



**TARIM TRAKTÖRLERİNDE BİYODİZEL (B20) VE
DİZEL YAKITI KULLANIMININ MOTORUN
AŞINMAYA MARUZ KALAN PARÇALARI
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**
Alper BOLAT



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARIM TRAKTÖRLERİNDE BİYODİZEL (B20) VE DİZEL YAKITI
KULLANIMININ MOTORUN AŞINMAYA MARUZ KALAN PARÇALARI
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Alper BOLAT
0000-0002-7107-5347

Doç. Dr. İlknur ALİBAŞ
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

TARIM TRAKTÖRLERİNDE BİYODİZEL (B20) VE DİZEL YAKITI KULLANIMININ MOTORUN AŞINMAYA MARUZ KALAN PARÇALARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Alper BOLAT

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İlknur ALİBAŞ

Bu çalışmada, %20 biyodizel + %80 dizel yakıt karışımının (B20), dizel yakıt ile karşılaştırmalı olarak motor performansı, motor ana parçaları ve enjektörler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla aynı marka ve modelde 55 kW gücündeki iki farklı tarım traktörü benzer tarımsal işlerde hem dizel yakıtı hem de B20 yakıt karışımı kullanılarak 1000 saat çalıştırılmıştır. Yapılan performans testlerinde B20 yakıt kullanımında dizel yakıtı göre %3 güç, %2 tork düşüşü ve özgül yakıt tüketiminde %5 artış olduğu tespit edilmiştir. Emisyonlarda karbonmonoksit (CO) %40, hidrokarbon (HC) %19, partikül madde (PM) değerlerinde %46 düşme ve azotoksit (NO_x) değerinde %7 artış olduğu görülmüştür. Traktörlerin tarlada çalışma esnasında 200 saat bakım aralıklarında alınan yağların numune analizlerinde yağın içerisinde kayda değer aşınma metallerine ve kimyasal analiz sonuçlarında olumsuzluğa rastlanmamıştır. 1000 saat sonrasında demonte edilen her iki motorun ana parçalarının görsel incelemesi de motor yağı analiz sonuçlarını desteklemektedir. 1000 saatlik çalışmadan sonra, her bir enjektör iğnesi ve meme ucu, görsel inceleme, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını (EDX) yoluyla enjektör memesinin işlevsel değerlendirmesi açısından incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre B20 yakıtı için, C oranının %73,47, O oranının ise %23,34 olarak elde edildiği diğer elementlerin ise oransal olarak %1'in altında değerlerde oldukları görülmektedir. Aynı şekilde dizel yakıtı için C %50,49, O'nin ise %19,95 olarak tespit edildiği diğer elementlerin değerlerinin yüzdesel olarak düşük kaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, enjektör meme uçları ve iğneleri üzerindeki tortuları incelemek için Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) spektral analizi de kullanıldı. Enjektör iğnelerinde poliizobütilen süksinimit (PIBSI) ve inorganik bileşenler, enjektör meme uçlarında ise yaşlandırma ürünleri ve inorganik bileşenler gözlemlendi. Enjektör meme fonksiyonu açısından B20 ve dizel yakıt sonuçları arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, B20, motor performansı, motor yağ analizi, enjektör
2022, xv + 79 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF THE USE OF BIODIESEL (B20) AND DIESEL FUEL IN AGRICULTURAL TRACTORS ON THE WEAR PARTS OF THE ENGINE

Alper BOLAT

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İlknur ALİBAŞ

In this study, the effects of fuel blend of 20% biodiesel + 80% diesel (B20) on engine performance, engine main parts and injectors were investigated in comparison with diesel fuel. For this purpose, two different 55 kW powered agricultural tractors of the same brand and model were operated for 1000 hours under similar agricultural field conditions using both diesel fuel and B20. In the performance tests, it has been determined that there is a 3% power, 2% torque decrease and 5% increase in specific fuel consumption compared to diesel fuel in the use of B20. It was observed that values decreased for carbon monoxide (CO) 40%, hydrocarbon (HC) 19%, particulate matter (PM) 46% and increased for nitrogen oxide (NO_x) 7% in emissions. In the sample analyses of the engine oils taken at the maintenance intervals of 200 hours during the working of the tractors in the field, significant wear metals in the engine oil and no negativity in the chemical analysis results were found. Visual inspection of the main parts of both engines, which were disassembled after 1000 hours, also supports the engine oil analysis results. After 1000 h of operation, each injector needle and nozzle tip was examined in terms of a functional evaluation of the injector nozzle via visual inspection, scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray (EDX). According to results of these analyses, B20 fuel blend's C content was determined to be 73.47% and O content 23.34%, quantity of other elements was determined to be lower than 1%. Similarly, as for diesel fuel, C content was determined to be 50.49% and O 19.95% and other elements are in trace amounts. Furthermore, Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) spectral analysis was also used to examine the deposits on the injector nozzle tips and needles. Polyisobutylene succinimide (PIBSI) and inorganic components were observed on the injector needles and aging products and inorganic components on the injector nozzle tips. No significant difference was found between the results of the diesel fuel and B20 fuels in terms of injector nozzle function.

Key words: Biodiesel, B20, engine performance, engine oil analysis, fuel injector
2022, xv + 79 pages.

ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR

Doktora eğitim süresince, destekleriyle yanımda olan değerli danışmanlarım Sayın Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ ve Doç. Dr. İlknur ALİBAŞ'a, teknik ve manevi desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Yahya ULUSOY, Sayın Dr. Ersin Veli VULKAN ve Sayın Ender DÜZGÜNER'e, çalışmalarım sırasında her türlü yardımlarını esirgemeyen işyerim Türk Traktör ve Ziraat Makineleri A.Ş.'ye, doktora eğitimim süresince çalışmalarımı destekleyen Sayın Necmi DÜNDAR ve iş arkadaşlarıma, tez projeme maddi destek sağlayan Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi'ne (DDP(Z)-2017-17), maddi ve manevi olarak her türlü desteği veren aileme ve zamanlarını çaldığım canım kızlarım Ayşe Deniz BOLAT ve Doğa BOLAT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Alper BOLAT
../../....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Biyodizel.....	2
1.2. Biyodizel ve Dizel Yakıtların Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	3
1.2.1. Setan Sayısı.....	3
1.2.2. Viskozite.....	4
1.2.3. Isıl Değer.....	5
1.2.4. Özgül Ağırlık.....	5
1.2.5. Bulutlanma ve Akma Noktaları.....	6
1.2.6. Alevlenme Noktası.....	6
1.2.7. Kükürt İçeriği.....	6
1.2.8. Su Miktarı.....	7
1.2.9. Kül Miktarı.....	7
1.3. Biyodizel Kullanımının Getirileri.....	7
1.4. Biyodizel Kaynaklarının Ülkemizdeki Durumu.....	11
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	15
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	23
3.1. Materyal.....	23
3.1.1. Saha Uygulamalarının Yapıldığı Yer.....	23
3.1.2. Deneme Traktörlerinin Özellikleri.....	23
3.1.3. Denemelerde Kullanılan Yakıtlar.....	25
3.1.4. Emisyon Ölçüm Düzeneği.....	25
3.1.5. Kuyruk Mili (PTO) Performans Test Düzeneği.....	30
3.1.6. Motor Yağı Analizinde Kullanılan Cihazlar.....	31
3.1.6.1. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskobu.....	32
3.1.6.2. Viskozimetre.....	32
3.1.6.3. Toplam Asit ve Baz Numarası Tayin Cihazı.....	33
3.1.6.4. İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi (ICP-AES).....	35
3.1.6.5. Alevlenme Noktası Tayini.....	35
3.1.6.6. Karl Fischer Su Tayin Cihazı.....	36
3.1.7. Enjektör İncelemesinde Kullanılan Cihazlar.....	37
3.2. Yöntem.....	39
3.2.1. Kuyruk Mili (PTO) Performans Testleri.....	39
3.2.2. Emisyon ölçümleri.....	39
3.2.3. Yağ Analizleri ve Motor Ana Parçalarının İncelenmesi.....	41
3.2.4. Enjektör Test ve Analizleri.....	41
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	42
4.1. Kuyruk Mili (PTO) Performans Sonuçları.....	42

4.2. Emisyon Ölçüm Sonuçları	44
4.3. Motor Yağı Analiz Sonuçları	45
4.4. Motor Ana Parçalarının Görsel Analiz Sonuçları	49
4.5. Enjektör Meme Analiz Sonuçları	53
4.5.1. Enjektör Memelerinin Fonksiyonel Değerlendirmesi ve Görsel Kontrolü	54
4.5.2. FTIR, SEM ve EDX Analizleri	57
4.5.2.1. Enjektör Meme Uçlarının ve Meme İğnelerinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi	57
4.5.2.2. Enjektör Meme Ucu ve Meme İğnesi Üzerindeki Tortuların FTIR Spektroskopisi ve EDX Element Analizleri	62
4.5.2.2.1. Enjektör Meme Ucu ve Meme İğnesi Üzerindeki Tortuların FTIR Spektroskopisi Analizi	62
4.5.2.2.2. EDX element analizleri	63
5. SONUÇ	69
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	78

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Al	Alüminyum
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
Cl	Klor
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
g/cm ³	Gram/santimetreküp
H	Hidrojen
h	Saat
HC	Hidrokarbon
K	Potasyum
Kg	Kilogram
KOH	Potasyum hidroksit
kW	Kilowatt
l	Litre
Mg	Magnezyum
min ⁻¹	Devir/dakika
Mo	Molibden
mPa s	Milipaskal saniye
N	Azot
Na	Sodyum
Ni	Nikel
Nm	Newton metre
NO _x	Azotoksit
O	Oksijen
P	Fosfor
Pb	Kurşun
S	Kükürt, sülfür
Si	Silisyum
Sn	Kalay
V	Vanadyum
W	Tungsten
Zn	Çinko
µm	Mikron

