Biyodizel+%10 ASFY (c) ve Biyodizel+%20 ASFY (d) yakıtlarının elektriksel güç değerleri ve istatistiksel hata sonuçları	64
Şekil 4.3.	Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri ve istatistiksel hata sonuçları	66

Şekil 4.4. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları egzoz sıcaklık değerleri ve istatistiksel hata sonuçları 67
Şekil 4.5. Dizel, Biyodizel,Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları devir sayısı değerleri ve istatistiksel hata sonuçları..... 69
Şekil 4.6. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları karbonmonoksit (CO) değerleri ve istatistiksel hata sonuçları..... 71
Şekil 4.7. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları CO2 değerleri ve istatistiksel hata sonuçları..... 73
Şekil 4.8. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları oksijen değerleri ve istatistiksel hata sonuçları..... 75
Şekil 4.9. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları NO_x değerleri ve istatistiksel hata sonuçları..... 77
Şekil 4.10. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları HC değerleri ve istatistiksel hata sonuçları..... 79
Şekil 4.11. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları (λ) değerleri ve istatistiksel hata sonuçları..... 81
Şekil 4.12. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları duman yoğunluğu değerleri ve istatistiksel hata sonuçları..... 83
Şekil 4.13. Enjektör memesinin kısımları..... 84
Şekil 4.14. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY sırasıyla çalışma sonrası meme gövdesi (temizleme öncesi) 85
Şekil 4.15. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY sırasıyla çalışma sonrası enjektör iğnesi (temizleme öncesi)..... 85
Şekil 4.16. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY sırasıyla çalışma sonrası meme uçları (temizleme öncesi)..... 85
Şekil 4.17. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY sırasıyla çalışma sonrası meme gövdesi (temizleme sonrası) 86
Şekil 4.18. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY sırasıyla çalışma sonrası enjektör iğnesi (temizleme sonrası)..... 86
Şekil 4.19. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY sırasıyla çalışma sonrası meme uçları (temizleme sonrası)..... 86
Şekil 4.20. Dizel yakıt ile çalışma sonrası meme ucu ve iğnesi SEM görüntüsü 87
Şekil 4.21. Biyodizel yakıt ile çalışma sonrası meme ucu ve iğnesi SEM görüntüsü..... 87
Şekil 4.22. Biyodizel+%10 ASFY yakıt ile çalışma sonrası meme ucu ve iğnesi SEM görüntüsü..... 87
Şekil 4.23. Biyodizel+%20 ASFY yakıt ile çalışma sonrası meme ucu ve iğnesi SEM görüntüsü..... 87

Şekil 4.24. Dizel yakıt ile çalışmış enjektör meme ve iğnesi yüzeyinde yapılan EDX analiz sonuçları 89
Şekil 4.25. Biyodizel yakıt ile çalışmış enjektör meme ve iğnesi yüzeyinde yapılan EDX analiz sonuçları 89
Şekil 4.26. Biyodizel+%10 ASFY yakıt ile çalışmış enjektör meme ve iğnesi yüzeyinde yapılan EDX analiz sonuçları 90
Şekil 4.27. Biyodizel+%20 ASFY yakıt ile çalışmış enjektör meme ve iğnesi yüzeyinde yapılan EDX analiz sonuçları 91

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Bazı bitkisel yağların yakıt karakteristikleri (Georing vd., 1982)... 3
Çizelge 1.2. Biyodizel standartları ve yakıt özellikleri (Özçelik, 2011) 6
Çizelge 1.3. Biyodizel karışım oranları (Aydoğan, 2008)..... 7
Çizelge 1.4. B100 ve B20 yakıtlarının emisyon değerlerinin karşılaştırması (Khan ve ark., 2009)..... 8
Çizelge 1.5. Kimyasal yöntemle biyodizel üretim metotları (Leung vd., 2010) . 9
Çizelge 1.6. Biyodizel ve petrol dizelinin yakıt özellikleri (Anonim, 2021) 19
Çizelge 1.7. Türkiye'de yağlı tohum üretim miktarları (1000 ton) (TÜİK 2021) 20
Çizelge 1.8. Lisans almış bitkisel atık yağ geri kazanım tesisleri (Biyodizel Sanayi Derneği, 2019). 21
Çizelge 1.9. Tekstil liflerinin sınıflandırılması (MEB, 2011) 24
Çizelge 1.10. Türkiye'de polyester iplik üretimi yapan başlıca firmalar (Anonim, 2023b) 26
Çizelge 1.11. Spin finish yağının teknik özellikleri (Kumar vd., 2006)..... 30
Çizelge 3.1. Deney jeneratörünün teknik özellikleri 42
Çizelge 3.2. Bilsa MOD 2210 WINXP-K egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri..... 46
Çizelge 3.3. Metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri..... 51
Çizelge 3.4. Sodyum hidroksitin fiziksel ve kimyasal özellikleri 51
Çizelge 3.5. 1000 kg Polyester iplik üretiminde kullanılan yağ ve atık yağ miktarları 56
Çizelge 3.6. AKYME, SFY, ASFY ve motorin yakıtlarının test sonuçları 58
Çizelge 3.7. AKMYE, SFY, ASFY ve motorinin yakıtlarına ait test sonuçlarının istatistiksel veri tablosu 58
Çizelge 4.1. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının moment değerlerine ait istatistiksel veri tablosu..... 63
Çizelge 4.2. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının elektriksel güç değerlerine ait istatistiksel veri tablosu 65
Çizelge 4.3. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerine ait istatistiksel veri tablosu..... 66
Çizelge 4.4. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının egzoz sıcaklık değerlerine ait istatistiksel veri tablosu 68
Çizelge 4.5. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarına ait devir sayılarının istatistiksel veri tablosu 70
Çizelge 4.6. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının CO emisyonuna ait istatistiksel veri tablosu 72
Çizelge 4.7. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının CO_2 emisyonuna ait istatistiksel veri tablosu..... 73
Çizelge 4.8. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının O_2 emisyonuna ait istatistiksel veri tablosu 75
Çizelge 4.9. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının NO_x emisyonuna ait istatistiksel veri tablosu 77

Çizelge 4.10. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının HC emisyonuna ait istatistiksel veri tablosu 79
Çizelge 4.11. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının lamda değerlerine ait istatistiksel veri tablosu 82
Çizelge 4.12. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının duman yoğunluğu değerlerine ait istatistiksel veri tablosu..... 84
Çizelge 4.13. Dizel yakıt ile çalışmış enjektör memesi ve iğne yüzeyinde tespit edilen elementler 89
Çizelge 4.14. Biyodizel yakıt ile çalışmış enjektör memesi ve iğne yüzeyinde tespit edilen elementler..... 90
Çizelge 4.15. Biyodizel+%10 ASFY yakıt ile çalışmış enjektör memesi ve iğne yüzeyinde tespit edilen elementler 90
Çizelge 4.16. Biyodizel+%20 ASFY yakıt ile çalışmış enjektör memesi ve iğne yüzeyinde tespit edilen elementler 91

1. GİRİŞ

Dünyada enerji ihtiyacı ağırlıklı olarak, birincil enerji kaynakları olan kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil kökenli yakıtlardan sağlanmaktadır. Günümüzde hızla artan enerji ihtiyacı %80 oranında fosil yakıtlardan karşılanmaktadır (World Energy Outlook, 2023). Birincil enerji kaynaklarının başında gelen fosil yakıtların dünya genelinde dengesiz bir şekilde dağılmış olması bazı ülkeleri dezavantajlı konuma getirmiştir (Birol, 2020). Bu durum günümüzde ülkeleri öncelikli olarak yerli enerji kaynaklarını değerlendirme konusunda yeni arayışlara itmiştir. Ülkelerin dış ülkelere bağımlılığını azaltma ve arz güvenliğini sağlama çabası enerji kaynaklarını çeşitlendirme yolundan geçmektedir. Fosil yakıtların kaynağının sonsuz olmaması yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini bir kat daha arttırmaktadır. En önemli yenilenebilir enerji kaynakları jeotermal, rüzgâr, güneş, hidroelektrik ve biyokütledir (Akman, 2015). Biyokütle kaynaklarının çeşitli işlemlerden geçirilmesi sonucunda biyogaz, biyodizel ve biyoetanol olmak üzere üç temel biyoyakıt üretilebilmektedir (Karaosmanoğlu, 2006). Biyokütle içerisinde yer alan biyodizel dünyada ve özellikle AB ülkelerinde enerji ihtiyacının karşılanmasında her geçen gün payını arttırmış ülkemiz için önü açık ve potansiyeli yüksek bir enerji kaynağıdır.

Biyodizel, bitkisel ve hayvansal yağların yanı sıra atık yağlardan elde edilen bir enerji kaynağıdır. Biyodizel TS EN 14213 ve/veya TS EN 14214 normlarına göre yağ asidi metil esterlerinin bir kombinasyonunu içerir (İşler, 2007). Son yıllarda küresel iklim değişikliği, hava ve suyun kirlenmesi gibi sorunların yanında insan sağlığını tehdit eden fosil yakıtlar, biyodizel gibi çevreci bir yakıtın tercih edilmesini teşvik etmiştir (Anonim 2021a).

Biyodizelin bu kadar ön planda olmasının temel nedeni üretiminin basit olması, enerji verimliliğinin yüksek seviyede olması ve çevre dostu bir yakıt olmasıdır. Petrol dizelinin oluşturduğu emisyon değerleri günümüzde istenmeyen değerlerde olup azaltılması konusunda çalışmalar sürdürülmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda biyodizelin emisyon değerlerinin petrol dizeli emisyon değerleri ile karşılaştırıldığında HC, CO, PM, PAH ve SO_x gibi zararlı ve küresel ısınmaya neden olan emisyonlarda motorine göre büyük azalma sağladığı ortaya konulmuştur (Alptekin ve Çanakçı, 2006).

Biyodizel direkt olarak dizel motorlarda kullanılabilir. Bunun yanında geleneksel petrol dizeli ile belli oranlarda harmanlanabilmektedir. AB ülkelerinde petrol dizeli ile biyodizel harmanlama oranı ülkelere göre değişiklik göstermektedir. Bu oran Avusturya'da %6,3 Romanya'da %6,5 Fransa'da ise %7,7 oranında gerçekleşmiştir (Lieberz, 2018).

Ülkemizde, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) 16 Haziran 2017'de yayımladığı tebliğle, 1 Ocak 2018'den başlayarak petrol kökenli dizel yakıtlara %0,5 oranında yerli tarım ürünleri ve bitkisel atık yağ kaynaklı biyodizel ilavesini mecburi hale getirmiştir (Arslan ve Alibaş, 2015).

Dünyada enerji talebinin yıllık artışı günümüze kadar ortalama %2,5'luk artış göstermiştir. Bu artışın 2030 yılına kadar her yıl azalarak %1,6'ya düşmesi beklenirken, yenilenebilir enerjide ise %7,6 artış olması tahmin edilmektedir. 2040 yılında, 2016'ya kıyasla yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin dört katına çıkacağı ve bu enerji kaynaklarının toplamda birincil enerji kaynaklarındaki payının %4'ten %14'e yükseleceği tahmin edilmektedir (Enerdata, 2022). Türkiye'de ise 1990 yılından bugüne enerjide yıllık talep artışının %4,6 olduğu bilinmektedir. Ülkemizin enerjide ithal bağımlılığı 2007 yılında %74,1 oranında gerçekleşirken 2017 yılında bu oran %77,2 olmuş, AB ülkelerinin ortalaması ise %55 olarak gerçekleşmiştir (Anonim 2021b). Ülkemiz için bu ortalamalar göstermektedir ki önümüzdeki yıllarda yenilenebilir enerjinin katma değeri artarak devam edecektir.

Bu tezin amacı atık kızartma yağından elde edilen biyodizeli belli oranlarda polyester iplik üretiminde açığa çıkan atık spin finish yağı ile harmanlayarak 100 saatlik periyotlarda tek silindirli dizel bir jeneratörde farklı güç değerlerinde yakarak motor performansını, emisyon değerlerini, özgül yakıt tüketimini, egzoz sıcaklığını, devir sayısı, EDX ve SEM görüntüleme yöntemleri kullanılarak enjektör üzerindeki etkileriyle birlikte kullanılabilirliğini incelemektir.

1.1. Bitkisel Yağlar

Yağlı tohumlar, yağ, protein, mineraller ve vitamin bakımından zengin içerikleriyle insan ve hayvan beslenmesinde kritik bir rol oynamaktadırlar. Aynı zamanda, enerji

endüstrisinde de giderek daha fazla tercih edilen bir hammadde kaynağı haline gelmişlerdir. Bitkisel yağlar günümüzde boya endüstrisi, cilt bakım ürünleri, parfüm, inşaat sektörü, endüstriyel yağlayıcılar, tutkal ve alternatif yakıt olarak biyodizel üretiminde kullanılmaktadır. Bitkisel ham yağlar, mısır, ayçiçeği, kolza, soya, aspir, jojoba, zeytin, palm ve çiğit gibi bitkilerin tohumlarının işlenmesiyle ortaya çıkar. Dünyada 2019-2020 verilerine göre, toplamda 194 milyon ton bitkisel ham yağ üretimi yapılmıştır. Bu miktarın %65'i palm yağından elde edilmiştir. Türkiye'nin bu dönemde ürettiği bitkisel ham yağ miktarı ise 850 bin ton olarak kaydedilmiştir (Yurtvermez ve Gıdık, 2021).

Bitkisel yağlar yakıt özellikleri bakımından petrol dizeline benzerlikler gösterse de viskozite değerlerine bakıldığında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Çizelge 1.1'de bazı bitkisel yağların yakıt karakteristikleri verilmiştir.

Çizelge 1.1. Bazı bitkisel yağların yakıt karakteristikleri (Goering vd., 1982)

BİTKİSEL YAĞLAR	Viskozite (mm^2/s)	Setan sayısı	Isıl değeri (kj/kg)	Dumanlanma nok. (ºC)	Alevlenme nok.(ºC)	Yoğunluk (kg/L)	Karbon artıkları (%)	Kükürt (%)	Akma noktası (ºC)
HİNT Y.	240.12	-	37274	-	260	0.9537	0.22	0.01	-31.7
MISIR Y.	34.9	37.6	39500	-1.1	277	0.9095	0.24	0.01	-40.0
PAMUK Y.	33.5	41.8	39468	1.7	234	0.9148	0.24	0.01	-15.0
BEZİR Y.	27.2	34.6	39307	1.7	241	0.9236	0.22	0.01	-15.0
YERFISTIĞI	39.2	41.8	39782	12.8	271	0.9026	0.24	0.01	-6.7
KOLZA Y.	37.0	37.6	39709	-3.9	246	0.9115	0.30	0.01	-31.7
ASPİR Y.	31.3	41.3	39519	18.3	260	0.9144	0.25	0.01	-6.7
SUSAM Y.	35.5	40.2	39349	-3.9	260	0.9133	0.25	0.01	-9.4
SOYA YAĞI	32.6	37.9	39623	-3.9	254	0.9138	0.27	0.01	-12.2
AYÇİÇEK Y	33.9	37.1	39575	7.2	274	0.9161	0.23	0.01	-15.0
2 NOLU DİZEL	2.7	47	45343	-15.0	52	0.8400	<0.35	<0.01	-33.0

Bitkisel yağların otomotiv sektöründeki kullanımının temelleri, Dr. Rudolf Diesel'in 23 Şubat 1893'te hem mineral hem de bitkisel yağ ile çalışabilen bir dizel motor prototipi üzerinde çalışmasıyla atılmıştır. Diesel, bu motoru 1900 yılında Paris'teki Dünya Sergisinde, tamamen yerfıstığı yağıyla çalıştırarak tanıtmıştır. 1911'de Dr. Diesel, bitkisel yağların dizel motorlar için uygun bir yakıt kaynağı olduğunu ileri sürmüş ve bu yakıtın tercih edildiği bölgelerde tarımsal faaliyetlerin desteklenebileceğini belirtmiştir. Bir yıl sonra, 1912'de yaptığı bir konuşmada şöyle demiştir: "Şu anda bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılmasının önemi göz ardı edilebilir, fakat gelecekte petrolle aynı derecede önemli olacaktır" (Ulusoy vd., 2004).

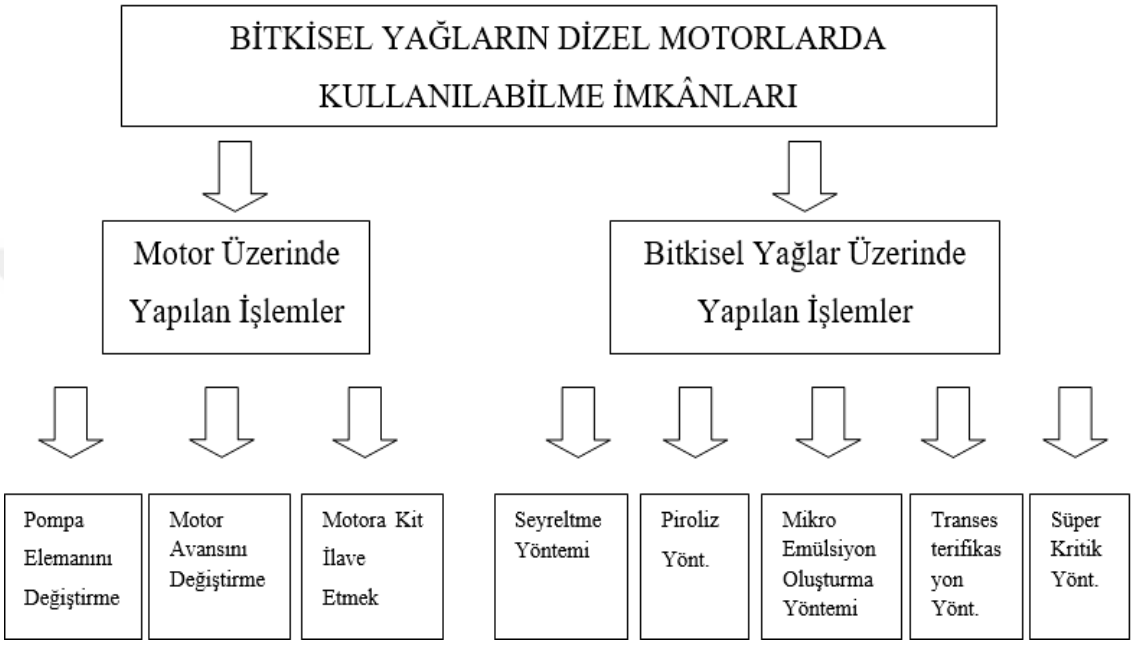
Bitkisel yağlar 1920’lere kadar araçlarda ve sanayide yakıt olarak kullanılmıştır. Ancak bu dönemden sonra, petrol bazlı dizelin rafine işlemlerinin teknolojik olarak kolaylaşması, maliyetinin uygun olması, erişiminin kolaylaşması ve devletin teşvikleri nedeniyle, bitkisel yağların kullanımı giderek azalmıştır. 1934'te Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün talimatıyla Türkiye'de bitkisel yağların yakıt olarak kullanılması konusunda ilk denemeler, Atatürk Orman Çiftliği'nde "Bitkisel Yağların Tarım Traktörlerine Uygulanması" adıyla başlatılmıştır (Arslan, 2015).

1940'lardaki II. Dünya Savaşı sırasında, enerji kaynaklarının kıt olması Nazi Almanya’sını ve müttefiklerini bitkisel yağ ve diğer alternatif yakıtlara yönlendirse de savaşın ardından, bu alternatif yakıt kullanımındaki ivme kaybolmuştur. 1970'lerin ortalarındaki ekonomik zorluklar ve 1973 ile 1978 petrol krizleri, Henry Ford gibi bazı otomobil üreticilerini bitkisel yağların yakıt olarak kullanılması arayışlarına itmiştir. Fakat bu tür alternatif yakıt fikirleri, petrol ihraç eden ülkelerin baskısıyla rafa kaldırılmıştır. 1980'lerin başında, bitkisel yağların viskoziteyle ilgili zorlukları, katalizör kullanılarak metil esterlere, yani biyodizele dönüştürülerek çözülmüştür. Bu yenilikçi yaklaşımın ardından, teknolojideki ilerlemelerle birlikte "biyodizel" adı daha geniş kitlelerce tanınır hale gelmiştir (Yıldız, 2008).

Alman standardı olan DIN V 51606 gibi standartlara uyumsuz ürerilen biyodizel ve karışımları, motorların yakıt enjeksiyon sistemlerinde ve yanma odalarında ciddi problemlere sebep olabilmektedir (Eryılmaz vd., 2014). Bu problemlerin ilki olan yüksek viskoziteye sahip kanola yağından üretilen biyodizel ve karışımlarının istenilen püskürtme özelliklerini sağlayamaması ve daha büyük partiküllerin oluşmasına sebep olmasıdır. İkinci sorun olarak yanma süresinin artmasıyla motorun verimliliğinde düşüşlere sebep olması gösterilebilir. Diğer bir sorun ise bu karışımların enjeksiyon pompası, yakıt sistemi bağlantı ekipmanları ve enjektörlerde yarattığı aşınma ve tahribattır (Nişancı, 2007; Bolat vd., 2022).

Biyodizelin uzun süreli kullanımlarında motor üzerinde bulunan yakıt hortumu, bağlantı elemanı ve contalar gibi petrol dizeline göre tasarlanmış ekipmanların biyodizele uyumlu olanlar ile değiştirilmesi gereklidir.

Yağın viskozitesini düşürmek ve bitkisel ya da hayvansal yağı motor için daha uygun hale getirebilmek adına çeşitli araştırmalar ve çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu sorunu gidermek iki yolla mümkündür. Birinci yöntem yağın ısıtılarak yakıt sistemine gönderilmesi, ikincisi ise kimyasal yöntemler kullanılarak viskozitesinin azaltılmasıdır. Şekil 1.1'de bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılabilme imkânları verilmiştir.



Şekil 1.1. Bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılabilme imkânları (Oğuz ve ark., 2009)

1.2. Biyodizel

Bitkisel yağların yeni veya kullanılmış olanlarıyla birlikte hayvansal yağların kimyasal yöntemlerle dönüştürülmesiyle üretilen, çevre dostu ve yenilenebilir niteliğe sahip sıvı yakıtlara biyodizel denilmektedir (Öğüt ve Oğuz 2006). Biyodizeldeki 'biyo' ifadesi, yakıtın doğa dostu ve yenilenebilir kaynaklardan üretildiğini vurgular. Kullanılan 'dizel' ifadesi ise bu yakıtın dizel motorları için tasarlandığını gösterir (Çıldır ve Çanakçı, 2006).

Kimyasal özelliklerine bakıldığında biyodizel petrol kökenli dizele benzer özellikler göstermektedir. Çizelge 1.2'de ülkelerin biyodizel standartları ve yakıt özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.2. Biyodizel standartları ve yakıt özellikleri (Özçelik, 2011)

Özellikler	**AB**	**Avusturya**	**Fransa**	**Almanya**	**İtalya**	**İsveç**	**ABD**
Standart	**TS EN 14214**	**ONC 1191**	**Journal Official**	**DIN V 51606**	**UNI 10635**	**SS 155436**	**ASTM D-6751**
Tarih	2003	Temmuz 1997	Eylül 1997	Eylül 1997	Kasım 1996	Kasım 1996	Ocak 2002
Uygulama	YAME	YAME	BYME	YAME	BYME	BYME	YAME
Yoğunluk, 15 ºC, g/cm^3	0,86-0,90	0,85-0,89	0,87-0,90	0,875-0,90	0,86-0,90	0,87- 0,90	-
Kinematik Viskozite, 40 ºC, mm^2/s	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	1,9-6
Distilasyon, %95, ºC	-	-	≤360	-	≤360	-	≤360
Parlama noktası, ºC	≥120	≥100	≥100	≥110	≥100	≥100	≥130
Soğukta Filtre Tıkama Noktası, ºC	Ülkesel Özellik	0/-15	-	0/-10/-20	-	-5	-
Akma Noktası, ºC	-	-	≤-10	-	≤0≤-15	-	-
Condrasson Kök Bakiyesi							
Ağırlık %'si	-	≤0,05	-	≤0,05	-	-	≤0,05
%100	≤0,3	-	≤0,3	-	≤0,5	-	-
%10	-	-	-	-	-	-	-
Bakır Korozyon, 3h, 50 ºC	1	-	-	1	-	-	≤No 3
Setan Sayısı	≥51	≥49	≥49	≥49	-	≥48	≥47
Nötralizasyon Sayısı, mgKOH/g	≤0,5	≤0,8	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,6	≤0,8
Alkalite, mg/kg	-	-	≤5	≤5	-	≤10	-
İyot Sayısı	≤120	≤120	≤115	≤115	-	≤125	-
Su İçeriği, mg/kg	≤500	-	≤200	≤300	≤700	≤300	≤0,05%
Fosfor, mg/kg	≤10	≤20	≤10	≤10	≤10	≤10	≤0,001 %
Belirlenememiş Bileşenler, mg/kg	≤24	-	-	≤20	-	≤20	-
Kükürt, Ağırlık %'si	≤10 (mg7kg)	≤0,02	-	≤0,01	≤0,01	≤0,001	≤0,05
C18:3 ve Yüksek Doymamış Yağ Asitleri, Ağırlık %'si	-	≤15	-	-	-	-	-
C(x:4) ve Büyük Doymamış Yağ Asitleri, Ağırlık %'si	≤1	-	-	-	-	-	-
Okside Kül, Ağırlık %'si	-	-	-	-	≤0,01	≤0,01	-
Sülfate Kül, Ağırlık %'si	≤0,02	≤0,02	-	≤0,03	-	-	≤0,02
Metanol, Ağırlık %'si	≤0,2	≤0,2	≤0,1	≤0,3	≤0,2	≤0,2	-
Linoleik Asit, Ağırlık %'si	≤12	-	-	-	-	-	-
Monogliseritler, Ağırlık %'si	≤0,8	-	≤0,8	≤0,8	≤0,8	≤0,8	-
Digliseritler, Ağırlık %'si	≤0,2	-	≤0,2	≤0,4	≤0,2	≤0,1	-
Trigliserit, Ağırlık %'si	≤0,2	-	≤0,2	≤0,4	≤0,1	≤0,1	-
Serbest Gliserin, Ağırlık %'si	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02
Toplam Gliserin, Ağırlık %'si	≤0,25	≤0,24	≤0,25	≤0,25	-	-	≤0,24
Ester, Ağırlık %'si	≥96,5	-	≥96,5	-	≥98	≥98	-
Grup I Metaller (Na,K), mg/kg	≤5	-	-	-	-	-	-
Grup II Metaller (Ca,Mg), mg/kg	≤5	-	-	-	-	-	-
Oksidasyon Kararlılığı, h, 110 ºC	Minimum. 6 saat	-	-	-	-	-	-

Biyodizel, petrol içermeyen ancak saf haliyle ya da petrol bazlı dizelle istenilen oranlarda karıştırılarak, motorlarda herhangi bir adaptasyona ihtiyaç duymadan doğrudan kullanılabilen bir yakıttır (İşler, 2007).

Karışımda bulunan biyodizel miktarı "BXX" olarak tanımlanır. Buradaki "XX" ifadesi, karışımda yer alan biyodizelin hacimsel yüzdesini temsil eder (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Bu yüzde değerleri, belirlenmiş bir standarda göre şu sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Bu standart değerler aşağıda Çizelge 1.3'de verilmiştir.

Çizelge 1.3. Biyodizel karışım oranları (Aydoğan, 2008)

Sembol	**% Biyodizel**	**% Dizel**
B5	5	95
B20	20	80
B50	50	50
B100	100	-

Dünyada yaşanan iklim değişikliği emisyon değerleri bakımından petrol dizeline göre düşük değerlere sahip, hava ve su kalitesine olumsuz yönde etkisi daha az olan ve insan sağlığını koruyan, çevreci alternatif yakıt biyodizelin kullanımını hızla hayata geçirmiştir.

Biyodizel petrol kökenli dizel yakıta göre ozon tabakasına emisyon değerleri bakımından %50 daha az zarar vermektedir (Örnek, 2007). Asit yağmurlarının en önemli bileşeni olan kükürt, bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel yakıtlarda çok az bulunur. Egzozdaki yüksek O_2 seviyesi, zayıf bir yakıt-hava karışımına işaret eder (Şimşek, 2021). Dizel motorlarda karışımın zayıflaması, yakıt tüketiminde bir azalmaya ve NO_x dışındaki zararlı emisyonlarda da düşüşe neden olmaktadır. Biyodizel ve petrol dizeli karışımlarında, B5 ve altındaki oranlarda azotoksit (NO_x) seviyelerinde belirgin bir artış gözlemlenmemiştir. Biyodizel sektörü, B100 kullanımında NO_x emisyonlarını azaltmayı hedefleyen katkı maddeleri üzerine araştırmalarını sürdürmektedir. Biyodizel toksik etki bakımından zararsız sayılabilir (Ogejo ve Grisso, 2015).

Biyodizelin HC emisyonu, petrol dizeline göre yüksektir. Bu değer biyodizel üretim süreç aşamalarından (yağlı tohumun ziraati ve işlenmesi) kaynaklanmaktadır. Ancak biyodizel, dizelden daha düşük HC egzoz gazı emisyonu vermektedir

Biyodizel yakıtların yanmasıyla oluşan zehirli gaz olan CO oranı, dizel yakıtların yanmasıyla meydana gelen CO oranından yaklaşık olarak yarı yarıya daha azdır (Noureddini vd., 2005). B100 ve B20 yakıtlarının kullanımlarında açığa çıkan emisyon değerlerinin karşılaştırması Çizelge 1.4'de verilmiştir.

Çizelge 1.4. B100 ve B20 yakıtlarının emisyon değerlerinin karşılaştırması (Khan ve ark., 2009)

Emisyon Tipi	B100	B20
Toplam Yanmamış Hidrokarbon (THC)	-%67	-%20
Karbon Monoksit (CO)	-%48	-%12
Partikül Madde (PM)	-%47	-%12
Sülfatlar	-%100	-%20
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH)	-%80	-%13
N-Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (Nitratlı PAH's)	-%90	-%50
Ozon Tahrip Potansiyeli Olan HC	-%50	-%10
Azot Oksit (NO_x)	+%13	+%2
Hidroflorik asit (HF)	-15.51	-2.10
Kükürt Oksitler (SO_x)	-8.03	-1.61
Metan	-2.57	-0.51
Hidroklorik asit (HCI)	+13.54	+2.71

1.3. Biyodizel Üretim Yöntemleri

Bitkisel yağ kaynaklı yakıtların, geleneksel petrol bazlı dizel yakıtlara benzer özelliklerde ve aynı performansı sağlayabilmesi için bir dizi çalışma yürütülmüştür (Doğan, 2012; Gülüm, 2023; Öğüt ve Oğuz, 2006). Bu tür bitkisel ve hayvansal yağların dizel yakıt olarak kullanımındaki temel zorluklar, genellikle viskozitenin yüksek olması, az uçuculuk, yüksek oranda çoklu doymamış yağ asitleri ve bu parametreler arasındaki ilişkidir. Biyodizelin yüksek viskozitesi, esterleşme reaksiyonunun tam olarak gerçekleşmediğini işaret eder. Yüksek viskoziteli biyodizel, enjektörlerde tıkanmalara, düşük basınçlı püskürtmeye ve silindirlerde kurum oluşumuna yol açabilmektedir (İşler, 2007).

Yağları yakıt olarak kullanabilmek için viskozitelerinin düşürülmesi esastır. Viskoziteyi azaltmak için ısıl ve kimyasal teknikler kullanılabilir (Öğüt ve Oğuz, 2006). Isıl yöntem, yağların viskozitesini azaltmak amacıyla önceden ısıtma adımını içerir. Fakat bu yöntemin içten yanmalı motorların kullanımı sırasında potansiyel zorluklar barındırdığından, genellikle kimyasal yöntem tercih edilmektedir.

Biyodizel üretiminde inceltme, mikro-emülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon olmak üzere dört farklı yöntem kullanılmaktadır (Ulusoy, 1999). Kimyasal yöntemde kullanılan metotlar ve kendi içinde avantaj ve dezavantajları Çizelge 1.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.5. Kimyasal yöntemle biyodizel üretim metotları (Leung vd., 2010)

Metod	Tanımı	Avantajı	Dezavantajı
Seyreltme (İnceltme)	Biyodizel, dizel yakıtla inceltilir	Yenilenebilir, kullanıma hazır, portatif, doğal sıvı	Yüksek viskozite, düşük uçuculuk, doymamış hidrokarbon zincirlerin reaktifliği
Mikro-emülsiyon	Normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur.	Yanma sırasında daha iyi spreyleme, düşük yakıt viskozitesi	Düşük setan sayısı, düşük enerji içeriği
Piroliz	Uzun zincirli ve doymuş maddelerin ısı yoluyla biyodizele dönüşmesi	Petrol türevi yakıtlar benzin ve dizele kimyasal benzerlik	Yüksek enerjiden dolayı maliyet yüksek
Transesterifikasyon	Hayvansal ve bitkisel yağlardan alkol ile katalizör varlığında ester ve gliserol eldesi	yenilenebilirlik, yüksek setan sayısı, düşük emisyon yüksek yanma verimi	Üründen gliserol ve suyun ayrılma güçlüğü

1.3.1. Seyreltme (İnceltme)

Biyodizel üretimi, bitkisel yağların veya atık yağların belirli bir oranda dizel yakıtı ve diğer çözücülerle karıştırılması sürecini ifade eder. Bu süreçte, yağların viskozitesi azaltılır ve dizel yakıtın kullanımı optimize edilir. Örneğin, B20, B30 ve B40 gibi adlandırılan yakıtların içerisinde sırasıyla %20, %30 ve %40 oranında bitkisel yağ bulunur (İşler, 2007). Bu yakıtların üretimi, genellikle maliyet etkinliği nedeniyle tercih edilir. Yapılan incelemeler, bu tür biyodizel karışımlarının dizel yakıta benzer özelliklere sahip olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle, atık yağlar ve ayçiçeği, kolza gibi bitkisel yağlar bu süreçte sıkça kullanılmaktadır (Srivastava vd., 2000; Eliçin, 2011; Hacıkadiroğlu, 2007).

1.3.2. Mikroemülsiyon

Mikroemülsiyon, 1–150 nm arasında değişen boyutlarda, karışmayan iki sıvının kendiliğinden oluşturduğu dengeli bir kolloidal yapıdır (Aksoy, 2010). Bu yapı, iki karışmayan sıvı ve bir veya daha fazla amfifil molekülün birleşmesiyle meydana gelir. Bu yöntem sayesinde petrol dizeli dışında farklı dizel alternatifleri üretilebilir. Mikroemülsiyon sürecinde genellikle alkol tabanlı organik maddeler, özellikle metanol veya etanol gibi kısa zincirli alifatik alkoller tercih edilir (Alpgiray, 2006; Erdoğan, 1991; Schwab vd., 1987; Srivastava vd., 2000). Mikroemülsiyon oluşumu için kullanılan alkollerin setan sayılarının düşük olması nedeniyle mikroemülsiyonun da

setan sayısı düşük olur. Bu durum dizel motorlarda yanma odasında bazı sorunlar yaratabilmektedir.

1.3.3. Piroliz

Piroliz, kimyasal bağların kırılmasıyla daha küçük moleküllerin elde edilmesi sürecidir (Yıldız, 2008). Bu yöntem iki farklı şekilde gerçekleştirilebilir. Birincisi, bitkisel yağların kapalı bir ortamda ısıyla ayrıştırılması, ikincisi ise standart ASTM distilasyonuyla ayrıştırma işlemidir (Şanlı, 2005).

Son dönemdeki çalışmalar, elde edilen ürünün sıcaklıkla nasıl değiştiğini, katalizörün rolünü özellikle metalik tuzların etkisini ve hidrokarbon temelli dizel yakıtlarındaki parafin ve olefin türü bileşenlerin formasyonunu, ayrıca termal ayrışma ürünlerinin evrimini analiz etmiştir (Zhen-Yi vd., 2004).

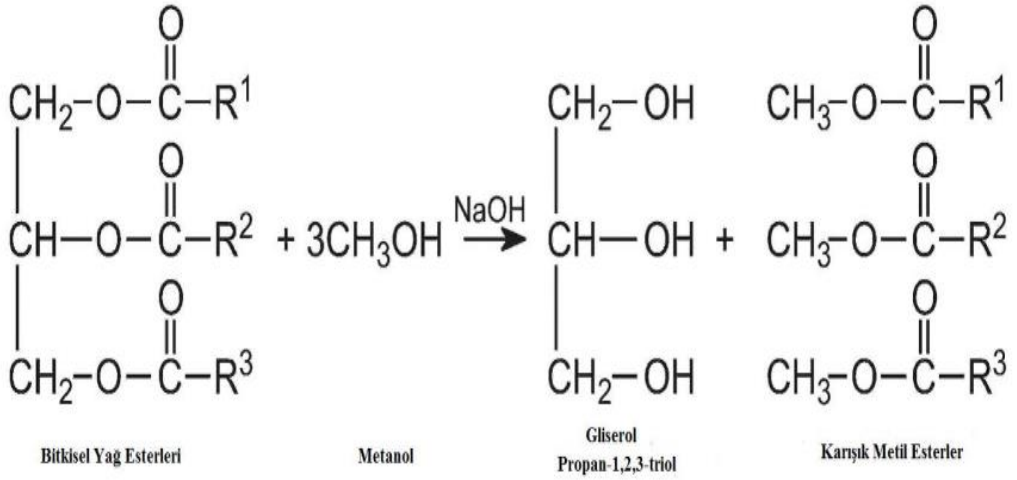
Pirolizin üretim sürecinin kendi içinde zorlukları vardır ve bu sürecin maliyeti yüksektir. Elde edilen ürünler kimyasal olarak petrol ürünleri olan benzin ve dizele benzemektedir. Piroliz esnasında ortamdan oksijenin çıkarılması, oksijen zengini bir yakıtın çevresel avantajlarını da ortadan kaldırır (Oğuz, 2004; Hacıkadiroğlu, 2007; Yüce, 2008).

1.3.4. Transesterifikasyon

Transesterifikasyon, hayvansal ve bitkisel yağların kısa zincirli alkollerle tepkimeye girerek biyodizel üretimini sağlayan bir yöntemdir (Özdemir, 2011). Bu süreçte genellikle MeOH ve EtOH alkol türleri tercih edilir.

Transesterifikasyon tersinir bir reaksiyon olduğu için metanolün sistemden buharlaştırılarak uzaklaştırılması ve prosesin ilerlemesi sağlanmalıdır. Aksi durumda faz dönüşümü tamamlanmadığı için sabunlaşma sorunu ile karşılaşılabilmektedir. Alkoliz olarak da bilinen bu yöntem, trigliseridlerin viskozitesini düşürmek için kullanılır (Arslan ve Alibaş, 2015). Gerçekleşen reaksiyon sırasında, esterleşme ürünleri olan digliseridler ve monogliseridlerin yanı sıra, reaktanların fazla kullanımıyla serbest

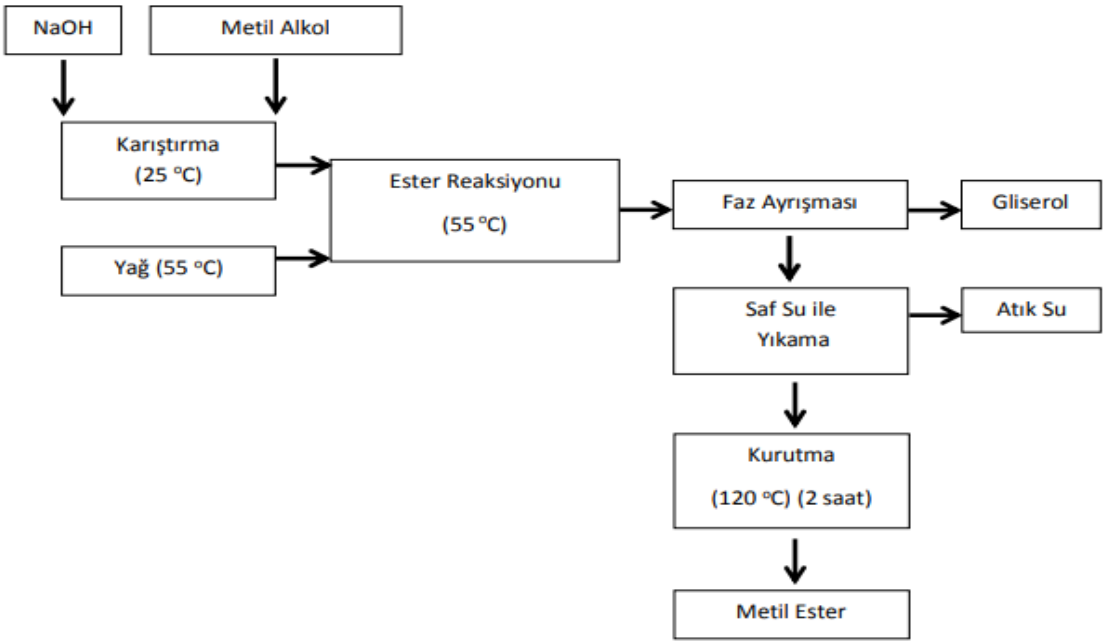
yağ asitleri de oluşur. Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretiminde aşağıda Şekil 1.2'de gösterilen kimyasal reaksiyon gerçekleşmektedir.



Şekil 1.2. Biyodizelin kimyasal reaksiyonu (Arslan ve Alibaş, 2015)

1.4. Biyodizel Üretiminin İşlem Basamakları

Biyodizel üretim süreci altı ana aşamadan meydana gelir. Bunlar alkolün ve katalizörün bir araya getirilmesi, reaksiyonun gerçekleşmesi, ürünlerin ayrıştırılması, yıkanması, kurutulması ve son olarak depolanması şeklindedir (Eryılmaz, 2009). Transesterifikasyon süreci, yağ içerisindeki esterleri ve gliserini ayırarak gliserini uzaklaştırır. Yağda bulunan gliserinin bileşenlerini izole etmek amacıyla metil veya etil alkol gibi alkol türleri kullanılırken, trigliseridi parçalamak için sodyum hidroksit (NaOH) veya potasyum hidroksit (KOH) tercih edilir. Biyodizel üretimi esnasında genellikle reaksiyonlarda metanol tercih edilmektedir. Bunun temel sebebi ise metanolün daha kolay reaksiyona girmesi ve ucuz olmasıdır. Biyodizel üretiminde kullanılan bitkisel veya hayvansal yağın pH değerine göre katalizör miktarı (NaOH veya KOH) değişiklik göstermektedir. Biyodizelin bünyesinde bulunan gliserin, kullanılan alkol ve katalizör vasıtasıyla ayrıştırılmaktadır. Üretim sürecinin sonunda, reaksiyona girmemiş alkol, katalizör ve gliserini uzaklaştırmak için yıkama işlemi gerçekleştirilir. Yıkama suyunun saf olması ve suyun sıcaklığının 24 ^{o}C nin üzerinde olması sabunlaşma riskini minimum düzeye indirmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonu ve biyodizelin üretim aşamaları sırasıyla Şekil 1.3'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Metil ester üretim süreci (Eryılmaz vd., 2014)

1.5. Biyodizelin Özellikleri

Biyodizel, petrol kökenli dizel yakıtı ile kıyaslandığında benzer özelliklere sahiptir. Ancak, motor performansı ve emisyon değerleri açısından yapılan bilimsel araştırmalarda, biyodizelin egzoz emisyonlarının petrol dizeline göre daha düşük emisyon değerlerine sahip olduğu ve aynı zamanda motor yağlama özelliği bakımından daha etkili olduğu belirlenmiştir. Biyodizel çözücü niteliğe sahip olup motorlarda daha önceden dizel yakıtından kaynaklanan partikül ve tortuları çözerek yakıt sistemine ve bağlantı parçalarına zarar verebilmektedir. Bu sorunu önlemek için bakır borulardan ve kaplama yapılmış ekipmanlardan kaçınılmalıdır.

1.5.1. Biyobozunabilirlik

C16-C18 metil esterleri, doğada kısa sürede parçalanırken, 10 g/L konsantrasyonuna kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik tepki görülmez. Araştırmalar, biyodizelin petrol dizeline göre yaklaşık 4 kat daha hızlı, ve 28 günde tamamıyla doğada çözünebildiğini göstermiştir (Arslan, 2015). Su içindeki motorinin yalnızca %40'ı ayrışırken, biyodizelin %95'i doğal yollarla parçalanabilir. Bu parçalanma özelliği, şekerin doğal ayrışma sürecine benzer bir yapıya sahiptir (Öğüt ve Oğuz, 2006).

1.5.2. Toksik Etkisi

Yapılan incelemelerde biyodizelin bilinen bir toksik etkisi belirlenmemiştir. Ancak, deneysel çalışmalarda, biyodizel ile kıyaslandığında tuzun 10 kat daha güçlü bir öldürücü etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir (Arslan ve Alibaş, 2015). Bununla birlikte biyodizelin deriyle temasında, %4'lük bir sabun solüsyonunun etkisine benzer bir etki sergilediği tespit edilmiştir (Yıldız, 2008). Biyodizel karışımlarının kullanımında, motorinin kullanımında olduğu gibi havalandırma ve göz koruyucu ekipmanların kullanılması önerilir.

1.5.3. Kinematik Viskozite

Sıvı yakıtların viskozitesi, moleküllerin arasındaki etkileşimler ve sürtünmeyle ilgili kuvvetler tarafından belirlenir. Bu akışkanın hareketine karşı olan direncini tanımlar. Kinematik viskoziteyi ölçmek için belirli bir sıcaklıkta (genellikle 40°C) test sıvısının yer çekimiyle bir borudan ne kadar hızla hareket ettiği hesaplanır. Sıvıların viskozite değeri yakıt enjeksiyonunun etkinliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Biyodizelin viskozite ölçümü, motorin için belirlenen değerlerin yaklaşık 1,5-3 katı arasında değişiklik gösterir. Bununla birlikte 40 °C sıcaklıkta 3,5 ile 6 mm^2/s değerleri arasında seyreder. Viskozite değerini arttıran en önemli özellik hidrokarbonların yapısındaki zincir uzunluğudur (Aydın, 2022). Hidrokarbon zincirinin uzunluğu, genellikle viskozitenin artmasına neden olurken, çift bağların sayısındaki artış, viskoziteyi olumsuz etkiler. Biyodizelin artan viskozitesi, transesterifikasyon sürecinin tam olarak tamamlanmadığını işaret eder (Knothe, 2005**).**

Genellikle artan viskozite, yakıtın daha zayıf atomize olmasına neden olur (Aydın, 2022). Yüksek viskoziteli yakıtlar, daha büyük damlacık boyutlarına, etkin olmayan buharlaşmaya, daha dar enjeksiyon püskürtme açısına ve silindir içindeki yakıt spreyinin oranının artmasına yol açabilir (Güven vd., 2010). Bu durum, verimsiz yanmalara, artan emisyonlara ve fazla yağın yanmamış olarak atılmasına sebep olabilir. Ayrıca, yüksek viskoziteli yakıtların kullanımı, yanma odasında tortu birikimini artırabilir ve yakıt sistemindeki pompa ve enjektörlerin aşınmasına sebep olabilecek ekstra mekanik zorlamalara yol açabilir (Bolat, 2022; Nişancı 2007).

1.5.4. Yoğunluk

Biyodizelin yoğunluğu, 15°C'de (EN 14214'e göre) 860–900 kg/m^3 arasında değişirken, fosil dizel yakıtının yoğunluğu genellikle 820–845 kg/m^3 olarak ölçülür. Yakıt yoğunluğu, özgül yakıt tüketimi ve yanma sıcaklığıyla yakından ilişkilidir. Hidrokarbon zincirinin uzunluğu arttıkça yoğunluk genellikle azalır, ancak çift bağların sayısındaki artış yoğunluğun yükselmesine neden olur. Yoğunluk, enjeksiyon sistemlerinin yakıtın yanma verimliliğini optimize etmek için enjekte ettiği yakıt miktarını belirlemede kritik bir role sahiptir. Biyodizel yakıtların yoğunluğu, kullanılan ham maddelerin özelliklerine, biyodizelin üretim yöntemine ve bu yöntemin uygulanmasındaki hassasiyete göre değişiklik gösterebilir (Ulusoy, 1999). Eğer biyodizelin içindeki gliserin tam olarak ayrıştırılamazsa, yüksek yoğunluklu bir bileşimle sonuçlanabilir. Yakıtın yoğunluğu, enjektör nozulunun tasarımı için kritik bir parametredir ve motor performansını doğrudan etkiler (Al, 2014). Bunun yanında motorun ısıl verimini arttırarak yakıt atomizasyonunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Biyodizel yakıtlarının yoğunluğu, üretilen yakıtın geniş çaplı kabul görmesi için aşılması gereken temel bir engeldir.

1.5.5. Setan Sayısı

Setan sayısı, dizel yakıtlarının ne kadar kolay tutuştuğunu belirten bir ölçüttür. Yüksek bir setan sayısı, yakıtın tutuşma süresini kısaltır (Gülüm, 2023). Uzun ve doymuş hidrokarbon zincirleri genellikle yüksek setan değerlerine sahiptir. Yüksek kendi kendine tutuşma sıcaklığına sahip yakıtlar, dizel motorlarda vuruntu riskini artırabilir (Kıvrak, 2023). Setan sayısının, motorun yanma verimliliği üzerinde ve emisyon değerlerinde özellikle CO ve HC emisyonlarında etkisi gözlemlenmektedir. Setan değeri, hidrokarbon zincirlerinin uzunluğuyla doğru orantılı olarak artarken, çift bağ sayısı arttıkça azalır (Yılancılar, 2020). Orta ve uzun zincirli doymuş hidrokarbonların setan sayıları genellikle yüksektir. Bununla birlikte, soya ve ayçiçeği yağlarında bulunan doymamış yağ asitleri, setan sayılarını düşürür. Oksidasyon süreci, setan sayılarını artırıcı etkiye sahiptir ve peroksitlerin oluşumuna neden olur. Biyodizel, geleneksel dizel yakıtına kıyasla tipik olarak daha yüksek bir setan sayısına sahip olduğundan, daha verimli bir yanma sağlar (Söyler, 2023).

1.5.6. İyot sayısı

İyot değeri veya iyot numarası, biyodizel kalitesinin oksidasyon direncini belirlemek için bir ölçüt olarak kullanılır. Bu değer, biyodizel örneğindeki doymamış yağ asitlerinin miktarını yansıtmaktadır. Yüksek iyot değerine sahip biyodizel, havayla temas ettiğinde daha hızlı oksidasyona maruz kalabilir. İyot değeri, biyodizel üretiminde kullanılan hammaddenin ester bileşimine bağlıdır. Avrupa ve Japonya'da İyot sayısı 120 iken, Güney Afrika'da bu değer 140 olarak uygulanır. Brezilya'da iyot sayısına dair bir kısıtlama bulunmamaktadır. ABD, Avustralya ve Hindistan'da ise bu ölçüm değeri genel kalite standartlarına dâhil edilmemiştir. Özellikle ayçiçeği ve soya gibi belirli hammaddeler için yüksek iyot değerli biyodizeller, enjektör memeleri, piston halkaları ve oluklarında polimerleşme ve tortulaşma riski taşıyabilir (Öğüt ve Oğuz, 2006).

1.5.7. Isıl Değer

Isıl değer, bir yakıtın birim kütlesi veya hacim başına sahip olduğu enerji kapasitesidir (Tillem, 2005). Özellikle taşıtlar için ağırlık kısıtlamaları dikkate alındığında, bu özellik büyük bir öneme sahiptir. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça, yakıtın ısıl değeri genellikle artış gösterir (Aydın, 2022). Fakat hidrojen içeriği azaldığında veya doymamışlık arttığında, yakıtın ısıl değeri düşer. Biyodizelin ısıl değeri fosil dizele göre % 11 oksijen içeriğinden dolayı daha düşüktür (Öğüt ve Oğuz, 2006). Oksijen içeriği aynı motor çalışma şartları sağlansa dahi biyodizelin güç ve tork değerleri daha düşük olacaktır. Enjeksiyon hacmi artarsa aynı motor performansı elde edilebilir fakat yakıt sarfiyatı artar.

1.5.8. Parlama (Alevlenme) Noktası

Parlama noktası, yakıtın ısıtılmasıyla oluşan buharın, hava ile birleşerek tutuşabildiği en düşük sıcaklık olarak tanımlanmaktadır (Arslan, 2015). Biyodizelin bu özellikleri yüksek parlama noktasına sahip olmasıyla öne çıkar. Bu parlama noktası, yakıtın depolanmasının ve güvenliğinin bir göstergesi olarak kabul edilir (Altınsoy, 2007). Bu özelliğin motorun performansı üzerinde doğrudan bir etkisi bulunmaz. Ayrıca, parlama

noktasındaki minimal değişikliklerin yanma kalitesini büyük ölçüde değiştirmesi beklenmez.

1.5.9. Düşük Sıcaklık Akış Özellikleri

Bulutlanma noktası, yakıtın soğuk hava koşullarında yakıt deposu ve hortumlarında ilk mumlaşmanın belirdiği sıcaklık olarak tanımlanır (Akyarlı vd., 2004). Akma noktası ise yakıtın soğuk koşullarda dahi akıcılığını sürdürebildiği en düşük sıcaklıktır. Doymamış esterler, doymuş esterlere kıyasla moleküler düzeyde daha az etkileşim gösterirler, bu yüzden düşük sıcaklıklarda daha çabuk kristalleşirler.

Biyodizel ve biyodizel-dizel karışımları, dizel yakıtla kıyaslandığında daha yüksek akma ve bulutlanma noktalarına sahiptir. Yakıtların soğuk akış özelliği, bulutlanma noktası ile doğrudan ilişkilidir. Soğuk filtre tıkanma noktası, genellikle bulutlanma noktasının altında yer alır (Sakthivela vd., 2018). Bu durum yakıtların soğukta kullanımında sorun çıkarabilmektedir.

Biyodizel ve motorin karışımları, sıcaklık 4°C'nin üzerindeyken karıştırılmalıdır. Soğuk havalarda, biyodizel motorine katılmalı sıcak günlerde ise daha fazla olan yakıt az miktarda olana eklenmelidir. Harmanlarken oluşabilecek kristalizasyonu önlemek için, karışımın bulutlanma noktası değerinin üzerinde ısıtılarak tekrar karıştırılması önerilir (Güler, 2008).

1.5.10. Kükürt İçeriği

Hidrojen ve karbondan oluşan petrolün içerisinde düşük miktarda nitrojenin yanında oksijen ve kükürt bulunur. Petrolün rafine edilmesi sırasında kükürt dizel yakıttan uzaklaştırılır. Dizel yakıt içerisinde 2009'dan itibaren geçerli olan yakıt kriterine göre, kükürt içeriği en fazla 10 mg/kg olmalıdır. Dizel yakıtlardaki kükürt azaltma çabaları, egzoz emisyonlarını düşürmede olumlu sonuçlar doğurmuştur. Bununla birlikte, kükürtün azaltılması, yakıtın yağlama performansını olumsuz etkileyerek enjeksiyon sistemlerinde, pistonlar gibi motorun hareketli parçalarında sorunlara ve motor veriminde azalmalara neden olmuştur. Yapılan incelemeler, biyodizelin dizel yakıta eklenmesinin yağlama kalitesini artırdığını ve %1-2'lik oranlarda karıştırıldığında

yağlama performansında %60'a kadar iyileşme sağladığını ortaya koymuştur (Önem ve Sekmen, 2009).

1.5.11. Yağlayıcılık

Motor bileşenlerinin sürtünmeden kaynaklanan yıpranmasını minimize etmek ve yakıt pompası gibi kritik parçaların etkin çalışmasını sağlamak için yağlamanın gerekliliği kaçınılmazdır. Ayrıca, motorun karterinde bulunan yağlama yağının yanı sıra, yakıtın da belirli bir yağlama kapasitesine sahip olması arzu edilir. Bu durum silindir yüzeyinin hasar görmesini ve yakıt pompalarının ömrünün azalmasını engellemek için kritik bir faktördür. Fosil yakıtlarda kükürt miktarı yağlayıcılığın temel bileşenidir. Kükürtün zararlı etkilerine yönelik son dönemdeki kısıtlamalar, yakıtların yağlama kabiliyetine olumsuz etki etmiştir. Ancak biyodizel yakıtları, biyolojik kaynaklardan elde edilmesiyle fosil yakıtlardan üstündür (U.S. Department of Energy, 2009).

Dizel yakıtların ultra düşük sülfür oranı, yakıtın yağlama performansını belirgin şekilde azaltır. Bu durum, enjeksiyon sistemlerinde aşınma ve motorun genel ömründe kısalma riskini artırır. Genelde, iyi bir yağlama kabiliyetine sahip yakıtlar, motorun daha uzun ömürlü olmasına katkı sağlar. Biyodizel, geleneksel petrol bazlı dizel yakıtlarına göre daha üstün bir yağlama özelliğine sahip olarak dikkat çeker (Alptekin ve Çanakçı, 2006)

1.5.12. Su ve Tortu İçeriği

Biyodizel yakıtının niteliği, içindeki su ve tortu miktarına göre belirlenir. Biyodizel içerisindeki su, genellikle çözünmüş ya da asılı parçacıklar halinde olabilir (Öğüt ve Oğuz, 2006). Biyodizelin içerisindeki su miktarı sınır değerlerin üzerine çıktığında yakıtın yağlayıcılık özelliği azalacağından pistonlarda ve enjektörde hasarlara neden olur (Gülüm, 2023). Biyodizelde bulunan su, yakıtın sahip olduğu ısıl değeri azaltır. Biyodizel ve karışımlarında yıkama ve kurutma işlemleri sonunda bünyesinden atılamayan su yağ asitlerinin hidroliz reaksiyonunu hızlandırmaktadır. Biyodizel yakıtının içindeki tortu, yakıt sisteminde tıkanmalara yol açabilecek kirli partiküller barındırabilir (Çıtak, 2014).

1.6. Dizel ve Biyodizelin Karşılaştırılması

Biyodizelin karakteristiklerinden biri olan viskozite, yakıtın akış özellikleri için önemlidir. Yüksek viskozite, yakıtın borular ve pompalar gibi bileşenlerde daha zor hareket etmesine neden olabilir. Yakıt zerreciklerinin optimal boyutta olması, hava ile daha homojen bir karışım sağlar ve yanma verimliliğini artırır (Yılancılar, 2020). Soğuk hava koşullarında, viskozitenin artışı yakıtın akışını engelleyebilir (Kıvrak, 2023). Bu durum yakıt enjeksiyonunda performans sorunlarına yol açabilir. Ayrıca, yüksek viskozite, pompanın çalışma basıncını etkileyebilir. Bu durum aşırı ısınma ve arızalara sebep verebilir. Biyodizel, özellikle yoğunluk ve viskozite açısından, geleneksel dizel yakıtına benzer özelliklere sahiptir (Haşimoğlu vd., 2008; Şanlı ve Çanakçı, 2005).

Biyodizel bünyesinde %11'e kadar oksijen barındırabilir (Gülüm, 2023). Yüksek oksijen içeriğine sahip yakıtların yanma verimliliği, oksijensiz olanlardan tipik olarak daha üstündür. Biyodizel, petrol tabanlı dizel yakıtlara göre %5 ile %8 arasında daha az enerji üretir (Ulusoy, 1999). Bununla birlikte, oksijen içeriği sayesinde biyodizel, geleneksel dizel yakıtlarla benzer seviyede özgül yakıt tüketim değerlerine sahip olabilir.

Biyodizelin, fosil dizellere göre belirgin bir üstünlüğü, yüksek parlama ve yanma değerlerine sahip olmasıdır (Özdemir ve Mutlubaş, 2017). Biyodizelin tutuşma sıcaklığı 149 ^{o}C olurken bu değer dizel için 125 ^{o}C olarak gerçekleşmektedir. Bu özellikler, biyodizelin depolama ve taşıma süreçlerini daha verimli hale getirir. Biyodizelin setan sayısı petrol kökenli dizel yakıtına göre daha fazladır. Kendiliğinden tutuşabilme özelliğinin göstergesi olan setan sayısı biyodizel yakıtının enjektörden püskürtülmesi ile birlikte ilk tutuşma süresini önemli ölçüde etkilemektedir.

Geleneksel dizel yakıtların kükürt içeriği azaldıkça, motorun yağlama kapasitesi düşer fakat biyodizeldeki kükürt miktarı, bu özellikten dolayı, motor bileşenlerinin aşınma direncini artırır. Bu da, biyodizel ile çalışan motorlarda pistonlar, segmanlar ve yakıt enjektörleri gibi kritik bileşenlerin ömrünü uzatır pistonlar, segmanlar, yakıt pompaları ve enjektörlerin daha az aşınmasını sağlar (Şanlı ve Çanakçı, 2005; Bolat, 2022). Aşağıda Çizelge 1.6'da biyodizel ve petrol dizelinin yakıt özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.6. Biyodizel ve petrol dizelinin yakıt özellikleri (Anonim, 2021)

Özellikler	Petrol Dizeli	Biyodizel
Kapalı Formül	C12,226 H23,29 S0,0575	C19H35,202
Molekül Ağırlığı, (g/mol)	120-320	296
Alt Isıl Değeri		
Kütlesel,(kJ/kg)	42700	37100
Hacimsel,(kJ/L)	35500	32600
Yoğunluk,15 °C, (kg/mL)	820-860	875-880
Kinematik Viskozite	2,50-3,50	4,3
40 °C, (mm^2/s)		
Alevlenme Noktası, (°C)	>55	>100
Kükürt İçeriği (% ağ.)	<0,05	<0,01
Tutuşma Katsayısı	49-55	>55
Setan Sayısı	40 ≥	51≥
Kül (% ağ.)	<0,01	<0,01
Su miktarı (mg/kg)	<200	<300

1.7. Biyodizel Kaynaklarının Ülkemizdeki Durumu

Ülkemizde biyodizel üretim sürecinde, hem tarımsal kaynaklı bitkisel yağlara hem de atık yağlara başvurulmaktadır (Öğüt ve Oğuz, 2006). Tarımsal bitkilerden elde edilen biyodizel, üretim maliyetleri bakımından daha pahalıdır. Bu maliyetin önemli bir kısmı bitkisel tohumlara dayanmaktadır. Ayçiçeği, mısır, kanola, soya, aspir ve pamuk çiğidi gibi bitkiler, ülkemizde biyodizel üretiminin temel bitkisel yağ kaynaklarıdır (Oğuz, 2004). Gıda sektöründe sıkça kullanılan bazı bitkisel yağların yanı sıra, aspir, kanola ve pamuk yağı gibi alternatif yağların, biyodizel üretimi için hem ekonomik hem de stratejik anlamda daha avantajlı olduğu belirlenmiştir (Leung vd. 2010). Türkiye'de yağlı tohum üretiminin %82,5 lik kısmını ayçiçeği ve pamuk çiğidi oluşturmaktadır. Ülkemiz yağlı tohum üretiminin %85,2'sini bu iki tohum oluşturmaktadır (TÜİK, 2021). Son yıllarda Türkiye'de, soya, kanola ve aspir gibi yağlı tohum üretiminde artışlar gözlemlenmiştir. Ancak hedeflenen üretim miktarına henüz ulaşılamamıştır. Türkiye'de yağlı tohumların ekim alanı, toplam ekilebilir alanın yaklaşık %4'ünü kapsar (Kıllı ve Beycioğlu, 2019). Bu oran, AB ülkeleri ve ABD'de %30 civarında olup ülkemiz bu oranın çok altında bir ekim alanına sahiptir. Çizelge 1.7'de Türkiye'de yağlı tohum üretim miktarları verilmiştir.

Çizelge 1.7. Türkiye'de yağlı tohum üretim miktarları (1000 ton) (TÜİK, 2021)

Yıllar	Ayçiçeği*	Çiğit	Soya	Kolza	Yerfıstığı	Aspir	Susam	Toplam
2016	1500	1260	165	125	164	58	19	3291
2017	1800	1470	140	60	165	50	18	3703
2018	1800	1542	140	125	173	35	17	3832
2019	1950	1320	150	180	169	21	16	3806
2020	1900	1064	155	121	215	21	18	3494
2021	2215	1350	182	140	234	16	17	4154

*Yağlık ayçiçeği tohum

Ülkemizde ortalama yılda 1 milyon ton sıvı yağ tüketilmektedir. Tüketilen bu yağın 2021 verilerine göre 850 bin tonu yerli kaynaklardan temin edilirken geri kalan kısmı ithal edilmektedir (TUİK, 2021). Dünya'da yıllık kişi başı bitkisel yağ tüketim ortalaması 19.1 kg olarak gerçekleşirken, Avrupa Birliği'nin ortalaması 24 kg ve ülkemizin kişi başı bitkisel yağ tüketimi yıllık 21 kg olarak gerçekleşmiştir (OECD/FAO, 2015**)**. Bu veriler ışığında ülkemizde yağ tüketimi dünya ortalamalarının üzerinde olmasına rağmen Avrupa Birliği ortalamalarının altında gerçekleşmiş olup üretimimiz yağ ihtiyacımızı karşılayamamaktadır.

Tüketilen bu yağların bir kısmı bitkisel atık yağ olarak açığa çıkmaktadır. Biyodizel üretimi için önemli bir kaynak olan bu atık yağların geri kazanımı ülkeler için günümüzde enerji geri dönüşümünde önem arz etmektedir.

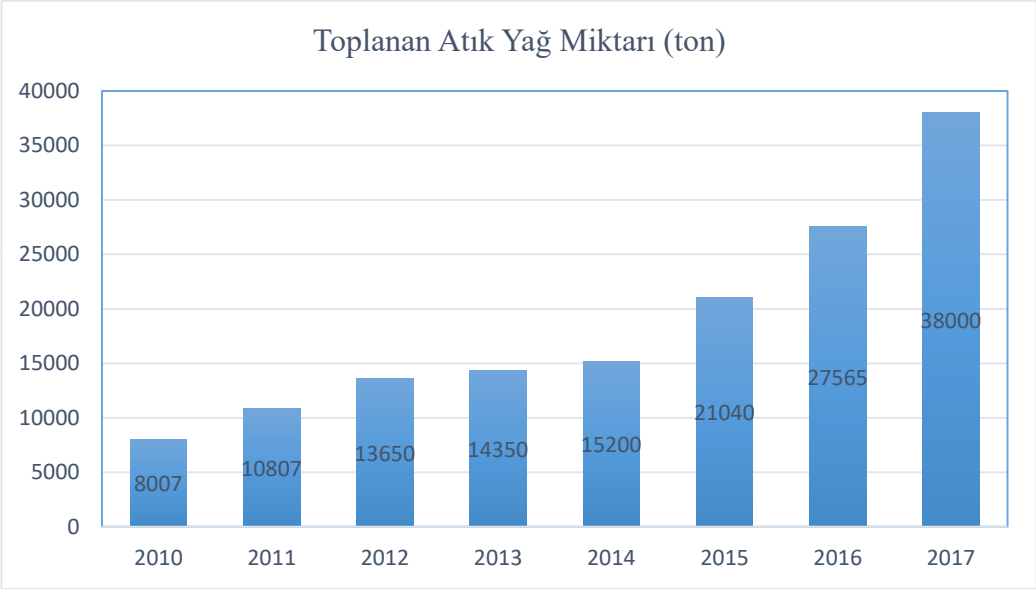
Avrupa Birliği'nde bir bireyin yıllık ortalama bitkisel atık yağ miktarı 1,2 kg olarak ölçülmüş ve bu miktarın potansiyel olarak 2 kg/yıl olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte 2017 yılında Türkiye'de yasal olarak toplanan bitkisel atık yağın miktarı 35.000 ton olarak kaydedilmiştir. Kişi başına düşen miktar ise yaklaşık 0,44 kg/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu istatistikler, oluşan bitkisel atık yağın sadece dörtte birinin resmi yöntemlerle toplandığını göstermektedir (Biyodizel Sanayi Derneği, 2019). Ülkemizde bitkisel atık yağ geri kazanımda Çevre ve Şehircilik Bakanlığından izin ve lisans belgesine sahip 8 adet firma bulunmaktadır. Bitkisel atık yağ ara depolama için Çevre ve Şehircilik Bakanlığından izin alan lisanslı İstanbul'da 9, Ankara'da 7, Eskişehir'de 3, Balıkesir ve Diyarbakır'da 1 adet firma bulunmaktadır (Biyodizel Sanayi Derneği, 2019).

Ülkemizde Çevre ve Şehircilik Bakanlığından lisans alarak atık yağların toplanmasını sağlayan geri kazanım tesislerinin isimleri Çizelge 1.8'de verilmiştir.

Çizelge 1.8. Lisans almış bitkisel atık yağ geri kazanım tesisleri. (Biyodizel Sanayi Derneği, 2019).

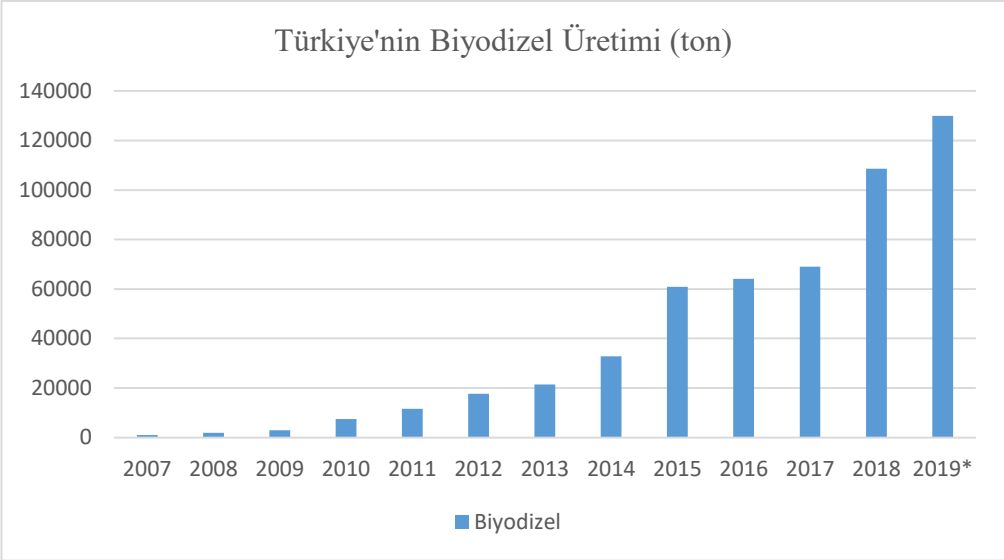
	İŞLETME ADI	TESİS İLİ
1	Aves Enerji Yağ ve Gıda Sanayi Anonim Şirketi	Mersin
2	Biodizel Enerji San. ve Tic. A.Ş.	Tekirdağ
3	Db Tarımsal Enerji San. Tic. A.Ş	İzmir
4	Deha Bitkisel Atık Yağ Toplama Geri Kazanım Biodizel Üretimi San ve Tic A.Ş.	Kocaeli
5	Kolza Biyodizel Yakıt ve Petrol Ürünleri San. Ve Tic. A.Ş.	İstanbul
6	Maysa Yağ Sanayi Anonim Şirketi	İstanbul
7	Mert Yağ Asfalt Madencilik ve Lastik Geri Dönüşüm San. Ve Tic. Ltd. Şti	Niğde
8	Özgür Geri Kazanım ve Yağ Sanayi Ticaret Limited Şirketi	Ankara
9	TBE Biyodizel Tarımsal Enerji Üretimi Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Kocaeli

Büyük çoğunluğu yerel yönetimler ve kamu kuruluşlarından olmak üzere ülkemizde 2007 yılından itibaren düzenli olarak artış gösteren atık bitkisel yağ toplanmaktadır. Şekil 1.4'de toplanan atık bitkisel yağ miktarı verilmiştir.



Şekil 1.4. Toplanan atık bitkisel yağ miktarı (Yanmaz, 2018)

Ülkemizde toplanan atık yağlar lisanslı firmalar tarafından biyodizel üretiminde kullanılmıştır. Atık yağlardan üretilen biyodizel miktarı 2007 yılından bu yana sürekli artış göstermekte olup üretim miktarı Şekil 1.5'de verilmiştir.



Şekil 1.5. Türkiye'de yıllara göre üretilen biyodizel miktarı (Şahbaz, 2019)

Ülkemizde 2017 yılında 65,120 ton biyodizel harmanlanmış olup bu miktarın 27,778 tonu toplanan atık bitkisel yağlardan sağlanmış geri kalan 37,342 tonluk kısmı bitkisel ham yağlardan üretilen biyodizeldir. 2017 yılı için atık yağdan üretilen biyodizelin toplam üretimideki payı %43 olarak gerçekleşmiştir (Borovalı, 2018). Bu durum açıkça göstermektedir ki atık bitkisel yağların geri kazanımı biyodizel üretiminde harmanlama için gerekli olan miktarın altındadır.

1.8. Biyodizel Kullanımının Avantajları

- Biyodizel, yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesiyle ve bu özelliğiyle sürdürülebilir enerji seçenekleri arasında önemli bir konuma sahiptir.
- Yağlı tohumlardan üretilen ve belirlenen standartlara uygun olan biyodizel, sera gazı emisyonlarında %50'yi aşan bir oranda azalma potansiyeline sahiptir (Anonim, 2022).
- Dizel yakıtlarına %2'den yüksek bir biyodizel katkısı, yağlama kalitesinin iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır (Knothe ve Steidley, 2005).
- Biyodizel kullanımı, tarımsal ürünlerin endüstriyel sektörle uyumunu artırarak ekonomik gelişmeye katkı sağlar.
- Transesterifikasyon yöntemi ile üretilen biyodizelin geri kazanım ürünü olan gliserin, kozmetik ve gıda sektörlerinde kullanıma uygundur.

- Biyodizelin yüksek alevlenme noktası, lojistik süreçlerde, özellikle nakliye ve depolama aşamalarında, yakıtın güvenli bir şekilde taşınmasına ve saklanmasına olanak tanır.
- Biyodizel üretimine katkıda bulunan iş olanakları arasında yağlı tohum üreticileri, kimyagerler, biyologlar ve mühendisler bulunduğu için benzeri meslek kollarında istihdama yardımcı olmaktadır.

1.9. Biyodizel Kullanımının Dezavantajları

- Petrol dizeline göre biyodizelin ısıl değerleri daha düşük olduğu için motordan alınan performans değerlerinde bir miktar düşüş gözlemlenebilir.
- Karışım yapılmadan %100 biyodizel (B100) kullanımı yakıt deposu ve sistemde kullanılan elemanlara zarar vermektedir.
- Biyodizel ile çalışırken motorun NO_x emisyonları artar.
- Standartlara uygun olmayan biyodizel kullanmak motora ciddi zararlar verebilir.
- Biyodizel, düşük sıcaklıklarda petrol dizeline göre daha az akıcıdır ve bu durum soğuk havalarda motorun ilk çalışmasında sorunlara neden olabilir (Kerschbaum ve Rinke, 2003).
- Biyodizelin karşılaşılan en önemli dezavantajı maliyet fiyatı konusunda olmaktadır. Ham bitkisel yağdan biyodizel üretimi maliyetleri arttırmaktadır. Atık bitkisel yağların geri dönüşümünü AB ortalamalarına yaklaştırmak maliyetleri düşürecektir.

1.10. Tekstil Lifleri

Örme olarak da ifade edilen tekstil kavramı Latince bir kelime olan ‘texere’ kelimesinden türetilmiş ve dokuma anlamına da gelmektedir (MEB, 2011). Tekstil sektöründe, belirli bir uzunluğa, kalınlığa ve dayanıklılığa sahip, esnek, yumuşak ve eğilebilir doğal veya sentetik kökenli materyaller lif olarak tanımlanır (Anonim 2024). Kültürel çeşitliliğin artması ve değişen çevre koşulları, insanların giysi ihtiyaçlarına olan taleplerini artırmış ve bu durum klasik iplik üretim tekniklerinin yanında yeni teknikleri de ortaya çıkarmıştır. Tekstil liflerinin sınıflandırılması Çizelge 1.9’da verilmiştir.