Kısaltmalar Açıklama

ASTM	Amerika Birleşik Devletleri Test ve Malzeme Derneği
B100	%100 biyodizel
B80	%80 biyodizel + %20 dizel yakıt karışımı
B50	%50 biyodizel + %50 dizel yakıt karışımı
B40	%40 biyodizel+ %60 dizel yakıt karışımı
B30	%30 biyodizel+ %70 dizel yakıt karışımı
B20	%20 biyodizel + %80 dizel yakıt karışımı
B5	%5 biyodizel + %95 dizel yakıt karışımı
BSFC	Özgöl yakıt tüketimi
COC	Su tayini
COOH	Karbosilik Asit
DOC	Dizel oksidasyon katalizörü
DPF	Dizel partikül filtresi
ECU	Motor elektronik kontrol ünitesi
EDS	Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopu
EDX	Enerji dağılımlı X-ışını analizi
EGR	Egzoz gaz devridaim sistemi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
FTIR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopi yöntemi
GHG	Sera gazı emisyonu
HP	Beygir gücü
ICP-AES	İndüktif eşleşmiş plazma atomik emisyon spektrometresi
nPAH	Nitratlı polisiklik aromatik hidrokarbonlar
PAH	Polisiklik aromatik hidrokarbonlar
PIBS	Poliizobütilen süksinimit
PM	Partikül madde
ppm	Milyondaki parçacık sayısı
PTO	Kuyruk mili
SEM	Taramalı elektron mikroskopu
TAN	Toplam asit sayısı
TBN	Toplam baz sayısı
ULSD	Düşük sülfür içeren dizel yakıt
VGT	Değişken debili turboşarj
VI	Viskozite indeksi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Daire Başkanlığı verilerine göre bitkisel atık yağ toplanma oranlarının yıllara göre değişimi (Yanmaz, 2018).....	13
Şekil 3.1. Test traktörü ve uygulama alanı.....	23
Şekil 3.2. New Holland 75-56s deneme traktörü	24
Şekil 3.3. Deneme düzeneği şematik çizimi	27
Şekil 3.4. A/C dinamometre genel görünümü.....	28
Şekil 3.5. Yakıt tüketimi ölçüm cihazı.....	28
Şekil 3.6. Egzoz emisyon ölçüm cihazı	29
Şekil 3.7. PM tartım kabini	29
Şekil 3.8. Duman yoğunluğu ölçüm cihazı	30
Şekil 3.9. Kuyruk mili (PTO) test düzeneği.....	31
Şekil 3.10. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopu.....	32
Şekil 3.11. Viskozimetre	33
Şekil 3.12. Toplam baz numarası tayin cihazı	34
Şekil 3.13. Toplam asit numarası tayin cihazı	35
Şekil 3.14. ICP-AES tayin cihazı.....	36
Şekil 3.15. Alevlenme noktası tayin cihazı.....	36
Şekil 3.16. Karl Fisher su tayin cihazı	37
Şekil 3.17. Enerji dağılımlı X ışını spektrometresi.....	38
Şekil 3.18. Elektron mikroskopu.....	38
Şekil 4.1. B20 ve dizel yakıt motor güç değerleri.....	42
Şekil 4.2. B20 ve dizel yakıt motor tork değerleri	43
Şekil 4.3. B20 ve dizel yakıt özgül yakıt tüketim değerleri	43
Şekil 4.4. B20 ve dizel yakıt emisyon değerleri.....	44
Şekil 4.5. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan traktör motorları	49
Şekil 4.6. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan silindir kapakları.....	49
Şekil 4.7. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan motor supapları.....	50
Şekil 4.8. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan kol yatakları.....	50
Şekil 4.9. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan krank mili yatakları	50
Şekil 4.10. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan pistonlar	51
Şekil 4.11. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan krank milleri	51
Şekil 4.12. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan silindir cidarları	51
Şekil 4.13. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan turboşarj üniteleri	52
Şekil 4.14. Enjektör memesinin kısımları	54
Şekil 4.15. B20 ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı enjektörler (temizleme öncesi)	55
Şekil 4.16. B20 ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme gövdesi (temizleme öncesi)	55
Şekil 4.17. B20 ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme uçları (nozzle tips).....	55
(temizleme öncesi)	55
Şekil 4.18. B20 ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme şaftı (nozzle stems) (temizleme öncesi)	55
Şekil 4.19. Dizel yakıt ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı enjektörler (temizleme öncesi)	56

Şekil 4.20. Dizel yakıt ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme gövdesi (temizleme öncesi)	56
Şekil 4.21. Dizel yakıt ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme uçları (nozzle tips) (temizleme öncesi)	56
Şekil 4.22. Dizel yakıt ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme şaftı (nozzle stems) (temizleme öncesi)	56
Şekil 4.23. B20 ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme uçları (nozzle tips) (temizleme sonrası)	57
Şekil 4.24. Dizel yakıt ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme uçları (nozzle tips) (temizleme sonrası)	57
Şekil 4.25. B20 ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme şaftı (nozzle stems) (temizleme sonrası)	58
Şekil 4.26. Dizel yakıt ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme şaftı (nozzle stems) (temizleme sonrası)	58
Şekil 4.27. B20 ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı püskürtme çıkışı ve iğne oturma alanı (temizleme sonrası)	58
Şekil 4.28. Dizel yakıt ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı püskürtme çıkışı ve iğne oturma alanı (temizleme sonrası)	59
Şekil 4.29. B20 ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı meme uçları (nozzle tips) (temizleme öncesi)	60
Şekil 4.30. B20 ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı meme uçları (nozzle tips) (temizleme sonrası)	60
Şekil 4.31. Dizel yakıt ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı meme uçları (nozzle tips) (temizleme öncesi)	60
Şekil 4.32. Dizel yakıt ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı meme uçları (nozzle tips) (temizleme sonrası)	60
Şekil 4.33. B20 ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı meme gövdesi oturma yüzeyi (temizleme öncesi)	61
Şekil 4.34. B20 ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı meme gövdesi oturma yüzeyi (temizleme sonrası)	61
Şekil 4.35. Dizel yakıt ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı meme gövdesi oturma yüzeyi (temizleme öncesi)	61
Şekil 4.36. Dizel yakıt ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı meme gövdesi oturma yüzeyi (temizleme sonrası)	62
Şekil 4.37. B20 ve dizel yakıt FTIR analizi yapılan meme uçları	63
Şekil 4.38. B20 ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı EDX analiz sonuçları (deposit analysis)	64
Şekil 4.39. Dizel yakıt ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı EDX analiz sonuçları (deposit analysis)	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Dizel yakıt ve standart biyodizelin yakıt özellikleri (Anonim, 2016a; Çetin ve Kuş, 2009)	3
Çizelge 1.2. B100 ve B20 yakıtların emisyon karşılaştırması (Khan ve diğerleri, 2009)	9
Çizelge 1.3. Türkiye’de yağlı tohum üretim miktarları (1000 ton) (TÜİK 2021)	11
Çizelge 1.4. Biyodizel yıllık üretim miktarları ve kapasite kullanım oranları (Borovalı, 2018a)	12
Çizelge 1.5. Bitkisel tohumundan üretilen biyodizelin ikame edileceği toplam atık yağ ihtiyacı (Borovalı, 2018b)	14
Çizelge 3.1. Deneme traktörlerinin özellikleri	24
Çizelge 3.2. Deneme yakıtı yoğunluk değerleri	25
Çizelge 3.3. Denemede kullanılan biyodizelin analiz sonuçları	25
Çizelge 3.4. Denemenin yapıldığı test düzeneği özellikleri	27
Çizelge 3.5. Kuyruk mili (PTO) performans test düzeneği özellikleri	30
Çizelge 3.6. Motor yağ analizlerinde kullanılan cihazlar	31
Çizelge 3.7. ISO 8178-C1 test modları	40
Çizelge 4.1. Aşınma metalleri değerleri (mg/kg)	46
Çizelge 4.2. Kirleticilerin değerleri (mg/kg)	48
Çizelge 4.3. Kimyasal analiz sonuçları (mg/kg)	48
Çizelge 4.4. Enjektör memelerinin fiziksel ölçüm sonuçları	54
Çizelge 4.5. B20 ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı memelerde tespit edilen elementler	66
Çizelge 4.6. Dizel yakıt ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı memelerde tespit edilen elementler	66

1. GİRİŞ

21. yüzyıl enerji sürdürülebilirliği, çevre sorunları ve artan akaryakıt fiyatları gibi birçok sorunla karşı karşıyadır. Ayrıca konvansiyonel yakıtların, kükürtdioksit, karbondioksit, partikül madde ve diğer gazların emisyonları ile hava kirliliğine sebep olduğu bilinmektedir. Bu emisyonlar, alternatif yakıtların ve yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılmasını ve kullanımını desteklemiştir (Raqeeb ve Bhargavi, 2015). Yenilenebilir enerji, ülkelerin enerji ihtiyaçlarını yerli kaynaklarla karşılayarak dışa bağımlılıklarının azaltılması, kaynakları çeşitlendirerek sürdürülebilir enerji kullanımının sağlanması ve enerji tüketimi neticesinde çevreye verilen zararların en aza indirilmesi açısından son derece önemli bir yere sahiptir. Bugün dünya genelinde tüketilen enerjinin yaklaşık %20'si yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Mevcut durumda fosil yakıtlara olan bağımlılık yüksek düzeyde olmasına rağmen, yıllar itibarıyla yenilenebilir enerjinin kullanım oranları giderek artmaktadır (Karagöl ve Kavaz, 2017).