Çizelge 1.9. Tekstil liflerinin sınıflandırılması (MEB, 2011)

TEKSTİL LİFLERİ

DOĞAL LİFLER

BİTKİSEL LİFLER

- Tohum Lifleri (Pamuk)
- Gövde lifleri
  - Keten
  - Kenevir
  - Jüt
  - Rami
- Sak Lifler (Yaprak, Meyve Lifleri)

HAYVANSAL LİFLER

- Örtü Lifleri
  - Moher
  - Kaşmir
  - Keçikılı
  - Deve tüyü
  - Lama
  - Alpaka
  - Vicuna
  - Angora
- Salgı Lifleri
- İpek

MADENSEL LİFLER

- Kaya Lifleri (Asbest)
- Metalik Lifler (Altın, Gümüş vs.)
- Cam Lifleri

KİMYASAL LİFLER

HAMMADDESİ DOĞAL OLAN KİMYASAL LİFLER

- Selüloz Esaslı Kimyasal Lifler
  - Viskoz
  - Asetat lifi
- Protein Esaslı Kimyasal Lifler
  - Kazein
  - Zein
  - Soya Fasulyesi
  - Yer fıstığı lifleri

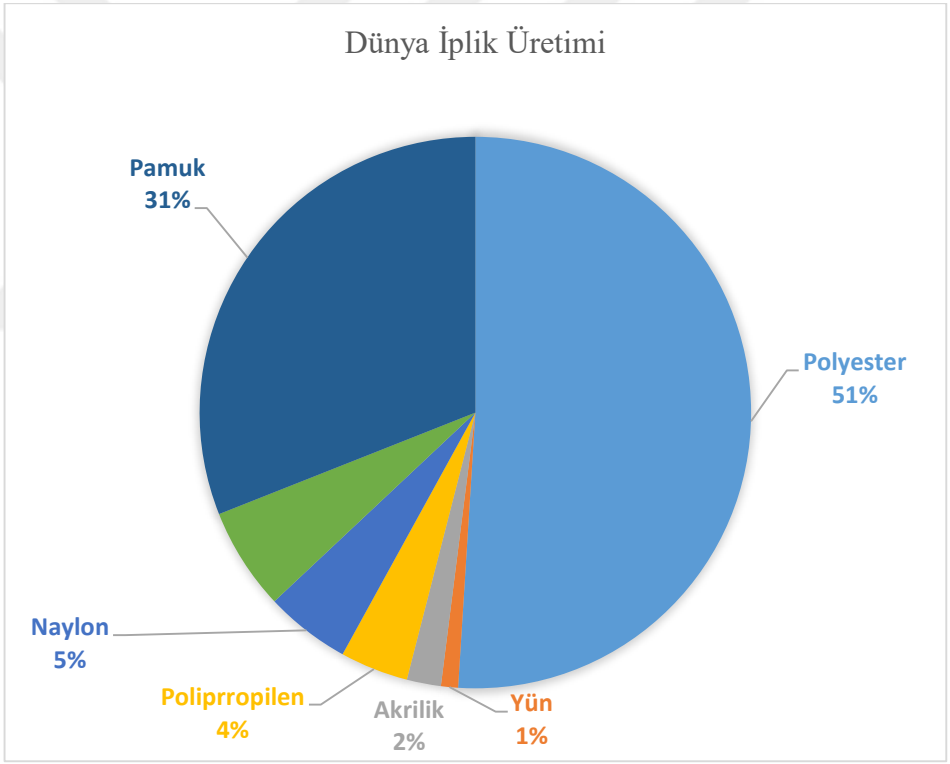
HAMMADDESİ SENTETİK OLAN KİMYASAL LİFLER

- Polyemid
- Poliakrilonitril
- Poliester
- Poliüretan

XVIII. yüzyılın başında, dünya lif ihtiyacının büyük bir bölümü yün ve keten liflerinden oluşmaktaydı. On dokuzuncu yüzyıla gelindiğinde ulaşımın gelişmesiyle soğuk iklimin etkilediği Orta ve Kuzey Avrupa'nın ılıman bölgelere ulaşımı artarak bu bölgelerdeki ülkelerin ekonomik şartlarının iyileşmesine yol açmıştır. Aynı dönemde, ABD'nin güney bölgelerindeki pamuk üretimi hızla yayılmıştır, bu da yün ve ketenin yerini pamuğa bırakmasına neden olmuştur. Lif talebindeki bu değişim, XX. yüzyılın ortalarına kadar devam etmiştir (Kutlucan, 2018). 1950'de, dünya genelinde tüketilen liflerin %70'in üzerindeki kısmı pamuktan oluşmaktadır. Ancak 2. Dünya Savaşı'nın sonrasında, sentetik elyaf ve iplik üretiminin artmasıyla bu oran 1970'lerde %50 seviyelerine gerilemiştir. 1980'lerin ikinci yarısında kısmi bir toparlanma yaşandıysa da, 1990'ların ilerleyen dönemlerinde pamuğun bu payı %40'ın altına gerilemiştir (Zhao,

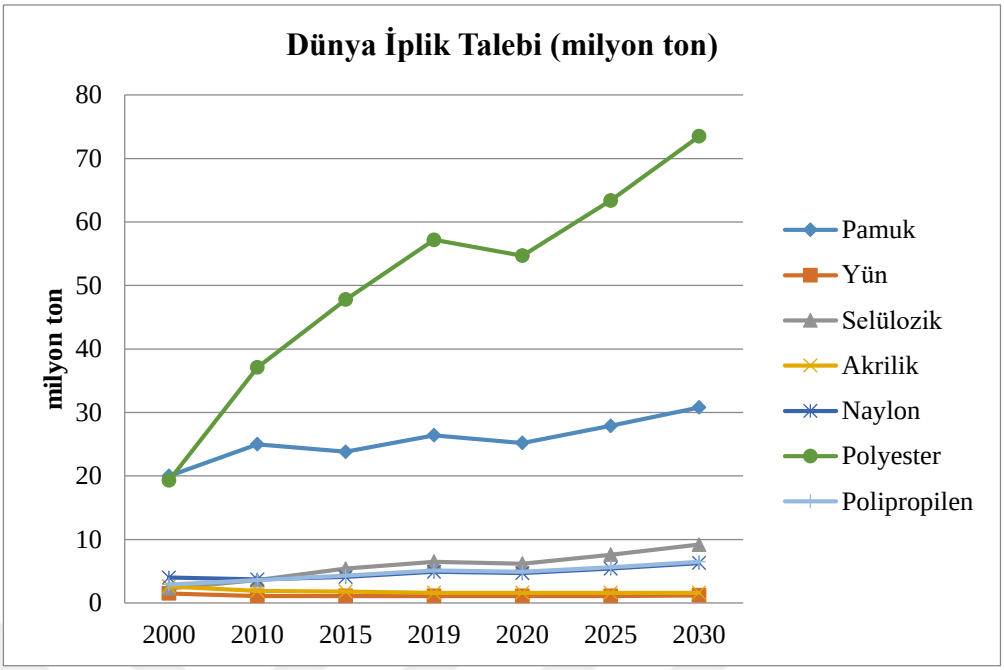
2023). 2000 yıllardan sonra sentetik elyaf ve iplik üretimi, ürertim maliyetlerinin düşük olması nedeniyle rotasını Güney Asya, Hindistan ve Çin olarak belirlemiştir.

Dünya genelinde yapay elyaf ve iplik üretiminin bölgelere göre dağılımına bakıldığında, Asya'nın ve özellikle Uzakdoğu'nun bu üretimin %65'ini gerçekleştirdiği görülmektedir (Uyanık ve Çelikel, 2019). ABD'nin payı %16, Batı Avrupa'nın %13, Japonya'nın ise %6 olarak gerçekleşmiştir. 1990-2005 arası, polyester üretiminin küresel kapasitesinin %82'si, Çin ve Hindistan'daki büyümeyle gerçekleşmiştir. Bu dinamik büyüme eğiliminin devam edeceği ve 2050'de 150 milyon tonun üzerine çıkabileceği tahmin edilmektedir (Kutlucan, 2018). Şekil 1.6'da dünya iplik üretiminde liflerin oranları gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Dünya iplik üretiminde liflerin oranları (Kutlucan, 2018)

Dünyada her geçen yıl iplik ihtiyacı hızla yükselen talep sebebiyle artarak devam etmektedir. Dünyanın 2030 yılına kadar iplik ihtiyacı ve bunların sınıflandırılması Şekil 1.7'de verilmiştir.



Şekil 1.7. Dünya iplik talebi (milyon ton) (Kutlucan, 2018)

Yukarıdaki grafikte de görüldüğü üzere dünyada polyester iplik talebi yıllar içerisinde artarak devam ederek üretimin 2030 yılına kadar 80 milyon tona yaklaşacağı öngörülmüştür.

Ülkemizde çoğunluğu Marmara bölgesinde yoğunlaşmış polyester iplik fabrikalarında 2022 yılı verilerine göre 2,5 milyon ton polyester iplik üretilmiştir (Zhao, 2023). Türkiye'de yüksek kapasiteli polyester iplik üretimi yapan firmaların isimleri Çizelge 1.10'da verilmiştir.

Çizelge 1.10.Türkiye'de polyester iplik üretimi yapan başlıca firmalar (Anonim, 2023b)

	İŞLETME ADI	TESİS İLİ
1	SASA	Adana
2	KORTEKS	Bursa
3	POLYTEKS	Ankara
4	KÜÇÜKÇALIK	Bursa
5	MİRANLI	Bursa
6	KARASİ	Bursa
7	ERTONA	Bursa
8	KORDSA	Kocaeli
9	EUROTEKS	Çorlu
10	YÜREK POLİMER	Bursa
11	TURKUAZ (TURTEX)	Kocaeli
12	GÜRTEKS	Bursa
13	ALTINSU	Bursa
14	ZEKİ MENSUCAT	Gaziantep
15	GAMA RECYCLE	Gaziantep
16	DİNARSU	Tekirdağ

1.10.1. Polyester İplik Üretimi

1941'de, İngiliz araştırmacılar Dickson ve Whinfield, polietilen tereftalat polimerinden polyester liflerinin üretimini başlattı (Yıldırım vd., 2012). Bu liflerin ticari değeri, İkinci Dünya Savaşı'nın hemen ardından artmıştır. Savaşın sona ermesiyle birlikte, İngiltere ve Amerika gibi birçok ülke, polyester lif üretimine yönelik yenilikçi yöntemler üzerinde çalışmaya başladı. PET polyester lif üretimi Türkiye'de devamlı lif ipliği yöntemi kullanılarak 1968'de başlamıştır (Bozdoğan ve Başer 1990).

Dünya çapında, polyester liflerinin üretimi 1950'lerde önemli bir yükseliş kaydetmiştir. Bu lifler, kimyasal etkilere karşı sağlam ve kuru ya da ıslak koşullarda güçlü bir dayanıklılığa sahiptir. Deride tahrişe neden olmamaları da polyester liflerinin popülerliğinde etkili bir faktördür. Günümüzde polyester lifi ülkelere göre farklı isimlerde üretilmektedir. İngiltere'de "Terylene", ABD'de "Dacron" ismiyle bilinmektedir. Diğer ülkelerde de bu liflere değişik isimler verilmiştir. Türkiye'de "perilen" ismiyle bilinmektedir (Uğur, 2004).

Polyester ipliğe verilen çeşitli isimlerden hiçbirisi ne üreticiler ne de tüketicilerin tamamı tarafından kabul görmemesinden dolayı ABD Federal Ticaret Komisyonunun belirlediği "Polyester Lifleri" ismi tüm ticari işletmeler tarafından kullanılmaktadır. Polyester liflerinin nem emme kapasitesi yüksektir (Akcan, 2018). Yüksek sıcaklıklara karşı direnç gösterirler ve aşınma karşısında dayanıklılıklarıyla bilinirler. İnce ve hafif yapılarına rağmen, çevresel etkilere karşı dayanıklılık gösterirler. Polyester liflerinin esneklik özelliği genelde iyi, yaylanma özelliği çok iyidir (Tayyar ve Üstün 2010). Filament halindeki polyester liflerinin uzama oranı %15-30, kesikli halde ise %30-50 arasında değişmektedir. Hacimsel yoğunluk olarak polyester lifleri hafif bir lif olup, özgül ağırlığı 1.38 gr/cm³'tür. Ek olarak, polyester lifler diğer doğal lif türleriyle, mesela yün, keten veya pamukla birleştirilerek kullanılabilir (MEB, 2012).

1.10.2. Polyester Liflerin Elde Edilme Şartları

- Polimerin uygulanabilirliği için, sıvı halde veya sıvıya dönüştürülmüş bir formda olması şarttır.

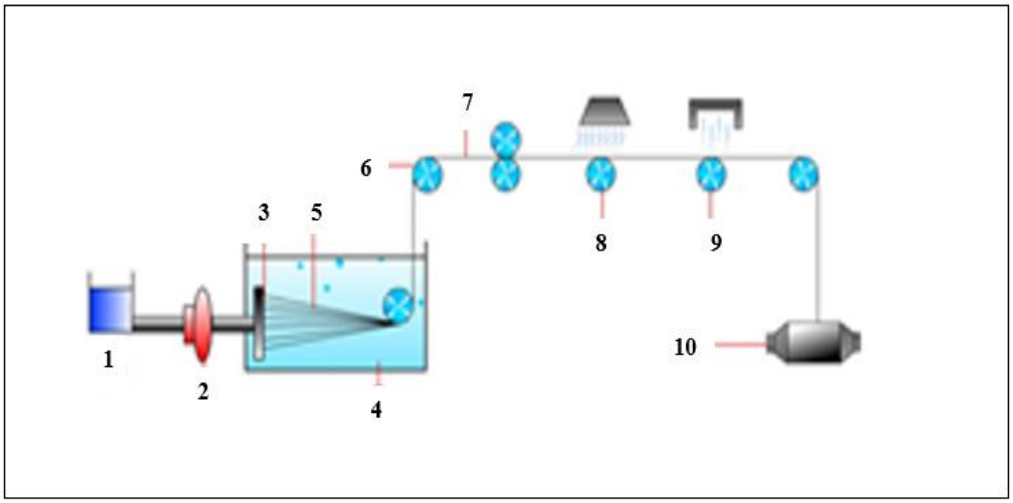
- Sabit basınç altındaki sıvı formdaki polimer spinnered deliklerinden sürekli püskürtülmelidir.
- Deliklerden devamlı basınç altıda çıkan sıvı polimerin, filament hâline dönüşmesi için katılaşabileceği bir ortam bulunmalıdır.

1.10.3. Polyester İplik Üretim Aşamaları

Polyester iplik üretimi sürecinde, polimer önce belirli bir sıvı çözeltisinde eritilir. Bu erimiş çözelti, bir pompa sistemi aracılığıyla belirli bir basınçla düzenin başlığına aktarılır. Başlık, polimerin pıhtılaşmasını sağlayan koagülasyon banyosu içerisinde yer alır. Deliklerden süzülerek banyoya dökülen polimer, filament formunda katılaşır ve banyo içindeki koagülasyon sürecini tamamlayarak çöker (MEB 2011).

Koagülasyon banyosu, polimerin sıvı formdan katıya geçişini gerçekleştirmek için tasarlanır. Örnek olarak, asitlere karşı dirençli bir polimer için bazik bir solüsyon hazırlanırken, koagülasyon banyosu olarak polimerin çözünmediği bir asitik solüsyon tercih edilir (Frushor ve Knorr, 1985; Capone, 1995).

Filamentlerin ani soğuma ve sertleşme sürecinde, lif yapısının kısmi kristalleşme veya uzama eğiliminde olmasına rağmen, amorf kısımlarda belirli bir değişiklik fark edilmez. Bu sebeple, filamentlerin oryantasyonu zayıf olduğundan, liflerin mukavemet değerleri de düşük kalmaktadır. Gerekli fiziksel özellikler makro-moleküllerin germe-çekme işlemine tabi tutulması ile kazandırılır. Şekil 1.8'de polyester iplik üretim aşamaları verilmiştir (MEB 2012).



Şekil 1.8. Polyester İplik Üretim Aşamaları (Acar vd., 2006).

1-Polimer çözelti	2-Pompa	3-Spinneret	4-Koagülasyon banyosu	5-Lifler
6-İletim silindiri	7-Filament haline gelmiş iplik	8-Durulama işlemi	9-Kurutma işlemi	10-Filament iplik

1.10.4. Yağlama ve Anti Statik İşlem

Yağlama işleminin amacı lif – metal sürtünmesini azaltmak ve düşük bir gerginlik oluşması sağlamaktır. Yağlama sayesinde lif aşınması minimum düzeyde olur ve bu sayede lifin kopma riski azalır. Yağlama işlemi filament haline gelmiş iplik liflerin oluşumundan hemen sonra yapılır (Anonim, 2022). Spin finish yağı, yağlama sürecinde kullanılan özel bir yağ türüdür. Bu yağ, antistatik özelliğe sahip olup, bakterilere karşı koruma ve korozyonu önleme gibi özellikleri içeren bir bileşime sahiptir. Genellikle preparasyon yağı, bitim yağı, koruma yağı ve avivaj gibi farklı isimlerle de anılmaktadır (Acar vd., 2006).

Spin finish yağı, saf olarak veya su bazlı bir emülsiyon şeklinde temin edilebilir (Alhalabi ve Sabır, 2011). Bu yağın uygulanması, dönen bir silindirin oluşturduğu film tabakasıyla ipliğe aktarılır ya da ipliğin bir kılavuzdan geçişi sırasında üzerine püskürtülerek sağlanabilir. İplik filamentleri, önce iplik formuna getirildikten sonra kumaş haline geldiğinde, spin finish yağının etkisi tamamlanmış olur. İplik veya kumaşın boyama işleminden hemen önce sıcak su buharı ile yıkanarak uzaklaştırılır (Kumar vd., 2006).

1.10.5. Yağlama ile Kazandırılan Özellikler

- Filamentlerin birbirlerine tutunmalarını artırır.
- Liflerin zarar görmesini önleyerek sürtünme etkisini azaltır.
- Statik elektriklenmeyi azaltır.
- İplik kopuş sayısını azaltır.
- İplik veya kumaş üzerindeki boya dağılımını iyileştirir.
- Filamentin ömürünü uzatmak için bakteri üremesini engeller.
- Yüksek çekim hızlarda daha etkin bir performans elde edilmesine katkı sağlar (Kumar vd., 2006).

1.10.6. Spin Finish Yağının Özellikleri

Spin finish yağının standartlara uygun polyester iplik üretilebilmesi için şu özelliklere sahip olması gerekmektedir.

- Filamentin kaynaşmasının sağlanması
- Hava oksidasyonunu engellemesi.
- İyi ıslatma özelliklerine sahip olması.
- Bakteri büyümesinin önüne geçmek.
- Kanserojen olmamak.
- Antistatik özelliklere sahip olmak.
- Kopma, aşınma ve benzeri durumların gerçekleşmesini önlemek
- Üretimin sürekliliğini sağlamak (Acar vd., 2006).

Spin finish yağınında bulunması gereken genel vasıfların yanında teknik özellikleri Aşağıda Çizelge 1.11'de verilmiştir.

Çizelge 1.11. Spin finish yağının teknik özellikleri (Kumar vd., 2006).

Özellikler	**Birim**	**Test Method**	**Spin Finish**
Görünüş	Özellik	Görsel	Şeffaf akışkan
Renk (Gardner No)	No	ASTM D-1544	Max. 4
Kinematik Viskozite, 40 ^{o}C	cst	ASTM D-445	45$\pm$10
% 10 Emülsiyonda Görünüş	Özellik	Görsel	Şeffaf
% 10 Emülsiyonda pH	No	ASTM D-664	7,5$\pm$0,5
Asit Değeri	Mg KOH/gm.	ASTM D-974	Max. 4
Yoğunluk, 30 ^{o}C	g/cm^{3}	ASTM D-1298	1,08$\pm$0,05
Akma Noktası	^{0}C	ASTM D-97	Max. 6
Parlama Noktası	^{0}C	ASTM D-92	150

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Raheman ve Phadatare (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, karanja bitkisinin yağından elde edilen biyodizel %20, %40, %60 ve %80 oranlarında motorin ile karıştırılarak dizel bir motorda test edilmiştir. Yapılan testlerde üretilen biyodizelin motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, %20 ile %40 oranında biyodizel ile harmanlanmış motorin kullanımının motor performansında artışa ve egzoz emisyonlarında azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, söz konusu karışımların motorin yerine alternatif bir yakıt olarak kullanılabileceği ve çevresel faktörler açısından daha az zararlı olabileceğini bildirmişlerdir.

Gateau (2006) Kolza yağından elde ettiği biyodizeli (RME) ve petrol dizeli yakıt karışımlarını %50 oranında harmanlayarak 1993-2005 yılları arasında bir araç filosunda test etmiştir. Denemelerinde yirmi ağır araç, on adet kamyonet ve dört otomobil kullanılmıştır. Araçların yarısında %50 RME ve diğer yarısında ise referans değerleri sağlamak için ticari dizel yakıtı kullanılmıştır. Filodaki araçların oniki yıl boyunca yağlama analizleri ve özgül yakıt tüketimi değerleri incelenmiştir. Sonuç olarak yağlama seyrelmesi incelendiğinde RME yakıtını kullanan araçların petrol dizeli kullanan araçlardan daha iyi olduğu motor parçalarının aşınmasında anlamlı bir fark olmadığı gözlenmiştir. Özgül yakıt tüketimin değerlerinde ise biyodizel ve karışımlarını kullanan araçların ortalama %3,3 oranında fazla yakıt sarfiyatına ulaştığı gözlemlenmiştir.

Bertran (2009) yürüttüğü araştırmada, 2030 yılında dünya nüfusunun 8 milyara ulaşacağını ve enerji talebinin günümüze göre artacağını vurgulamıştır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılması gerekliliğine vurgu yapılmış, özellikle Türkiye ve İspanya'nın biyodizel üretimi açısından taşıdığı önemi detaylı bir şekilde incelemiştir. Araştırmada, Türkiye ve İspanya'nın birbirine benzer karakteristik özelliklere sahip olduğu ve bu ülkelerde kanola ve soya fasulyesinden elde edilebilecek yağlar kullanılarak üretilebilecek biyodizelin ekonomik olabilmesi için gereken koşulları ele almıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, biyodizel üretiminde ekonomik başarı için öncelikli olarak çözülmesi gereken sorunların, ucuz tohum temini ve devlet desteği olduğunu saptamıştır.

Mbarawa (2010) çalışmalarında karanfil kökünden elde ettiği yağı 4 silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorda, %25 karanfil kök yağı + %75 petrol dizeli olacak şekilde harmanlamıştır. Oluşturduğu karışımların motor performansı ve egzoz emisyon değerlerine etkisini araştırmıştır. Yapmış olduğu deneyler sonucunda, harmanlanmış yakıtı petrol dizeli yakıtla karşılaştırarak ısıl verim ve özgül yakıt tüketimi değerlerini incelemiştir. Hazırladığı yakıt karışımlarının dizel yakıta göre daha yüksek değerler verdiğini gözlemlemiştir. Diğer taraftan egzoz gazı sıcaklıklarındaki değişimleri incelemek için yaptığı deneylerde sadece orta motor devirindeki çalışma koşullarında anlamlı değişiklikler kaydetmiştir. Ayrıca, karışım yakıtının emisyon değerlerinden hidrokarbon (HC) emisyonu değerinde azalma, azot oksit (NO_x) emisyonlarında ise belirgin şekilde artış olduğunu belirlemiştir.

Çengelci vd. (2011) gerçekleştirdikleri çalışmada, hayvansal ve bitkisel yağlardan ürettikleri biyodizellerin dizel motorlar üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Araştırmanın temel bulguları şu şekildedir:

- Hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel kullanımı, petrol dizeline kıyasla motor performans karakteristikleri açısından motor momenti ve efektif güç değerlerinde azalmaya neden olurken, özgül yakıt tüketiminde artışa sebep olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca egzoz emisyonlarında CO değerlerinde azalma tespit etmişlerdir.
- Bitkisel biyodizel kullanımıyla özgül yakıt tüketimi, motor momenti ve motor gücünde iyileşmeler gözlemlenmiş fakat CO_2 emisyonlarında artış, duman emisyonlarında azalma görülmüştür.
- Bu bulgular sonucunda hayvansal ve bitkisel biyodizellerin dizel motor performansı ve emisyonlar üzerindeki farklı etkilerini ortaya koymuşlardır.

Çelikten vd. (2012) yapmış oldukları araştırmada, kolza tohumu yağı ve fındık yağı metil esterlerinin dört silindirli, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu dizel motorunda kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında, dizel yakıtı, kolza tohumu yağı metil esteri ve fındık yağı metil esteri ile harmanlayarak motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Bulgulara göre, kolza metil ester oranının arttırılmasıyla duman ve CO emisyonlarında azalma gözlemlenirken, NO_2 ve CO_2 emisyonlarında artış meydana geldiği belirlenmiştir.

Liaquat vd. (2013) yapmış oldukları çalışmada, palm yağından elde edilen B20 biyodizel karışımı ile dizel yakıtının tek silindirli bir motorda 250 saat boyunca kullanılmasına dair bir araştırma yürütmüşlerdir. Deneyin ardından enjektör ve motor parçaları detaylı bir incelemeye tabi tutulmuştur. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskobu (EDS) analizleri sonucunda, dizel yakıt kullanımında enjektör üzerinde biriken karbon miktarının B20'ye kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Motor yağı analizi sonuçları incelendiğinde B20 biyodizel karışımının, dizel yakıta göre daha fazla motor aşınma parçalarını içerdiği ortaya konmuştur.

Gülüm ve Bilgin (2014) araştırmalarını iki aşamalı bir süreçte tamamlamışlardır. İlk aşamada, mısır ve fındık yağlarından transesterifikasyon yöntemini kullanarak en düşük viskoziteye sahip biyodizellerin optimum üretim parametrelerini belirlemeye odaklanmışlardır. İkinci adımda, her yağ ve katalizör kombinasyonu için en düşük viskoziteli biyodizellerle, metil ester veriminin teorik olarak en yüksek olduğu biyodizellerin belirli oranlarda (%5, %10, %15 ve %20) ticari dizel ile harmanlanması ile elde edilen karışımların, 10°C'den 40°C'ye kadar olan sıcaklık değerlerinde dinamik ve kinematik viskozite değerleri ile yoğunlukları ölçmüşlerdir. Özellikle atık yağlardan biyodizel üretiminin biyodizel maliyetini azaltmak için etkili bir strateji olabileceğini vurgulayarak, atık yağlardan biyodizel üretiminde optimum reaksiyon parametrelerinin belirlenmesine yönelik çalışmaların daha geniş kapsamlı olarak yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Ulusoy vd. (2016) 48 kW gücündeki bir traktör motorunda atık yemeklik yağların alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla kapsamlı testler gerçekleştirmişlerdir. Atık yemeklik yağın 100 saatlik kullanımının sonucunda, motor devrine bağlı olarak motor tork değerlerinde dizel yakıt ile karşılaştırıldığında %4,21 ile %14,49 arasında azalma ve dumanda artışı gözlemlemişlerdir. Yapılan taramalı elektron mikroskopu (SEM) analizi, enjektörlerin meme ucunda ve gövdesinde koyu renkli tortuların tespit edildiğini gösterirken, enerji dağılımlı X-ışını spektroskobu (EDX) analizi, meme uçlarında tespit edilen elementlerin yanma odasındaki motor yağı külünü işaret ettiğini ve koklaşma ürünlerini C ve O olarak belirlediklerini ortaya koymuşlardır.

EDX analizi sonuçlarına göre, atık yemeklik yağların kullanımından kaynaklanan Na, S, Ca, P, Cl ve K elementlerini tespit etmişlerdir.

Tudu vd. (2016) çalışmalarında tek silindirli dizel motorda pirolitik yakıtı %40 oranında ayrıca buna ilave olarak %10 dimetil karbonat kullanmışlardır. Dizel motorda standart olarak kullanılan piston yerine jet piston tercih etmişlerdir. Jet piston kullanmalarının nedenini yanma odasında türbülans oluşumunu arttırmak olarak açıklamışlardır. Gerçekleştirdikleri deneylerde pirolitik yakıt kullanımıyla HC ve CO emisyonlarını arttığını NO_x ve CO_2 emisyonlarında ise düşüş tespit etmişlerdir. Testlerinde %10 dimetil karbonat kullanımının termik verimi %4,5 arttırdığını bildirmişlerdir. Dimetil karbonat kullanımının HC ve CO emisyonlarını sırasıyla %66,6 ve %66 oranında düşürdüğünü göstermişlerdir.

Sathiyamoorthi ve Sankaranarayanan (2016) nim ağacının yağından üretilen biyodizel ile (%80 petrol dizeli ve %20 nim yağı biyodizeli) 50 ppm seryum oksit eklenerek hazırlanan karışım yakıtının performans, emisyon ve yanma özelliklerini araştırmışlar ve bunları dizel yakıtıyla karşılaştırmışlardır. Katkı ilavesinin sonuçlarına göre daha yüksek özgül yakıt tüketimi ve termik verim elde edilmiştir. Seryum oksit katkısının NO_x, HC ve CO emisyonlarında belirgin bir azalmaya neden olduğu tespit edilmiş ayrıca, seryum oksit ilaveli karışım yakıtının silindir basıncı, sırasıyla 70.1 bar dizel yakıt için 67.3 bar ve seryum oksit ilavesiz karışım yakıtı için 64.8 bar olarak hesaplamışlardır. Isı salınım değerleri, seryum oksit ilaveli karışım yakıtı için 56.89 kJ/m³, dizel yakıt için 55.123 kJ/m³ ve seryum oksit ilavesiz karışım yakıtı için 48.195 kJ/m³ olarak belirlenmiştir. Seryum oksit eklenen karışım yakıtında CO, HC, NO_x ve is emisyonlarında sırasıyla %3.4, %2.7, %8.4 ve %4.4 oranında azalma gözlemlemişlerdir.

Çakmak ve Bilgin (2017) çalışmalarında, tek silindirli bir dizel motorda mısır yağı metil esteri kullanımının termodinamiğin 1. ve 2. kanunu çerçevesinde yapılan analizini incelemişlerdir. Mısır yağı biyodizeli ve dizel yakıtı kullanarak gerçekleştirdikleri deneylerden elde ettikleri verilerle termodinamik analizler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda, mısır yağı biyodizeli kullanımının özgül yakıt sarfiyatında %11,89 artışa neden olduğu, özgül enerji sarfiyatında ise %2,25 azalma olduğunu belirlemişlerdir. Mısır yağı metil esteri ve dizel yakıt kullanımında, motorun ekserjetik veriminin aynı olmasına rağmen, mısır yağı metil esteri kullanımında efektif verimin

%0,76 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Dizel yakıt ve mısır yağı metil esteri için yok olan ekserji değerini sırasıyla 6,77 kW ve 6,67 kW olarak hesaplamışlardır.

Hosseini vd. (2017) dizel-biyodizel karışımlarına, tek silindirli, dört zamanlı ve hava soğutmalı bir dizel motora eklenen CNT'nin performans ile egzoz emisyonları üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada, üç farklı motor hızında testler yapılmıştır. Yakıt harmanlarına CNT eklenmesiyle tüm motor devirlerinde güç, FTV ve EGS'de önemli ölçüde artış yaşandığı görülmüştür. Bununla birlikte, karışım yakıta CNT ilavesi ile birlikte FÖYT'de de önemli ölçüde azalma sağlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmada kurum, HC ve CO emisyonlarında azalma sağlanırken, EGS'nin yükselmesine bağlı olarak NO_x emisyonunda artış yaşandığı gözlemlenmiştir. Buna ilaveten, CO ve CO_2 emisyonları arasında negatif bir istatiksel kolerasyon olduğunu belirtmişlerdir. Elde edilen bu sonuçların, CNT nano parçacıklarının yakıt molekülleri arasındaki boşluklarda yer alması, viskoziteyi düşürmesi ve biyodizelin bünyesinde oksijen barındırması dolayısıyla yakıt özelliklerinin iyileşmesinden kaynaklandığı vurgulanmıştır. Bu etkiler sonucunda, yakıtın homojenliği, buharlaşması, yakıtın atomizasyonu gibi faktörlerin etkilendiği, böylece elde edilen performans ve emisyon değerlerini değiştirdiği sonucuna varılmıştır.

Mohammed (2018) tarafından yürütülen çalışmada, kenevir yağı biyodizelini (B), dizel (D) ve bütanol (But) ile karıştırarak çeşitli ikili ve üçlü karışım yakıtları üretilmiştir. B20D80, B5But15D80, B10But10D80, B15But5D80, But20D80 karışımlarının UV-Vis, FT-IR, TGA ve DSC özelliklerini detaylı bir şekilde incelemiştir. Aynı zamanda, farklı devirlerde (1000-2500 devir/dak) ve tam yük koşullarında fren gücü, özgül yakıt tüketimi, tork, egzoz gazı sıcaklığı, hidrokarbonlar (HC), azot oksit (NO_x) ve karbonmonoksit (CO) emisyonları gibi önemli parametreleri değerlendirmiştir. Mohammed, yaptığı analizler sonucunda kenevir biyodizeline ait tüm yakıt özelliklerinin (iyot değeri hariç) biyodizel standartlarına uygun olduğunu tespit etmiştir. Petrol dizeline kıyasla, tüm karışımlarda güç, tork, HC ve CO emisyonlarında azalma görüldüğü ancak NO_x emisyonları, özgül yakıt tüketimi ve egzoz gazı sıcaklıklarında artış olduğunu rapor etmiştir.

Patil vd. (2018) yaptıkları çalışmada pamuk tohumu yağı ile dizel yakıtı belirli oranlarda karıştırarak %10 pamuk tohumu yağı + %90 dizel yakıtı (10BSBCe$O_2$50) ve

%20 pamuk tohumu yağı + %80 dizel yakıtı (20BSBCeO$_2$50) ve ayrıca 50 ppm CeO$_2$ ilave ederek tek silindirli su soğutmalı bir dizel motordaki performans ve emisyon değerlerini incelemişlerdir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, tüm performans ve emisyon parametreleri dikkate alındığında, 10CSBCeO$_2$50 yakıtının optimum koşulları sağlayan bir yakıt olduğu belirtilmiştir. Bu yakıt türü, termik verim açısından %5,99'luk bir artış ve özgül yakıt tüketiminde %1,67'lik bir azalma sağlamıştır. Ayrıca, 10CSBCeO$_2$50 yakıtında en yüksek egzoz gazı sıcaklığının ölçüldüğü belirlenmiştir. Dizel yakıtına kıyasla, 10CSBCeO$_2$50 ve 20CSBCeO$_2$50 yakıt karışımlarında CO emisyonlarında sırasıyla %32,19 ve %10,27 oranında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. HC emisyonları bakımından ise tüm karışımlar için benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Dizel yakıtına göre, 10CSBCeO$_2$50 yakıtının NO$_2$ emisyonlarının %5,45 daha az olduğu belirlenmiştir.

Ayhan vd. (2019) araştırmalarında ham ayçiçek yağından transesterifikasyon tekniğini kullanarak biyodizel üretmişler ve dizel yakıt ile olan karışımlarını doğrudan püskürtmeli bir dizel motorunda test etmişlerdir. Farklı oranlarda karıştırılan biyodizel karışımları (B10, B20, B50) ile tam yük ve çeşitli motor devirlerinde gerçekleştirdikleri deneylerden elde ettikleri sonuçlara göre, B10 ve B20 yakıtlarının kullanılması durumunda efektif güç ve tork değerlerinde B0 kullanımına göre artışlar gözlemlemişlerdir. B50 karışımının kullanılması durumunda değerlerde azalmaların meydana geldiğini belirlemişlerdir. Motor efektif gücü ve torkunda B20 yakıtı kullanıldığında en yüksek artışın gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Ayrıca, B20 yakıtının kullanılmasıyla HC, CO ve is emisyonlarında azalmalar, NO emisyonlarında ise artışlar gözlemlenmiştir.

Uslu (2019**)** atık lastiklerden piroliz tekniğiyle elde edilen yağın, farklı oranlarda dizel yakıtla harmanlanmasının tek silindirli bir dizel motordaki püskürtme basıncı (205 bar, 225 bar ve 245 bar) ve motor yükü (%50, %75 ve %100) değişimlerin etkilerini deneysel olarak araştırmıştır. Bu etkiler, yanıt yüzey yöntemi (RSM) ile analiz edilmiştir. Deneylerde deney tasarımı (DOE) ve varyans analizi (ANOVA) yöntemleri kullanılmıştır. Analizde temel parametreler püskürtme basıncı, yakıt oranı ve motor yükü olup, çıktılar arasında fren efektif verimi (FEV), egzoz gazı sıcaklığı (EGS), azot oksitleri (NO$_x$), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve is emisyonları

bulunmaktadır. FEV, EGS, CO, HC, NO_x ve is değerlerini tahmin etmek ve optimize etmek için RSM matematiksel modelleme kullanılmıştır. Optimal koşullar %30.51 ALPY oranı, 225 bar püskürtme basıncı ve %62,12 motor yükü olarak belirlenmiştir. Bu şartlarda FEV, EGS, CO, HC, NO_x ve is değerleri sırasıyla %26,89, 399,31℃, %0,19, 9,09 ppm, 474,73 ppm ve %24,40 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular, RSM'nin lastik yağı ve dizel yakıt kombinasyonları için tek silindirli düşük güçlü dizel motorun performans ve emisyon tahminlerinde güvenilir bir araç olduğunu bildirmiştir.

Tziourtzioumis ve Stamatelos (2019) deneylerinde tek silindirli Common Rail yakıt enjeksiyon sistemi kullanan motorda %70'e kadar olan yüksek oranlarda biyodizel-dizel karışım yakıtı kullanarak 100 saat boyunca çalışmalar yapmışlardır. Daha sonra motoru iki aydan uzun bir süre boyunca çalıştırmamışlardır. Bu ara dönemde yakıt sistemi içinde kalan karışımın, enjektör memeleri, pompa pistonları ve elastomer parçalarında meydana getirdikleri aşınma ve bozulmaları detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Yapılan gözlemler sonucunda yakıt hattında uzun süre bekletilen biyodizel ve dizel karışımının, aşınma ve bozulmalara yol açtığı görülmüştür.

Reksowardojo vd. (2020) çalışmalarında Common Rail enjeksiyon sistemi kulanan araçta dizel ve B20 yakıtın motor performans, emisyon ve motor parçaları üzerine etkilerini incelemek için laboratuvar ve yol testleri yapmışlardır. B20'nin dizel yakıta göre %30 civarında daha az CO ile HC ve %3,4 daha az partikül emisyonuna sahip olduğunu, NO_x emisyonunda ise dizel yakıta göre %2 daha fazla arttığını bildirmişlerdir. B20 ile yapılan testlerde özgül yakıt tüketimi dizel yakıta göre %0,5 oranında arttığını tespit etmişlerdir. Aracın motor parçalarının 40 bin km sonrasında yapılan değerlendirmesinde her iki yakıt için anlamlı fark gözlemlenmemiştir

Işık ve vd. (2020) Çalışmalarında DF-B100 karışımlı yakıta dimetil eter ilavesinin yanma, performans parametreleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla yakıt ve karışımlarını motorun yüksüz durumundan maksimum yükün %60'ına karşılık gelecek yük aralığında ve motor devrini sabit 1500 rpm'de tutmuşlardır. Motor deneylerinde kullandıkları test yakıtlarını B25DME25, B10DME10, B25 ve biyodizel ve DF olarak sınıflandırmışlardır. Deneylerden elde ettikleri sonuçlara göre B100 ile beraber dimetil eterin kullanımı yanma özelliklerini iyileştirdiğini, muhteviyatında dimetil eter bulunan yakıtların, dizel ve B100 karışımı yakıtlara kıyasla ortalama gaz

sıcaklığının artığını, kütlesel ve FÖYT'lerinin iyileştiğini, CO ve HC emisyonlarının üretimini düşürdüğünü ancak NO_x emisyonlarında düşük miktarda artışların meydana geldiğini raporlamışlardır.

Çılgın (2021) çalışmasında uçucu yağ bitkilerinden biri olan Mentha Tomentosa'dan (tüylü nane) hidrodistilasyon yöntemini kullanarak yağ çıkarmıştır. Bu yağı transesterifikasyon prosesi ile biyodizele dönüştürmüş ve farklı oranlarda (%5, %10, %15 ve %20) dizel yakıtıyla karıştırarak motor testleri gerçekleştirmiştir. Sabit bir motor hızında (1500 devir/dakika) ve çeşitli yük koşullarında motorun performansını ve emisyon parametrelerini incelemiştir. Elde ettiği sonuçlara göre, karışım yakıtlarının NO_x ve CO_2 emisyonlarını artırdığını ancak CO ve HC emisyonlarını düşürdüğünü bildirmiştir. Performans parametreleri açısından, motor gücünün %8,95 kW, torkun %4,28 Nm arttığını ve özgül yakıt tüketiminin %5,82 g/kWh azaldığını belirtmiştir.