Son yıllarda petrol kaynaklarının giderek azalması, sürekli olarak artan petrol fiyatları ve fosil yakıtların kullanımı ile oluşan olumsuz çevresel etkiler; enerji arayışını alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Alternatif enerji kaynaklarının araştırılmasında ve geliştirilmesinde birçok yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler arasında yenilenebilir *“Biyokütle Enerjisi'nin”* önemi büyüktür. Hayvansal ve bitkisel kökenli maddeler biyokütle enerji kaynağı sınıfında yer alır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alan biyokütle enerjisinin alt konusu olan biyodizel, bitkisel veya hayvansal kaynaklı yağlardan elde edilen alternatif bir yakıttır. Biyodizel yakıtının üretimi diğer alternatif enerji kaynaklarına göre (rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi gibi) daha kolaydır. Düşük maliyette elde edilmesinden dolayı üretimi her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Sürdürülebilir bir enerji çeşidi olan biyodizel, sanayi, tarım ve çevre alanlarının birlikte çalışmasını sağlayarak özellikle kırsal kalkınmayı destekleyerek yeni iş sahaları oluşturmaktadır (Özdemir ve Mutlubaş, 2016).

Ülkemizin yenilenebilir enerji potansiyeli oldukça yüksek olmasına karşın enerjide dışa bağımlı bir konumdadır. Petrolde ise %90'ın üzerinde dışa bağımlıdır. Petrol fiyatlarının hızla arttığı günümüz piyasasında, mevcut yenilenebilir enerji potansiyelinin

değerlendirilmesi hem çevresel hem de ekonomik açıdan ülkemize önemli ölçüde bir katma değer sağlayacaktır. “Avrupa Birliği Yenilenebilir Enerji Direktifi”ne göre 2030 yılına kadar nihai tüketimde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının %32’ye ulaştırmada yenilenebilir enerji kaynaklarının payının %14’e çıkarılması, sera gazı salınımının %40 oranında azaltılması hedeflenmektedir. Avrupa Birliği üye ülkelerinde %0,5 ila %7 oranlarında değişen farklı harmanlama miktarları bulunmaktadır. Ülkemizde 1 Ocak 2018 tarihinde yürürlüğe giren yönetmelik gereğince dizel yakıt türevlerine %0,5 oranında biyodizel harmanlanması zorunlu hale getirilmiştir (Anonim, 2019). Ülkemizin petrolde dışa bağımlılığının azaltılması, tarımsal yağların (kolza, aspir, pamuk) üretilmesi ve atık yağların toplanabilmesindeki yüksek potansiyeli, biyodizel üretimi ve kullanımdaki katkı oranının artırılması için büyük önem taşımaktadır. Bu potansiyeli değerlendirecek politikalar sayesinde dizel yakıt ile harmanlanan biyodizel miktarı her geçen gün artacaktır.

Bu tezin amacı, i) B20 ve dizel yakıtı ile aynı marka aynı model iki farklı tarım traktörünün benzer tarımsal faaliyetlerde 1000 saat boyunca çalıştırılması, ii) her iki traktörün egzoz emisyonlarının ve kuyruk mili performanslarının ölçülmesi, iii) her 200 saatlik çalışma sonunda motor yağının özelliklerinin ortaya konması, iv) 1000 saatlik çalışma süresi sonunda farklı yakıtlarla çalışan tarım traktörlerinin aşınmaya maruz kalan parçalarının incelenmesi, ve v) egzoz ölçümleri, kuyruk mili performans testleri, yağ analizleri ve motorun aşınmaya maruz kalan parçalarındaki etkilerden yola çıkılarak B20 yakıtın tarım traktörlerinde 1000 saatlik çalışmada kullanılabilirliğinin tespit edilmesidir.

1.1. Biyodizel

Biyodizel, kolza, ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohum bitki yağlarının veya hayvansal yağların katalizör yardımıyla metanol veya etanol gibi kısa zincirli bir alkol reaksiyona girmesi sonucunda elde edilmektedir (Sinem ve Yavuz, 2022). Biyodizel, petrol kökenli dizel yakıtına fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından benzerlik göstermektedir. Bu nedenle saf olarak veya farklı oranlarda dizel yakıt ile karıştırılarak dizel motorlarda kullanılabilir. Her ülke, ekonomik ve tarımsal politikalarını göz önünde bulundurarak biyodizel kullanım oranını belirlemektedir. Biyodizel tanımlanmasında,

dizel yakıt ile karıştırılma oranlarına göre B5 (%5 Biyodizel + %95 Dizel), B20 (%20 Biyodizel + %80 Dizel), B50 (%50 Biyodizel + %50 Dizel), B100 (%100 Biyodizel) gibi farklı tanımlamalar kullanılmaktadır. Standart biyodizel ve dizel yakıtın yakıt özellikleri Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Dizel yakıt ve standart biyodizelin yakıt özellikleri (Anonim, 2016a; Çetin ve Kuş, 2009)

Yakıt Özellikleri	Birim	Sınır Değeri (min-max)	Dizel Yakıt	Biyodizel
Kapalı Formülü			$C_{12,226}H_{23,29}S_{0,0575}$	$C_{19}H_{35,2}O_2$
Molekül Ağırlığı	g/mol		120 – 320	296
Alt Isıl Değer (Kütlese)	MJ/kg		42,7	37,1
Alt Isıl Değer (Hacimsel)	MJ/l		35,5	32,6
Üst Isıl Değer* (Hacimsel)	MJ/l		38, 6	35,7
Özgül Ağırlık, 15°C		0,875 - 0,90	0,82 - 0,86	0,87 - 0,88
Kinematik Viskozite (40°C)	mm ² /s	2 - 4,5	2,5 - 3,5	4,3
Alevlenme Noktası	°C	55 -...	>55	>100
Kükürt İçeriği (Kütlese)	%	...- 0,05	<0,05	<0,01
Setan Sayısı*			40 - 55	47 - 65
Kül Miktarı (Kütlese)	%	...- 0,01	<0,01	<0,01
Su Miktarı	mg/kg	...- 200	<200	<300
Bulutlanma Noktası*	°C		-35 ...- 5	-3 ...-15
Akma Noktası*	°C		-35 ...-15	-5 ...-10

*ASTM D975 ve ASTM D6751 standartlarından faydalanılmıştır.

1.2. Biyodizel ve Dizel Yakıtların Özelliklerinin Karşılaştırılması

1.2.1. Setan Sayısı

Dizel yakıtın kendi kendine tutuşabilme kalitesini gösteren ölçüye "setan sayısı" denir. Yakıtın yanma odasına enjeksiyonunun başlaması ile yakıtın yanmasının başlaması arasındaki süreyi ilişkilendiren bir sayıdır. Setan sayısı, yakıtların diğer fiziksel özelliklerinden farklı olarak, yakıtların tutuşma kalitelerini kıyaslanabilir bir nitelik

haline getirmek amacıyla oluşturulmuş bir kavramdır. Dizel yakıtın setan sayısının motorun tasarımsal olarak motor devrine ve silindirlerin büyüklüğüne göre olması gerekmektedir. Setan sayısı yüksek olan yakıtın tutuşma kalitesi, tutuşma yatkınlığı yüksek olduğu anlamına gelir. Setan sayısı azaldıkça yakıtın kendi kendine tutuşabilme özelliği azalmaktadır. Sayı ne kadar küçükse, enjeksiyon ve yanma arasındaki süre (gecikme) o kadar uzun olur. Sayı ne kadar yüksek olursa, ateşleme ile yanma arasındaki süre o kadar kısa olur. Dizel motorlar, belirli bir setan sayısına sahip yakıtla en yüksek verimlilikte çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Setan sayısı motor için çok düşük olan bir yakıtın kullanılması yanmayı geciktirerek kötü çalıştırmaya, yakıtın tam yanmamasından kaynaklanan dumana ve dalgalı rölantiye neden olur. Aynı şekilde, beklenenden daha yüksek setan sayısına sahip yakıt kullanmak, motor hazır olmadan yakıtın çok hızlı yanmasına neden olur. Her iki durum da, motorların istenilen güç ve verimde çalışmasına engel olur. Dizel yakıtta setan sayısı 49-55 arasında değişiklik gösterirken, biyodizelde ise 55'den büyüktür. Biyodizelin setan sayısı dizel yakıtın setan sayısından yüksek olduğu için daha az motor gürültüsü ve daha az vuruntu sağlayacaktır. (Karadağ A.) Uygun setan sayısındaki yakıt özellikle soğuk hava şartlarında ilk çalıştırmaya uygunluğu ve beyaz duman oluşumunun önlenmesini sağlar (Anonim, 2016a).

1.2.2. Viskozite

Viskozite, bir akışkanın akmaya karşı direncinin derecesidir, yüksek viskoziteli maddeler güçlükle akar, daha az viskoziteli olanlar ise kolaylıkla akar. Bir yakıtın yanma odasına püskürtüldüğünde atomizasyonunu etkilediği için yanma sonrasında motorda tortularının olma eğilimi de o kadar fazla olur. ASTM D6751'e göre biyodizel için kabul edilebilir viskozite aralığı 1,9 ile 6,0 mm²/s ve EN14214'e göre yine bu değer 3,5-5 mm²/s arasındadır. Biyodizel için üst sınır, normal dizel yakıt için olan üst sınırdan (4,5 mm²/s) daha yüksektir (Anonim, 2022).