Faruk vd. (2022) düşük kapasiteli bir dizel jeneratörde, yakıt olarak petrol dizeli, atık motor yağı ve alkol karışımlarını kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada, karışımların emisyonlar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmada, dizel yakıtına %20 oranında atık motor yağı eklenmiş ve bu karışıma farklı oranlarda (%5, %10 ve %15) etanol, propanol, izo-propanol ve bütanol alkol türleri ilave edilmiştir. Deneylerini dört zamanlı, hava soğutmalı dizel motorlu bir jeneratör üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Jeneratörden sabit bir güç çekilerek (5000 W), yakıt tüketimi ve emisyon sonuçlarını belirlemişler, elde ettikleri sonuçlara göre, özgül yakıt tüketiminin dizel-atık motor yağı karışımına alkol ilavesiyle arttığını en yüksek özgül yakıt tüketiminin %15 etanol ilave edilen yakıt karışımında oluştuğunu belirtmişlerdir. Dizel-atık motor yağı karışımına bütanol ilavesiyle özgül yakıt tüketiminin azaldığını, diğer alkol türleriyle kıyaslandığında en düşük özgül yakıt tüketiminin bu durumda elde edildiğini gözlemlemişler ve emisyon sonuçlarına göre, dizel-atık motor yağı karışımının kullanılmasıyla CO, HC ve is emisyonlarının arttığını tespit etmişlerdir. Dizel-atık motor yağı karışımına alkol ilavesiyle ise CO, HC ve is emisyonlarında azalma tespit etmişlerdir.

Kıvrak (2023) yürüttüğü çalışmada transesterifikasyon yöntemini kullanarak ürettiği biyodizeli petrol dizeli ve bütanol ile belli oranlarda harmanlamıştır. Hazırlanan karışımları dört silindirli dört zamanlı direkt püskürtmeli dizel motorunda karakteristik

özelliklerinin belirlenmesi için tam yük testilerini 1800 dev/dk, 2400 dev/dk, 3000 d/d ve 3600 dk da yapmıştır. Yapılan testlerde kullanılan tüm yakıtlarda maksimum güç 3600 d/d da elde edilmiştir. D100, B100, B50D50, B95Bu5, B90Bu10, B475D475Bu5 ve B45D45Bu10 olmak üzere yedi farklı yakıt ile gerçekleştirilen deneyde sırasıyla 3600 d/d da elde edilen güç değerleri 29,009 kW, 30,943 kW, 30,242 kW, 32,195 kW, 32,737 kW, 31,152 kW, 31,997 kW olarak hesaplanmıştır.

Yakıt karışımlarına n-bütanol eklenmesi ile karışımların viskozite ve yoğunluk değerlerinde iyileşme olduğunu saptanmıştır. Yakıtlar birbirleri ile karşılaştırıldığında B95Bu5 ve B90Bu10 yakıtlarında %4,04 ve %5,79 oranında tork artışı elde etmiştir.

D100, B100, B50D50, B95Bu5, B90Bu10, B475D475Bu5 ve B45D45Bu10 olmak üzere yedi farklı yakıt ile gerçekleştirilen özgül yakıt tüketimi ölçüm testleri incelendiğinde D100 357,25 g/kWh, B100 405,34 g/kWh, B50D50 387,70 g/kWh, B95Bu5 393,02 g/kWh, B90Bu10 384,74 g/kWh, B475D475Bu5 380,10 g/kWh, B45D45Bu10 374,39 g/kWh olarak hesaplamıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

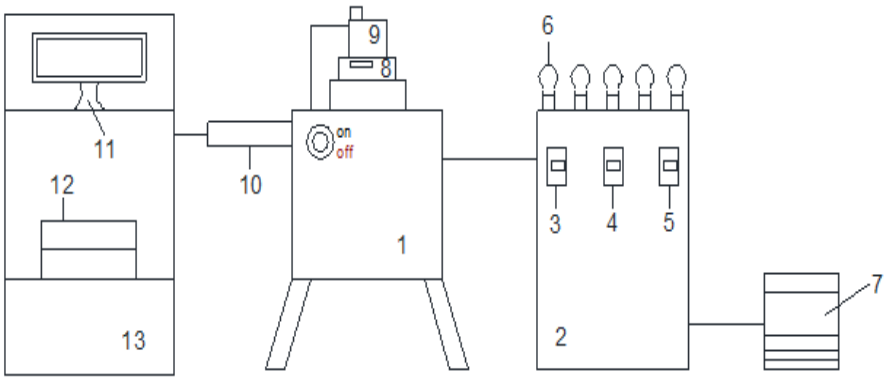
3.1. Materyal

Yapılan çeşitli araştırmalara göre bitkisel ve atık yağlardan biyodizel üretmek ve petrol türevi atık yağlarla karıştırılarak petrol dizeline en yakın performans ve emisyon değerlerini yakalayabilmek önem arz etmektedir. Bu amaçla bitkisel ve atık yağların yakıt özelliklerinin ve petrol türevi atık yağlarla karışımlarının motorin ile karşılaştırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada Petrol Ofisi firmasından motorin, Ertona polyester iplik fabrikasından spin finish yağı, atık spin finish yağı ve biyodizel üretmek için Bursa Uludağ Üniversitesi yemekhanesinden atık kızartma yağı temin edilmiştir. Yemekhaneden temin edilen atık kızartma yağından elde edilen biyodizel Bursa Uludağ Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği atölyesinde bulunan laboratuvar ölçekli tesiste üretilmiştir. Üretilen biyodizel ve atık spin finish yağı %10 ve %20 oranlarında karıştırılarak Antrac Ant Gen 6000 C tek silindirli direkt enjeksiyonlu dizel jeneratörde farklı yüklerde yakılmıştır. Dizel jeneratöre 200 wattlık akkor ampuller ile 3000 watt gücünde quartz ısıtıcı bağlanarak (Şekil 3.1) testler gerçekleştirilmiştir. Test düzeneğine ait şematik resim Şekil 3.2'de gösterilmekte ayrıca Çizelge 3.1'de dizel jeneratöre ait teknik özellikler verilmiştir.



Şekil 3.1. Deneyde kullanılan jeneratör ve yük kaynakları



1-Dizel Jeneratör	2-Elektrik Panosu	3-Ampermetre	4-Voltmetre	5-Ohmmetre	6-Akkor Ampul	7-Quartz Isıtıcı
8-Dijital Terazi	9-Yakıt Deposu	10-Egzoz	11-Monitör	12-Yazıcı	13-Emisyon Cihazı	

Şekil 3.2. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

Deneylerimizde kullandığımız atık kızartma yağından elde edilen biyodizel, spin finish yağı ve atık spin finish yağı Tübitak Marmara Araştırma Merkezinde bulunan biyodizel test laboratuvarında kinematik viskozite, yoğunluk, su miktarı, parlama noktası, bakır çubuk korozyon, soğukta filtre tıkama noktası ve karbon kalıntısı testlerine tabii tutulmuştur. Deneylerde kullanılan dizel, biyodizel ve ASFY ile olan karışımlarından oluşan yakıtın enjektör meme ve iğnesi üzerindeki etkileri Bursa Osmangazi'de bulunan Tübitak Bursa Test ve Analiz Laboratuvarındaki elektron mikroskobunda SEM ve EDX analizleri ile incelenmiştir.

3.1.1. Test Jeneratörünün Özellikleri

Denemelerde biyodizel ve karışımlarının yakıldığı Antrac Ant Gen 6000 C tek silindirli direkt enjeksiyonlu dizel jeneratöre ait resim Şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Antrac Ant Gen 6000 C tek silindir dizel jeneratör

Deneylerde kullanılan ve yukarıda (Şekil 3.3) resmi verilen Antrac Ant Gen 6000 C dizel jeneratöre ait teknik özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney jeneratörünün teknik özellikleri

Marka	Antrac
Model	Ant Gen 6000 C
Beyan Gücü (kW)	5.5
Max. Çıkış Gücü (kW)	6.0
Voltaj (V)	220
Güç Faktörü (Cos φ)	1
Yakıt Tipi	Dizel
Soğutma	Hava
Silindir Sayısı	1
Zaman Sayısı	4
Yakıt Kapasitesi	16 lt
Ağırlık	96 kg
Boyut	715x530x605

3.1.2. Elektrikli Isıtıcı

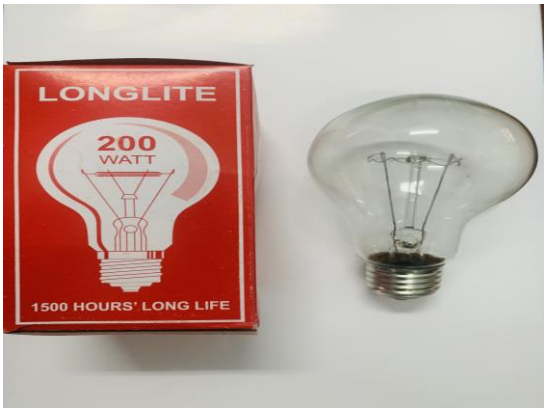
Dizel jeneratöre farklı değerlerde yükleme yaptığımız 600 watt güç değerinde 5 adet quartz rezistanstan oluşan ve toplamda 3000 watt elektrik sarfiyatı olan Roehler Zen Home 3000 W IR 3001 B Quartz ısıtıcı kullanılmıştır. Şekil 3.4'de Roehler Zen Home 3000 W IR 3001 B Quartz ısıtıcının resmi verilmiştir.



Şekil 3.4. Roehler Zen Home 3000 W IR 3001 B Quartz Isıtıcı

3.1.3. Akkor Ampuller

Deneyler sırasında jeneratöre farklı güç değerlerinde yüklemeler yapılmıştır. Bu yüklemeler 1200/2400/3600/4800/6000 watt güç aralıklarında gerçekleşmiştir. Bu güç aralıklarını sağlayabilmek için Longlite 200 watt akkor ampuller kullanılmıştır. Şekil 3.5'de Longlite 200 watt akkor ampulün resmi verilmiştir.



Şekil 3.5. Longlite 200 watt akkor ampul

3.1.4. Ampermetre

Motor ve jeneratör arasındaki elektrik devresine gerilimi ölçmek için elektrik devresine seri olarak laboratuvarımızda bulunan bir adet ENTES 8699421404355 kodlu ampermetre bağlanmıştır. Şekil 3.6'da ENTES 8699421404355 ampermetre gösterilmiştir.



Şekil 3.6. ENTES 8699421404355 ampermetre

3.1.5. Voltmetre

Motor ve jeneratör arasındaki elektrik devresine gerilimi ölçmek için elektrik devresine paralel olarak laboratuvarımızda bulunan bir adet Federal, FV72 marka voltmetre bağlanmıştır. Şekil 3.7'de Federal, FV72 marka voltmetre gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Federal, FV72 marka voltmetre

3.1.6. Mekanik Devir Ölçer

Dört zamanlı tek silindirli dizel motorun çalışma sırasındaki devir sayısı AT-8 marka dijital / mekanik devir ölçer ile belirlenmiştir. Şekil 3.8'de AT-8 dijital / mekanik devir ölçer gösterilmiştir.



Şekil 3.8. AT-8 dijital / mekanik devir ölçer

3.1.7. Hassas Terazi

Özgül yakıt tüketimi ölçümü kütle kaybı yöntemiyle yapılmıştır. Ölçümler esnasında BAB tarafından satın alınan Swock TCS marka ve 30 kilogram kapasiteye sahip 0,5 gram hassasiyetinde ölçüm yapabilen terazi kullanılmıştır. Hassasiyeti 0,5 g olan ve kapasitesi 30 kg'lık hassas terazide harcanan yakıt tüketimi her 60 saniye de bir terazi üzerindeki kütle kaybına bağlı olarak ölçülmüştür. Şekil 3.9'da Swock TCS marka hassas terazi gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Swock TCS Hassas Terazi

3.1.8. Egzoz Sıcaklığı Ölçüm Cihazı

Egzoz sıcaklığı -50 ile 1000 °C arasında çalışan 0,3 °C hassasiyetli 8 noktada dairesel ölçüm yapabilen Cem DT836 Lazer Işıklı, K tipi sensörlü ve kiti bulunan termometre ile ölçülmüştür. Şekil 3.10'da Cem DT836 Lazer Işıklı, K tipi sensörü ve kiti bulunan termometre gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Cem DT836 Lazer Işıklı, K tipi sensörü ve kiti bulunan termometre

3.1.9. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Egzoz Emisyon değerlerinin belirlenmesinde Bursa Uludağ Üniversitesi BAB birimi tarafında satın alınan Bilsa MOD 2210 WINXP-K egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Şekil 3.11'de Bilsa MOD 2210 WINXP-K egzoz emisyon cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Bilsa MOD 2210 WINXP-K egzoz emisyon cihazı

Bu çalışmada farklı jeneratöre farklı zaman aralıklarında yapılan yüklemeler esnasında egzoz emisyon değerleri incelenmiştir. Deneylerde kullanılan Bilsa MOD 2210 WINXP-K egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Bilsa MOD 2210 WINXP-K egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri

Parametreler	Ölçme Sınırı	Hassasiyet
CO	0 - %10	% 0,01
CO2	0 - %20	% 0,01
HC	0 - 10000	1 PPM
O_2	0 - %25	% 0,01
CO Corr	0 - %10	% 0,00
NO_x	0 - 5000	1 PPM
Lambda	0,5 - 2000	0,001
AFR	5 - 30	-
Warm Up Time	2 dakika	
Devir RPM	0 – 9990 rpm	10 rpm
Opasite(Pusluluk Derecesi)	%0 –100	% 0,10
K (Karartma Katsayısı)	0 - 10	0,01 m^{-1}
Efektif Opti Uzunluk	235 mm	-
Eşdeğer Optik Uzunluk	430 mm	-
Çalışma Ortam Sıcaklığı	5°C - 45 °C	% 0,01
Ölçüler(EnxBoyxYükseklik)	57 x 128 x 62 cm	

3.1.10. Yoğunluk Ölçüm Cihazı

Yakıtların yoğunluklarının ölçümü için Tübitak MAM biyodizel yakıt analiz laboratuvarında bulunan ölçüm aralığı 0,0000 g/cm^3 ile 2,0000 g/cm^3, ölçüm aralığı sıcaklığı 0 ile 90 ^oC ve hassasiyeti ±0,001 g/cm^3 olan Anton Paar DMA 4500 model cihaz kullanılmıştır. Cihaz ASTM D 4052 araştırma standarda göre ölçüm yapmaktadır.

Cihaz yoğunluk ölçümü yapılan sıcaklığı ±0,003 ºC hassasiyetle +15 ºC de otomatik olarak yapmaktadır. Şekil 3.12'de Anton Paar DMA 4500 model yoğunlık ölçüm cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Anton Paar DMA 4500 yoğunlık ölçüm cihazı

3.1.11. Kinematik Viskozite Ölçüm Cihazı

Atık kızartma yağı biyodizeli, spin finish yağı ve atık spin finish yağlarının viskozite değerlerinin ölçümü Tübitak MAM biyodizel yakıt analiz laboratuvarında bulunan çalışma sıcaklığı 20 ile 150 °C arasında, hassasiyeti ±0,01 °C olan HERZOG HVM 482 model cihaz kullanılmıştır. Cihaz ASTM D 445 standartlarına göre viskozite ölçümü yapılabilmektedir. Şekil 3.13'de Herzog HVM 482 model viskozite ölçüm cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Herzog HVM 482 model viskozite ölçüm cihazı

3.1.12. Parlama Noktası Tayin Cihazı

Yakıtların parlama noktalarının tayini için, Tübitak MAM biyodizel yakıt analiz laboratuvarında bulunan Herzog HFP 360- Pensky Martens parlama noktası tayin cihazı

kullanılmıştır. Parlama nontası tayin cihazı ASTM D 93 standartlarına göre parlama noktası tayini yapabilmektedir. Şekil 3.14'de Herzog HFP 360- Pensky Martens parlama noktası tayin cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Herzog HFP 360-Pensky Martens parlama noktası tayin cihazı

3.1.13. Su İçeriği Tayin Cihazı

Yakıtların su içeriğini tayin etmek için Mitsubishi CA 200 su içeriği ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçüm hassasiyeti 10 mikrogram – 100 mg su olan cihazın ölçüm sıcaklığı 5-35 °C arasında ve 16 karakterli LCD ekranlıdır. Şekil 3.15'de Mitsubishi CA 200 su içeriği ölçüm cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Mitsubishi CA 200 su içeriği ölçüm cihazı

3.1.14. Bakır Şerit Korozyonu Test Cihazı

Yakıtların korozif etkisinin tayini için Tübitak MAM biyodizel yakıt analiz laboratuvarında bulunan, Koehler marka BK model cihaz kullanılmıştır. Cihaz aynı anda 17 adet test tüpü ile korozyon analizi yapabilmektedir. Banyo sıcaklığı kontrollü olarak 190 ± 1 °C"ye çıkabilmektedir. Cihazda ASTM D 130 standartlarına göre ölçüm

yapılabilmektedir. Şekil 3.16'da Koehler BK bakır şerit korozyonu test cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Koehler BK bakır şerit korozyonu test cihazı

3.1.15. Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (SFTN) Tayin Cihazı

Yakıtların soğuk filtre tıkanma noktasının tespitinde Tübitak MAM biyodizel yakıt analiz laboratuvarında bulunan FPP 5Gs soğuk filtre tıkanma noktası tayin cihazı kullanılmıştır. TS EN 116 test standardına göre petrol türevi ve biyoyakıtlar da soğuk filtre tıkanma noktası testi otomatik olarak yapılmaktadır. Soğutmalı sirkülatör ünitesi ile -69 ºC"ye kadar kontrol edilebilmektedir. VFD ekran modüllü kontrol ünitesinde sonuç otomatik olarak alınmaktadır. Şekil 3.17'de FPP 5Gs soğuk filtre tıkanma noktası tayin cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.17. FPP 5Gs soğuk filtre tıkanma noktası tayin cihazı

3.1.16. Karbon Kalıntı Miktarı Ölçüm Cihazı

Deneylerde üç farklı yakıtın yakılması esnasında ortaya çıkan karbon kalıntısı yanmadan sonra ne kadar kalıntı karbonun kaldığının bir ölçüsüdür. Karbon kalıntı miktarı ölçüm testi karbon kalıntı miktarını tayin etmek için yapılır. Kalıntı fazlalığı yakıt enjeksiyonunu tıkayan en önemli faktördür. Karbon kalıntı miktarı tayininde Tübitak MAM biyodizel yakıt analiz laboratuvarında bulunan Seta – Tanaka Acr – M3 model karbon kalıntı miktarı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaz ASTM D 4530 standartlarında ölçüm yapmaktadır. Şekil 3.18'de Seta – Tanaka Acr – M3 karbon kalıntı miktarı ölçüm cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Seta – Tanaka Acr – M3 karbon kalıntı miktar ölçüm cihazı

3.1.17. Kronometre

Dizel jeneratörde yakılan yakıtın özgül yakıt tüketimi hesaplanmasında gerekli olan zaman ölçümünde Kenko KK-613D markalı kronometre kullanılmıştır. Kronometre 0.01 saniye hassasiyetli dijital ekranlıdır. Şekil 3.19'da Kenko KK-613D markalı kronometrenin resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Kenko KK-613D markalı kronometre

3.1.18. Metil Alkol (Metanol)

Yapılan çalışmalarda alkol olarak %99,9 saflıkta 5 litrelik plastik bidonlarda muhafaza edilen metil alkol kullanılmıştır. Biyodizel üretiminde kullanılan metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Saflık	%99.9
Molekül Ağırlığı	32.04 g/mol
Fiziksel Görünüş	Berrak tortusuz
Renk	Renksiz
Koku	Karakteristik kokulu
Kaynama Noktası	64.4 - 64,8 ^{o}C
Erime noktası	-98 ^{o}C
Yoğunluk	0.790-0.793 g/cm^3
Suda Çözünürlük	Tamamen
Asidite	% 0.005
Dinamik viskozite (20 ^{0}C)	0.60 mPas

3.1.19. Sodyum Hidroksit

Bu çalışmada katalizör olarak bölgemizdeki bir kimya firmasından temin edilen ve granül halde 1kg kapasiteli plastik kutularda muhafaza edilen Sodyum Hidroksit kullanılmıştır. Çizelge 3.4'de sodyum hidroksitin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir

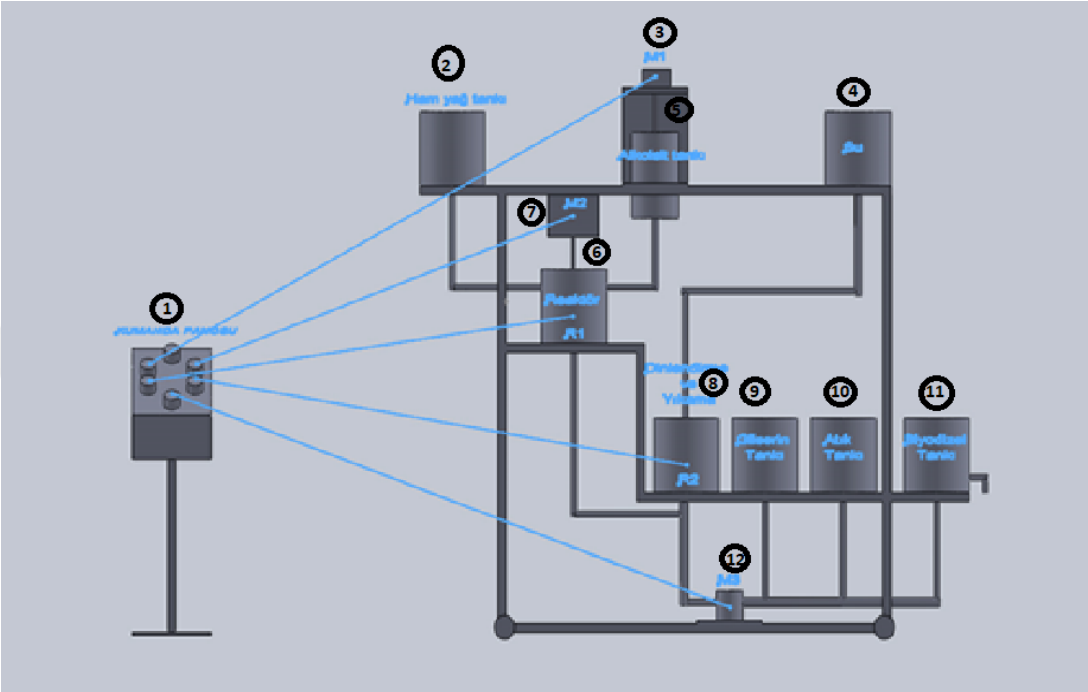
Çizelge 3.4. Sodyum hidroksitin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fiziksel Görünüş	Katı
Renk	Renksiz
Koku	Kokusuz
Yoğunluk (20 ^{0}C de)	~ 2.13 g/cm3
Çözünürlük (20 ^{0}C de)	~1090 g/lt
Parlama Noktası	Uygulanamaz
Erime Noktası	323 ^{o}C
pH (20 ^{0}C de)	~14 (56 g/lt H2O)

3.1.20. Biyodizel Üretim Tesisi

Bitkisel ve hayvansal yağlardan biyodizel üretmek için Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği atölyesinde bulunan laboratuvar ölçekli tesis iki saatte 10 litre üretim kapasitesine sahiptir. Tesisin metonol ve reaktör tankları DC

motorlar ile kontrol edilmekte üretim esnasında gerekli ısı ihtiyacı rezistanslarla sağlanmaktadır. Üretilen biyodizelin sıcaklık kontrolü tanklara monte edilmiş termometreler ile sağlanmaktadır. Şekil 3.20'de Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesis şeması gösterilmiştir.

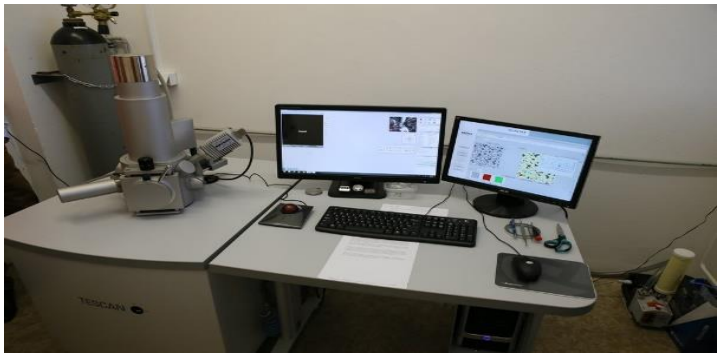


1.Elektrik kontrol panosu	2.Ham yağ tankı	3.Katalizör tankı	4.Su tankı
5.Metenol karıştırıcısı (DC)	6.Reaktör	7.Biyodizel karıştırıcısı (DC)	8.Yıkama tankı
9.Gliserin tankı	10.Atık tankı	11.Biyodizel tankı	12. Pompa (AC Motor)

Şekil 3.20. Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisinin şematik görünüşü

3.1.21. Enjektör İncelemesinde Kullanılan Cihazlar

Testlerde kullanılan jeneratörün enjektör memeleri ve iğneleri dört farklı yakıt için 100 saat çalışma sonunda Tübitak Bursa Test ve Analiz Laboratuvarında bulunan elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektrometresi (EDX) yardımıyla incelenmiştir. Dizel enjektörün meme çevresinde ve iğne ucunda biriken oluşumların özelliklerine ve element analizine bakılmıştır. Analizlerin yapıldığı Tescan Vega3 SB Elektron Mikroskobu ve Enerji dağılımlı X Işını Spektrometresine ait resim Şekil 3.21'de verilmiştir.



Şekil 3.21. Tescan Vega3 SB Elektron Mikroskobu ve Enerji dağılımlı X Işını Spektrometresi

3.2. Yöntem

Bu çalışmada aşağıda verilmiş aşamalar gerçekleştirilmiştir.

Spin finish yağı, atık spin finish yağı, atık kızartma yağı ve motorinin temin edilmesi

↓

Atık kızartma ve atık spin finish yağının ön işlemden geçirilmesi

↓

Dizel jeneratörde alternatif yakıt olarak kullanılacak atık kızartma yağı metil esterinin (AKYME) üretilmesi

↓

Deneylerde kullanılacak spin finish yağının, atık spin finish yağının ve atık kızartma yağı metil esterinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi

↓

Biyodizel ile atık spin finish yağının %10 ve %20 oranlarında karışımlarının hazırlanması

↓

Dizel jeneratör ve test düzeneğinin hazırlanması ve yakıtların 100 saatlik periyotlarda yakılması

↓

Motor performans deneylerinin ve egzoz emisyon ölçümlerinin yapılması

↓

Dizel motorda kullanılan enjektörlerin her yakıt için 100 saat sonunda SEM ve EDX analizlerinin yapılması

3.2.1. Yakıtların Temin Edilmesi

Deneylerde yakıt olarak kullanılan motorin Petrol Ofisi firmasında 5 litrelik pet şişelerde temin edilmiştir. Spin finish yağı ve atık spin finish yağı Ertona polyester iplik fabrikasından sağlanmıştır. Biyodizel transesterifikasyon yöntemi kullanılarak Biyosistem Mühendisliği atölyesinde bulunan laboratuvar ölçekli tesiste üretilmiştir. Deneylerde kullanılan motorin, spin finish yağı, atık spin finish yağı ve biyodizele ait resimler Şekil 3.22'de gösterilmiştir.



1. Motorin 2. Spin finish yağı 3. Atık spin finish yağı 4. Biyodizel

Şekil 3.22. Deneylerde kullanılan yağlar

3.2.2. Atık Kızartma Yağı Metil Esterinin (AKYME) Üretilmesi

Transesterifikasyon yöntemi biyodizel üretiminde diğer metotlara göre en sık kullanılanıdır. Bunun sebebi esterleşme veriminin yüksek olması, setan sayısının yüksekliği ve viskoziteyi azaltmada en etkili yöntem olmasıdır (Öğüt ve Oğuz 2006). Biyodizelin üretilmesinin ilk aşaması alkol ve katalizörün karıştırılmasıdır. Reaksiyon işlemi tamamlandıktan sonra ayırma, yıkama, kurutma ve depolama işlemleri sırasıyla yapılmıştır.

Atık kızartma yağından biyodizel üretmek için, atık yağ laboratuvar ölçekli üretim tesisinde, dizel motorda kullanılacak hale gelinceye kadar aşağıdaki işlem basamakları gerçekleştirilmiştir.

- Atık kızartma yağı tesiste biyodizele dönüştürülmeden önce 5 - 20 µm gözenek boyutuna sahip kağıt filtrelerden geçirilerek içerisinde bulunan yabancı maddelerden ve tortulardan arındırılmıştır. Filtrelenen 10 litre atık kızartma yağı

tesisin yağ tankına konulmuştur. Reaktör tankına yağ akışı yerçekiminden faydalanarak sağlanmış olup yağın 5 litrelik kısmı reaktöre alınmıştır. Reaktörde yağ 55 ºC'ye kadar karıştırılarak ısıtılmıştır. Sıcaklığın 55 ºC seçilmesinin nedeni optimum verimin bu sıcaklıkta alınmasıdır. Reaktör üzerinde bulunan termostat sayesinde sıcaklık 55 ºC'de sabit tutulmuştur. Reaktörün içinde bulunan karıştırıcı sıcaklığın reaktörün her bölgesinde homojen olmasını sağlamıştır.

- Kullanılan atık kızartma yağının hacimsel olarak 1/5 oranında 1 litre metanol ve 1 litre yağa 3.5 g/litre oranında 17.5 gram NaOH katalizör maddesi metanol tankında karıştırılmıştır.
- Metanol ve NaOH 30 dakika boyunca karıştırılmış ve katalizörün metanol içerisinde erimesi sağlanmıştır.
- Reaktör içerisinde 55 ºC'ye ısıtılmış yağ ile homojen hale gelmiş metanol ve NaOH karışımı reaksiyona sokulmuştur. Reaksiyon esnasında karışım sabit sıcaklıkta 120 dakika karıştırılmaya devam edilmiştir.
- Reaksiyon sonunda 60 dakika karışım dinlenmeye bırakılmıştır. Bu süre sonucunda 1 litre gliserol oluşmuş ve gliserol tankına pompalandıktan sonra geri kalan ürün 12 saat dinlenmeye bırakılmıştır.
- Elde edilen biyodizel, bünyesinde bulunan alkolün uzaklaştırılması amacıyla 70 ºC sıcaklığa kadar ısıtılmış ve bir saat boyunca karıştırılarak bünyesindeki alkol uzaklaştırılmıştır.
- Dinlendirme işlemi sonunda metil esterin içerisinde bulunan reaksiyona girmeyen gliserolün uzaklaştırılması için 24 ºC sıcaklığında saf su kullanılılarak yıkanmıştır. Yıkama İşleminin istenilen sonucu vermesi için metil esterin 24 ºC olması sağlanmıştır. Yıkama İşlemi için 1 litre saf su kullanılmıştır. Yıkama işleminden sonra biyodizel 12 saat dinlendirmeye bırakılmış işlem sonunda alt tarafta bulunan su, atık su tankına pompalanmıştır.
- Dinlendirme tankında bulunan biyodizel 2 saat boyunca 110 ºC de içerisindeki su moleküllerinden ayrılması için kurutma işlemine tabii tutulmuştur. İşlem sonunda üretilen atık yağ metil esteri biyodizel tankına pompalanmıştır.
- Bu işlem tesisin düşük kapasiteli olmasından dolayı 50 litre biyodizel üretimi için on kere tekrarlanmıştır.

3.2.3. Atık Spin Finish Yağının Hazırlanması

Deneylerde kullanılan atık spin finish yağı polyester iplik üretimi esnasında flamentlerin kopmadan aktarımını sağlayan spin finish yağının RAM tezgâhına gelmeden iplik üzerinden buhar yolu ile alınması sonucu ortaya çıkmaktadır. Kullanılan buhar bacalardan geçerken atık spin finish yağı elektrostatik filtreler vasıtasıyla tutulur ve atık yağ deposuna gönderilir. Atık spin finish yağı buhar temasından dolayı bünyesinde bir miktar su barındırmaktadır. Çizelge 3.5'de bir ton polyester iplik üretiminde kullanılan yağ ve atık yağ miktarları verilmiştir.

Çizelge 3.5. 1000 kg Polyester iplik üretiminde kullanılan yağ ve atık yağ miktarları

1000 kg Polyester Filament Üretimi için	Emülsiyondaki Yağ Konsantrasyonu (%)	İplik Üzerindeki Yağ Oranı (%)	Harcanan Saf Yağ (kg)	Atık Saf Yağ (kg)
FDY	15	1.0	13	3
POY	15	0.8	10	2
POY	10	0.4	7	1.5

Toplanan atık spin finish yağları 50 litrelik bidonlarda Bursa Uludağ Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği atölyesine getirilmiş ve burada ön işlemden geçirilmişti. Ön işlemde yağ 5 - 20 µm gözenek boyutuna sahip kâğıt filtrelerden geçirilerek içerisinde bulunan yabancı maddelerden ve tortulardan arındırılmıştır. Şekil 3.23'de atık spin finish yağının ön işlem aşaması gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Atık spin finish yağının ön işlem aşaması

Atık spin finish yağı ön işlemden geçtikten sonra biyodizel üretim tesisinde reaktöre alınarak 120 dakika 110 ºC de karıştırılarak içerisindeki sudan arındırılması sağlanmıştır. Deneylerde kullanılan atık spin finish yağının su muhteviyatını azaltmak amacıyla aynı işlem %100 spin finish yağınada da uygulanmıştır.

3.2.4. Biyodizel ve Atık Spin Fininish Yağı Yakıt Karışımlarının Hazırlanması

Petrol türevi dizel yakıt ile bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel farklı oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. Saf biyodizel ise yakıt olarak kullanıldığında yağlayıcı özelliği ve NO_x hariç emisyon değerlerinin düşüklüğü nedeniyle fayda sağlamaktadır. Üretim maliyeti düşürülür ve yeterli miktarda temin edilirse motorinin alternatifi olarak kullanılabilmektedir.

Atık petrol türevi yağlar geri kazanım açısından kontrol altına alınması gereken yağlardır. Çevre etkileri bakımında en önde gelen kirleticidirler. Bir litre kullanılmış motor yağı, 1 milyon litre suyun kullanılmaz duruma getirirken, 5 milyon litre suyu içilemez hale getirir (Çetin, 2011). Tekstil sektöründe kullanılan spin finish yağıda bu grubun içinde yer almakta ve geri dönüşümü firmalar için zorunlu hale getirilmiştir.

Biyodizel ve atık spin finish yağı karışımları hazırlanırken ilk olarak karıştırıcıya %90 ve %80 biyodizel konulmuş daha sonra %10 ve %20 atık spin finish yağı eklenmiştir. Karıştırıcıya konulan biyodizel ve atık spin finish yağı 30 dakika süreyle karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Şekil 3.24'de %10 ve %20 atık spin finish yağı, biyodizel karışımlarına ait resimleri verilmiştir.



Şekil 3.24. %10 ve %20 atık spin finish yağı katılmış biyodizel karışımları

3.2.5. Deneylerde Kullanılan AKYME, SFY, ASFY ve Motorin Yakıtlarının Analizi

Dizel jeneratörde yüklemeler esnasında kullanılan yakıtların analizleri üniversitemizin Bilimsel Araştırma Birimi (BAB) destekleriyle Tübitak MAM Kocaeli biyodizel test laboratuvarında yapılmıştır. Motorin yakıtı için EPDK'nın 2015 yılında revize ettiği motorin yakıt standartları ve değerleri kullanılmıştır. Yapılan analizlerde yakıtların yoğunluk, kinematik viskozite, parlama noktası, su içeriği, bakır şerit korozyon, soğuk filtre tıkanma noktası ve karbon kalıntısı değerlerine bakılmıştır. Çizelge 3.6'da AKMYE, SFY, ASFY ve Motorinin yakıtlarının test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.6. AKYME, SFY, ASFY ve motorin yakıtlarının test sonuçları

	AKYME	Spin finish yağı	Atık spin finish yağı	Motorin
Kinematik Viskozite 40˚C (mm²/s)	4,421	89,12	27,21	2 - 4,5
Yoğunluk 15 ˚C (kg/m³)	887,1	1061,6	890,5	820 - 845
Bakır Şerit Korozyon	1a	1a	1a	1a
Parlama Noktası (˚C)	178	226	-	55>
Su içeriği % m/m	0,128	11,27	20,29	Max. 200
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (˚C)	-3	-	-	-15
Karbon kalıntısı % m/m	0,034	1,78	2,11	Max. 0,3

Motor deneylerinde kullanılan AKYME için TS EN 14214 standartlarına göre tüm parametreleri sınır değerleri içerisinde çıkmıştır. Aşağıda Çizelge 3.7'de görüldüğü üzere yakıt ve karışımlarına ait istatistiksel veri tablosu incelendiğinde yakıt ve karışımlarınının kendi aralarında istatistiksel olarak farklarının önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.7. AKMYE, SFY, ASFY ve motorinin yakıtlarına ait test sonuçlarının istatistiksel veri tablosu

	Kinematik Viskozite 40˚C (mm²/s)**	Yoğunluk 15 ˚C (kg/m³)**	Parlama Noktası (˚C)**	Su içeriği % m/m**	Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (˚C)	Karbon kalıntısı % m/m**
AKYME	4,421 ± 0,0160^{c}	887,10 ± 1,2342^{b}	178 ± 1,4^{b}	0,128 ± 0,0020^{c}	-3 ± 0,2516	0,034 ± 0,0017^{c}
SFY	89,12 ± 0,1934^{a}	1061,6 ± 2,8963^{a}	226 ± 3,7723^{a}	11,27 ± 0,1619^{b}	-	1,780 ± 0,02^{b}
ASFY	27,21 ± 0,1026^{b}	890,50 ± 2,8055^{b}	-	20,29 ± 0,3988^{a}	-	2,110 ± 0,0152^{a}

**p< 0.01, sütunlar arasındaki farklar önemlidir, ±SH

3.2.6. Motor Performans Deneyleri

Dizel jeneratöre yüklemeler esnasında yakıt olarak sırasıyla motorin, B100, %10 atık spin finish yağı katılmış biyodizel ve %20 atık spin finish yağı katılmış biyodizel kullanılmıştır. Farklı dört yakıt 100 saat boyunca 1200/2400/3600/4800/6000 watt güç değerlerinde test edilmiştir. Testler esnasında her güç aralığı için onuncu, kırkıncı ve doksanıncı saatlerde üç tekrar halinde amper, volt, devir, egzoz sıcaklığı ve özgül yakıt tüketimi değerlerine bakılmıştır.

Dizel motor performans deneyleri sonucunda ortaya çıkan değerler sonucunda elektriksel güç, moment ile özgül yakıt tüketimi aşağıda verilen formüllerle hesaplanmış ve emisyon testlerinde ise karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO_2), hidrokarbon (HC), oksijen (O_2), kükürt dioksit (SO_2) ve azot oksit (NO_x) değerleri ölçülmüştür.