Yakıt viskozitesi gereğinden düşükse, enjeksiyon pompasında iç kaçaklarının artmasına, pompanın aşınması sonucunda motorda güç kaybına neden olabilir. Yakıt viskozitesi yüksekse, enjeksiyon pompası enjektörlere yeterli yakıtı sağlayamaz ve yine motorda güç kaybı yaşanır. Bitkisel yağlarda olduğu gibi yakıt viskozitesi yüksek ise, silindirdeki

püskürtmede oluşan zayıf atomizasyon; yağlama yağının kirlenmesine ve siyah duman oluşumuna neden olur. Biyodizel karışımlarının yüksek oranlarında artan viskozite ayrıca, motordaki enjektör püskürtme açısını değiştirerek motorda karbon birikintilerinin oluşmasına yol açar, sonuçta silindirde piston segmanlarının sıkışmasına ve ardından motor arızalarına neden olabilir. Bu durum, yakıtın silindir cidarına çarpmasından kaynaklanırken, dizel kullanımında çokça karşılaşılan bir olay değildir. Biyodizel ile dizel yakıtın harmanlanması, motor sisteminde istenilen viskozite değerine ulaşılmasını ve bu doğrultuda doğru çalışma rejiminin bu iki yakıttan kaynaklanan dezavantajlarının giderilmesini sağlar (Isioma ve diğerleri, 2013).

1.2.3. Isıl Değer

Bir yakıtın ısı değeri, yanması sırasında açığa çıkan ısı (enerji) miktarıdır. Isıl değer, bir yakıtın enerji yoğunluğunun bir ölçüsüdür ve belirtilen miktar (örneğin kilogram) başına enerji (joule) olarak ifade edilir.

Biyodizelin ısı değeri yaklaşık 39 600 kJ/kg ve dizel yakıtta bu değer 43 300 kJ/kg'dır. Dolayısıyla biyodizelin ısı değeri, dizel yakıttan yaklaşık %9,3 daha düşüktür. Biyodizelin ısı değeri, üretiminde kullanılan yağın çeşidine göre farklılık göstermektedir ve dizel yakıttan daha düşük olduğu için yakıt tüketiminde artma, motor torkunda ve gücünde azalmalar olur (Sugözü, Cengiz ve Altun, 2010).

1.2.4. Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık, bir maddenin yoğunluğunun belirli bir sıcaklıkta saf suyun yoğunluğuna oranı olarak tanımlanan bir birimdir. Yakıtların özgül ağırlığı, yoğunluğunun saf su ile karşılaştırılmasıdır. Saf suyun 4 °C'deki yoğunluğu, özgül ağırlık için temel olarak kabul edilir; bu yüzden özgül ağırlığı 1'dir. 15 °C'deki dizel yakıtın özgül ağırlığı 0,82–0,86 biyodizelin ise 0,87- 0,88 dir. Yakıtların özgül ağırlığı, ısı değeri, viskozite ve setan sayısı gibi yakıt özellikleri için bir göstergedir. Biyodizel ve dizel yakıt karışımlarında sıcaklıkla özgül ağırlık değişimleri, dizel yakıtın özgül ağırlığındaki değişim ile doğrusallık göstermektedir (Yuan, Hansen ve Zhang, 2004).

1.2.5. Bulutlanma ve Akma Noktaları

Yakıtların soğuk hava koşullarındaki çalışma özellikleri; bulutlanma noktası (Cloud Point), soğuk filtre tıkanma noktası (Cold Filter Plugging Point) ve akma noktası (Pour Point) ile belirlenir. Bulutlanma noktası; yakıt soğudukça küçük, katı kristallerin gözlenebildiği yakıt sıcaklığıdır. Soğuk filtre tıkanma noktası, kristalleşmiş veya jelleşmiş yakıt bileşenleri nedeniyle yakıt filtresinin tıkanacağı sıcaklıktır. Akma noktası sıcaklığı ise, kristalleşen yakıtın akmasının durduğu en yüksek sıcaklıktır.

Biyodizel ile dizel yakıt karşılaştırıldığında, biyodizel, bulutlanma noktası ile akma noktası arasında çok daha dar bir sıcaklık aralığına sahip olma eğilimindedir. Dizel yakıtın bulutlanma noktası ile akma noktası arasında 20 °C'lik bir aralık varken biyodizelin aralığı sadece birkaç derece olabilir. Biyodizelde bu aralığın düşük olması, soğuk çalışma ortamlarında motor güç kaybına ve motorun durmasına neden olabilir (Energy, 2019).

1.2.6. Alevlenme Noktası

Dizel yakıtın alevlenme noktası, havada yanıcı bir karışım oluşturmak için yeterli buhar üreteceği en düşük sıcaklıktır. Alevlenme noktası sıcaklığı ne kadar düşükse, bir ateşleme kaynağı varsa havayı tutuşturmak o kadar kolay olur. Dizel yakıtın alevlenme noktası 55-82 °C arasında, biyodizelin alevlenme noktası 100 °C'nin üzerindedir. Biyodizelin alevlenme noktasının yüksek olması nedeniyle, biyodizelin işlenmesi, taşınması ve depolanması dizel yakıtı göre daha güvenlidir.

1.2.7. Kükürt İçeriği

Petrol; hidrojen ve karbondan oluşan, içerisinde az miktarda nitrojen, oksijen ve kükürt bulunan bir bileşimdir. Kükürt rafinasyon sırasında dizel yakıttan uzaklaştırılır. AB sınırları içinde 1 Ocak 2009'dan bu yana yürürlükte olan bu yakıt standardında, dizel yakıt için en fazla 10 mg/kg kükürt içeriği öngörülmektedir. Dizel yakıttaki kükürt miktarının azaltılması egzoz gazı emisyonlarını azaltmıştır, fakat kükürt miktarının azaltılması yakıtın yağlama özelliğini azalttığı için enjeksiyon pompası ve enjektörlerde yağlama

problemlerine ve motor performansının düşmesine neden olmaktadır. Yapılan araştırmalar biyodizelin dizel yakıtlar ile karıştırıldığında yağlama özelliğinde iyileşme sağladığını, dizel yakıtı karıştırılan biyodizelin %1-2 oranlarındaki karışımlarında yağlayıcılık özelliğinde %60'a varan iyileştirmeler olduğunu ortaya koymuştur (Önem ve Sekmen, 2009).

1.2.8. Su Miktarı

Biyodizelin su tutma kapasitesi dizelden daha yüksektir. Yakıtlardaki su içeriği serbest, emülsiyonlu ve çözünür su olarak sınıflandırılabilir. Biyodizel ve dizeldeki yüksek su içeriği, yakıt tanklarında ve nakliye ekipmanlarında su birikimi ve mikrobiyal büyüme gibi sorunlara neden olabilir. Sıcaklık ve karışım oranı parametreleri değerlendirilerek biyodizel ve biyodizel-dizel yakıt karışımlarının su absorpsiyonunu belirlemek için deneyler yapılmıştır. Deneyler, sabit bağıl nemlerde biyodizelin dizel yakıttan 6,5 kat daha fazla nem emdiğini göstermektedir (Fregolente, Fregolente ve Wolf Maciel, 2012).

1.2.9. Kül Miktarı

Kül, yakıtta bulunan metallerin ve diğer inorganik kirleticilerin miktarının ölçüsüdür. Kül oluşumuna neden olabilecek maddeler üç formda bulunabilirler; bunlar, aşındırıcı katılar, çözünür metalik sabunlar ve artık biyodizel katalizörlerdir ve yanma esnasında kül oluşumuna neden olurlar. Aşındırıcı katılar ve biyodizel katalizörleri enjeksiyon sonrasında yakıtı maruz kalan yakıt sistem elemanlarında (enjektör ve filtreler) aşınmaya sebebiyet verir (Anonim, 2009).

1.3. Biyodizel Kullanımının Getirileri

Biyodizel kullanımının sağladığı getiriler gruplanırsa:

- Biyodizel, çok düşük sülfür içeren dizel yakıtı (ULSD) göre çok daha fazla yağlayıcı özelliğe sahiptir. Euro IV ve daha düşük emisyonlu motor kategorisindeki araçlar için, ULSD yakıtlara yağlama arttırıcıların eklenmesi gerekmektedir. Dizel yakıt kalitesindeki bu iyileşme yakıtta yoğunluk azalmasını da beraberinde getirmiş ve 2002'de 0,850 g/cm³ ortalamalarında seyreden dizel yakıt yoğunluğu 0,820 - 0,825 g/cm³

seviyelerine gerilemiştir. Biyodizel'in ortalama yoğunluğu 0,880 gr/cm³'tür, dizel yakıt ile harmanlama sonrasında yakıtın yoğunluğunu yükselteceği açıktır (Anonim, 2019). Ayrıca dizel yakıtlarda genellikle %1 veya %2'nin üzerindeki miktarlarda biyodizelin kullanılmasıyla iyi yağlama özelliği kolayca elde edilebilmektedir (Knothe ve Steidley, 2005).

- Yağlık tohumlardan üretilen standartlara uygun biyodizel, sera gazı emisyonlarında (GHG) %50'den fazla oranlarda azalma sağlayabilmektedir. Ürün deseni içerisinde biyodizelin hammaddesi olabilecek yağlık tohumların da yer alması (ürün çeşitlendirme) toprak verimliliğinin korunmasını sağlamakta, birtakım zararlı ve hastalık risklerini sınırlandırmaktadır. Tarım arazilerinin bu şekilde yönetimi, tarımsal üretim prosesleri yönünden sera gazı emisyonlarını azaltan bir gelişmeye imkan sunacaktır (Anonim, 2015).

- Son rakamlar, atık yağlardan biyodizel üretiminin, yağlık tohumdan üretilen biyodizele göre arttığını göstermektedir. Kızartma yağları, hayvansal yağlar ve kanalizasyon arıtma işlemi sonrası toplanan yağlar gibi atık yağlardan üretilen biyodizel, fosil dizel yakıtlar ile karşılaştırıldığında GHG emisyonunu %95'e kadar düşürebilmektedir. Heidelberg Enerji ve Çevresel Araştırmalar Enstitüsü'nün (IFEU) yapmış olduğu bir araştırmaya göre atık yağlardan üretilen biyodizel emisyonunun, dizel yakıtinkine göre %85 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Anonim, 2015).