3.2.7. Elektriksel Güç

Elektriksel güç elektrik enerjisinde elektrik devresi tarafından taşınan güç olarak tanımlanır. Deneylerde dizel motorumuza yüklemeler elektriksel güç kaynakları akkor ampuller ve quartz rezistanslar ile yapılmıştır. Motor ve jeneratör arasındaki elektrik devresine gerilimi ölçmek için devreye paralel olarak bir adet voltmetre ve akımı ölçmek için ise seri olarak bir adet ampermetre bağlanmıştır. Elektriksel güç ise voltmetre ve ampermetreden alınan iki değerin çarpımıyla elde edilmiştir. Elektriksel güç ölçümü, volt ve amper değerlerine bağlı olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Aydın, 2015).

$$P = U . I . Cos\varphi$$

P: Elektriksel güç (watt)
U : Gerilim (volt)
I : Akım (amper)
Cos φ : (Güç faktörü)

3.2.8. Moment

Moment ölçümü, elektriksel güç ve devir sayısına bağlı olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Heywood, 1988).

$$M = 9.5488 \left(\frac{P}{n}\right)$$

M: Moment (Nm)
P: Elektriksel güç (W)
n: Motor devir sayısı (dk^{-1})

3.2.9. Özgül Yakıt Tüketimi

Dizel motorlarda özgül yakıt tüketimini etkileyen temel faktör kullanılan yakıtın ısıl değeri olmakla birlikte viskozite ve yoğunluk değerleri de oldukça etkilidir. Deneylerde özgül yakıt tüketimi kütle kaybı yöntemiyle uygulama laboratuvarında bulunan hassas terazi üzerine yakıt deposunun konumlandırılmasıyla ve her altmış saniyede bir terazi üzerindeki kütle kaybına bağlı olarak ölçülmüştür. Bulunan değerler 60 ile çarpılıp saatlik özgül yakıt tüketimi bulunmuştur.

3.2.10. Emisyon Ölçümleri

Motor emisyon deneylerine başlamadan önce dizel motor ve motor yağı sabit sıcaklıklara ulaşana kadar 30 dakika çalıştırılmıştır. Motor ısındıktan sonra, test koşulları ayarlanmış ve herhangi bir veri alınmadan önce motorun kararlı çalışma aralığına ulaşmasına izin verilmiştir.

Dizel motora her bir ölçüm için kademeli olarak farklı elektriksel güç değerlerinde yüklemeler yapılmıştır. Bu yüklemeler esnasında üç tekrar halinde motorun egzoz emisyon değerlerine bakılmış ve ortalaması istatistiksel olarak incelenmiştir.

3.2.11. Enjektör Test ve Analizleri

Çalışmalar sonucunda tek silindirli dizel motorun yakıt sistemi üzerinden sökülen enjektör iğneleri ve memeleri deneylerde kullanılan yakıt ve karışımlarının etkilerinin analizi için TÜBİTAK Bursa Test ve Analiz Laboratuvarı tarafından taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı x-ışını spektroskopisi (EDX) görüntü analizlerine tabii tutulmuştur.

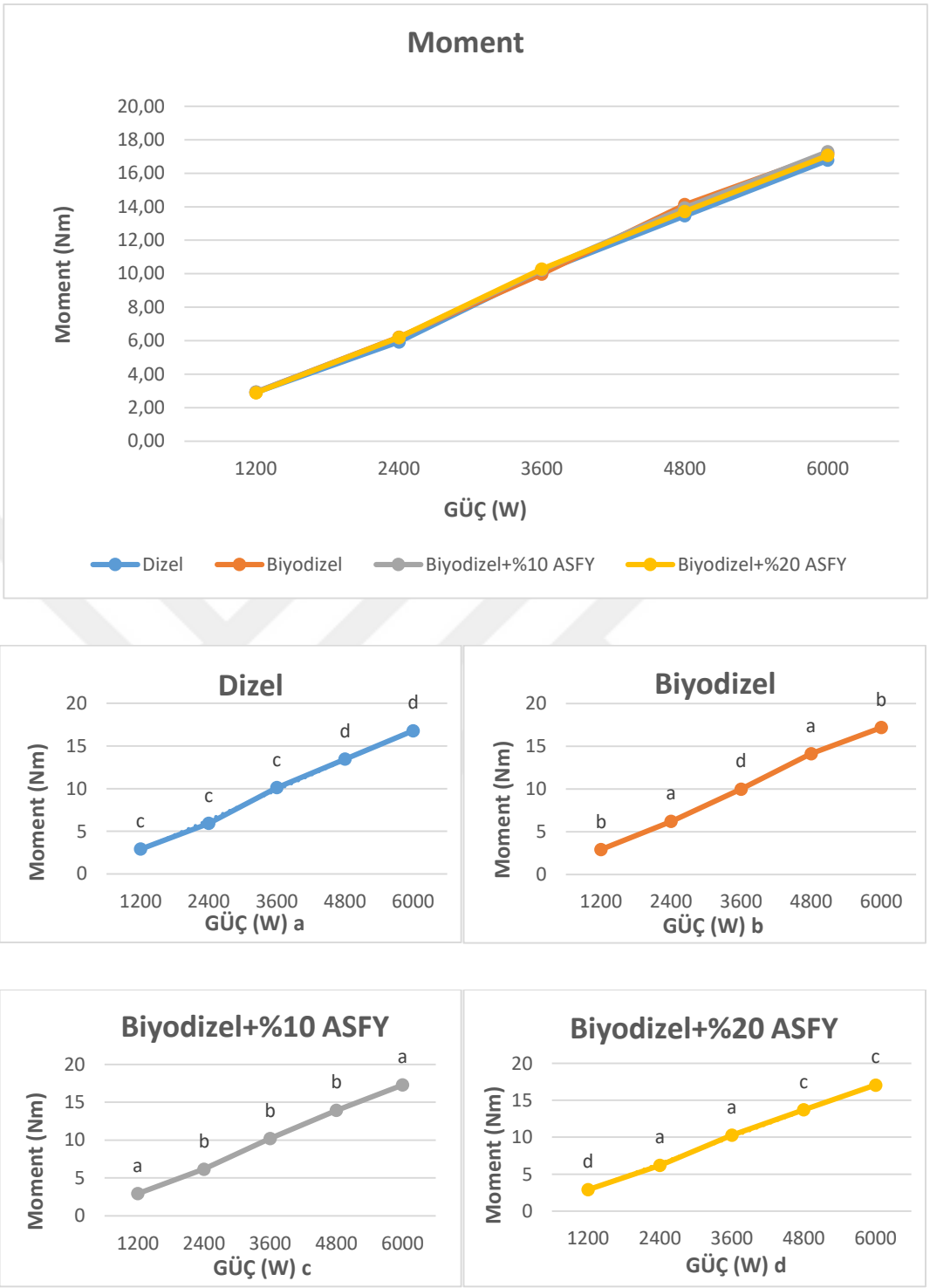
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Motor Performans Değerlerinin Karşılaştırılması

Motor performansının incelenmek için her bir yakıt ve karışımlarının motor moment değerleri, elektriksel güç değişimleri, özgül yakıt tüketimi, egzoz sıcaklığı değerleri ve motor devir sayısı, 100 saatlik çalışma esnasında 10/50/90 nıncı saatlerde üç tekrar olacak şekilde ölçülmüştür. Sayısal olarak kaydedilen değerlerin excel tablosu oluşturulmuş ve bu veriler kapsamında istatistik veri analizi yapılarak her verinin grafik tablosu oluşturulmuştur

4.1.1. Motor Moment Değerlerinin Karşılaştırılması

Deneylere başlamadan önce motor ve motor yağı çalışma sıcaklığına ulaşıncaya kadar 30 dakika beklenmiş daha sonra dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımları sırasıyla 1200, 2400, 3600, 4800 ve 6000 watt elektriksel güç değerlerinde yüklemelere tabii tutulmuştur. Uygulanan farklı elektriksel güç değerleri sonucunda oluşan motor moment değerindeki değişimler ve istatistiksel olarak hata değerleri Şekil 4.1'de görülmektedir. Tüm yakıt ve karışımlarında 6000 W elektriksel yük değerlerinde en yüksek moment değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmaya paralel olarak Haşimoğlu vd. (2008), Özçelik (2011), Söyler (2023) biyodizel ve ASFY gibi petrol kökenli karışımlarında dizel yakıta göre moment değerlerinde düşüş yaşanmasının yakıtlara ait alt ısıl ve setan sayısı değerlerinin düşük olmasına bağlı olarak tutuşma gecikmesinin arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Tillem (2005), Doğan (2012), Çelik (2019) yürüttükleri farklı çalışmalarda tutuşma gecikmesi artışıyla birlikte yanma performansının kötüleştiğini ve bunun sonucu olarak silindirin içindeki maksimum basınç azalmasının momentin düşmesine neden olduğunu belirlemişlerdir. Ortalama değerlere bakıldığında tüm yükleme değerlerinde moment değerleri birbirine çok yakın görülmektedir. Bunun sebebi jeneratörün elektrik üretimi için 3000 d/d ile sınırlandırılmış olmasıdır. Benzer şekilde, Aydın ve İşcan (2016), Seven, (2017), Çelik (2019) çalışmalarında dizel jeneratörün her yakıt için 3000 d/d devirde istenilen gücü elde edebilmesi için daha fazla yakıta ihtiyaç duymakta ve yakıt tüketimini arttırmakta olduğunu ifade etmişlerdir.



Şekil 4.1. Dizel (a), Biyodizel (b), Biyodizel+%10 ASFY (c) ve Biyodizel+%20 ASFY (d) yakıtlarının elektriksel güç yüklemelerine bağlı olarak moment değerleri ve istatistiksel hata sonuçları

Motor deneylerinde Çizelge 4.1'de verilen moment değişimlerine ait istatistiksel veri tablosuna göre yakıt ve karışımlarının kendi aralarında istatistiksel olarak farklarının

önemli olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte 2400W elektriksel güç değerlerinde hem biyodizel hem de biyodizel+%20 ASFY'de en yüksek değerler tespit edilmiştir. Yakıt ve karışımlarına ait moment değerlerinin birbirine çok yakın değerlerde olmasının temel nedeni tüm elektriksel güç yükleme değerlerinde dizel jeneratörün 3000 d/d ile sınırlandırılmış olması olarak açıklanabilir.

Çizelge 4.1. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının moment değerlerine ait istatistiksel veri tablosu

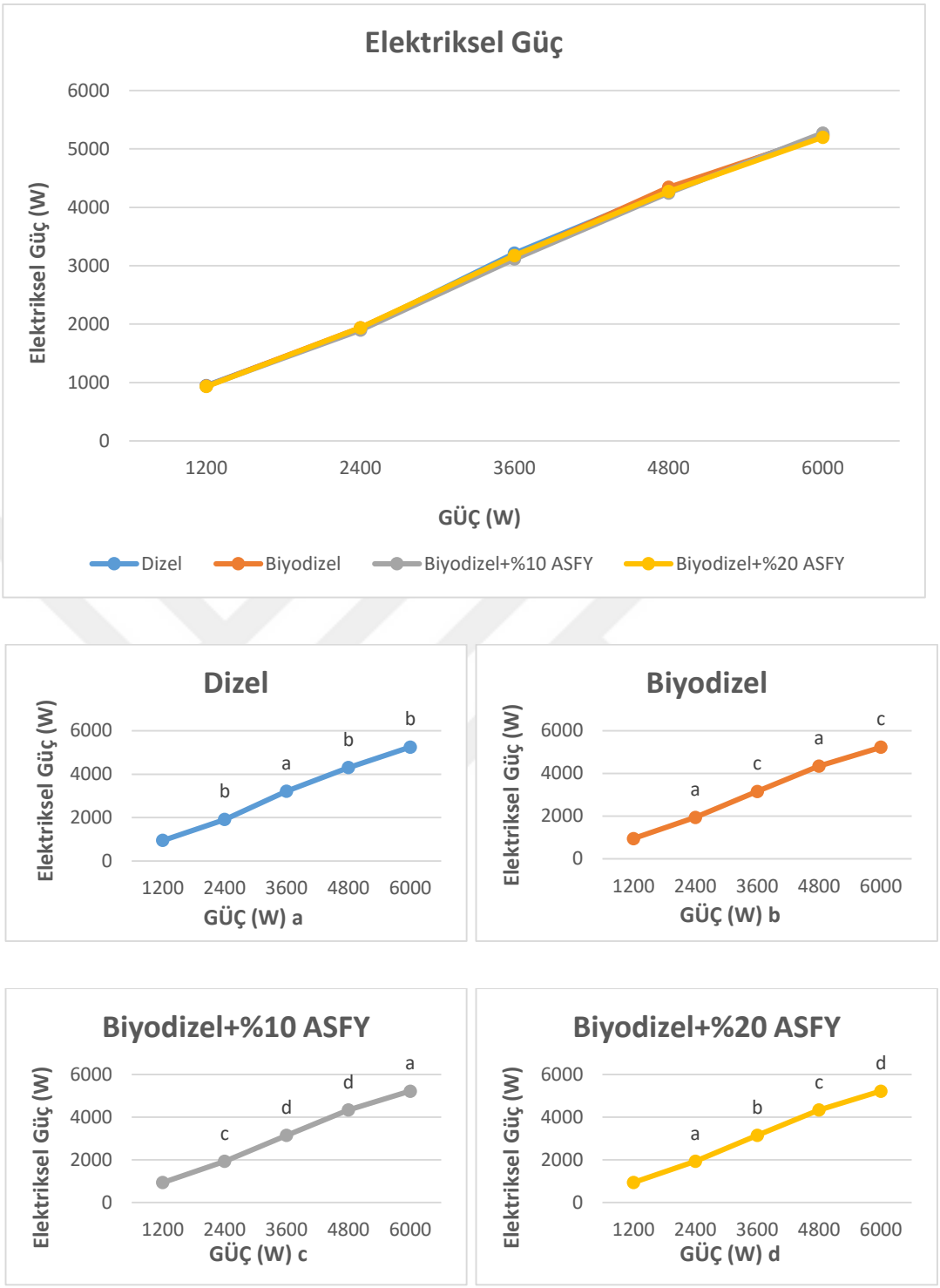
	1200 (W)**	2400 (W)**	3600 (W)**	4800 (W)**	6000 (W)**
Dizel	2.91 ± 0.0029^{c}	5,92 ± 0,0029^{c}	10,12 ± 0,0032^{c}	13,45 ± 0,0035^{d}	16,77 ± 0,0032^{d}
Biyodizel	2.93 ± 0.0029^{b}	6,20 ± 0,0029^{a}	9,99 ± 0,0032^{d}	14,12 ± 0,0029^{a}	17,18 ± 0,0032^{b}
Biyodizel+%10 ASFY	2.94 ± 0.0029^{a}	6,17 ± 0,0029^{b}	10,23 ± 0,0035^{b}	13,94 ± 0,0023^{b}	17,29 ± 0,0035^{a}
Biyodizel+%20 ASFY	2.90 ± 0.0023^{d}	6,19 ± 0,0032^{a}	10,29 ± 0,0029^{a}	13,71 ± 0,0026^{c}	17,06 ± 0,0026^{c}

**p< 0.01, sütunlar arasındaki farklar önemlidir, ±SH

4.1.2. Elektriksel Güç Değerlerinin Karşılaştırılması

Farklı yük şartlarında gerçekleştirilen motor performans deneylerinde elektriksel güç değerleri ve istatistiksel hata sonuçları Şekil 4.2'de görülmektedir. dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının elektriksel güç değerleri birbirine çok yakın tespit edilmiştir. Bunun sebebi jeneratörün optimum enerji verimini 3000 d/d da vermesi ve bununla birlikte biyodizel yakıtının sahip olduğu oksijen içeriğinin yanma karakteristiklerini iyileştirmesi ve motor performans karakteristiklerini motorin yakıtına yakın değerlerde tutması gösterilebilir. Çalışmalarımıza paralel olarak Örnek (2007), Doğan (2012), Gülüm (2023) yapmış oldukları deneylerede elde ettikleri bulgular literatür ile benzerlik göstermiştir.

Petrol kökenli yağlar enerji içeriği bakımından incelendiğinde motorin yakıtına eşdeğer ısıl değere sahip olduğu görülmektedir. Deneylerimizde kullandığımız atık spin finish yağı petrol türevi bir yakıttır. ASFY'nin biyodizel içerisindeki oranı arttıkça karışımın ısıl değerini arttırmakta ve jeneratörün motorin yakıtına benzer elektrik verimine ulaşmasına sebep olmaktadır. Aşağıdaki elektriksel güç grafiği incelendiğnde yukarıda belirttiğimiz sonuçlar doğrultusunda tüm yakıt ve karışımlarının benzer elektriksel güç değerlerine yakın çıkmasını açıklamaktadır.



Şekil 4.2. Dizel (a), Biyodizel (b), Biyodizel+%10 ASFY (c) ve Biyodizel+%20 ASFY (d) yakıtlarının elektriksel güç değerleri ve istatistiksel hata sonuçları

Motor deneylerinde Çizelge 4.2'de verilen elektriksel güç değişimlerine ait istatistiksel veri tablosuna göre yakıt ve karışımlarının 1200 W güç yüklemesi dışında kendi

aralarında istatistiksel olarak farklarının önemli olduğu fakat 1200 W elektriksel güç değerinde yakıt ve karışımlarının aralarındaki farkların önemli olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının elektriksel güç değerlerine ait istatistiksel veri tablosu

	1200 (W)^{öd}	2400 (W)**	3600 (W)**	4800 (W)**	6000 (W)**
Dizel	947 ± 2,88	1911 ± 4,61^{b}	3214 ± 2,30^{a}	4301 ± 0,57^{b}	5244 ± 1,73^{b}
Biyodizel	938 ± 4,61	1935 ± 5,77^{a}	3149 ± 5,19^{c}	4339 ± 5,19^{a}	5224 ± 2,30^{c}
Biyodizel+%10 ASFY	937 ± 4,04	1894 ± 2,30^{c}	3113 ± 1,73^{d}	4242 ± 1,15^{d}	5270 ± 5,77^{a}
Biyodizel+%20 ASFY	930 ± 5,77	1936 ± 3,46^{a}	3172 ± 1,15^{b}	4268 ± 4,61^{c}	5197 ± 4,04^{d}

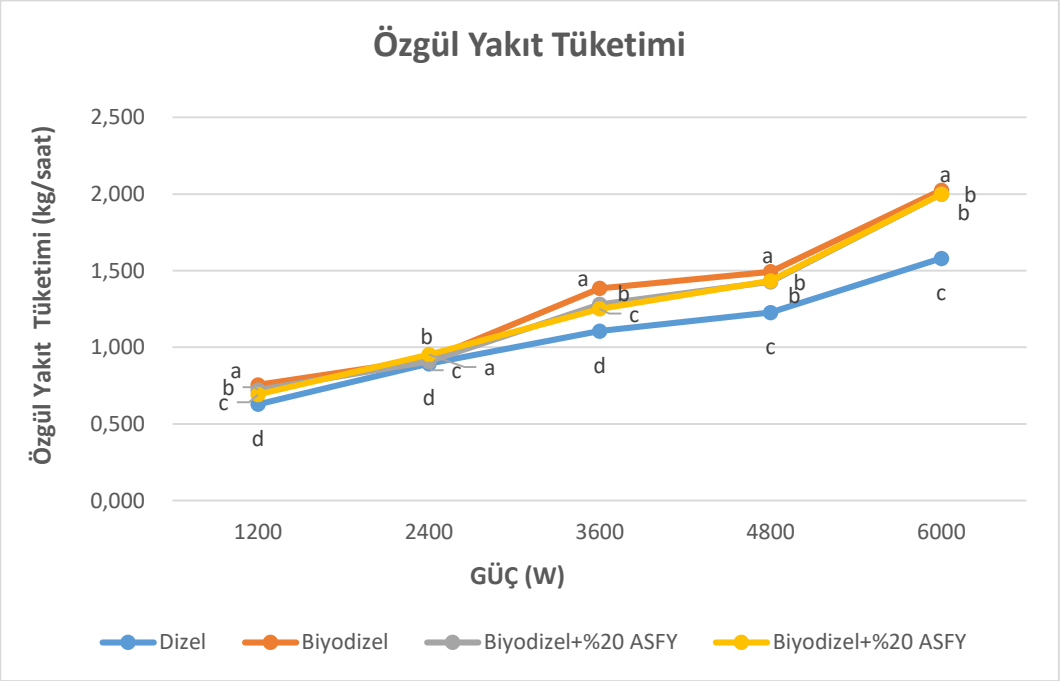
**p< 0.01, sütunlar arasındaki farklar önemlidir; ^{öd}: sütunlar arasındaki farklar önemli değildir ±SH

4.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi Değerlerinin Karşılaştırılması

Özgül yakıt tüketimi herhangi bir güçteki çalışma sırasında saatte tüketilen yakıt miktarının üretilen güce oranıdır. Altınsoy (2007), Uyar vd. (2020) çalışmalarında kullandıkları yakıtların sahip olduğu yoğunluk ve kalorifik değerlerinin farklı oluşunun yakıt tüketimini etkileyen temel unsurlardan birisi olduğunu vurgulamışlardır. Şimşek (2021), Eryılmaz vd. (2022) yapmış oldukları testlerde çalışmamıza benzer şekilde kullanılan yakıt ve karışımlarının kimyasal özelliklerinin silindir içerisinde meydana gelen yanma reaksiyonunun verimini etkileyen ana etken olduğunu belirtmişlerdir. Bunlara ilaveten Altun (2010) testlerinde çalımalarımıza paralel olarak biyodizel yakıtıtının dizele göre yüksek olan viskozite değerlerinin özgül yakıt tüketimini arttıran özellik olduğunu bildirmiştir.

Aşağıdaki Şekil 4.3'de belirli oranlarda oluşturulan yakıt karışımlarının farklı motor yüklerinde ölçülen özgül yakıt tüketimine ait veriler ve istatistiksel hata sonuçları gösterilmiştir. Yapılan deneylerde tüm elektriksel güç değerlerinde dizel yakıtının özgül yakıt tüketim değerleri diğer yakıt ve karışımlarına göre daha düşük seviyede kalmıştır. Dizel yakıtın en düşük özgül yakıt tüketimi 1200 W elektriksel güç değerinde 0,63 kg/saat olarak gerçekleşmiştir. Diğer yakıtlar içerisinde biyodizel 6000 W elektriksel güç yüklemesinde 2,03 kg/saat özgül yakıt tüketimi ile en yüksek değere ulaşmıştır. Çalışmamıza paralel olarak Şanlı (2005), Sezer (2016), Öztürk vd. (2020) yaptıkları testlerde dizel yakıtın diğer yakıtlara göre düşük özgül yakıt tüketimine sahip olmasının en önemli nedeninin sahip olduğu ısıl değerinin yüksek olmasını göstermişlerdir. Çalışmamıza benzer şekilde biyodizel ve karışım yakıtlarının dizel yakıta göre daha

fazla özgül yakıt tüketimine sahip olması Wakuri vd. (1995), Yıldız (2008), Şimşek, (2021) yapmış oldukları testlerde elde ettikleri bulgular literatür ile benzerlik göstermiştir.



Şekil 4.3. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri ve istatistiksel hata sonuçları

Motor deneylerinde Çizelge 4.3'de verildiği üzere tüm elektriksel güç yükleme değerlerinde dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıt ve karışımlarına ait özgül yakıt tüketimlerinin kendi aralarında istatistiksel olarak farklarının önemli olduğu belirlenmiştir.

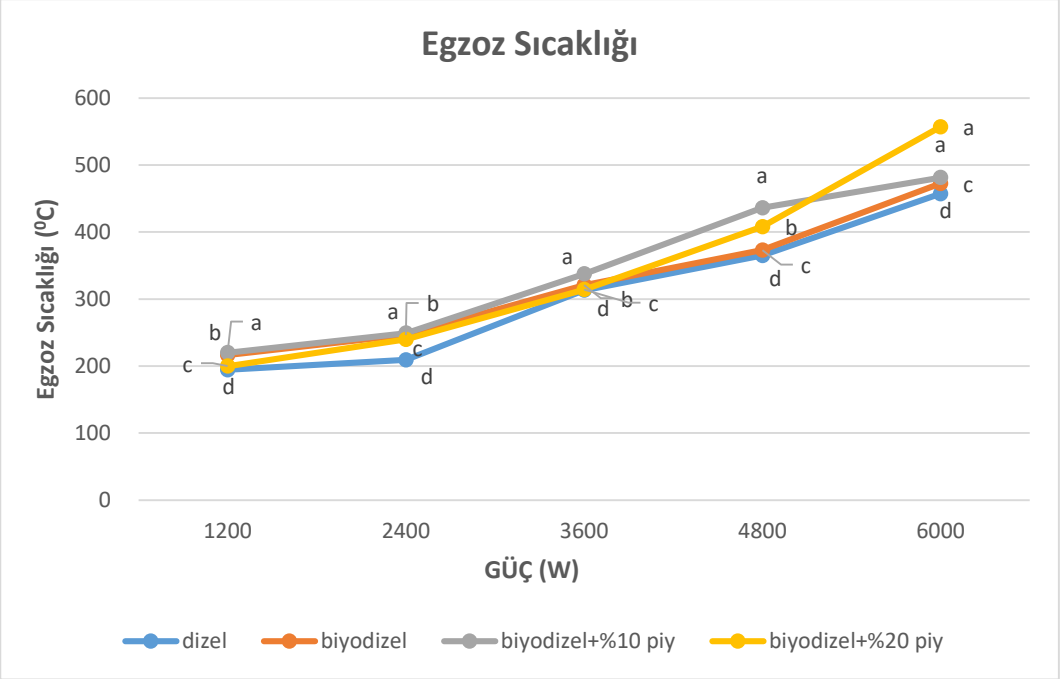
Çizelge 4.3. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerine ait istatistiksel veri tablosu

	1200 (W)**	2400 (W)**	3600 (W)**	4800 (W)**	6000 (W)**
Dizel	0,629 ± 0,0046^{d}	0,893 ± 0,0035 ^{d}	1,106 ± 0,0029 ^{d}	1,227 ± 0,0035 ^{c}	1,580 ± 0,0012 ^{c}
Biyodizel	0,755 ± 0,0023^{a}	0,923 ± 0,0012 ^{b}	1,385 ± 0,0006 ^{a}	1,493 ± 0,0023 ^{a}	2,025 ± 0,0023 ^{a}
Biyodizel+%10 ASFY	0,722 ± 0,0017 ^{b}	0,908 ± 0,0023 ^{c}	1,281 ± 0,0017 ^{b}	1,427 ± 0,0012 ^{b}	2,000 ± 0,0006 ^{b}
Biyodizel+%20 ASFY	0,692 ± 0,0012 ^{c}	0,953 ± 0,0006 ^{a}	1,251 ± 0,0046 ^{c}	1,434 ± 0,0017 ^{b}	2,000 ± 0,0006 ^{b}

**p< 0.01, sütunlar arasındaki farklar önemlidir, ±SH

4.1.4. Egzoz Sıcaklığı Değerlerinin Karşılaştırılması

Egzoz sıcaklığı değerlerini belirlemeye yönelik yapmış olduğumuz deneylere paralel olarak Şengürler (2011), Sürer vd. (2022), Solmaz vd. (2023) deneylerinde silindir içerisinde yakıtın yanması esnasında yüksek değerde ısı açığa çıktığını göstermişlerdir. Taylor (1985), Wakuri vd. (1995) oluşan bu ısının bir kısmı faydalı güce dönüşmesine karşın büyük bir kısmının soğutma sistemi ve yağ vasıtasıyla motordan uzaklaştırıldığını bildirmişlerdir. Yanma sonunda kalan kısım ise egzoz gazları ile motordan atılmaktadır. Dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç yüklemeleri sırasında oluşturdukları egzoz sıcaklık değerleri ve istatistiksel hata sonuçları Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları egzoz sıcaklık değerleri ve istatistiksel hata sonuçları

Yukarıdaki grafik incelendiğinde biyodizel yakıtına ASFY eklendikçe egzoz sıcaklık değerinde yükseliş meydana geldiği gözlenmektedir. Bu durumun temel nedeni Çizelge 3.6'da yer aldığı gibi ASFY yakıtının kinematik viskozite ve yoğunluk değerinin biyodizel ve dizel yakıtları ile karşılaştırıldığında çok daha yüksek olmasıdır. Bu sonuçlar Haşimoğlu vd. (2008), Şimşek (2021) yapmış oldukları deneylerle uyum

göstermektedir. Al-Hasan ve Al-Momany (2008), Özer vd. (2011) yapmış oldukları çalışmaları incelendiğinde çalışmalarımıza paralel olarak yakıtın alt ısıl değerindeki azalma, yakıt yanma sonu sıcaklık değerinde azalmaya neden olduğundan efektif verim üzerinde düşüş meydana getirdiğini belirtmişlerdir. Yanma odasında oluşan sıcaklık artışının başlıca nedenleri basınç değerlerinin yüksek oluşu ile birlikte silindire giren yakıt miktarının artması ve yanma reaksiyonuna katılmasıdır. Motorun 6000 W ile yüklendiğinde, tüm yakıtlarda dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıt ve karışımları arasında 556,9 ^{o}C olarak biyodizel+%20 ASFY karışımda en yüksek egzoz sıcaklık değerlerne ulaştığı yukarıdaki sebepler doğrultusunda tespit edilmiştir.

Motor deneylerinde egzoz sıcaklıklarına ait istatistiksel veri sonuçları Çizelge 4.4'de verilmiştir. Deneyler sonucunda elektriksel güç yükleme değerlerinde dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıt ve karışımlarına ait egzoz sıcaklık değerlerinin kendi aralarında istatistiksel olarak farklarının önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.4. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının egzoz sıcaklık değerlerine ait istatistiksel veri tablosu

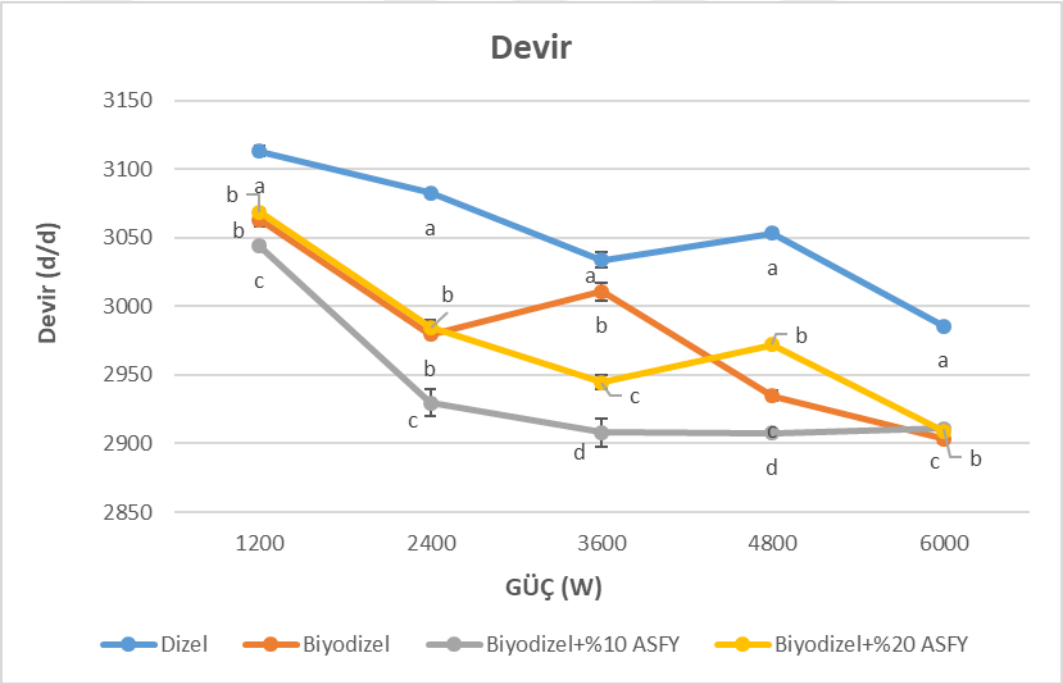
	1200 (W)**	2400 (W)**	3600 (W)**	4800 (W)**	6000 (W)**
Dizel	194,4 ± 0,20^{d}	209,3 ± 0,34^{d}	313,0 ± 0,28^{d}	365,0 ± 0,23^{d}	457,2 ± 0,05^{d}
Biyodizel	216,3 ± 0,11^{b}	246,6 ± 0,23^{b}	320,7 ± 0,28^{b}	373,2 ± 0,05^{c}	472,3 ± 0,11^{c}
Biyodizel+%10 ASFY	220,1 ± 0,08^{a}	249,2 ± 0,05^{a}	337,5 ± 0,23^{a}	436,0 ± 0,34^{a}	481,4 ± 0,17^{b}
Biyodizel+%20 ASFY	199,9 ± 0,40^{c}	239,7 ± 0,28^{c}	314,0 ± 0,28^{c}	407,9 ± 0,51^{b}	556,9 ± 0,23^{a}

**p< 0.01, sütunlar arasındaki farklar önemlidir, ±SH

4.1.5. Motor Devir Değerlerinin Karşılaştırılması

Bu çalışma kapsamında 6 HP güce ve 3000 d/d sabit devire sahip dizel motorlu jeneratör kullanılmıştır. Dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıt ve karışımları sırasıyla 1200 W, 2400 W, 3600 W, 4800 W ve 6000 W elektriksel güç değerlerinde yüklemeler yapılmıştır. Jeneratörün elektrik üretimi için optimum devir sayısı 3000 d/d olmasına rağmen yakıtların kalorifik değerleri ve karışım halinde olması devir sayısında ortalama %3'lük düşüş yaratmıştır. Bu durum Sekmen ve Aktaş (2008), Şimşek (2021)'nin yaptıkları çalışmalarla uyum göstermektedir. Özesen ve Çanakçı (2009), Eryılmaz vd. (2022) gerçekleştirdikleri deneylerde dizel yakıtın en

yüksek kalorifik değere sahip olmasından dolayı her yükte devir sayısının dizel yakıt için en yüksek değere ulaştığını göstermişlerdir. Dizel yakıtta 1200 W yükte en yüksek devir sayısı 3113 d/d olarak ölçülmüştür. Aynı yakıtta en düşük devir dayısı 2985 d/d olarak gerçekleşmiştir. Biyodizel yakıtı 6000 W yükte en düşük devir sayısı olan 2904 d/d olarak gerçekleşmiştir. Bu durum Sekmen ve Aktaş (2008), Şimşek (2021)'nin yaptıkları çalışmalarla uyum göstermektedir. Tüm yakıt ve karışımlarında elektriksel güç yükleme değerleri arttıkça oluşan devir sayılarında düşüşler tespit edilmiştir. Şekil 4.5'de dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları devir sayıları ve istatistiksel hata sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.5. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları devir sayısı değerleri ve istatistiksel hata sonuçları

Motor deneylerinde devir sayılarını gösteren istatistiksel sonuçlar Çizelge 4.5'de verilmiştir. Deneyler sonucunda yakıt ve karışımlarının oluşturdukları devir sayılarına ait değerlerin kendi aralarında istatistiksel olarak farklarının önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.5. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarına ait devir sayılarının istatistiksel veri tablosu

	1200 (W)**	2400 (W)**	3600 (W)**	4800 (W)**	6000 (W)**
Dizel	3113 ± 1,15[a]	3082 ± 2,88[a]	3033 ± 3,75[a]	3053 ± 5,19[a]	2985 ± 2,30[a]
Biyodizel	3062 ± 0,57[b]	2979 ± 0,66[b]	3010 ± 4,05[b]	2934 ± 4,04[c]	2903 ± 1,15[c]
Biyodizel+%10 ASFY	3044 ± 5,81[c]	2929 ± 0,33[c]	2908 ± 2,30[d]	2907 ± 1,15[d]	2910 ± 1,73[b]
Biyodizel+%20 ASFY	3068 ± 2,30[b]	2984 ± 3,48[b]	2944 ± 1,73[c]	2972 ± 2,88[b]	2908 ± 0,57[bc]

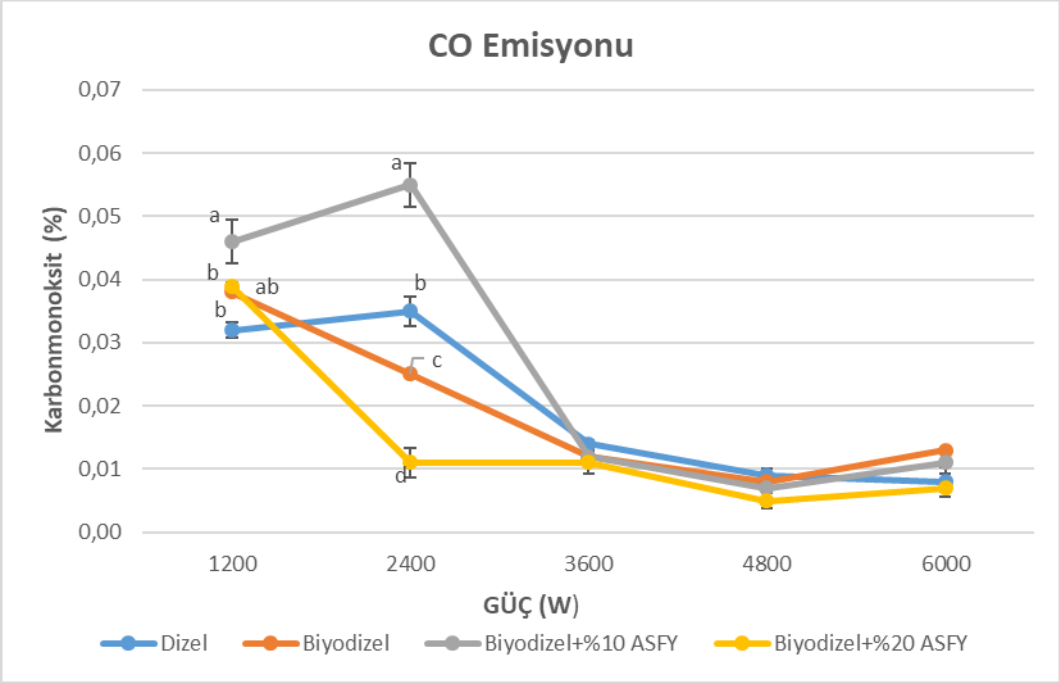
**p< 0.01, sütunlar arasındaki farklar önemlidir, ±SH

4.2. Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması

4.2.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Değerleri

Motor içerisinde yanma olayının sonucu olarak oluşan ürünlerin arasında bulunan karbon monoksit (CO) yanma esnasında oksijenin yetersiz olması sonucu yanmanın tam anlamıyla gerçekleşmemesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Oral (2008), Sayın ve Çanakçı (2009) benzer çalışmalarda yanma olayının optimizasyonu yanma odasındaki hava-yakıt oranının istenilen değerde olmasıyla doğru orantılı olduğunu bildirmişlerdir. Yakıt özellikleri, püskürtme karakteristikleri, motor yükü, hava-yakıt oranını önemli derecede etkilediğinden, CO oluşumu bu parametrelerin bir fonksiyonu olarak değişmektedir. CO emisyon oluşumunu etkileyen bir diğer unsur reaksiyon sıcaklığıdır. Yapmış olduğumuz çalışmalara paralel olarak Alptekin ve Çanakçı (2006), Azi (2017), Çengelci vd. (2018) reaksiyon sıcaklığındaki artışın reaksiyonu hızlandırarak CO oksidasyonuna yardımcı olduğunu belirlemişlerdir. CO'in insan sağlığı üzerindeki etkileri yorulma, çalışma veriminin düşmesi, baş ağrısı, baş dönmesi, nefes darlığı, şuur kaybı, (havadaki miktarı %0.3 sınır değerine ulaştığında öldürücü) etkiye sahipir. Öğüt ve Oğuz (2006), Eryılmaz ve Öğüt (2011) yaptıkları çalışmalarda biyodizel yakıtlar ile motorin yakıtına göre daha düşük CO emisyon değerleri belirlemişlerdir. Sezer, (2016), azalmanın en önemli nedenini biyodizel yakıtların moleküler yapılarında oksijen bulunması ve motorda kullanım esnasında hava fazlalık katsayılarının motorin yakıtına göre daha yüksek olmasını göstermiştir. Oral (2008) bu iki faktörün yanma esnasında CO emisyonlarının oksitlenerek CO_2 dönüşümünde etkili olduğunu bildirmiştir. Şekil 4.6'da farklı elektriksel güç yüklemelerine bağlı olarak yakıtların CO emisyonu değerleri verilmiştir. Sonuçlara göre en düşük CO emisyon değeri 4600 W yükleme esnasında Biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımlarında %0,005 olarak gerçekleşmiştir. Aynı elektriksel güç yüklemesinde en düşük değer dizel yakıtta %0,009 olarak

gerçekleşmiştir. Tüm yakıt ve karışımlarına bakıldığında en yüksek değer 2400 W elektriksel güç yüklemesinde Biyodizel+%10 ASFY yakıt karışımında %0,055 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.6 incelendiğinde elektriksel yük değerleri arttıkça CO değerlerinin her yakıt ve karışımında azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Alptekin ve Çanakçı (2006), Öğüt vd. (2014), Canbaz, (2022) yapmış olduğumuz çalışmalara paralel olarak püskürtme basıncının artmasıyla yanma veriminin arttığını ve bunun neticesinde CO emisyonlarının düşme eğilimine girdiğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.6. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları karbonmonoksit (CO) değerleri ve istatistiksel hata sonuçları

Motor deneylerinde CO emisyon değerlerini gösteren istatistiksel sonuçlar Çizelge 4.6'da verilmiştir. Farklı elektriksel güç değerlerinde yapılan deneyler sonucunda yakıt ve karışımlarının oluşturdukları CO emisyon değerleri 3600 W ve 6000 W elektriksel güç yüklemelerinde tüm yakıt tipleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunsada 1200 W ve 2400 W elektriksel güç yüklemelerinde CO emisyon değerleri kendi aralarında istatistiksel olarak farklarının önemli olduğu belirlenmiştir.

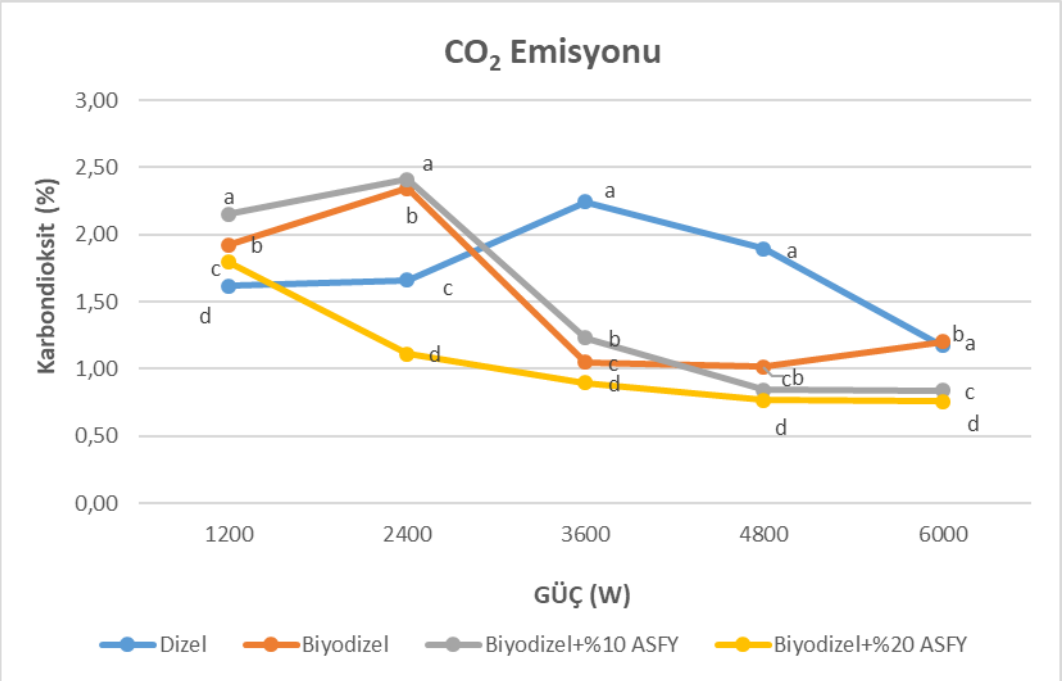
Çizelge 4.6. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının CO emisyonuna ait istatistiksel veri tablosu

	1200 (W)*	2400 (W)**	3600 (W)öd	4800 (W)öd	6000 (W)öd
Dizel	0,032 ± 0,0012[b]	0,035 ± 0,0023[b]	0,013 ± 0,0006	0,009 ± 0,0012	0,008 ± 0,0023
Biyodizel	0,038 ± 0,0023[b]	0,025 ± 0,0029[c]	0,012 ± 0,0012	0,008 ± 0,0006	0,012 ± 0,0006
Biyodizel+%10 ASFY	0,046 ± 0,0035[a]	0,055 ± 0,0035[a]	0,012 ± 0,0012	0,007 ± 0,0006	0,011 ± 0,0017
Biyodizel+%20 ASFY	0,039 ± 0,0006[ab]	0,011 ± 0,0023[d]	0,011 ± 0,0017	0,005 ± 0,0012	0,007 ± 0,0006

**p< 0.01, *p< 0.05 sütunlar arasındaki farklar önemlidir; öd: sütunlar arasındaki farklar önemli değildir ±SH

4.2.2. Karbondioksit (CO_2) Emisyonu Değerleri

Atomik yapısında karbon bulunan her yakıtın yakılması sonucu son yanma ürünü olarak Karbondioksit (CO_2) açığa çıkmaktadır (Özoğuz, 2007). Karbondioksit emisyonu bir dizel motordaki yüksek yanma sonrası sıcaklık ile birlikte meydana gelmektedir. Tam bir yanma için hava-yakıt oranınındaki yeterli oksijenin varlığı karbondioksit emisyon miktarını da etkilemektedir. Karabektaş ve Hosoz (2009), Canbaz, (2022) yapmış oldukları deneylerde çalışmalarımıza paralel olarak yeterli oksijen muhteviyatı ile hidroksil radikali OH (temel oksitleyici ajanlardan biri) karbonmonoksiti karbondioksite dönüştürüldüğünü göstermişlerdir. Şekil 4.7' de dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları karbondioksit CO_2 değerleri ve istatistiksel hata sonuçları verilmiştir. Deneyler sonucunda en yüksek CO_2 değeri 2400 W elektriksel güç yüklemesinde %2,41 olarak Biyodizel+%10 ASFY yakıt karışımında gerçekleşmiştir. Karbondioksit en düşük değerini Biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımında %0,76 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.7 incelendiğinde Biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımının elektriksel yükleme değerleri arttıkça CO_2 değerlerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.7. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları CO_2 değerleri ve istatistiksel hata sonuçları

Motor deneylerinde CO_2 emisyonuna ait verileri gösteren istatistiksel sonuçlar Çizelge 4.7'de verilmiştir. Deneyler sonucunda yakıt ve karışımlarının oluşturdukları CO_2 emisyonlarına ait değerlerin kendi aralarında istatistiksel olarak farklarının önemli olduğu belirlenmiştir

Çizelge 4.7. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının CO_2 emisyonuna ait istatistiksel veri tablosu

	1200 (W)**	2400 (W)**	3600 (W)**	4800 (W)**	6000 (W)**
Dizel	$1,617 \pm 0,0040^{d}$	$1,661 \pm 0,0064^{c}$	$2,243 \pm 0,0058^{a}$	$1,892 \pm 0,0006^{a}$	$1,174 \pm 0,0029^{b}$
Biyodizel	$1,922 \pm 0,0012^{b}$	$2,344 \pm 0,0115^{b}$	$1,048 \pm 0,0046^{c}$	$1,015 \pm 0,0023^{b}$	$1,204 \pm 0,0023^{a}$
Biyodizel+%10 ASFY	$2,152 \pm 0,0058^{a}$	$2,411 \pm 0,0058^{a}$	$1,229 \pm 0,0040^{b}$	$0,842 \pm 0,0012^{c}$	$0,839 \pm 0,0052^{c}$
Biyodizel+%20 ASFY	$1,794 \pm 0,0023^{c}$	$1,112 \pm 0,0029^{d}$	$0,895 \pm 0,0023^{d}$	$0,766 \pm 0,0035^{d}$	$0,759 \pm 0,0046^{d}$

**p< 0.01, sütunlar arasındaki farklar önemlidir, ±SH

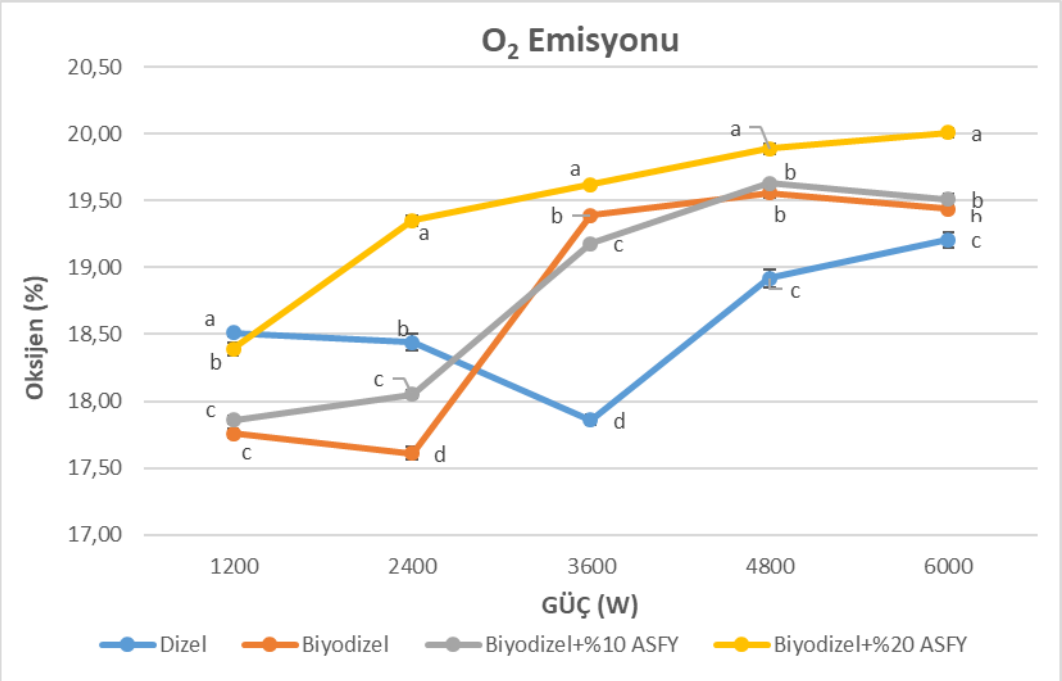
4.2.3. Oksijen (O_2) Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması

Atmosferde bulunan %21 oranıdaki oksijen dizel motorlarda yanma odasında dizelin yapısında bulunan karbon atomları ile oksidasyona uğrayarak yanma olayını gerçekleştirmektedir (Öğüt vd., 2014; Şimşek, 2021). Farklı oranlarda O_2 içeriğine sahip olan biyodizel oksijen emisyon değerlerini etkiler ayrıca motorun hacimsel

veriminin yüksek olması yanma odasında bulunan O_2 konsantrasyonunun artmasını sağlamaktadır.

Çalışır, (2007) yapmış olduğu deneylerde motor yükü arttırıldığında yanma odasında oluşan türbülansın artarak karışımı daha ideal orana getirdiğini ve karışımın yanma hızını arttırdığını göstermiştir. Bu durum hem yanma kalitesini hem de O_2 tüketimini arttırmaktadır. Bu nedenle, egzozdan çıkan O_2 oranıda azalmaktadır

Oksijen emisyonunun ölçülmesi yanma esnasında oksijen miktarının hangi oranda kullanıldığını göstermesi açısından önemlidir. Biyodizel oksijen içeriği açısından zengindir. Bu nedenle, karışımın zengin olduğu bölgede O_2 yanmayı daha da iyileştirmektedir. Şekil 4.8'de dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları oksijen değerleri ve istatistiksel hata sonuçları verilmiştir. Oluşan en yüksek değer 6000 W elektriksel güç değerinde %20,01 olarak gerçekleşmiştir. Tüm yakıtlar için oksijen değerinin 6000 W elektriksel güç değerinde yüksek çıkmasının temel nedeni yanma odasında yakıt ve karışımların daha fazla havaya ihtiyaç duymasıdır. biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımlarının 2400 elektriksel güç yüklemesi seviyesinden sonra dizel yakıta göre O_2 değerlerinde yükseliş gözlemlenmiştir. Bu durum biyodizelin bünyesinde bulunan O_2 miktarının dizel yakıta oranla fazla oluşu olarak tanımlanabilir. Bu durum çalışmalarımıza benzer olarak Öğüt ve Oğuz (2006), Alptekin ve Çanakçı (2006), Canbaz (2022) yaptıkları çalışmalarla uyum göstermektedir. Jeneratöre 1200 W yüklemede O_2 değerinin tüm yakıt ve karışımlarında birbirine yakın çıkması yanma odasında oluşan türbülansın yakıt hava karışımının ideal orana ulaşmaması olarak gösterilebilir.



Şekil 4.8. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları oksijen değerleri ve istatistiksel hata sonuçları

Motor deneylerinde O_2 emisyonuna ait verileri gösteren istatistiksel sonuçlar Çizelge 4.8'de verilmiştir. Deneyler sonucunda yakıt ve karışımlarının oluşturdukları O_2 emisyonlarına ait değerlerin kendi aralarında istatistiksel olarak farklarının önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.8. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının O_2 emisyonuna ait istatistiksel veri tablosu

	1200 (W)**	2400 (W)**	3600 (W)**	4800 (W)**	6000 (W)**
Dizel	$18,51 \pm 0,0231^{a}$	$18,44 \pm 0,0635^{b}$	$17,86 \pm 0,0346^{d}$	$18,92 \pm 0,0693^{c}$	$19,21 \pm 0,0577^{c}$
Biyodizel	$17,76 \pm 0,0346^{c}$	$17,61 \pm 0,0462^{d}$	$19,39 \pm 0,0173^{b}$	$19,56 \pm 0,0346^{b}$	$19,44 \pm 0,0231^{b}$
Biyodizel+%10 ASFY	$17,86 \pm 0,0289^{c}$	$18,05 \pm 0,0289^{c}$	$19,18 \pm 0,0058^{c}$	$19,63 \pm 0,0173^{b}$	$19,51 \pm 0,0462^{b}$
Biyodizel+%20 ASFY	$18,39 \pm 0,0520^{b}$	$19,35 \pm 0,0404^{a}$	$19,62 \pm 0,0115^{a}$	$19,89 \pm 0,0404^{a}$	$20,01 \pm 0,0346^{a}$

**p< 0.01, sütunlar arasındaki farklar önemlidir, ±SH

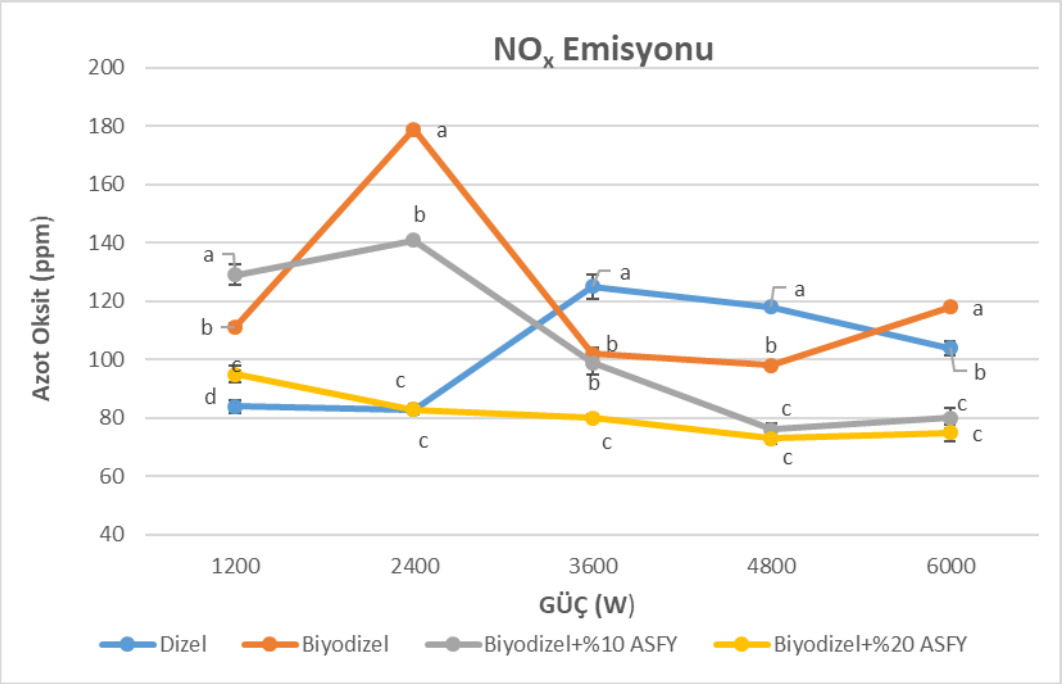
4.2.4. Azot Oksit (NO_x) Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması

Oksijen yanma reaksiyonun en önemli bileşenlerindendir fakat motor içerisine alınan havanın %79'u azottan oluşmaktadır. Yakıt hava karışımının silindir içerisinde yanması sonucunda sıcaklık ve basıncın etkisiyle azot ve oksijen tepkimeye girerek NO_x emisyonlarını oluşturur. Azotoksitlerin oluşumu motorlarda yanma odasında yakıtın

yüksek sıcaklık altında yakılması sonucu gerçekleşir. NO_x oluşumunu etkileyen faktörler arasında oluşan alevin sıcaklığının 1800 ^oC'ın üzerinde kalış süresi, yeterli O_2 bulunan bölgelerdeki maksimum sıcaklık ve mevcut O_2 ile N_2 miktarıdır. İçten yanmalı motorlarda NO_x kirleticileri, ortalama devir hızının artışı ile fazlalaşır. NO_x normal havada oldukça azdır. Borman ve Ragland (1998), Soruşbay vd. (2008), Aydoğan (2008) yapmış oldukları çalışmalarda testlerimize paralel olarak kullanılan yakıt kalitesi ve özelliklerinin NO_x emisyon değerleri üzerinde etkisi olduğunu bunun yanında yakıtların yüksek yoğunluk ve aromatik içeriklerinin NO_x emisyonlarında artışa neden olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca Yaşar (2016), Aydoğan (2018), Vural vd. (2016) yapmış oldukları çalışmalarda yakıt yoğunluğundaki artışın yanma odasındaki yakıt miktarında artışa neden olduğunu ve bölgesel sıcaklık değerlerini yükselttiğini belirlemişlerdir.

Yapılan deneylerde 2400 W elektriksel güç yüklemesinde biyodizel yakıtı en yüksek NO_x değerini vermiştir. Bu durumun sebebinin yakıtın aromatik içeriğinin fazla olması ve adyabatik alev sıcaklığına etki ederek NO_x emisyonunu arttırması olarak açıklanabilir. Deneylerde 2400 W elektriksel güç yüklemesinde biyodizel yakıtın en yüksek NO_x değerini vermesinin diğer nedenleri olarak biyodizelin yüksek setan sayısına sahip olması ve oluşan yüksek sıcaklığık gösterilebilir. Bu sonuç çalışmalarımıza benzer olarak Szybist vd. (2007), Lin vd (2007), Zheng vd. (2008) yapmış oldukları çalışmalarla uyum göstermektedir. Azot oksit değeri aynı güç aralığında Biyodizel+%20 ASFY karışımında %54,63 daha düşük olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 4.9'da Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları NO_x değerleri ve istatistiksel hata sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.9. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları NO_x değerleri ve istatistiksel hata sonuçları

Motor deneylerinde NO_x emisyonuna ait verileri gösteren istatistiksel sonuçlar Çizelge 4.9'da verilmiştir. Deneyler sonucunda yakıt ve karışımlarının oluşturdukları NO_x emisyonlarına ait değerlerin kendi aralarında istatistiksel olarak farklarının önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.9. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının NO_x emisyonuna ait istatistiksel veri tablosu

	1200 (W)**	2400 (W)**	3600 (W)**	4800 (W)**	6000 (W)**
Dizel	84,00 ± 2,3094^{d}	83,00 ± 1,7321^{c}	125,00 ± 4,0415^{a}	118,00 ± 1,1547^{a}	104,00 ± 2,3094^{b}
Biyodizel	112,00 ± 1,2019^{b}	179,00 ± 1,1547^{a}	102,00 ± 2,3094^{b}	98,00 ± 0,5774^{b}	118,00 ± 1,1547^{a}
Biyodizel+%10 ASFY	129,00 ± 3,4641^{a}	141,00 ± 0,5774^{b}	99,00 ± 4,0415^{b}	76,00 ± 2,3094^{c}	80,00 ± 3,4641^{c}
Biyodizel+%20 ASFY	95,00 ± 2,8868^{c}	83,00 ± 1,7321^{c}	80,00 ± 1,1547^{c}	73,00 ± 1,7321^{c}	74,00 ± 2,8868^{c}
**p< 0.01, sütunlar arasındaki farklar önemlidir, ±SH					

4.2.5. Hidrokarbon (HC) Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması

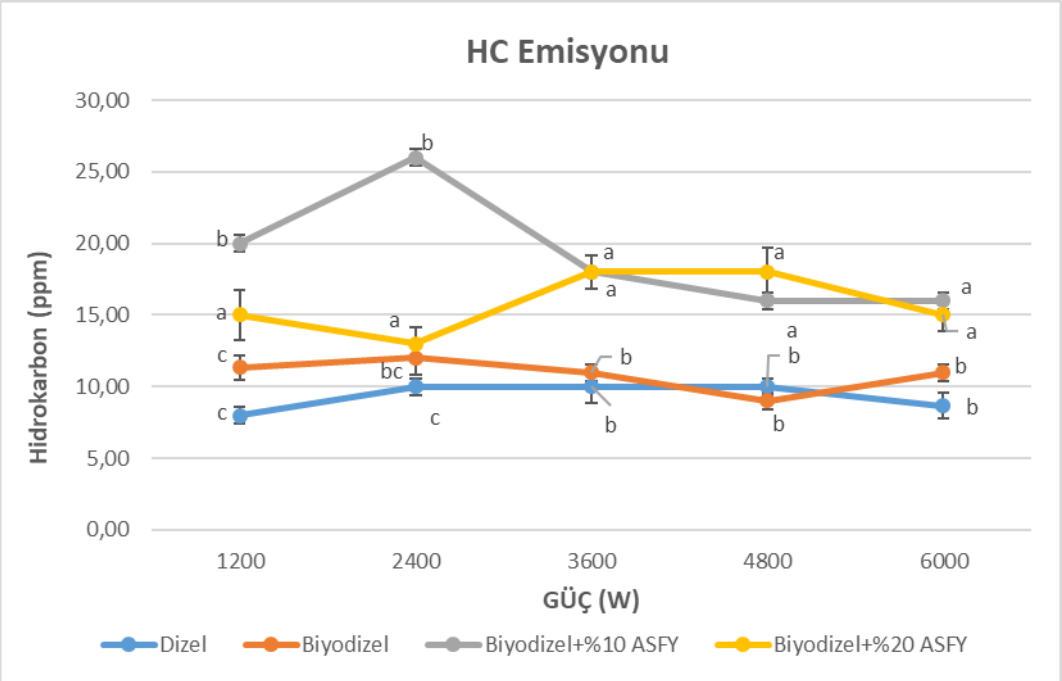
Şimşek (2021), Atelge (2021), Öztürk (2023) yapmış oldukları deneylerde çalışmamıza paralel olarak silindir içinde yanma reaksiyonuna katılmadan egzoz sisteminden atılan yakıtın HC emisyonunun oranını belirlediğini vurgulamışlardır. Challen ve Baranescu R. (1999), Soruşbay vd. (2008) çalışmalarında silindir içerisinde bazı bölgelerde oksijen

azlığı nedeniyle oksidasyonun gerçekleşememesinin HC emisyonlarının oluşmasında etkili olduğunu bildirmişlerdir. Silindir içerisinde artan basınç yakıt taneciklerini yanma odasında ve piston üzerindeki bazı boşluklara sıkıştırmaktadır. Özdemir (2011) çalışmamıza benzer şekilde bu bölgelere alevin ulaşamamasının yakıtların egzozdan yanma reaksiyonuna katılamadan atılmasına neden olduğunu göstermiştir.

HC'un insan sağlığı üzerindeki en önemli etkisi kansorojen etki oluşturmasıdır. Aktaş ve Şahin (2009), Eryılmaz ve Öğüt (2011) yapmış oldukları çalışmada deneylerimize paralel olarak yanmamış ürünler arasında hidrokarbonların oluşmasının sebebini, yakıtın tutuşma sıcaklığına gelmemesi veya yetersiz olmasından dolayı yakıtın okside olmaması ya da yarı oksitlenmesi olarak açıklamışlardır.

Dizel motorlarda HC emisyonları yanma işlemi esnasında yanma odasında belirli bölgelerde hava fazlalığına karşın hava/yakıt karışımının tamamen eşit şekilde dağılmaması nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Abdel-Rahman (1998), Özsezen ve Çanakçı (2009) çalışmalarında testlerimize paralel olarak yüksek hava yakıt oranının düşük bölgesel sıcaklığa sebep olduğunu ve bu durumun kimyasal reaksiyonların ilerlemesini oldukça yavaşlamasına sebep olarak ve yakıtın donma eğilimi girerek HC emisyonlarının artmasına neden olduğunu belirtmişlerdir.

Yapılan deneylerde en yüksek HC oranı 2400 W elektriksel yüklemede biyodizel+%10 ASFY karışımında 26 ppm olarak gerçekleşmiştir. Bu yükleme değerinde en düşük HC değeri dizel yakıtta %61,54 düşüşle 10 ppm olarak gerçekleşmiştir. Tüm deneylere bakıldığında en düşük HC değeri 1200 W elektriksel güç değerinde 8 ppm olarak gerçekleşmiştir. Senthil Kumar vd. 2003 yapmış oldukları deneylerde çalışmalarımıza benzer olarak HC emisyonlarının düşmesine, yakıt miktarının içerisinde HC oranının azalmasını, biyodizel içerisinde oksijen miktarının fazla olmasını, hidrojenin silindirin içerisinde her bölgede homojen olarak dağılmasını, hızlı yanmasının ve yanma sıcaklığının artmasını sebep olarak belirtmişlerdir. Deneyler sonucunda oluşan HC emisyon değerleri farklı yakıt ve karışımlarında, belirlenmiş elektriksel güç değerleri ve istatistiksel hata sonuçları Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları HC değerleri ve istatistiksel hata sonuçları

Motor deneylerinde HC emisyonuna ait verileri gösteren istatistiksel sonuçlar Çizelge 4.10'da verilmiştir. Deneyler sonucunda yakıt ve karışımlarının oluşturdukları HC emisyonlarına ait değerlerin kendi aralarında istatistiksel olarak farklarının önemli olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan 2400 W elektriksel güç değerinde biyodizel+%10 ASFY yakıt karışımı en yüksek HC emisyondeğerini verirken 3600, 4800 ve 6000 W elektriksel güç değerlerinde biyodizel+%10 ASFY yakıt karışımıyla birlikte biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımında da en yüksek HC emisyon değerleri tespit edilmiştir.

Çizelge 4.10. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının HC emisyonuna ait istatistiksel veri tablosu

	1200 (W)**	2400 (W)**	3600 (W)**	4800 (W)**	6000 (W)**
Dizel	$8 \pm 0{,}5774^{c}$	$10 \pm 0{,}5774^{c}$	$10 \pm 1{,}1547^{b}$	$10 \pm 0{,}5774^{b}$	$9 \pm 0{,}8819^{b}$
Biyodizel	$11 \pm 0{,}8819^{c}$	$12 \pm 1{,}1547^{bc}$	$11 \pm 0{,}5774^{b}$	$9 \pm 0{,}5774^{b}$	$11 \pm 0{,}5774^{b}$
Biyodizel+%10 ASFY	$20 \pm 1{,}7321^{a}$	$26 \pm 1{,}1547^{a}$	$18 \pm 1{,}1547^{a}$	$16 \pm 1{,}7321^{a}$	$16 \pm 1{,}1547^{a}$
Biyodizel+%20 ASFY	$15 \pm 0{,}5774^{b}$	$13 \pm 0{,}5774^{b}$	$18 \pm 1{,}1547^{a}$	$18 \pm 0{,}5774^{a}$	$15 \pm 0{,}5774^{a}$

**p< 0.01, sütunlar arasındaki farklar önemlidir, ±SH

4.2.6. Hava Fazlalık Katsayısı (λ) Değerlerinin Karşılaştırılması

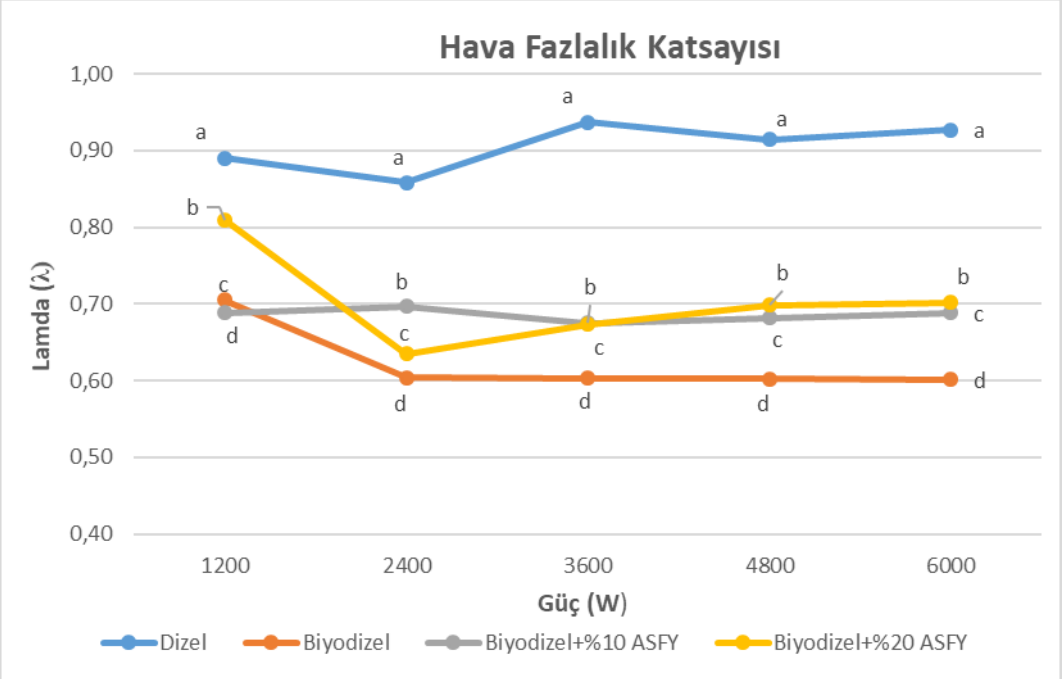
Hava fazlalık katsayısı, silindir içerisinde gerçekleşen yanmadaki hava/yakıt oranının, ideal yanma için gereken hava/yakıt oranına bölünmesi ile hesaplanır. İdeal hava fazlalık katsayısı λ=1 olarak kabul edilir. Bu durum teorik olarak, herhangi bir hava fazlalığı olmadan gerçekleşen tam yanma olayını temsil eder. Soruşbay vd. (2008), Şahin (2022) yapmış oldukları testlerde çalışmalarımıza paralel olarak λ=1 eşitliğini esas alarak silindirler içerisinde meydana gelen yanma olaylarının anlaşılmasında referans olarak kullanmışlardır.

Heywood J.B. (1988), Serrano, (2015) benzer çalışmalarında CO emisyonunun hava-yakıt oranı ile orantılı olduğunu, fakir karışım altında gerçekleşen yanmalarda daha düşük CO emisyonu oluştuğunu ve yanma odasındaki karbon atomlarını CO_2'ye dönüştürmeyi sağlayacak oksijen atomları ile daha kolay reaksiyona girebildiğini göstermişlerdir

Şekil 4.11'de farklı güç değerlerinde ve dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının hava fazlalık katsayısında meydana gelen değişimler ve istatistiksel hata sonuçları verilmiştir.

Yapılan deneylerde dizel yakıtta her yükte ideal hava fazlalık katsayısı olan λ=1 değerine çok yakın değerlerde 2400 yükte 0,858 ile en düşük değerde gerçekleşirken en yüksek değeri ise 6000 W yükte 0,926 olarak gerçekleşmiş ve bu durum Keskin vd. (2006), Ayhan vd. (2019) yapmış oldukları deneyler ile uyum göstermektedir. Biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıtlarınım hava fazlalık katsayılarına bakıldığında 6000 W elektriksel güç değerinde biyodizel yakıtında en düşük değeri olan 0,6012 değerinde gerçekleşmiştir. Biyodizel ve karışımlarında hava fazlalık katsayısının dizele göre daha düşük olmasının nedenleri dizel yakıt için buharlaşma hızı, yakıt buharının hava ile karışma hızı ve yanma hızının daha verimli olması olarak gösterilebilir. Bununla birlikte püskürtülen yakıtın ortalama damlacık çapı, silindir içindeki hava hareketleri hava fazlalık katsayısı oranını belirlemektedir.

Dizel ile biyodizel yakıt hava fazlalık katsayısı 6000 W elektriksel güç aralığında karşılaştırıldığında dizel için 0,9269 olarak gerçekleşirken biyodizel için hava yakıt katsayısı 0,6012 olarak gerçekleşmiştir. Biyodizelin dizel yakıtına göre oluşan hava fazlalık değer farkı %34,13 azalma olarak gerçekleşmiştir. Diğer yakıtlarda hava yakıt karışımları dizel yakıta daha yakın değerlerde gerçekleşmiştir. Karışımın zenginleşmesi sonucunda silindir içerisine sürülen yakıt enerjisi arttığı için maksimum ısı yayılım oranının fakir karışımlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca zengin karışımlarda yanma sonu gaz sıcaklıkları fakir karışımlara göre daha yüksek olmaktadır. Heywood (1988), Szybist vd. (2007), Şahin, (2022) çalışmalarımıza benzer olarak silindir içerisinde kalan daha yüksek sıcaklıktaki art egzoz gazları bir sonraki çevrimde silindir içerisine alınan hava-yakıt karışımının sıcaklığının artmasına sebep olduğunu ve bu durumun yakıtın oksidasyonunu kolaylaştırdığını göstermişlerdir.



Şekil 4.11. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları (λ) değerleri ve istatistiksel hata sonuçları

Dizel jeneratörün emisyon deneylerinde lamda değerlerine ait verileri gösteren istatistiksel sonuçlar Çizelge 4.11'de gösterilmiştir. Deneyler sonucunda yakıt ve

karışımlarının oluşturdukları lamda değerlerinin kendi aralarında istatistiksel olarak farklarının önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.11. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının lamda değerlerine ait istatistiksel veri tablosu

	1200 (W)**	2400 (W)**	3600 (W)**	4800 (W)**	6000 (W)**
Dizel	0,8904 ± 0,0003[a]	0,8585 ± 0,0002[a]	0,9365 ± 0,0005[a]	0,9144 ± 0,0002[a]	0,9269 ± 0,0003[a]
Biyodizel	0,7053 ± 0,0002[c]	0,6036 ± 0,0006[d]	0,6034 ± 0,0002[d]	0,6022 ± 0,0006[d]	0,6012 ± 0,0001[d]
Biyodizel+%10 ASFY	0,6681 ± 0,0005[d]	0,6971 ± 0,0005[b]	0,6752 ± 0,0001[b]	0,6814 ± 0,0003[c]	0,6882 ± 0,0004[c]
Biyodizel+%20 ASFY	0,8098 ± 0,0001[b]	0,6352 ± 0,0004[c]	0,6732 ± 0,0003[c]	0,6983 ± 0,0004[b]	0,7014 ± 0,0003[b]

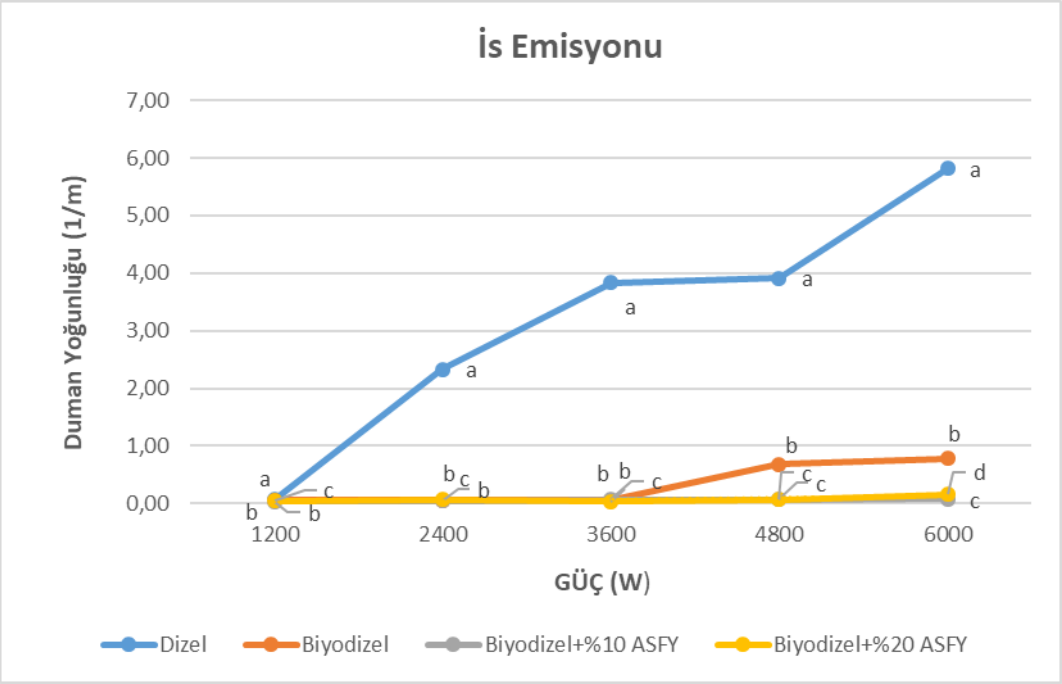
**p< 0.01, sütunlar arasındaki farklar önemlidir, ±SH

4.2.7. Duman Yoğunluğu (İs) Değerlerinin Karşılaştırılması

Çalışmalarımıza benzer şekilde Monyem vd. (2001), Yang vd. (2014), Yaşar (2016) yapmış oldukları deneylerde dizel motorlarında is (duman yoğunluğu) oluşumunun silindir içinde gerçekleşen kimyasal yanma reaksiyonuyla doğrudan ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Aktaş ve Şahin (2009), Seven (2017) çalışmalarımıza paralel olarak dizel ve ASFY gibi hidrokarbon ihtiva eden yakıtların yanma reaksiyonu sırasında hidrojen moleküllerinin karbon moleküllerine nazaran daha aktif davranarak ortamdaki oksijeni bünyelerine kattığını ve ortamda karbon moleküllerinin tamamının yanması için gerekli oksijeni bırakmadığını bildirmişlerdir. Bu durumda karbon birikmesi meydana gelir ve egzozda is emisyonu olarak atmosfere atılmaktadır. Ayrıca motor yükündeki artış ile silindir içine püskürtülen yakıtın miktarı da artmaktadır. Yakıt miktarının artmasıyla, hava-yakıt oranı değişmekte ve bu değişim is emisyon miktarını yükselmesine neden olmaktadır. Kısaca is emisyonu motor yükü ile doğru orantılı bir şekilde gerçekleşmektedir. Şekil 4.12'de dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları duman yoğunluğu değerleri ve istatistiksel hata sonuçları verilmiştir.