- Dizel yakıt ve farklı oranlardaki biyodizel karışımlarının insan sağlığı üzerine etkileri çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur. Dizel motorların ürettiği partikül madde (PM) ve hidrokarbon (HC) emisyonları toksik ve kanserojen etkiye sahiptir (Ulusoy, 2016). Bu konu hakkında çok çeşitli literatür bulunmaktadır. 2011 yılında, ABD Maden İşçileri Madencilik Güvenliği ve Sağlık İdaresi, maden işçilerinin dizel partikül madde emisyonuna maruz kalmalarını sınırlandıran yeraltı madenciliği kurallarını uygulamaya almıştır. Madencilik Emniyeti ve Sağlık İdaresi, dizel yakıtından yüksek biyodizel (B50 ila B100) karışımlarına geçişin, maden galerilerinde çalışan dizel araçlarından kaynaklanan PM emisyonlarını önemli ölçüde düşürdüğünü tespit etmiştir. Bununla birlikte, düşük biyodizel konsantrasyonları bile PM emisyonlarını hatırı sayılır bir miktarda azaltmaktadır ve bu da sağlık açısından pek çok avantaj sağlamaktadır (Anonim, 2016a).

- B20 ve B100 egzoz emisyonları, dizel yakıt ile kıyaslandığında karbonmonoksit, PM ve yanmamış hidrokarbonların önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Biyodizel sülfür içermeyen bir yakıt olduğu için asit yağmurlarına neden olmamaktadır. B5 veya daha düşük karışımlar için, azotoksitin (NO_x) artışı göz ardı edilebilecek düzeylerde dir. Biyodizel endüstrisi, B100 kullanıldığında artan NO_x emisyonunu azaltabilecek bir katkı maddesi üzerine çalışmakta olup, biyodizelin olumsuz bir toksik etkisi de bulunmamaktadır (Ogejo ve Grisso, 2015).

B100 ve B20 yakıtlarının kullanımlarında açığa çıkan emisyon karşılaştırması Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2. B100 ve B20 yakıtların emisyon karşılaştırması (Khan ve diğerleri, 2009)

Emisyon Tipi	B100	B20
Yanmamış Hidrokarbon	-%93	-%30
Karbonmonoksit	-%50	-%20
Partikül Madde	-%30	-%22
Sülfat	-%100	-%20
PAH (Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar)	-%80	-%13
nPAH (nitratlı PAHs)	-%90	-%50
Ozon Tahrip Potansiyeli Olan HC	-%50	-%10
NO_x (Azotoksit)	+%13	+%2

Ayrıca biyodizel üretimindeki gelişmeler halen devam etmektedir. Bu gelişmelerden biri de hidrojenasyon yöntemidir. Transesterifikasyon yöntemi ile üretilen biyodizel, hidrojenasyon yöntemi ile üretildiğinde yenilenebilir dizel (hydro-generated biodiesel) ismini almaktadır. Yenilenebilir dizel üretmek için bitkisel yağların yanı sıra uygun atık ve kalıntı yağların hidroişlem (hydrotreating) oldukça yeni fakat karmaşık bir üretim prosesidir. Bu işlemde hidrojen, bitkisel yağ moleküllerinden oksijeni uzaklaştırmak ve trigliseridi üç ayrı zincire ayırmak için kullanılmaktadır. Böylece proseste dizel yakıt bileşenlerine benzer hidrokarbonlar oluşmaktadır. Bu yöntem ile elde edilen biyodizel, dizel yakıt ile istenilen oranlarda karıştırılabilmektedir ve yakıtın kalitesinde bir düşüş meydana gelmediği belirlenmiştir (Anonim, 2016b). Yapılan çalışmalarda %100

yenilenebilir dizel yakıtın dizel yakıta kıyasla %6 daha düşük NO_x ve %35 daha düşük duman (is) emisyonuna sahip olduğu saptanmıştır (Aatola, Larmi, Sarjovaara ve Mikkonen, 2009).

- Türkiye’de 2020 yılında 25 166 671 ton, 2021 yılında 26 280 496 ton dizel türevi yakıt kullanılmıştır (Anonim, 2021). Söz konusu iki sene içerisinde dizel yakıt tüketimi yaklaşık %4,43 oranında artmış olup ilerleyen yıllarda da benzer oranlarda artacağı tahmin edilebilir. Ağır sanayinin temel yakıtı olan dizel yakıt yerine biyodizel kullanımı, ülkemizin dışa bağımlılığının azaltmasını, tarımının desteklenmesini sağlayarak olası ambargo ve ekonomik kriz risklerinin önlenmesine yardımcı olacaktır.

- Amerika Birleşik Devletleri’nde Ulusal Biyodizel Kurulu 1 milyar galon biyodizel üretimi için 39 027 kişinin üretime destek verdiğini belirlemiştir. Üretime destek veren iş kolları içerisinde yağlık tohum üreten çiftçiler, biyologlar, kimyagerler ve ziraat/kimya/çevre/endüstri/makine mühendisleri istihdam edilmektedir (Richards, 2013).

- Atık bitkisel yağların biyodizel üretiminde değerlendirilmesi sonucunda ekonomik değeri olan biyodizel, yağ asitleri ve gliserin üretilmektedir. Geri dönüşümü sağlanan atık yağlar ülke ekonomisine fayda sağlanmaktadır.

- Türkiye’de pamuk çiğidi işlenmesi ile pamuk yağı üretilmektedir. Pamuk çiğidinden ham yağ üretildiğinde pamuk yağı, küspe, linter (elyaf) ve çiğit kabuğu gibi ürünler elde edilmektedir. Pamuk yağı dışında elde edilen küspe %33 protein içeriği ile hayvancılık için önemli bir yem kaynağıdır. Pamuk linteri kâğıt, mobilya, barut sanayi gibi 250 farklı sanayi dalında, çiğit kabuğu ise enerji üretiminde kullanılmaktadır. Pamuk yağının biyodizel üretiminde değerlendirilmesi sonucunda ekonomik değeri olan biyodizel ve gliserin üretilmektedir. Pamuk çiğidi ve yağının işlenmesi ile elde edilen ekonomik fayda birden fazla sektöre ham madde sunmakta ve ülke ekonomine fayda sağlamaktadır.

- Dizel yakıtın alevlenme noktası 55 °C olmasına karşın biyodizelin alevlenme noktası 100 °C’nin üzerindedir. Alevlenme noktasının yüksek olması nedeniyle biyodizelin nakliye ve depolama gibi lojistik süreçlerde işlem görmesi çok daha güvenli bir yakıttır. Ayrıca sızıntı, dökülme gibi istem dışı doğaya karışma durumlarında biyodizelin dizel yakıta göre çevreye verdiği zarar daha azdır.

1.4. Biyodizel Kaynaklarının Ülkemizdeki Durumu

Ülkemizde biyodizel üretiminde tarımsal kökenli bitkisel yağlar ve atık yağlar kullanılmaktadır. Tarımsal kökenli bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin üretim maliyeti yüksektir. Yağlık tohumdan üretim yapan tesislerde biyodizel maliyetindeki en büyük pay, yağlık tohuma aittir. Ülkemizde bitkisel kökenli yağ üretim kaynakları ayçiçeği, mısır, kanola, soya, aspir ve pamuk çiğididir. Gıda sanayinde de yoğun olarak kullanılan bitkisel yağların dışında kalan aspir, kanola ve pamuk yağının biyodizel üretiminde ekonomik ve stratejik açıdan daha kullanılabilir olduğu ortaya çıkmaktadır. Türkiye’de yağlı tohumların başında ayçiçeği ve pamuk çiğidi gelmektedir. Bu iki ürün, ülkemiz yağlı tohum üretiminin %85,2’sini oluşturmaktadır. Soya, kanola ve aspir üretiminde son yıllarda önemli artışlar gerçekleşmiştir. Fakat halen istenilen rekolteye ulaşamamıştır. Türkiye’de yağlı tohum üretimine ayrılan alan, toplam ekilebilir alanların yaklaşık %4’ünü oluşturmaktadır. Bu oranın AB ülkelerinde ve ABD’de %30 civarında olduğu bilinmektedir. Çizelge 1.3’de Türkiye’de yağlı tohum üretim miktarları verilmiştir.

Çizelge 1.3. Türkiye’de yağlı tohum üretim miktarları (1000 ton) (TÜİK 2021)

Yılar	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

Yağlı tohum ürün çeşitliliği Türkiye’de çok olmasına rağmen üretim miktarı, bitkisel yağ ve yem endüstrisinin girdi talebini karşılamaya yetmemektedir. Türkiye net yağlı tohum ithalatçısı konumunda bulunmaktadır. Ülkemizde artan nüfus ile birlikte, bitkisel yağ talebi de artmaktadır, fakat bitkisel yağ üretimi ülke ihtiyacını karşılayamadığından, üretim açığı ham yağ ithalatı yoluyla karşılanmaktadır (Küçük, Aydoğdu ve Şahin, 2021)

Türkiye'nin yağlı tohum üretiminin yeterli olmaması nedeniyle pamuk çiğiti ve kolza dışındaki yağlık tohumların biyodizel üretiminde kullanımı mümkün değildir. Biyodizel üretiminde bitkisel kökenli atık yağların maliyeti, yağlık tohum kullanılarak yapılan üretime kıyasla daha azdır.