Yapılan deneylerde dizel yakıtın tüm yüklemelerde içerdiği hidrokarbon oranının yüksek olmasından dolayı duman yoğunluğu değerleri 6000 W yükte 5,814 l/m olarak gerçekleşmiştir. En düşük duman yoğunluğu değeri biyodizel+%10 ASFY yakıt karışımında 0,035 l/m olarak 1200 W yük değerinde gerçekleşmiştir. Elektriksel yük 6000 W olarak bakıldığında en düşük değer 0,074 l/m değerinde biyodizel+%10 ASFY yakıt karışımda gerçekleşmiştir.

Dizel yakıtın yüksek duman yoğunluğuna sahip olmasının sebebi yukarıda belirtildiği gibi yüksek karbon içeriğinin yanında motorda daha verimli yanmanın sağlanabilmesi için yanma odasında yakıtın tam yanmasını sağlayacak miktarda hava ve yeterli sürenin olmaması olarak açıklanabilir. Biyodizel ve karışımlarının düşük duman yoğunluğu değerlerine sahip olmasının başlıca nedeni içerdiği düşük karbon içeriği olarak yorumlanabilir. Deneylerimize benzer şekilde Aktaş ve Şahin (2009) yapmış olduğu testlerde biyodizelin içerdiği hidrojen miktarının artmasıyla, is emisyonunda azaldığını göstermiştir.



Şekil 4.12. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının farklı elektriksel güç değerlerinde oluşturdukları duman yoğunluğu değerleri ve istatistiksel hata sonuçları

Dizel jeneratörün emisyon deneylerinde (is) duman yoğunluğu değerlerine ait verileri gösteren istatistiksel sonuçlar Çizelge 4.12'de gösterilmiştir. Deneyler sonucunda yakıt ve karışımlarının oluşturdukları duman yoğunluğu değerlerinin kendi aralarında istatistiksel olarak farklarının önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.12. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının duman yoğunluğu değerlerine ait istatistiksel veri tablosu

	1200 (W)**	2400 (W)**	3600 (W)**	4800 (W)**	6000 (W)**
Dizel	0,071 ± 0,0032[a]	2,334 ± 0,0013[a]	3,833 ± 0,0017[a]	3,912 ± 0,0012[a]	5,814 ± 0,0058[a]
Biyodizel	0,051 ± 0,0006[b]	0,055 ± 0,0029[b]	0,061 ± 0,0012[b]	0,681 ± 0,0006[b]	0,775 ± 0,0029[b]
Biyodizel+%10 ASFY	0,035 ± 0,0023[c]	0,042 ± 0,0012[c]	0,064 ± 0,0023[b]	0,066 ± 0,0035[c]	0,074 ± 0,0017[d]
Biyodizel+%20 ASFY	0,044 ± 0,0023[b]	0,062 ± 0,0035[b]	0,029 ± 0,0023[c]	0,062 ± 0,0017[c]	0,162 ± 0,0012[c]

**p< 0.01, sütunlar arasındaki farklar önemlidir, ±SH

4.3. Enjektör Meme ve İğne Analiz Sonuçları

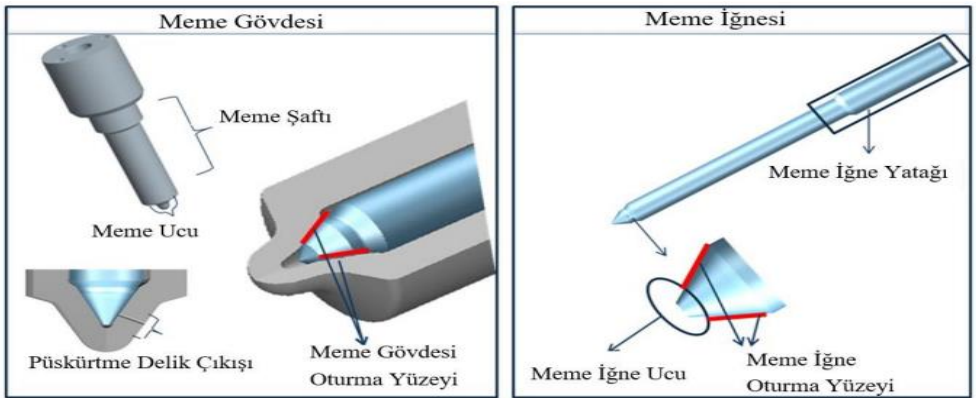
Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY yakıtlarının 100'er saatlik çalışmalardan sonra enjektör meme ve iğneleri üzerindeki etkilerini belirlemek için:

- Enjektör meme gövdesi, meme şaftı ve memelerinin görsel kontrolü,

- Enjektör meme uçlarının ve iğnelerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi,

- Enjektör meme uçlarının ve iğnelerinin EDX element analizleri yapılmıştır.

Aşağıda analiz edilen enjektör memesinin parçaları (meme gövdesi ve meme iğnesi parçaları) üzerindeki kısımlar Şekil 4.13'de gösterilmektedir.



Şekil 4.13. Enjektör memesinin kısımları

4.3.1. Enjektör Memelerinin Görsel Kontrolü

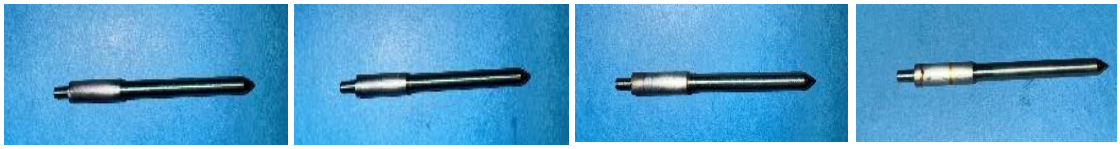
Dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımlarının silindir içinde yanması sonucu enjektörde biriken karbon birikintilerinin etkilerine ilişkin enjektörlerin temel parametreleri ve işlevini yerine getirip getirmediği

değerlendirilmiştir. Enjektör ucunda bulunan ve yakıt çıkışını sağlayan deliklerin içindeki korozif etki incelenmiştir.

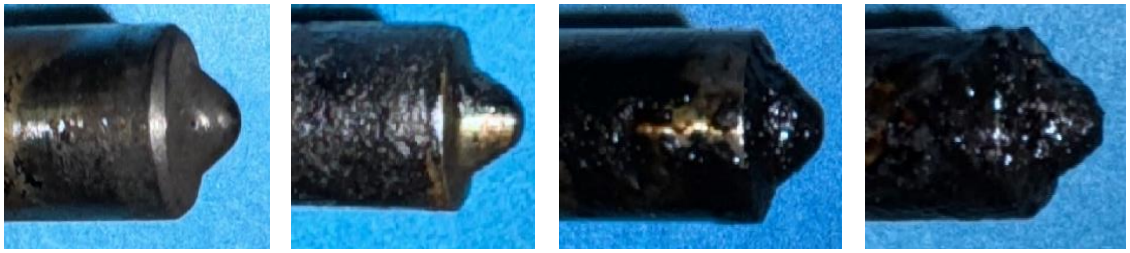
Dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımları için enjektörlerde biriken karbon kalıntılarında eskime/yaşlanma ürünleri (malzeme deformasyonu sonucu oluşan) ve inorganik bileşenler gözlemlenmiştir. Ayrıca enjektör ucundaki yakıt çıkışının olduğu deliklerin çıkış bölümünde korozif etkiye rastlanmıştır. Yakıt ve karışımlarının enjektör, meme ve iğnelerin temizlenmeden önce üzerindeki etkileri (Şekil 4.14 - 4.16)'da gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY sırasıyla çalışma sonrası meme gövdesi (temizleme öncesi)



Şekil 4.15. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY sırasıyla çalışma sonrası enjektör iğnesi (temizleme öncesi)

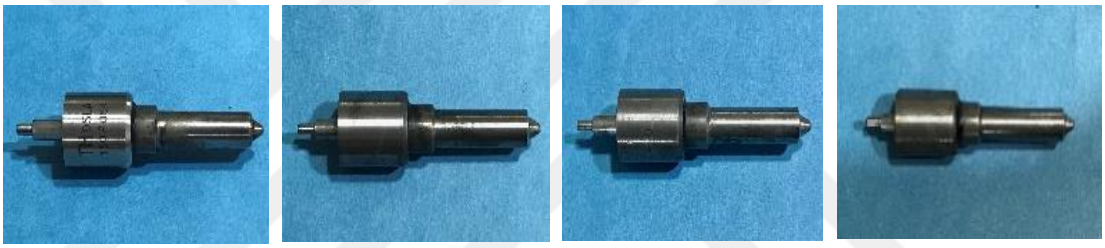


Şekil 4.16. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY sırasıyla çalışma sonrası meme uçları (temizleme öncesi)

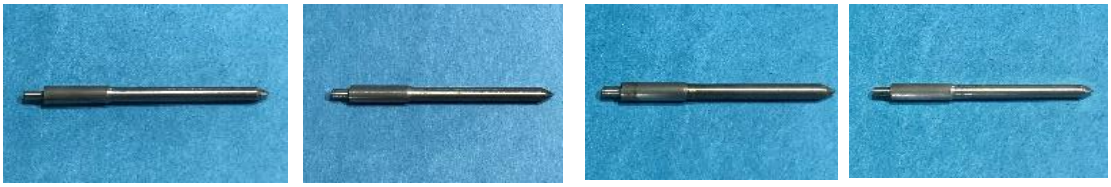
4.4. SEM ve EDX Analizleri

4.4.1. Enjektör Meme Uçlarının ve Meme İğnelerinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

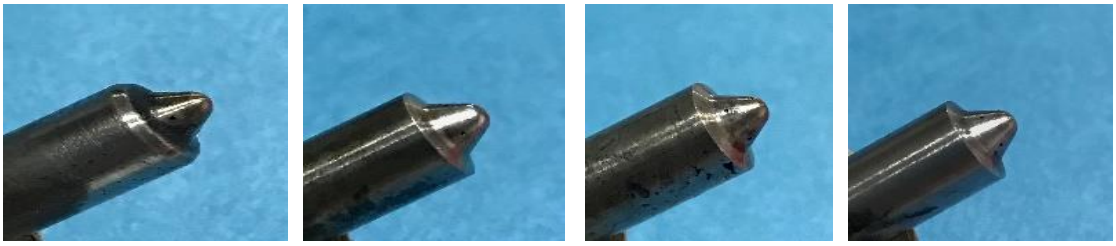
Dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY kullanılarak 100 saat farklı elektriksel güç değerlerinde çalıştırılan enjektörler demonte edilerek saf alkolle temizlenmiş SEM ve EDX analizlerine hazır hale getirilmiştir. Enjektör meme ucu ve iğnelerinin temizleme sonrası görsellerine ait resimler Şekil 4.17 - 4.19'da verilmiştir. Dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımları ile çalışan meme uçları ve meme iğnelerine ait SEM analizine ait görseller Şekil 4.20-4.23'de verilmiştir.



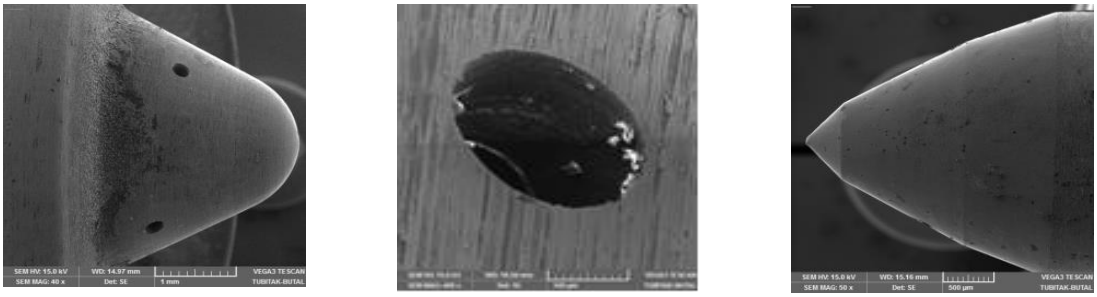
Şekil 4.17. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY sırasıyla çalışma sonrası meme gövdesi (temizleme sonrası)



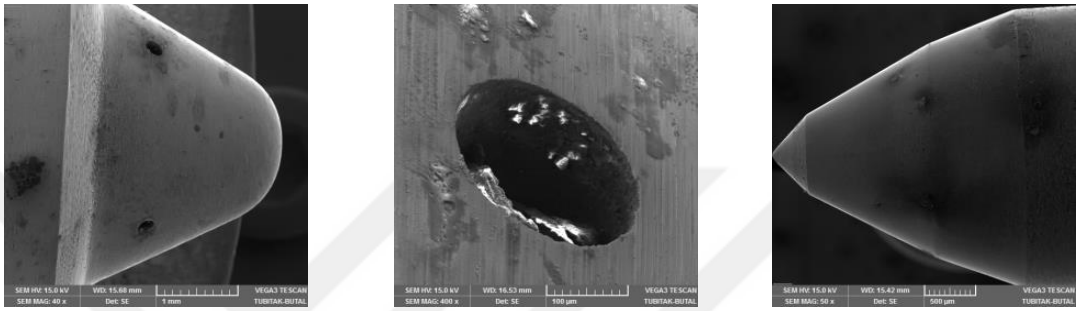
Şekil 4.18. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY sırasıyla çalışma sonrası enjektör iğnesi (temizleme sonrası)



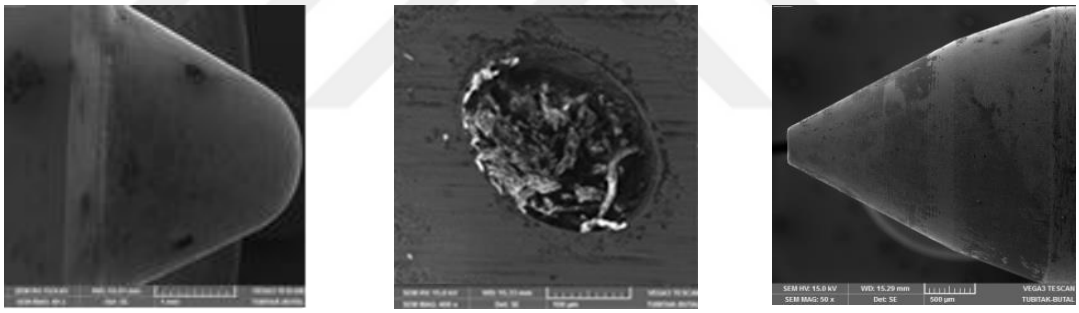
Şekil 4.19. Dizel, Biyodizel, Biyodizel+%10 ASFY ve Biyodizel+%20 ASFY sırasıyla çalışma sonrası meme uçları (temizleme sonrası)



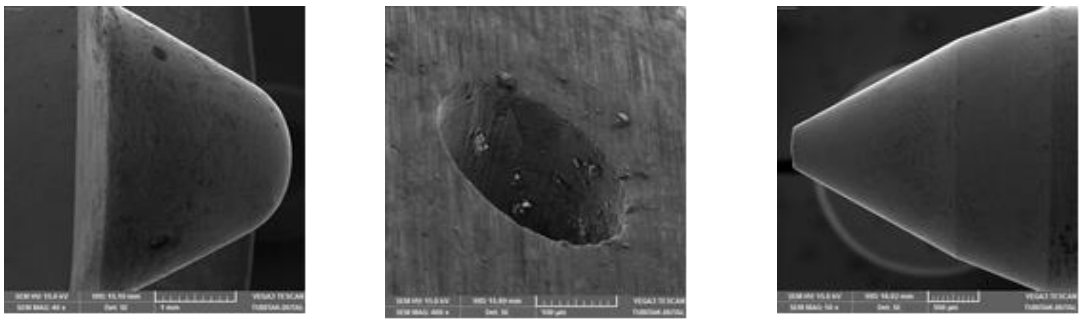
Şekil 4.20. Dizel yakıt ile çalışma sonrası meme ucu ve iğnesi SEM görüntüsü



Şekil 4.21. Biyodizel yakıt ile çalışma sonrası meme ucu ve iğnesi SEM görüntüsü



Şekil 4.22. Biyodizel+%10 ASFY yakıt ile çalışma sonrası meme ucu ve iğnesi SEM görüntüsü



Şekil 4.23. Biyodizel+%20 ASFY yakıt ile çalışma sonrası meme ucu ve iğnesi SEM görüntüsü

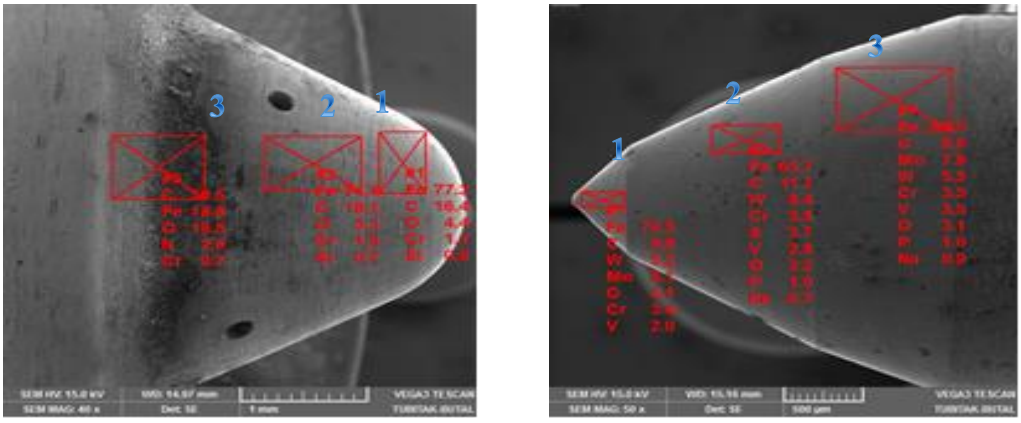
Dizel yakıt enjektörlerinde meydana gelen hasar motorun çalışmamasına performans düşüşüne ve yakıt ekonomisinin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Çalışmamıza paralel olarak Park (2010), Kahraman, vd. (2023) yaptıkları deneysel çalışmalarda kullanılan katkı maddelerinin dizel motorların yüksek basınç sistemine zarar verdiği belirlemişlerdir.

Dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıt ve karışımları karşılaştırıldığında, püskürtme kanallarında meydana gelen hasarın en fazla Biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımında olduğu görülmektedir. Yapılan deneylerimize paralel olarak Leedham vd. (2004), Birgel vd. (2008), Shu vd. (2012) püskürtme delikleri çıkış kısımlarında meydana gelen aşınmaların, yakıtın yüksek basınç etkisi ve aşırı sürtünme ve yanma sonu oluşan sıcaklıklardan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Oluşan yüksek sıcaklık Şekil 4.22. ve Şekil 4.23. görüldüğü üzere biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımlarında enjektör iğnesinin uç bölgesinde erimeye neden olmuştur. Deneylerde kullanılan ASFY yakıtının yüksek yoğunluk değerine sahip oluşu meme deliklerinde görülen aşınmanın temel sebebi olarak yorumlanabilir. Bunun yanında ASFY yakıtının içerdiği su miktarının diğer yakıtlara göre fazla oluşu aşınmayı arttıran diğer bir unsur olarak gösterilebilir. Shu vd. (2012) çalışmalarımıza paralel olarak deneylerinde yanma odasında oluşan yüksek basınç ve sıcaklık değerlerine rağmen kullandığı enjektör memesinde, meme üzerindeki deliklerinde ve enjektör iğnesinde kurum birikintileri saptamıştır.

4.4.2. EDX Element Analizleri

EDX analizi kullanılarak enjektör meme ucunda ve iğnelerde biriken artık maddelerin element analizi dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımlarının 100 saat çalışma sonrası enjektör meme ve iğnesi için EDX görüntüleri Şekil 4.24 - 4.27’de verilmiştir.

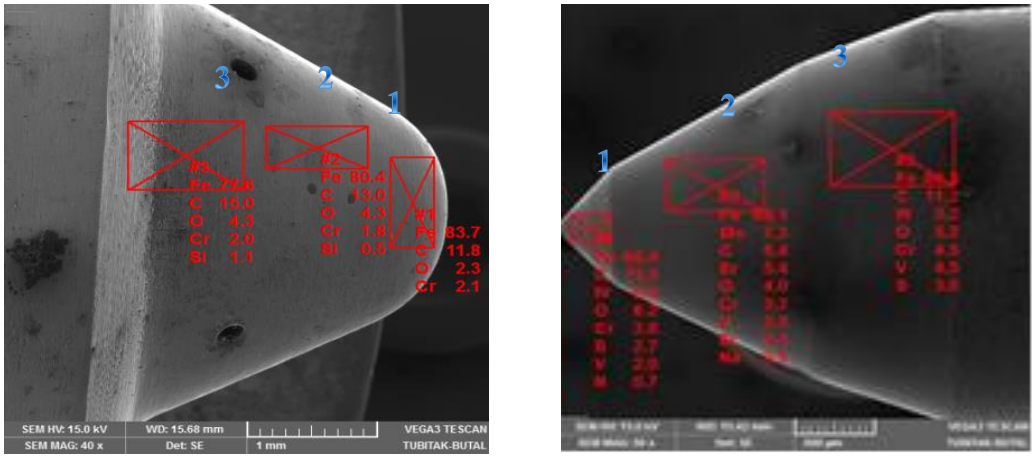
EDX görüntülerinde her yakıt ve karışımları için farklı üç bölgede enjektör meme ve iğnesinde tespit edilen elementler için oluşturulan tablolar Çizelge 4.13 - 4.16.'da verilmiştir.



Şekil 4.24. Dizel yakıt ile çalışmış enjektör meme ve iğnesi yüzeyinde yapılan EDX analiz sonuçları

Çizelge 4.13. Dizel yakıt ile çalışmış enjektör memesi ve iğne yüzeyinde tespit edilen elementler

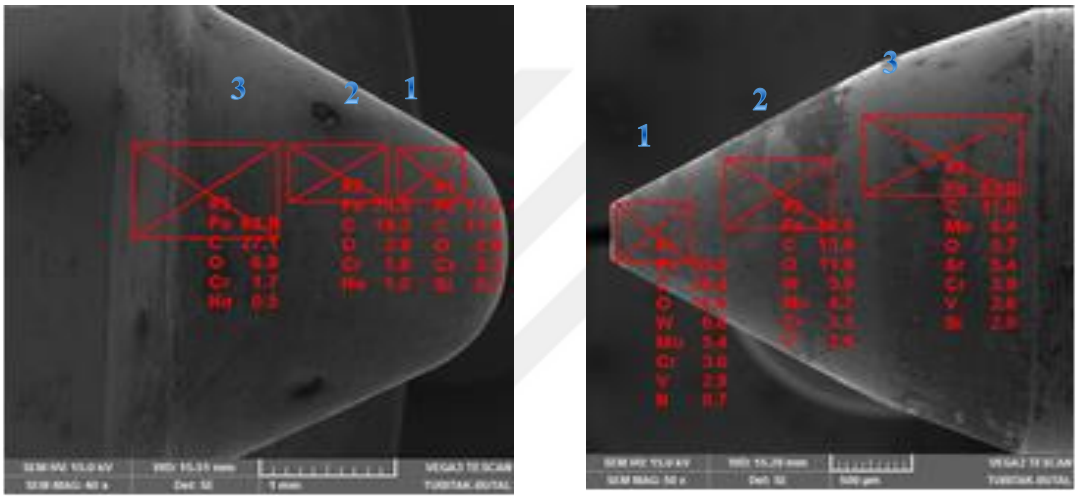
	Tespit edilen elementler		
Ölçüm noktası	1	2	3
Meme ucu	**Fe, C, O, Si**	**Fe, C, O, Cr, Si**	**C, Fe, O, N, Cr**
İğne yüzeyi	**Fe, C, W, Mo, O, Cr, V**	**Fe, C, W, Cr, S, V, O, P, Na**	**Fe, C, Mo, W, Cr, V, O, P, Na**



Şekil 4.25. Biyodizel yakıt ile çalışmış enjektör meme ve iğnesi yüzeyinde yapılan EDX analiz sonuçları

Çizelge 4.14. Biyodizel yakıt ile çalışmış enjektör memesi ve iğne yüzeyinde tespit edilen elementler

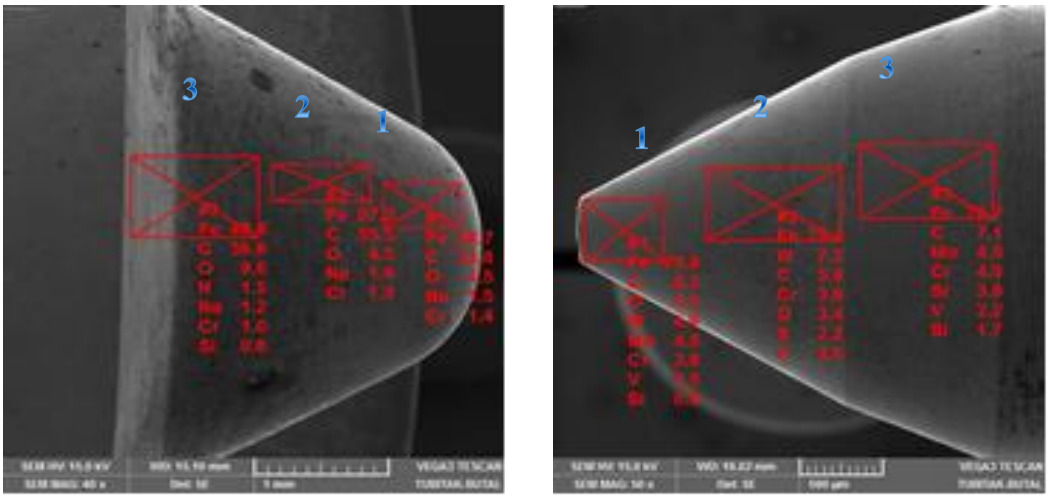
Tespit edilen elementler			
Ölçüm Noktası	1	2	3
Meme ucu	**Fe, C, O,Cr**	**Fe,C, O, Cr, Si**	**Fe, C, O, Cr, Si**
İğne yüzeyi	**Fe, C, W, O, Cr, S, V, N**	**Fe, Mo, C, Sr, O, Cr, V, Si, Na**	**Fe, C, W, O, Cr, V, S**



Şekil 4.26. Biyodizel+%10 ASFY yakıt ile çalışmış enjektör meme ve iğnesi yüzeyinde yapılan EDX analiz sonuçları

Çizelge 4.15. Biyodizel+%10 ASFY yakıt ile çalışmış enjektör memesi ve iğne yüzeyinde tespit edilen elementler

Tespit edilen elementler			
Ölçüm noktası	1	2	3
Meme ucu	**Fe, C, O, Cr, Si**	**Fe,C, O, Cr, Na**	**Fe, C, O, Cr, Na**
İğne yüzeyi	**Fe, C, O, W, Mo, Cr, V, N**	**Fe, C, O, W, Mo, Cr, V**	**Fe, C, Mo, O, Sr, Cr, V, Si**



Şekil 4.27. Biyodizel+%20 ASFY yakıt ile çalışmış enjektör meme ve iğnesi yüzeyinde yapılan EDX analiz sonuçları

Çizelge 4.16. Biyodizel+%20 ASFY yakıt ile çalışmış enjektör memesi ve iğne yüzeyinde tespit edilen elementler

Tespit edilen elementler			
Ölçüm Noktası	1	2	3
Meme ucu	**Fe, C, O, Na, Cr**	**Fe, C, O, Na, Cr,**	**Fe, C, O, N, Na, Cr, Si**
İğne yüzeyi	**Fe, C, O, W, Mo, Cr, V, Si**	**Fe, W, C, Cr, O, S, V**	**Fe, C, Mo, Cr, Sr V, Si**

EDX analizi kullanılarak enjektör meme ucunda ve iğnelerde biriken tortu maddelerin element analiz sonuçları dizel yakıt için enjektör meme ucunda Şekil 4.24 ve Çizelge 4.13'de üç bölgede tespit edilen elementler Fe, C, O, elementleri ve bu elementlere ek olarak düşük miktarda N, Cr, Si elementleri bulunmuştur. Aynı yakıt için enjektör iğnesinde yapılan element analizinde Fe, C, O, W, Mo, Cr, V elementleri ve eser miktarda S, Na, P elementleri tespit edilmiştir. Çalışmalarımıza paralel olarak Kittelson ve David (1998), Bolat vd. (2022) enjektör iğnesinde tespit edilen C, O, S elementlerinin varlığını karter havalandırmasından kaynaklı motor yağının yanma odasına karışmış olabileceğini göstermişlerdir. Bu sonuça paralel olarak Hoang ve Le

(2019) enjektör meme ucu ve iğnesinde bulunan C ve O elementlerinin dizel yakıtın içinde bulunan yakıt katkısı ile ilgili olduğu göstermiştir.

Biyodizel yakıt için enjektör meme ucunda Şekil 4.25 ve Çizelge 4.14'de üç bölgede tespit edilen elementler Fe, C, O, elementleri ve bu elementlere ek olarak düşük miktarda Cr, Si elementleri bulunmuştur. Aynı yakıt için enjektör iğnesinde yapılan element analizinde Fe, C, O, W, Mo, Cr, V elementleri ve eser miktarda S, Na, N elementleri tespit edilmiştir. Biyodizel yakıtta temel bileşenler C ve O elementleri olduğundan meme ve iğne üzerindeki oranları yüksektir. Bunun yanında enjektör ve iğnelerin temel yapısı Fe ve katkı maddeleri olan C, V, Si, Mo, Cr ve W olması bu elementlerin varlığının temel açıklamasıdır.

Biyodizel+%10 ASFY yakıt için enjektör meme ucunda Şekil 4.26 ve Çizelge 4.15'de üç bölgede tespit edilen elementler Fe, C, O, elementleri ve bu elementlere ek olarak düşük miktarda Cr, Si, Na elementleri bulunmuştur. Düşük miktarda görülen Na elementi biyodizel üretiminde kullanılan NaOH bileşiğinde kaynaklandığı düşünülmektedir. Meme ve iğne üzerinde görülen düşük seviyedeki Si ve Cr elementleri enjektörün üretimi esnasında kullanılan çeliğe sertlik veren katkı elementleridir. Aynı yakıt için enjektör iğnesinde yapılan element analizinde Fe, C, O, Sr, W, Mo, Cr, V elementleri ve eser miktarda Si, N elementleri tespit edilmiştir. Biyodizel+%10 ASFY yakıtta meme ve iğne üzerindeki oranları yüksek olan Fe imalat sürecinin temel elementidir. Meme ve iğne yüzeyinde görülen Sr (Stronsiyum) elementi toprak alkali bir metal olup derin su kaynaklarında bulunmaktadır. Element analizlerinde meme ve iğne yüzeyinde görülmesinin nedeni polyester iplikten üretilen kumaşların RAM tezgahında su buharı ile son ölçüsüne getirilmesi sırasında ASFY ile temasından kaynaklanmaktadır.

Biyodizel+%20 ASFY yakıt için enjektör meme ucunda Şekil 4.27 ve Çizelge 4.16'da üç bölgede tespit edilen elementler Fe, C, O, elementleri ve bu elementlere ek olarak düşük miktarda N, Na, Cr, Si elementleri bulunmuştur. Meme ucunda görülen N elementi analiz öncesi enjektöre elle teması işaret etmektedir. Aynı yakıt için enjektör iğnesinde yapılan element analizinde Fe, C, Sr, O, W, Mo, Cr, V elementleri ve eser

miktarda S, N, Si elementleri tespit edilmiştir. Enjektör iğnesi üzerinde tespit edilen Sr elementinin varlığı ASFY yakıtı içerisindeki su oranının fazlalığı sonucu oluşması tezini güçlendirmektedir. Biyodizel ve ASFY yakıt karışımlarında C ve O elementlerinin oransal olarak fazla oluşu yapılarının bu elementlerden oluşmasıyla açıklanabilir. Bunun yanında enjektör ve iğnelerin imalatı Fe ve katkı maddeleri olan C, V, Si, Mo, Cr ve W elementleri kullanılarak yapılmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, dizel, biyodizel, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımlarının tek silindirli hava soğutmalı direkt enjeksiyonlu dizel jeneratörde motor performansı, emisyon değerleri ve her bir enjektör üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yakıt ve karışımları için 100 saatlik çalışmadan sonra, dört farklı yakıt için enjektör iğnesi ve meme ucunun görsel inceleme, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını (EDX) analizleri yapılmıştır

Yapılan deneylerde 6 kW gücündeki dizel jeneratör farklı elektriksel güç aralıklarında dört farklı yakıt ve karışımları kullanılarak 100 saat çalıştırılmıştır. Yapılan performans testlerinde en yüksek moment değeri 6000 W elektriksel güç değerinde biyodizel+%10 ASFY yakıt karışımında 17,29 Nm olarak gerçekleşmiştir. Aynı elektriksel güç değerinde en düşük moment değeri dizel yakıtta %2,98 düşüşle 16,77 Nm olarak görülmüştür. Özgül yakıt tüketiminde 6000 W elektriksel güç değerinde en düşük değer 1,580 kg/saat ile dizel yakıtta gerçekleşmiş aynı yükte biyodizel yakıtta %27,98 artışla 2,025 kg/saat olarak saptanmıştır. Yakıt ve karışımlarının emisyon testlerinde karbonmonoksit (CO) değeri tam yükte Biyodizel+%20 karışımı dizel yakıta göre %12,5 düşüş göstermiştir. Hidrokarbon (HC) en düşük 1200 W yükte 8 ppm olarak gerçekleşirken en yüksek değerine 2400 W yükte biyodizel+%10 ASFY yakıt karışımında 26 ppm olarak gerçekleşmiştir. Duman yoğunluğu (İs) değerlerinde tam yükte dizel yakıtta 5,81 1/m olarak gerçekleşirken bu oran aynı yükte biyodizel+%10 ASFY yakıt karışımında 0,162 1/m olarak gerçekleşmiştir. Azotoksit (NO_x) değeri 4800 W yükte 73 ppm ile en düşük değerini biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımında verirken 2400 W yük değerinde %245,2 artışla 179 ppm olarak biyodizel yakıtta belirlenmiştir. Yakıt ve karışımları için 100 saatlik çalışmadan sonra, her bir enjektör iğnesi ve meme ucunun görsel inceleme, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını (EDX) analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre dizel enjektör meme ucunda ve birinci bölgede Fe %83,7 değeriyle en yüksek yüzdesel oran görülmüştür. C oranı %58,5 ile dizel enjektör meme ucu ve üçüncü bölgede O oranının ise %18,5 değerinde dizel enjektör meme ucu üçüncü bölgede gerçekleşmiştir. Diğer elementlerin ise oransal değerlerinin yüzdesel olarak düşük kaldığı tespit edilmiştir. Enjektör iğnelerinde inorganik bileşenler, enjektör meme uçlarında ise yaşlandırma ürünleri ve inorganik

bileşenler gözlemlenmiştir. Biyodizel ve dizel yakıt sonuçları arasında enjektör memesi işlevi açısından önemli bir fark bulunmazken, biyodizel+%10 ASFY ve biyodizel+%20 ASFY yakıt karışımlarında işlevsel bozukluklar tespit edilmiştir. Biyodizel ile karışım halinde bulunan ASFY'nin yoğunluk ve su muhteviyatı değerleri dizel ve biyodizel yakıtlarına göre sınır değerlerinin üzerinde oluşu enjektör ve iğnesi üzerinde oluşan tahribatın temel sebebi olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın sonuçlarına bağlı olarak aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

- Çalışmada kullanılan yakıtlar termodinamik, çevresel ve ekonomik açıdan da incelenebilir.
- Farklı motor tiplerinde, uzun süreli testler yapılarak karışım yakıtlarının motor parçaları ve yakıt sistemine etkileri araştırılmalıdır.
- Farklı hammaddelerden elde edilen biyodizeller motorin, ASFY yakıtlarıyla hacimce farklı oranlarda karıştırılıp kıyaslama yapılmalıdır.
- ASFY içerisindeki su miktarının azaltılması konusunda çalışmalar yapılmalıdır.
- ASFY'nin yoğunluk ve vizkozite değerlerinin standart değerlere çekilmesi için uygun katkı maddelerinin tespiti için çalışmalar gerçekleştirilmelidir.
- Motorin/biyodizel/ASFY' den oluşan yakıt ve karışımlarının uzun süreli testleri yapılarak motor yağına etkisi incelenmelidir.
- ASFY kullanımının dizel motor titreşimi üzerine etkileri uzun süreli testlerle incelenmelidir.
- ASFY ve yakıt karışımlarının emisyon değerleri daha uzun süreli deneylerle test edilmelidir.
- Tekstil sektöründe kullanılan diğer yağlayıcıların yakıt olarak kullanılabilirliği araştırılmalıdır.
- Polyester iplik üretiminde kullanılan spin finish yağının geri dönüşümü ile ilgili kapsamlı bir çalışma yapılmalıdır.
- ASFY'nın yakıt özellikleri tüm parametreleri açısından test edilmelidir.
- ASFY'nın dizel yakıt ile karışımlarının motor performans ve emisyon testleri uzun kullanımda analiz edilmelidir.