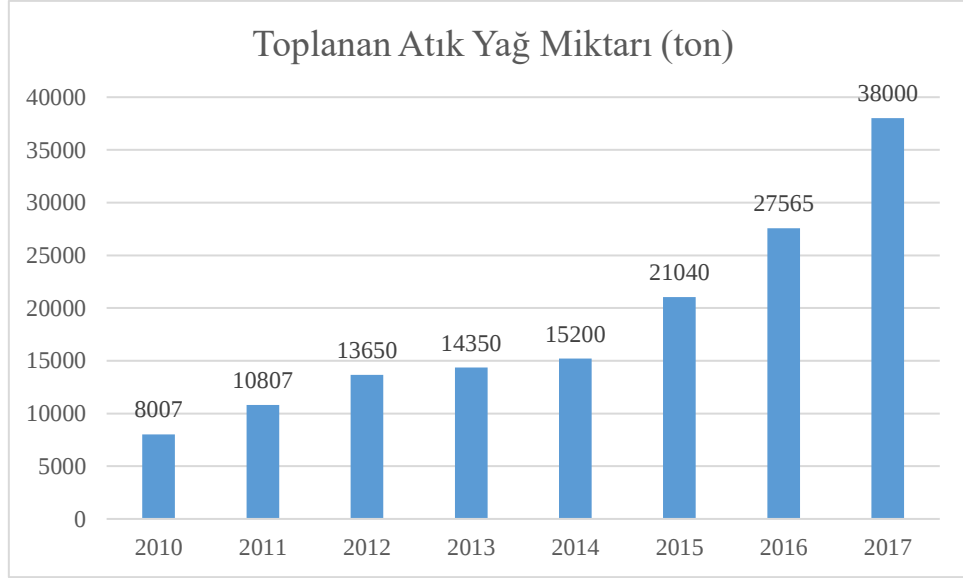
Türkiye'de dizel yakıtla harmanlanan biyodizel miktarı, 2017 yılı verilerine göre 65 120 tondur. Bununla birlikte, 1 Ocak 2018 tarihinde yürürlüğe giren Motorin Türlerine Biyodizel Harmanlanması Hakkında Tebliğ'in etkisiyle 2018 yılında bu rakamın yaklaşık 92 400 tona ulaşarak %42'lik bir artışa karşılık geleceği öngörülmektedir. Böylelikle biyodizel üretimi yapan tesislerin kurulu kapasitelerinin kullanım oranı da %27'den %39'a yükselmiştir (Borovalı, 2018a). Biyodizel yıllık üretim miktarları ve kapasite kullanım oranları Çizelge 1.4'de verilmiştir.

Çizelge 1.4. Biyodizel yıllık üretim miktarları ve kapasite kullanım oranları (Borovalı, 2018a)

Yıl	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Harmanlanan Biyodizel (m ³)	666	1872	2958	7463	11649	17732	21379	32877	60945	64103	74000	105000
Kapasite Kullanım Oranı (%)	3	9	15	37	58	89	8	13	23	24	27	39

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Daire Başkanlığı verilerine göre bitkisel atık yağ toplanma oranlarının yıllara göre değişimi Şekil 1.1'de verilmiştir. Tarım sezonunun ürün yetiştiricilik dönemine göre, biyodizel üretim materyali yıl içerisinde değişkenlik göstermekte ve bu durum toplanan atık yağ kompozisyonunu ve miktarını da doğrudan etkilemektedir. Toplanan atık yağ miktarı 2017 yılında, 38 000 ton'dur. Oysa yıllık kullanılan bitkisel yağ miktarı 350 000 ton civarındadır. Bu rakamlar ışığında 2017 yılında toplam atık kızartma yağı potansiyelimizin sadece %10,86'sı geri kazanılabilmektedir (Anonim, 2017).

Atık kızartmalık yağlar, tehlikeli atık olarak değerlendirilmektedir. Resmi Gazete'de 2 Nisan 2015 tarih ve 29314 sayı ile yayımlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği'yle biyodizel üretimi, atık yağların bertaraf yöntemi olarak kabul edilmektedir.



Şekil 1.1. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Daire Başkanlığı verilerine göre bitkisel atık yağ toplama oranlarının yıllara göre değişimi (Yanmaz, 2018)

Şekil 1.1’de yer verilen 2016 yılı atık yağ toplama miktarı 27 565 tondur. Toplanabilme potansiyeli olan yağlardan %35’inin lisanslı firmalar tarafından toplanabildiği, %25’inin kayıt dışı toplandığı ve %40’ının lavabodan veya benzeri şekilde kanalizasyona dökülen yağlar olduğu öngörülmektedir (Anonim, 2017).

Tohumundan üretilen biyodizelin ikame edileceği toplam atık yağ ihtiyacı Çizelge 1.5’de verilmiştir. Tohumun biyodizel dönüşümü prosesinde verim 1 ve atık yağdan biyodizelde ise 0,731 olarak alınmıştır. Biyodizelin özgül ağırlığı 0,88 kg/l kabul edilmiş olup bu verilere göre Ülkemizde toplanması gereken atık yağ miktarının 89 083 ton olduğu belirlenmiştir.

Almanya, İngiltere ve İspanya, atık yağ toplama oranları en yüksek olan ülkelerdir. Alman Biyoyakıt Endüstrisi Birliği’ne (Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie) göre, 2019’da yalnızca Almanya’da yaklaşık 3,4 milyon ton biyodizel üretilmiştir. Birincil hammadde %57 oranında kolza yağı olup, kullanılmış yemeklik yağ ve katı yağların kullanımı ise %25 oranındadır (Anonim, 2020). Bu ülkelerin atık yağ toplama prosedürleri ülkemizdeki atık yağ potansiyelini değerlendirebilmek için incelenmelidir.

Ayrıca ülkemizin tarım potansiyeli değerlendirildiğinde nadasa bırakılan alanlarda ketencik, aspir gibi yağlı tohumların ekilmesi özendirilmelidir.

Çizelge 1.5. Bitkisel tohumundan üretilen biyodizelin ikame edileceği toplam atık yağ ihtiyacı (Borovalı, 2018b)

İşlem Basamakları	2017 Yılı Biyodizel Üretim Değerleri (ton)
Toplanan Atık Yağ	38000
Proses Sonrası Elde Edilen Biyodizel	27778
Harmanlanan Biyodizel	65120
Bitkisel Yağdan Üretilen Biyodizel	37342
Atık Yağdan Üretilen Biyodizel yüzdesi	%43
Bitkisel Yağdan Üretilen Biyodizel yüzdesi	%57
Bitkisel Yağı İkame Eden Toplam Biyodizel İhtiyacı	51083
Biyodizel Üretimi için Toplam Atık Yağ İhtiyacı	89083

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bartoli ve diğerleri (2010), dizel oksidasyon katalizörü (DOC), dizel partikül filtresi (DPF), değişken geometrili turboşarj (VGT) ve egzoz gaz devridaim sistemine (EGR) sahip 2007 ISL Cummins dizel motora B20 yakıt ile 1000 saat maksimum motor devrinde dayanıklılık testi yapmışlardır. Test sonucunda silindir kapağı, krank, silindirler, soğutma sistemi, yağlama sistemi, turboşarj, contalar, dizel partikül filtresi, dizel oksidasyon katalizörü ve yakıt sisteminde herhangi bir arıza tespit etmemişlerdir. 1000 saatlik çalışma sonrasında motoru demonte etmişlerdir. Bulunan aşınma ve tortuların normal düzeyde olduğunu ve benzer testlerde dizel yakıtla çalışan motor parçalarından elde edilen bulgularla aynı olduğunu belirtmişlerdir. B20 ile dizel yakıt arasında motor performansları ve emisyon verilerinde HC, CO ve PM miktarlarında temelde önemli bir fark olmadığını, NO_x miktarında artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Zdrodowski ve diğerleri (2010), B20 ve ultra düşük kükürtlü dizel yakıt kullanarak orta hizmet bir kamyon filosundan motor yağı örnekleri toplamış, toplanılan numunelerin yağ analizi, eskitilmiş yağ numuneleri ile laboratuvarda sürtünme, aşınma testi ve kimyasal analizler yapmışlardır. B20 kullanımında yakıt seyreltmesi, oksidasyon ve düşük viskoziteye bağlı olarak kurşun korozyonu tespit etmişlerdir. Laboratuvar aşınma testleri sonucu araç kilometresiyle artan aşınma olduğunu, artan aşınmada yakıt seyreltmesinden kaynaklanan azalan viskozite ile doğrudan ilişki tespit edilememiştir.

Bouilly ve diğerleri (2012), biyodizel oksidasyon kararlılığının enjektörler üzerindeki etkisini yeni geliştirilen test düzeneği ve kurdukları metodoloji ile incelemişlerdir. Test düzeneğinde biyodizel karışımlı yakıtları, Common Rail enjeksiyon sisteminden yakıt deposuna klasik tip bir enjektör vasıtası ile sirküle edilmiştir. Bu işlem ile yakıtın bozulma hızını arttırmayı amaçlamışlardır. Enjektör gövde sıcaklığı artışının yakıtın bozulmasına neden olduğunu bu nedenle enjektör arızası verdiğini gözlemlenmişlerdir. İlgili arızalara, biyodizelin okside olmasının ve ardından biyodizel içeriğinde artan su ile asitleşmenin neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Galle ve diğerkleri (2012), dinamik viskozitesini 8 mPa s'ye düşürmek için 110°C'ye koşullandırdıkları bitkisel yağı dizel motorda yakıt olarak kullanmışlardır. Enjektörler, 50-150 saat çalışma sürelerinde arızalanmıştır. Yapılan araştırmada plastik deformasyon, enjektör memelerinde tıkanma, mikro çatlaklar, aşınma ve kavitasyon gibi hasarlar tespit etmişlerdir. Bunun nedeninin yakıtın kimyasal ve fiziksel özelliklerinden kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Liaquat ve diğerkleri (2013), çalışmalarında; palm yağından üretilmiş biyodizel karışımı olan B20 ve dizel yakıtı tek silindirli bir motorda 250 saat çalıştırmış ve sonrasında enjektör ve motor parçalarını incelemişlerdir. Dizel yakıt ile çalışmada enjektöre yapılan taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopu (EDS) ile yapılan analiz sonucuna göre enjektör üzerinde karbon birikiminin B20'ye göre daha az olduğunu, motor yağı analizinde ise B20'de dizel yakıtı göre daha fazla motor aşınma parçaları bulunduğunu gözlemlemişlerdir.