6. KAYNAKLAR

Abdel-Rahman, A. A. (1998) On the emissions from internal-combustion engines: a review, *Internatıonal Journal Of Energy Research*. *22*(6), 483-513. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002

Acar, M., Bilgin, S., Versteeg, H. K., Dani, N. & Oxenham, W., (2006). The Mechanism of the Air-Jet Texturing: The Role of Wetting, Spin Finish and Friction in Forming and Fixing Loops. Textile Research Journal, Vol 76(2): 116–125. https://doi.org/10.1177/0040517506062614

Alpgiray, B. (2006). *Kanola yağının diesel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi]. Ankara Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. http://hdl.handle.net/20.500.12575/32867

Altınsoy, S., A. (2007). *Biyodizel üretimi, motorlarda kullanımı ve Türkiye'deki kaynakların incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi] İstanbul Teknik Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://polen.itu.edu.tr:8443/server/api/core/bitstreams/08306cc5-6311-4497-98db-4635550251f4/content

Akcan, M. (2018). Polyester Liflerin Genel Özellikleri & Isıl İşlemlerdeki Davranışları. https://www.teksarge.com/wp-content/uploads/2021/05/Seminer-Pes-Lifler.pdf

Akman, S. (2015). *Türkiye biyodizel piyasası incelenmesi, düzenlenmesi ve 2020 projeksiyonu* [Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi] TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://hdl.handle.net/20.500.11851/2445

Aksoy, L. (2010). Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel ve üretim prosesleri. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *2*(3), 45-52.

Aktaş, A. & Şahin, Ö. (2009). Dizel/biyodizel karışımı ile çalışan bir motorun performans ve emisyonlarını iyileştirmek için hidrojen kullanılması. *Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 14*(1). https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/202736

Akyarlı, A., Alpaslan, N., Çiçek, T., Diktaş, E., Elmacı, Y., Karagözlü, C., Öztüre, N., Sayın, R., Sezerman, U., Sındır, K.O., Sipahi, D., & Şahin, M. O. (2004). Biyodizel yakıtın uluslararası standartlarda üretimi. Bioenerji 2004 Sempozyumu, İzmir, Türkiye.

Alhalabi, K., & Sabır, E. C. (2011). Anti Statik Yağın İplik Kalite Parametrelerine Etkisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2), 19-32. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/211370

Al-Hasan, M., & Al-Momany, M. (2008). The effect of iso-butanol-diesel blends on engine performance. *Transport*, *23*(4), 306–310. https://doi.org/10.3846/1648-4142.2008.23.306-310

Al, O. (2014). *Yakıt harmanlarının dizel enjektör nozulları üzerinde etkisinin deneysel incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi]. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://acikkaynak.bilecik.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11552/229/10048404.pdf?sequence=1

Alptekin, E., & Çanakçı, M. (2006). Biyodizel ve Türkiye'deki durumu. Mühendis ve Makine, 47(561), 57-64. https://shorturl.at/bxyDQ

Altun, Ş., (2010). Dizel motor performansı ve egzoz emisyonları üzerinde biyodizel yakıtların etkisi, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED), 2 (1), 9-19. https://earsiv.batman.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12402/3849

Anonim. (2021a). Dünyada üretilen biyodizelin ülkelere göre dağılımı. http://www.albiyobir.org.tr/biyoyakitlar.htm (Erişim tarihi:10.06.2021).

Anonim. (2021b). Türkiye, 39 Avrupa ülkesi içinde enerjide ithalata en fazla bağımlı beşinci ülke. https://tr.euronews.com/2019/08/29/turkiye-39-avrupa-ulkesi-icinde-enerjide-ithalata-en-fazla-bagimli-besinci-ulke (Erişim tarihi:11.06.2021)

Anonim. (2022). Orman Genel Müdürlüğü, http://web.ogm.gov.tr/birimler/merkez/silvikultur/Dokumanlar/RAPORLAR/Genel_Raporlar (Erişim tarihi: 08.02.2022).

Anonim. (2023a). Tekstil Sayfası *Spin Finish Yağı Nedir.* https://tekstilsayfasi.blogspot.com/2020/12/spin-finish-yagi-nedir-uretim-yagi.html (Erişim tarihi: 08.02.2023).

Anonim. (2023b). Polyester iplik üreticileri. https://www.europages.com.tr/%C5%9Firketler/t%C3%BCrkiye/polyester%20iplikler.html (Erişim tarihi: 08.06.2023).

Anonim. (2024). Atolye İzmir tekstil nedir tekstil lifi nedir ve doğal olan lifler hangileridir. https://www.atolyeizmir.com/tekstil-nedir-tekstil-lifi-nedir-ve-dogal-olan-lifler-hangileridir/ (Erişim tarihi: 15.02.2024).

Arslan, M. (2015). *Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisinin projelendirilerek imal edilmesi ve yabani zeytinden (Oleaoleaster) üretilecek biyodizelin yakıt özelliklerinin belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi] Bursa Uludağ Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://www.proquest.com/dissertations-theses/laboratuvar-ölçekli-biyodizel-üretim-tesisinin/docview/2585299789/se-2?accountid=17219

Arslan, M. & Alibaş, K. (2015). Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisinin projelendirilerek imal edilmesi ve bu tesiste çeşitli bitkisel yağ kaynaklarından biyodizel üretimi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *29*(1), 107-114. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/154234

Atelge, R. (2021). Kısmi yük koşullarında dizel-biyogaz kullanılarak çift yakıtlı dizel motorun enerji ve ekserji analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 334-346. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1857710

Aydın, B. (2022). *Nano yakıt katkı maddesi ilave edilen biyodizel dizel karışımının motor performans ve emisyon üzerindeki etkisinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi]. Karabük Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. http://acikerisim.karabuk.edu.tr:8080/xmlui/handle/123456789/1739

Aydın, H., & İşcan, B. (2016). Effects of DME on performance and emissions of biodiesel in a diesel engine powered generator. 10. Uluslararası Temiz Enerji Sempozyumu, 24-26 Ekim 2016, İstanbul, Türkiye. https://hdl.handle.net/20.500.12402/3804

Aydın, O. (2015). Senkron motor ile güç katsayısı kontrolünde klasik sistemler ile uzman sistemlerin karşılaştırılması [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi] Gazi Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/298511

Aydoğan, B. (2008). *Biyodizel kullanılan dizel motorlarda NO_x emisyonlarının ve NO_x emisyonları azaltma yöntemlerinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi]. Pamukkale Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://hdl.handle.net/11499/1301

Ayhan, V., Tunca, S., Özsert, İ., Ergen, G., & Cesur, İ. (2019). Ayçiçek yağı metil ester karışımlarının DI bir dizel motorunun performans ve emisyonlarına etkisi. *Academic Platform-Journal Of Engineering And Science*, *7*(1), 67-73. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/593598

Azi, H. (2017). *Bir dizel motorda hint yağı biyodizeli ve dietil eter kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması* [Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi] Batman Üniversitesi Açık Erişim Sistemi https://earsiv.batman.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12402/2480/489390.pdf?sequence=1

Bertran, B. L. (2009) İspanya'da ve Türkiye'de Biyodizel Maliyet Analizi [Doktora Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi] İstanbul Teknik Üniversitesi Açık Erişim Sistemi https://polen.itu.edu.tr/items/b5c47a27-8ea9-43b3-8537-78e94567c6cd

Birol, Y. E. (2020). Doğal Gaz Arz Güvenliği Açısından Avrupa Birliği Ülkeleri ve Türkiye Üzerine Karşılaştırmalı Bir Analiz. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (38), 231-247. https://dergipark.org.tr/tr/pub/pausbed/issue/52147/435451

Birgel, A., Ladommatos, N., Aleiferis, P. G., Zülch, S., Milovanovic, N., Lafon, V. & Richards, P. (2008). Deposit formation in the holes of diesel injector nozzles: A critical review. https://doi.org/10.4271/2008-01-2383

Biyodizel Sanayi Derneği. (2019). *Biyodizel Endüstri Raporu 1*. https://biyoyakit.org.tr/tr/stat/sektor-raporu-1

Bolat, A. (2022). *Tarım Traktörlerinde Biyodizel (B20) ve Dizel Yakıtı Kullanımının Motorun Aşınmaya Maruz Kalan Parçaları Üzerindeki Etkilerinin Incelenmesi* [Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi] Bursa Uludağ Üniversitesi Açık Erişim Sistemi https://www.proquest.com/docview/2787201372?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses

Bolat, A., Alibaş, K., Alibaş, İ., Ulusoy, Y. & Düzgüner, E. (2022). An investigation of engine and fuel injection system performance in an agricultural tractor operating with B20 biofuel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, *44*(3), 7857-7872. https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/15567036.2022.2116130?casa_token=xB6EKHGPW38AAAAA:xL1oBse5EDUloXHO6YsRdkygfr37u_v4i2dK0RKy43hgVezyFiUrOe_mmyd9OTQSMBkl0l66aHY

Borman, G.L. & Ragland, K.W. (1998). *Combustion Engineering*, McGraw-Hill.

Borovalı, S. (2018). Yağlı tohum bitkileri ve biyoyakıtlar, 9. Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı Bildirisi, İstanbul.

Bozdoğan, F. & Başer, G. (1990). Türkiye'de üretilen PET-polyester liflerinin bazı önemli fiziksel özellikleri. *Tekstil ve Mühendis*, *4*(20), 64-75.

Canbaz, E. (2022). *Kenevir yağından elde edilen biyodizelin dizel motor parametrelerine etkilerinin incelenmesi* [Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi] Karabük Üniversitesi Açık Erişim Sistemi http://acikerisim.karabuk.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1709/10447097.pdf?sequence=1

Capone, G.J., (1995). Wet Spinning Technology, 69–103, Acrylic Fiber Technology and Applications, Mason, J.C. (Ed.), Marcel Dekker Inc., New York, 388p.

Challen, B., & Baranescu, R. (1999). *Diesel engine reference book*. Butterworth Heinemann.

Çakmak, A., & Bilgin, A. (2017). Performance and emissions of a single cylinder CI engine running on corn oil methyl ester-diesel blends. Journal of Clean Energy Technologies, 5(4), 280-284. https://www.jocet.org/vol5/383-RB014.pdf

Çalışır, A. (2007). Buji ateşlemeli motorlarda sıkıştırma ve yanma periyotlarının analizi, [Doktora Tezi, Marmara Universitesi] Marmara Universitesi Açık Erişim Sistemi https://www.proquest.com/dissertations-theses/buji-ateşlemeli-motorlarda-sıkıştırma-ve-yanma/docview/2582193073/se-2?accountid=17219

Çelik, Z. (2019). *Biyodizel kullanılan bir dizel motorlu jeneratörde soğuk ve sıcakta ilk çalıştırma sırasında oluşan egzoz emisyonlarının incelenmesi* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Batman Üniversitesi. https://earsiv.batman.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12402/2244/Ziya%20%C3%87EL%20K%20TEZ.pdf?sequence=1

Çelikten, İ., Mutlu, E., & Solmaz, H. (2012). Variation of performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with diesel, rapeseed oil and hazelnut oil methyl ester blends. Renewable Energy, 48, 122-126. https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.040

Çengelci, E., Bayrakçeken, H., & Aksoy, F. (2011). Hayvansal ve Bitkisel Yağlardan Elde Edilen Biyodizelin Dizel Yakıtı ile Karşılaştırılması *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt:3, No: 1, 2011 (41-53) https://docplayer.biz.tr/16328184-Hayvansal-ve-bitkisel-yaglardan-elde-edilen-biyodizelin-dizel-yakiti-ile-karsilastirilmasi.html

Çengelci, E., Bayrakçeken, H., & Yavuz, İ. (2018). Hayvansal biyodizel-dizel karışımlarının egzoz emisyonlarına etkisi. *14th International Combustion Symposium* https://indexive.com/uploads/papers/pap_indexive15943950292147483647.pdf

Çıldır, O. & Çanakçı, M. (2006). Çeşitli bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde katalizör ve alkol miktarının yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *21*(2), 367-372. https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6668/89372

Çılgın, E. (2021). Investigation of the usability of essential oils in diesel engines as a new biodiesel source. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 573-585. https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.839914

Çıtak, M. (2014). *Bir dizel motorunda mtbe katkılı biyodizel kullanımının deneysel analizi* [Doktora Tezi, Sakarya Universitesi] Sakarya Universitesi Açık Erişim Sistemi https://www.proquest.com/docview/2700373709?pqorigsite=gscholar&fromopenview=true&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses

Doğan, O. (2012). *Atık taşıt lastiğinden üretilen pirolitik yakıtın bir dizel motorda kullanımının deneysel olarak araştırılması* [Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi]. Karabük Üniveristesi Açık Erişim Sistemi. https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/99111

Eliçin, A. K. (2011). *Biyodizel yakıtla çalıştırılan küçük güçlü bir dize l motorun performans ve emisyonuna giriş hava basıncı etkisinin deneysel olarak araştırılması* [Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi]. Ankara Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Enerdata. (2022). *Global Energy & Climate Outlook 2050*. https://eneroutlook.enerdata.net/countrysnapshot/turkey-energy-forecast.html

Erdoğan, D. (1991). Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması. *Tarımsal Mekanizasyon 13. Ulusal Kongresi*, 25-27 Eylül, Konya.

Eryılmaz, T. (2009). *Hardal yağı biyodizelinde farklı karışım oranlarının dizel motorlarda performansa etkisi* [Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi]. Selçuk Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. http://hdl.handle.net/123456789/8187

Eryılmaz, T., Cesur, C., Yeşilyurt, M. K. & Aydın, E. (2014). Aspir (Carthamus tinctorius L.), remzibey-05 tohum yağı metil esteri potansiyel dizel motor uygulamaları için yakıt özellikleri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, *1*(1), 85-90. https://dergipark.org.tr/en/pub/turkjans/issue/13306/160739

Eryılmaz, T. & Öğüt, H. (2011). The effect of the different mustard oil biodiesel blending ratios on dizel engines performance. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research, 28*(1), 169- 180.

Eryılmaz, T., Şahin, S., Ertuğrul, M., & Çelik, S. A. (2022). Ketencik [camelina sativa crantz] yağı biyodizelinin ve karışım yakıtlarının fizikokimyasal özelliklerinin araştırılması. *Konya Journal Of Engineering Sciences*, *10*(2), 287-300. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2015869

Faruk, O., Çolak, N. Y., & Şimşek, D. (2022). Küçük çaplı enerji üretiminde kullanılan bir dizel jeneratörde ek yakıt olarak atık motor yağı ve alkol kullanımının emisyon etkileri. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 38(2), 865-874. https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/72928/811625

Frushor, B.G. & Knorr, R.S., (1985), Acrylic Fibres, 171–370, Handbook of Fiber Science and Technology: Volume IV: Fiber Chemistry, Lewin, M. and Pearce, E.M. (Eds.), Marcel Dekker Inc., New York, 1090p.

Gateau, P., (2006), Twelve Years Of Using 50% Rme Fuel Mixture Ġn Heavy Trucks And Light Vehicles, 3rd European Conference Alternative Energy Sources For Automobiles, 5-6 April 2006 – Poitiers, Futuroscope, France https://l24.im/QtdTnU

Goering, C. E., A. W. Schwab, M. J. Daugherty, E. H. Pryde, & A. J. Heakin. (1982). Fuel properties of eleven vegetable oils. *American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE)*, *25*(6), 1472-1477. https://doi.org/10.13031/2013.33748

Güler, K. (2008). *Biyodizel teknolojisi, sistem tasarımı ve deneysel olarak biyodizel üretimi.* [Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi], Süleyman Demirel Üniversitesi Açık Erişim Sistemi https://platform.almanhal.com/Details/Thesis/2000033981

Gülüm, M., & Bilgin, A. (2014). Çeşitli Üretim Parametrelerinin Naoh Kullanılarak Üretilen Mısır Yağı Biyodizelinin Bazı Yakıt Özelliklerine Etkisi. *OTEKON 2014 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi,* Bursa, Türkiye, 26 - 27 Mayıs 2014, ss.152-159

Gülüm, M. (2023). Dizel yakıtı-bitkisel yağ-dietilen glikol dimetil eter karışım yakıtlarının bir dizel motorun performans, yanma ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *12*(2), 1-1. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2851159

Güven, Ö., Aktaş, T, & Kılıç, E. (2010). Türkiye koşullarında üretilen biyodizelin bazı özelliklerinin standartlara uygunluğunun ve yakıt püskürtme miktarı üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, *7*(2), 167-177. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/178446

Hacıkadiroğlu, H. (2007). *Bitkisel yağ esterleri - motorin karışımının motor performansı ve emisyonlarına etkisi* [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. Yıldız Teknik Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. http://localhost:6060/xmlui/handle/1/10148

Haşimoğlu, C., İçingür, Y., & Özsert, İ. (2008). Turbo şarjlı bir dizel motorda yakıt olarak biyodizel kullanılmasının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *23*(1). https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/75542

Heywood J.B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGrawHill Education.

Hoang, A. T., & Le, A. T., (2019). A review on deposit formation in the injector of diesel engines running on biodiesel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, *41*(5), 584-599. https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1520342

Hosseini, S.H., Taghizadeh-Alisaraei, A., Ghobadian, B., Abbaszadeh-Mayvan, A. (2017) Performance and Emission Characteristics of a CI Engine Fuelled with Carbon Nanotubes and Diesel-Biodiesel Blends. *Renewable Energy*, 111, 201-213. https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.013

Işık, M. Z., Topkaya, H., İşcan, B., and Aydın, H., 2020, Combustion, performance, and emissions of safflower biodiesel with dimethyl ether addition in a power generator diesel engine. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 1-16. https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1756993

İşler, A. (2007). *Kanola yağı etil esteri ve e-dizel* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi] İstanbul Teknik Üniversitesi Açık Erişim Sistemi http://hdl.handle.net/11527/2666

Kahraman, H., Cesur, İ., Beytullah, E., & Çoban, A. (2023). Biyodizel yakıt kullanan içten yanmalı motorlarda aşınma-sürtünme optimizasyonu ve tahmini için taguchi ve yapay sinir ağı uygulaması. *Politeknik Dergisi*, 1-1. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2820402

Karabektas, M., & Hosoz, M. (2009). Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends. *Renewable Energy*, *34*(6), 1554–1559. https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.11.003

Karaosmanoğlu, F. (2006). Biyoyakıt teknolojisi ve İTÜ araştırmaları, *ENKÜS 2006: İTÜ Enerji Çalıştayı ve Sergisi Bildiriler ve Sunumlar, Enerji Enstitüsü Yayınları, No:2006/*1, 110-146. (Çevrimiçi erişim tarihi 15.10.2023, https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/103/41103125.pdf#page=120

Kerschbaum, S. & Rinke, G. (2003) Measurement of the temperature dependent viscosity of biodiesel fuels, *Fuel*, *83*(3), 287-291. 10.1016/j.fuel.2003.08.001

Keskin, A., Gürü, M., & Altıparmak, D. (2006). Tall yağı biyodizelinin dizel yakıtı ile % 90 oranındaki karışımının alternatif dizel yakıtı olarak incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *22*(1). https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/75567

Khan, S. A., Hussain, M. Z., Prasad, S., & Banerjee, U. C. (2009). Prospects of biodiesel production from microalgae in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *13*(9), 2361-2372. https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.04.005

Kıllı, F. & Beycioğlu, T. (2019). Türkiye'de ve Dünyada yağlı tohum ve ham yağ üretim durumu Türkiye yağlı tohum üretimine ilişkin önemli sorunlar. *Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi*, *1*(5), 17-33. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/902900

Kıvrak, A. N. (2023). *Dizel-biyodizel-bütanol ve biyodizel-bütanol karışımlarının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://acikkaynak.bilecik.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11552/3096/10543596.pdf?sequence=9

Kittelson, D. & David B. (1998). Engines and nanoparticles: *A review. Journal of Aerosol Science*, *29*(5–6), 575–588. https://doi.org/10.1016/S0021-8502(97)10037-4

Knothe G. (2005). Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Processing Technology*, *86*(10), 1059-1070. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2004.11.002

Knothe, G. & Steidley, K. R. (2005). Lubricity of components of biodiesel and petrodiesel. The origin of biodiesel lubricity. *Energy & fuels*, *19*(3), 1192-1200. https://doi.org/10.1021/ef049684c

Kumar A., Salhotra, K. R. and Ishtiaque, S. M. 2006, Analysis of Spinning Process Using The Taguchi Method. Part V: Effect of Spinning Process Variables On Physical Properties of Ring, Rotor and Air-Jet Yarns. Journal of The Textile Institute, Vol. 97 No. 6 pp. 463–473. https://doi.org/10.1533/joti.2005.0111

Kutlucan, S. (2018). *Dünya'da ve Türkiye'de sentetik iplik üretimi* [Powerpoint Sunum].https://www.uludag.edu.tr/dosyalar/tekstil/Seminer/Seminer_2018_2019_Guz/2018.12.26_Sadik_Kutlucan_Sunum.pdf

Leedham, A., Caprotti, R., Graupner, O. & Klaua, T. (2004). Impact of fuel additives on diesel injector deposits (No. 2004-01-2935). SAE Technical Paper. https://doi.org/10.4271/2004-01-2935

Leung D.Y.C., Wu X., & Leung M.K.H. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification, *Applied Energy*, *87*(4), 1083–1095. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.10.006

Liaquat, A. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Fattah, I. R., Hazrat, M. A., Varman, M., & Shahabuddin, M. (2013). Effect of coconut biodiesel blended fuels on engine performance and emission characteristics. *Procedia Engineering*, 56, 583-590. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.163

Lieberz, S. (2018). *Biofuel Mandates in the EU by Member State in 2018.* https://l24.im/xjAw1V

Lin, Y.F., Wu, Y.P.G. & Chang, C.T., (2007). Combustion characteristics of waste-oil produced biodiesel/diesel fuel blends, *Fuel*, 86, 1772–1780 https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.01.012

Mbarawa, M. (2010) "The effect of clove oil and diesel fuel blends on the engine performance and exhaust emissions of a compression-ignition engine", *Biomass and Bioenergy*, 34, 155-1561. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.05.004

MEB (2011). *Giyim Üretim Teknolojisi Tekstil Lifleri*.

MEB (2012). *Tekstil Teknolojisi Filament İplik Üretimi*

Mohammed, M. N. (2018). FT-IR, UV-VIS, TGA, DSC characteristics, engine and emissions performance of complementary butanol-diesel blends with hemp (Cannabis sativa L.) methyl ester [Yüksek Lisans Tezi Erciyes Üniversitesi]

Monyem, A., Van Gerpen, J. H., & Çanakçı, M. (2001). The effect of timing and oxidation on emissions from biodiesel-fueled engines. *Transactions of the ASAE*, *44*(1), 35–42. https://doi.org/10.13031/2013.230

Nişancı, S. (2007). *Biyodizel yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin deneysel araştırılması*. [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi] Yıldız Teknik Üniversitesi Açık Erişim Adresi http://localhost:6060/xmlui/handle/1/10155

Noureddini H., Gao X. & Philkana R. S. (2005). Immobilized pseudomonas cepacia lipase for biodiesel fuel production from soybean oil. *Bioresource Technology*, *96*(7), 769–777. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.05.029

OECD/FAO. (2015). *Vegetable Oil Projections: Consumption, Per Capita Food Use*. OECD Agriculture Statistics (Database). https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2015/vegetable-oil-projections-consumption-per-capita-food-use_agr_outlook-2015-table132-en

Ogejo, J. A. & Grisso, R. D. (2015). Biodiesel fuel, Virginia State University, *Virginia Cooperative Extension Publication,* 442-880. https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/75465/442%20880.pdf?sequence=1

Oğuz, H., Eryılmaz, T., Öğüt, H., Demir, F. & Ciniviz, M. (2009). A research on the direct utilization of standart vegetable oils as a fuel in the dizel engine, *Journal of Agricultural Machinery Science*, *5*(1), 15-20. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/118984

Oğuz, H. (2004). *Tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarında fındık yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanım imkanlarının incelenmesi* [Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi]. Selçuk Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. http://hdl.handle.net/123456789/4806

Oral, M. (2008). *Farklı yakıtlarla dizel motorun performans ve is emisyon karakteristiklerinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. http://hdl.handle.net/11527/3878

Öğüt, H. & Oğuz, H. (2006). *Biyodizel üçüncü milenyumun yakıtı*. Nobel Yayınevi.

Öğüt, H., Oğuz, H., Bacak, S., Aydın, F., Uygun, S., Arslan, Y., & Subaşı, İ. (2014). Pelemir biyodizelinin teknik özelliklerinin incelenmesi. Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı, 28-29 Mayıs 2014, Samsun.

Önem Koç, E. & Sekmen, P. (2009). Dizel yakıtların yağlayıcılık özelliklerinin belirlenme yöntemleri. *Teknolojik Araştırmalar Dergisi*, *1*(2), 1-8. Erişim adresi: https://hdl.handle.net/20.500.11857/424

Örnek, S. S. (2007). *Dizel motorlarda biyodizel kullanımının egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi], Pamukkale Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://hdl.handle.net/11499/1389

Özçelik, A. E. (2011). *Aspir biyodizelinin ve motorinle karışımlarının tek silindirli bir dizel motorda yağlama yağına etkilerinin belirlenmesi.* [Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi]. Selçuk Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. http://acikerisimarsiv.selcuk.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1355/302516.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Özdemir, M. (2011) *Bir dizel motorda biyodizel ve etanol kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması.* [Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi]. Karabük Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. http://acikerisim.karabuk.edu.tr:8080/xmlui/handle/123456789/1946

Özdemir, Z. Ö., & Mutlubaş, H. (2017). Heterojen Katalizör Tasarımlı Biyodizel Üretimi. *Journal Of The Institute Of Science And Technology*, 9(4), 2157-2165. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/849245

Özer, S., E. Vural, & B. Özdalyan. (2011). Dizel Motorlarında Kanola Yağı Metil Esteri-Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri. 2011. 3(1): p. 9-18.

Özoğuz, B. (2007). *Biodiesel yakıtı ile çalıştırılan bir diesel motorunda hava fazlalık katsayısı kontrolü ile azot oksit emisyonunun azaltılması*. [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi] Yıldız Teknik Üniversitesi Açık Erişim Sistemi http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/1/10147/0030467.pdf?sequence=1

Özsezen, A. N., & Çanakçi, M. (2009). Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 15(2), 173-180. https://jag.journalagent.com/pajes/pdfs/PAJES_15_2_173_180.pdf

Öztürk, H. (2023). *Enerji, N. dizel-biyodizel yakıt karışımına yüksek molekül ağırlıklı alkol ilavesinin motor performans, yanma ve emisyon karakteristiklerine etkisi.* [Yüksek Lisans Tezi, Muş Alparslan Üniversitesi] Muş Alparslan Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Öztürk, Y. E., Altınkurt, M. D., & Türkcan, A. (2020). Dizel-biyodizel-izobütanol üçlü karışımları kullanılan bir dizel motorda performans ve emisyon karakteristiklerinin deneysel olarak incelenmesi. *Uluslararası Yakıtlar Yanma ve Yangın Dergisi*, 8, 56-66. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1390257

Park, W.S., (2010). Optimization of Combustion Chamber Geometry for Stoichiometric Diesel Combustion Using a Micro Genetic Algorithm, *Fuel Processing Technology*, 91(11), 1742-1752. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.07.015

Patil D. S., Chopade, D.A., & Kumbhalkar, M.A., (2018). Experimental investigation of effect of cerium oxide nanoparticles as a fuel additive in cottonseed biodiesel blends. Journal of Mechanical Engineering, 1, 1-12. https://mayfeb.com/index.php/MEC/article/view/244

Raheman, H., & Phadatare, A. G. (2004). Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel. Biomass and bioenergy, 27(4), 393-397. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.03.002

Reksowardojo, I. K., Setiapraja, H., Fajar, R., Wibowo, E. & Kusdiana, D. (2020). An investigation of laboratory and road test of common rail injection vehicles fueled with B20 biodiesel. Energies, 13(22), 6118. https://doi.org/10.3390/en13226118

Sakthivela, R., Rameshb, K., Purnachandrana, R. & Shameera, P.M. (2018). A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2970– 2992. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.037

Sathiyamoorthi, R., & Sankaranarayanan, G. (2016). Effect of antioxidant additives on the performance and emission characteristics of a DICI engine using neat lemongrass oil–diesel blend. *Fuel*, 174, 89-96. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.01.076

Sayın, C., & Çanakçı, M. (2009). Effects of injection timing on the engine performance and exhaust emissions of a dual-fuel diesel engine. *Energy Conversion and Management*, *50*(1), 203–213. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.06.007

Schwab, A.W., Bagby, M.O. & Freedman, B. (1987). Preparation and properties of diesel fuels from vegetables oils, *Fuel*, *66*(10), 1372–1378. https://doi.org/10.1016/0016-2361(87)90184-0

Sekmen, Y. & Aktaş, A. (2008). Soya yağı metil esterinin motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri, *Politeknik Dergisi*, *11* (3), 249-254.

Senthil Kumar, M, Ramesh, A, & Nagalingam, B., (2003) Use of hydrogen to enhance the performance of a vegetable oil fuelled compression ignition engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, 28, 1143 –1154 https://doi.org/10.1016/S0360-3199(02)00234-3

Serrano, L., Lopes, M., Pires, N., Ribeiro, I., Cascão, P., Tarelho, L., Monteiro, A., Nielsen, O. J., Da Silva, M. G., & Borrego, C. (2015). Evaluation on effects of using low biodiesel blends in a EURO 5 passenger vehicle equipped with a common-rail diesel engine. *Applied Energy*, *146*, 230–238. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.063

Seven, İ. (2017). *Bir dizel motorlu jeneratörün egzoz emisyonları üzerinde farklı dizel yakıtların etkisi* .[Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Batman Üniversitesi. https://earsiv.batman.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12402/1711/1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sezer, İ. (2016). Dizel yakıtı, biyodizel yakıtı ve karışımlarının içten yanmalı motorlara etkilerinin teorik incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *31*(4), 799-812. http://dx.doi.org/10.17341/gummfd.13754

Shu, G., Dong, L., Liang, X. (2012). A review of experimental studies on deposits in the combustion chambers of internal combustion engines. *International Journal of Engine Research*, 13(4), 357-369. https://doi.org/10.1177/1468087411427661

Solmaz, H., Calam, A., Yılmaz, E., Şahin, F., Ardebili, S. M. S., & Aksoy, F. (2023). Evaluation of MWCNT as fuel additive to diesel–biodiesel blend in a direct injection diesel engine. *Biofuels*, 14(2), 147-156. https://doi.org/10.1080/17597269.2022.2122154

Soruşbay, C., Ergeneman, M., Pekin, M. A., Kutlar, A., & Arslan, H. (2008). Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları Türkiye'deki Durumun Değerlendirilmesi.http://hkadtmk.org/Bildiriler/HKK2008/bildiriler/Soru%C5%9Fbay.pdf

Söyler, H. (2023). *Atık zeytinden ultrasonik yöntem ile üretilen biyodizelin bir dizel motorda performans ve yanma karakteristikleri üzerine etkisinin incelenmesi*, [Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi]. Marmara Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://hdl.handle.net/11424/290029

Srivastava, A. & Prasad R. (2000). Triglycerides-based diesel fuels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *4*(2), 111-133. https://doi.org/10.1016/S1364-0321(99)00013-1

Sürer, E., Solmaz, H., Yılmaz, E., Calam, A., & Duygu, İ. (2022). Dizel-biyodizel karışımına karbon nanotüp katkısının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *38*(2), 1055-1064. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1114799

Szybist, J. P., Song, J., Alam, M., & Boehman, A. L. (2007). Biodiesel combustion, emissions and emission control. *Fuel processing technology*, 88(7), 679-691. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2006.12.008

Şanlı, H. (2005). *Farklı alkol ve katalizör kullanımının biyodizel üretimindeki etkileri,* [Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi]. Kocaeli Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/420019

Şanlı, H., & Çanakçı, M. (2005) Dizel Motorlar İçin Yükselen Bir Alternatif Yakıt: Biyodizel. https://www.emo.org.tr/ekler/48a38cd25abeab0_ek.pdf

Şahbaz, Y. (2019). *Türkiye'de biyodizel üretimi rekora koşuyor*. Anadolu Ajansı. https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/turkiyede-biyodizel-uretimi-rekorakosuyor/1645045#

Şahin, H. (2022). *Dizel motorda etanol–biyodizel kullanımının motor parametrelerine etkisi* [Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi] Karabük Üniversitesi Açık Erişim Sistemi http://acikerisim.karabuk.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1946/10469835.pdf?sequence=1

Şengürler, S. (2011) . *İçten yanmalı motorlarda yanma sonucu ısı açığa çıkış oranı modellerinin birbirleri ile karşılaştırılarak farklılıklarının incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. Yıldız Teknik Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. http://www.dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/1/10501/0072660.pdf?sequence=1&isAllowed

Şimşek, S. (2021). pirolize edilmiş lastik yağı kullanılarak elde edilen yakıtın tek silindirli dizel motor performans ve emisyonlara etkisi. *Mühendislikte Yakıtlar, Yangın ve Yanma Dergisi, 8*, 28-36. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1393064

Taylor, C. F. (1985). *Internal Combustion Engine in Theory and Practice, second edition, revised, Volume 1: Thermodynamics, Fluid Flow, Performance*. MIT Press.

Tayyar, A. E., & Üstün, S. (2010). Geri Kazanılmış Pet'in Kullanımı. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 16(1). https://jag.journalagent.com/pajes/pdfs/PAJES_16_1_53_62.pdf

Tillem, İ. (2005) *Dizel motorlar için alternative yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı.* [Yüksek Lisans Tezi Pamukkale Üniversitesi]. Pamukkale Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://hdl.handle.net/11499/1214

Tudu, K, Murugan S., & S. K. Patel, (2016). "Effect of tyre derived oil-diesel blend on the combustion and emissions characteristics in a compression ignition engine with internal jet piston geometry", *Fuel*, c. 184, ss. 89-99, Kas. 2016, doi: 10.1016/j.fuel.2016.06.065. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.06.065

TÜİK (2021). Türkiye İstatistik Kurumu, Tahıllar ve Diğer Bitkisel Ürünler, Yağlı Tohumlar. Erişim adresi: https://data.tuik.gov.tr/Search/Search?text=ya%C4%9Fl%C4%B1%20tohum

Tziourtzioumis, D. N., & Stamatelos, A. M. (2019). Diesel-injection equipment parts deterioration after prolonged use of biodiesel. *Energies*, 12(10), 1953. https://doi.org/10.3390/en12101953

Uğur, Ş.S. (2004). *Poliesterin dispers boyarmaddelerle boyama yöntemlerinin karşılaştırılması.* [Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi]. Süleyman Demirel Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://acikerisim.sdu.edu.tr/handle/123456789/27454

Ulusoy, Y. (1999) *Ayçiçeği, kolza, pamuk ve soya yağlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi üzerine karşılaştırmalı bir araştırma*, [Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. Bursa Uludağ Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. http://hdl.handle.net/11452/4462

Ulusoy, Y., Tekin, Y., Cetinkaya, M. & Karaosmanoglu, F. (2004). The engine tests of biodiesel from used frying oil. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 26, 927-932. http://dx.doi.org/10.1080/00908310490473219

Ulusoy, Y., Arslan, R., Kaplan, C., Bolat, A., Cedden, H., Kaya, A., & Günç, G. (2016). An investigation of engine and fuel system performance in a diesel engine operating on waste cooking oil. *International Journal Of Green Energy*, 13(1), 40-48. https://doi.org/10.1080/15435075.2014.909360

U.S. Department of Energy. (2009). *Biodiesel Handling and Use Guide (Fourth Edition).* National Renewable Energy Laboratory (NREL). https://farm-energy.extension.org/wp-content/uploads/2019/04/2009-NREL-Biodiesel-Handling-and-Use-Guide.pdf

Uslu S. (2019) Atık Lastik Piroliz Yağı ile Çalışan Bir Dizel Motorda Emisyon ve Performansın Eşzamanlı Tahminine Yönelik Bir Cevap Yüzey Metodunun Geliştirilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1261-1278. https://doi.org/10.29130/dubited.546020

Uyanık, S. & Çelikel, D. C. (2019). Türk tekstil endüstrisi genel durumu. *Teknik Bilimler Dergisi*, *9* (1), 32-41. https://dergipark.org.tr/en/pub/tbed/issue/43343/460866

Uyar, M. M., & Esen, H. (2020). Experimental investigation of the use of biofuels in mobile power plants. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, *4*(2), 73–81. https://doi.org/10.46460/ijiea.817012

Vural, E., Şimşek, D. & Özer, S. (2016). *The analysis of the effect of diesel fueladditive 5%, compression ratio and ınjection pressure on the performance with diesel-rk programme*, International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16) Kilis, Turkey. https://www.researchgate.net/publication/339069687_5_

Wakuri, Y., Soejima, M., Ejima, Y., Hamatake, T., & Nakajima, H. (1995). Studies on friction characteristics of reciprocating engines. *SAE Technical Paper Series*. https://doi.org/10.4271/952471

World Energy Outlook 2024. (2023). Economist Intelligence. https://l24.im/ij9MA

Yang, Z., Hollebone B. P., Wang Z., Yang C., Brown C. & Landriault M. (2014). Storage stability of commercially available biodiesels and their blends under different storage, *Fuel*, 115, 366-377. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236113006388

Yanmaz, V. (2018) Bitkisel Atık Yağların Yönetimi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Özel Atıkların Yönetimi Şube Müdürlüğü.

Yaşar, F. (2016). *Yosun yağından biyodizel üretimi ve bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak kullanılması*.[Doktora Tezi Batman Üniversitesi] Batman Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://earsiv.batman.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12402/1712

Yılancılar, M. S. (2020). *Ketencik yağı metil esterine pentanol ilavesinin dizel motor performans parametrelerine etkilerinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi]. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/222110/yokAcikBilim_10330176.pdf?sequence=-1&isAllowed=y

Yıldırım, F. F., Avinc, O., & Yavas, A. (2012). Elastic polyester. In 19th International Conference on Structure and Structural Mechanics of Textile Fabrics (STRUTEX). https://www.researchgate.net/profile/Filiz-Yildirim/publication/336852654_Elastic_Polyester/links/5dd4cdaf458515cd48ac1569/Elastic-Polyester.pdf

Yıldız, M. (2008). *Atık yağlardan biyodizel üretimi ve karakterizasyonu* [Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi]. Namık Kemal Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://hdl.handle.net/20.500.11776/381

Yurtvermez, B. & Gıdık, B. (2021). Yağlı tohumlu bitkiler ve kullanım alanları. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *4*(2), 139-145. Erişim Adresi: https://dergipark.org.tr/tr/pub/bufbd/issue/67157/932881

Yüce, İ. (2008). *Alternatif yakıt olarak biyodizelin türkiye' deki ve almanya' daki durumu ile taşıtlarda kullanımının incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. http://hdl.handle.net/11527/3895

Zhao, M. (2023), 9 Şubat). *Turkey's polyester market and raw material import/export overview*. CCFGroup. https://l24.im/Kfm3qag

Zhen-Yi, C., Xing, J., Li, S., & Li, L. (2004). Thermodynamics calculation of the pyrolysis of vegetable oils. *Energy Sources*, *26*(9), 849–856. https://doi.org/10.1080/00908310490465902

Zheng, M., Mulenga, M. C., Reader, G. T., Wang, M., Ting, D. S., & Tjong, J. (2008). Biodiesel engine performance and emissions in low temperature combustion. *Fuel*, *87*(6), 714–722. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.05.039