Bietresato ve Friso (2014), 118 kW gücünde bir traktörü sahada B100 ile 800 saat boyunca çalıştırmışlardır. Kuyruk mili dinamometresi ile yapılan testlerde motor gücünde %9, torkta %7 düşme ve özgül yakıt tüketiminde %13'lük artış tespit etmişlerdir. Çalışma esnasında alınan motor yağı numuneleri analiz edilmiş, motor yağının seyreltiği ve kirlendiği tespit edilmiştir. Fiziksel ve kimyasal yağ analiz sonuçlarına göre mevcut motor yağı kullanıldığı taktirde bakım aralıklarının 200 saatten 100 saate indirilmesinin yağlayıcılık özelliğindeki kademeli kalite düşüşünü telafi edeceğini belirtmişlerdir. Motoru demonte ederek motor parçalarında kabul edilebilir oranda aşınma gözlemlemişlerdir. Traktörün tarlada B100 ile çalışması esnasında yaşanacak güç kaybının kullanıcı tarafından algılanamayacağını ve motor yağının 100 saatte bir değiştirildiği taktirde B100'ün kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Nguyen ve Pham (2015), tek silindirli dizel motorda dizel yakıtı göre oksijen içeriği fazla olan B10 ve B20 kullanarak yakıtların oksijen içeriği ile motor performans ve emisyon sonuçları arasında bağlantı kurmuşlardır. Sabit enjeksiyon süresi ve püskürtme basıncı koşullarında, zengin oksijen içeriğine sahip biyodizel karışımları ile dizel yakıt

karşılaştırıldığında ısı değerlerine bağlı olarak motor gücünde düşme, oksijen miktarındaki fazlalık nedeniyle PM, HC ve CO konsantrasyonlarında azalma tespit etmişlerdir.

Ulusoy ve diğerleri (2016), 48 kW gücünde bir traktör motorunda atık yemeklik yağların alternatif yakıt olarak kullanılıp kullanılamayacağını belirlemek için testler yapmışlardır. 100 saat atık yemeklik yağ kullanım sonrasında, motor devrine bağlı olarak, motor torkunda dizel yakıtı oranla %4,21 ile %14,49 arasında azalma ve dumanda artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Enjektörler üzerinde yapılan SEM analizinde meme ucunda ve gövdesinde koyu renkli tortular tespit edilmiş, EDX analizine göre meme uçlarındaki tespit edilen elementlerin yanma odasındaki motor yağı külünü işaret ettiğini belirlemiş ve koklaşma ürünlerini ise C ve O tespit etmişlerdir. Yine EDX analizi sonucunda atık yemeklik yağların kullanımından dolayı Na, S, Ca, P, Cl ve K elementleri tespit edilmiştir.

Suthisripok ve Semsamran (2018), B100 yakıt kullanarak 14 HP gücündeki Kubota RT140Di motoru günde 12 saat 1000 min^{-1} devirde ve ağır yük koşullarında toplam 800 saat süreyle balık havuzu havalandırmak için çalıştırmışlardır. Motor yağı 100 saatte bir değiştirilmiş, alınan yağ numuneleri yağın fiziksel, kimyasal, aşınma miktarlarını gözlemek için test edilmiştir. Yağ kullanım ömrünün sonuna doğru 100°C 'de viskozitede %13-15 azalmanın, oksidasyon, nitrasyon ve TBN değerlerini arttırdığını tespit etmişlerdir. Metal aşınma sonuçlarında, normal aşınma oranını gösteren tüm kullanılmış yağ numunelerinde benzer miktarlarda ince parçacıklar ($<8 \mu\text{m}$) - Fe, Pb, Cu, Sn, Al ve Cr tespit edilmiştir. Görsel inceleme için, motor 100 saat dizel yakıtla çalıştıktan sonra demonte edilmiş, silindir kapağında, pistonlarda, supaplarda ve yakıt enjektöründe vernik benzeri tortular, silindir kapağında, pistonlarda, supaplarda kuru siyah tortular gözlemlenmiştir. B100'de 100 saat ve 700 saat çalışmalardan sonra yakıt enjektörü ve motor komponentlerinde belirgin bir aşınma gözlemlenmemiştir. Sonuç olarak, B100'ün, motorlarda uygun kalitede yağ kullanılması ve bakımlarının düzenli olarak yapıldığı takdirde dizel motorlar için alternatif yakıt olarak verimli ve etkili bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Streimikiene, Simionescu ve Bilan (2019)'a göre AB ülkeleri günümüzde, dünyadaki ana biyodizel üreticileridir. Ülkeler; arz talep dengelerini kurmaya çalışmak, ulaşım sektöründe artan enerji ihtiyaçlarını karşılamak ve fosil yakıtlara bağımlılığı azaltarak iklim değişikliği ile mücadele etmek gibi temel nedenler ile biyodizel üretimini teşvik etmektedirler. Sürdürülebilir kalkınmanın stratejileri, özellikle 2005'ten beri AB'de biyodizel tüketiminde çok hızlı bir artışı öngörmüştür. Bu bağlamda, mevcut verileri kullanarak, dönem boyunca AB'de ulaşım sektöründe biyodizel tüketiminin 2010-2016 yılları arasında ekonomik büyüme üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Ulaşım sektöründe kullanılan biyodizelin AB'nin ekonomik büyümesine olumlu etkileri olduğunu fakat bu etkinin sınırlı kaldığını belirtmişlerdir. AB'nin biyodizel ile ilgili çevre ve kalkınma politikalarında, ulaşım sektöründe kullanılacak biyodizel yüzdesinin artırılmasına odaklanılmasını önermişlerdir.

Tziourtzioumis ve Stamatelos (2019), tek silindirli Common Rail motorda yüksek oranlarda biyodizel-dizel karışımı yakıt (%70'e kadar) ile 100 saat çalışmış ve sonrasında iki aydan uzun süre motoru çalıştırmamıştır. İki aydan uzun süre yakıt sistemi içerisinde kalan yakıt enjektör memesi, pompa pistonları ve elastomer parçaların aşınmasına ve bozulmasına neden olmuştur. Bu aşınma ve bozulmaların yüksek oranda biyodizel ve dizel yakıt karışımının yakıt hattı içerisinde beklemesinden kaynaklandığını gözlemlemişlerdir.

Hartono ve Cahyono (2020) dizel motorda 200 saat B30 yakıt ile çalışmış ve 200 saat sonrasında yağlama yağındaki alimünyum (Al) içeriğinin %19,8, demir (Fe) içeriğinin %0,75 daha fazla olduğunu, dizel yakıt ile çalışma sonrasında ise yağlama yağında krom (Cr) içeriğinin fazla olduğunu bulmuşlardır. Ek olarak B30 kullanımının piston segmanı boşluğunun artmasına ve motor yataklarında aşınmaya neden olduğunu, motor komponentlerinde tortu oluşumunun B30'da dizel yakıtı göre %4,27 daha az olduğunu tespit etmişlerdir. B30 kullanımının dizel yakıt kullanımına göre daha fazla metal aşınmasına neden olduğu sonucuna varmışlardır.

Maawa, Mamat, Najafi, ve De Goey (2020), yanma sıcaklığına bağlı olarak NO_x oluşumunu, B20 yakıt içerisine % 5, % 10, % 20 ve % 30 oranlarında su damlacıkları ile

emülsiyon karakteri vererek test etmişlerdir. %5 su kullanılarak yapılan motor testinde, motor torkunda %28,4'lük bir iyileşme ve %7,27 BSFC'lik (Brake Specific Fuel Consumption) bir azalma olduğunu elde etmişlerdir. Karışımli yakıt B20'deki %30 su içeriğinin, dizel yakıtla kıyasla NO_x emisyonlarını %26,17'ye kadar azalttığını, genel olarak, B20 yakıtının suyla emülsifikasyonunun, motor performansına herhangi bir zarar vermeden, özellikle NO_x emisyonları ile ilgili endişelerin giderilmesinde etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Pereira ve diğerleri (2020), kentsel toplu taşıma için kullanılan otobüsleri B100 (biyodizel) yakıtının 18 aylık bir test sürecinde kullanımı sonucunda, yağlama yağında viskozite, baziklik, asitlik, oksidasyon ve ayrıca Fe, Cu, Pb ve Al içeriği yönünden analizler yapmışlardır. Analiz sonucunda, B100 yakıt kullanımından kaynaklanan motor yağlayıcı yağının özellikleri arasında en hassas parametre olarak viskoziteye dikkat çekilmiş ve yağlama yağının ömrünün kısaldığını tespit edilmiştir.

Reksowardojo ve diğerleri (2020) Common Rail enjeksiyon sistemi bulunan araçlarda B20 ve dizel yakıtın motor performans, emisyon ve motor komponentleri üzerine etkilerini değerlendirmek için laboratuvar ve yol testleri yapmıştır. B20'nin dizel yakıtla göre %30 civarında daha az CO ile HC ve %3,4 daha az partikül emisyonuna sahip olduğunu, NO_x emisyonunda ise dizel yakıtla göre %2 daha fazla arttığını bulmuştur. B20 ile çalışmada yakıt tüketimi dizel yakıtla göre %0,5 artmıştır. 40 000 km sonrasında yapılan motor komponentleri değerlendirmesinde her iki yakıtta fark gözlemlenmemiştir.

Agarwal ve Agarwal (2021a), Common Rail motora sahip özdeş iki aracın motor emisyonlarını yüksüz olarak farklı motor devirlerinde ölçmüşlerdir. B100 kullanan aracın CO ve HC emisyonlarının ihmal edilebilir düzeyde olduğunu, dizel yakıt kullanımında bu değerlerin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Gerçek karayolu sürüş emisyonları arasında B100 kullanan araçta CO emisyonunun %13, HC emisyonunun %30 daha düşük olduğunu, CO₂ emisyonunda dizel yakıt kullanan araç ile fark olmadığını, NO_x emisyonunun ise dizel araçtan %32 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. B100 kullanan aracın motor performansında 90 km/h'e kadar dizel yakıtlı araca göre fark gözlemlenmediğini, 90 km/h hızlardan sonra araç performansının düştüğünü bu nedenle

motor kontrol ünitesi (ECU) yazılımının B100 yakıt karakteristiklerine göre ayarlanması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Agarwal ve Agarwal (2021b), Common Rail motora sahip bir araçta otoyolda aynı çalışma koşullarına sahip özdeş iki aracı 30 000 km çalıştırmışlardır. B100 kullanılan araçtan alınan motor yağı numunelerinin viskozitesinde, dizel yakıtlı araçlara göre %10-15, yoğunluk, kül içeriğinde %5-10 ve kurum içeriğinde %70 oranında bir azalma olduğunu raporlamışlardır. B100 kullanılan araçtan alınan yağlama yağı numunelerinin termo-gravimetrik analizleri, artan sıcaklıkla daha düşük kütle kaybı, dolayısıyla nispeten daha yüksek termal kararlılık ve daha düşük bozulma gösterdiğini ve sonuçların bitkisel yağların alternatif yakıt olarak kullanılmasıyla ilgili operasyonel ve dayanıklılık sorunlarının, bunların geçerli biyodizel özelliklerini karşılayan biyodizel haline dönüştürülmesinden sonra kullanılmasıyla tamamen ortadan kaldırıldığını göstermişlerdir.

Agarwal ve Agarwal (2021c), otoyolda aynı çalışma koşullarına sahip özdeş iki aracı B100 ve dizel yakıtlar ile 30 000 km çalıştırmışlar ve sonrasında motor silindir gömleğini taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanarak değerlendirmişlerdir. B100 yakıt kullanılan araca ait silindir gömleklerinin tüm konumlarındaki aşınmanın dizel yakıt kullanan araca göre nispeten daha az olduğunu bulmuşlardır. Denemeler esnasında, B100 kullanan araçta yakıt filtresi tıkanması, enjektörde tortulaşma, piston segmanı yapışması, yanma odasında karbon birikmesi ve yağlama yağlarının kirlenmesi gibi motor dayanıklılığı ile ilgili sorunların nispeten daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Genel olarak, Common Rail yakıt sistemine sahip dizel motorlu bu araçlarda B100 kullanılması nedeniyle gözle görülür bir dayanıklılık sorunu kaydedilmediği sonucuna varmışlardır.

Agarwal ve Agarwal (2021d), Common Rail motora sahip bir araçta otoyolda aynı çalışma koşullarına sahip özdeş iki aracı B100 ve dizel yakıtlar ile 30 000 km çalıştırmışlardır. Araştırma serisinin bu dördüncü ve son makalesinde, biyodizelin uzun süreli kullanımının piston üzerindeki tortulaşmanın ve yakıt sistemi bileşenlerindeki etkilerini dizel yakıt ile karşılaştırmışlardır. Motor performansını ve yakıt ekonomisini iyileştirmek için aşılması gerekli asıl zorluğun, öncelikle sürtünme kayıplarının çoğunu

oluşturan segman-gömlek arasındaki sürtünme kayıplarının azaltılması olduğundan hareket etmişlerdir. Aşınmış piston bölümlerinin ölçülmesi sonrasında B100 kullanılan araç pistonunun dizel yakıt kullanan araç piston kondisyonuna göre %5-15 arasında daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir. Yakıt filtresi, yakıt enjektörleri ve yakıt pompası gibi yakıt sistemi bileşenlerinin performansını, saha denemelerinin tamamlanmasının ardından değerlendirmişlerdir. Yakıt filtresi tıkanıklığını değerlendirmek için farklı yakıt akış hızlarındaki basınç düşüşleri, yakıt filtresi üzerinden ölçülmüştür. Biyodizel kullanılan filtredeki basınç düşüşünün, 10 000 km kullanımdan sonra dizel yakıt filtresinden yaklaşık %30 daha yüksek olduğunu, ancak 15 000 km kullanımdan sonra bu basınç farkının iki kata çıktığını belirlemişlerdir. Bu deneysel sonuçlar, biyodizelin Common Rail motora sahip dizel araçlarda geniş ölçekte uyarlanmasıyla önce bu teknik zorlukların üstesinden gelmek için otomotiv üreticileri tarafından bazı ek teknik önlemlerin alınması gerektiğini göstermiştir.

Hosseinzadeh-Bandbafha ve diğerleri (2021), çalışmalarında dizel yakıt-biyodizel-biyoetanol karışımları ile çalıştırdıkları dizel traktör motorunun ekserjetik, ekonomik ve çevresel yaşam döngüsü değerlendirme yöntemlerini kullanarak analiz etmeyi amaçlamışlardır. Dizel yakıt, sırasıyla %5-15 ve %2-6 hacimsel oranlarda biyodizel ve biyoetanol ile karıştırılmıştır. Dokuz farklı dizel-biyodizel-biyoetanol karışımı ve dizel yakıt, motor tam yükte çalışırken $800-1000 \text{ min}^{-1}$ arasında değişen farklı kuyruk mili devirlerinde test edilmiştir. Hazırlanan yakıt karışımlarının çoğunun, dizel yakıttan ekserjetik, ekonomik ve çevresel olarak daha üstün olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak, dizel yakıtının bir kısmının biyodizel ve biyoetanol ile ikame edilmesinin ekserjetik, ekonomik ve çevresel perspektiflerden çekici bir strateji olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, tarımsal faaliyetlerde enerji üretiminin sürdürülebilirliğini ve uygulanabilirliğini arttırmak için pratik uygulamalarda değerli olabileceğini ortaya koyduğunu ifade etmişlerdir.

Tomić ve diğerleri (2021), bir tarım traktörünü, 1000 saat boyunca B40 yakıt ile standart tarımsal işlerde kullanmışlardır. Motor performansları ve egzoz gazı emisyonları deneyin başında ve 100, 250, 500 ve 1000 çalışma saati sonunda değerlendirilmiş ve 1000 saat sonunda maksimum motor gücünün %6,16 düştüğünü, özgül yakıt tüketimi ve CO

emisyondun sırasıyla %7,35 ve %12,5 arttığını tespit etmişlerdir. CO₂ emisyonu %6,26 oranında azalmıştır. Kötüleşen motor performansının, biyodizel üretimi için kullanılan hammaddede %90'ın üzerinde olan doymamış yağ asitlerinin termal oksidasyonu nedeniyle enjektörlerin ucunda oluşan tortunun bir sonucu olduğunu yorumlamışlardır.



3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Saha Uygulamalarının Yapıldığı Yer

Saha uygulamaları, Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde yapılmıştır. Çalışmada dizel yakıt ile B20 karışımı aynı marka ve model iki farklı tarım traktöründe tarla koşullarında ayrı ayrı 1000 saat çalıştırılmıştır. Traktörlerden birinde B20, diğerinde ise dizel yakıt kullanılmıştır. Seçilen traktörler Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde tarla koşullarında birincil toprak işleme, ikincil toprak işleme, ekim, ilaçlama ve taşıma işleri gibi mevsimlik işlerde kullanılmıştır. Şekil 3.1'de test traktörü ve uygulama alanına ait bir görsel verilmiştir.



Şekil 3.1. Test traktörü ve uygulama alanı

3.1.2. Deneme Traktörlerinin Özellikleri

Denemelerde kullanılan her iki traktörün özelliklerinin aynı olması nedeniyle tek bir çizelge olarak Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneme traktörlerinin özellikleri

Marka	New Holland
Model	75-56s
Maksimum Güç - ECE R120	75 HP
Silindir Sayısı	4/Turbo/Intercooler
Silindir Hacmi	3.9 l
Maksimum Tork/Devir	298 Nm /1400 min ⁻¹
Transmisyon	8 ileri + 2 geri
Kaldırma Kapasitesi	2200 kg
Hidrolik Güç Çıkışı	4 adet
Kuyruk Mili Devir Seçenekleri	540/540E
Motor devri @ 540 min ⁻¹ PTO devri	1967 min ⁻¹
Motor devri @ 540E min ⁻¹ PTO devri	1525 min ⁻¹

Ülkemizde çiftçilerimiz tarafından özellikle kullanılan traktör ortalama beygir gücü 75 HP değerindedir. Bu nedenle testlerde New Holland 75-56s traktörler kullanılmıştır. Denemede kullanılan traktör modeline ait görünüm Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. New Holland 75-56s deneme traktörü

3.1.3. Denemelerde Kullanılan Yakıtlar

Denemelerde yakıt olarak traktörlerin birinde dizel yakıt ve diğerinde ise %20 biyodizel + %80 dizel karışımı olan B20 kullanılmıştır. Biyodizel yakıtı EPDK'dan izin alınarak İzmir'de faaliyet göstermekte olan DB Tarımsal Enerji ve Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilmiştir. Denemelerde kullanılan Biyodizel TSE 14214 standart değerlerinde, dizel yakıt ise TS EN 590 + A1 standart değerlerinde üretilmiştir. B20 biyodizel, %80 dizel + %20 biyodizelin hacimsel olarak harmanlanması ile elde edilmiştir. Dizel yakıt, biyodizel ve B20 karışımının yoğunluk değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deneme yakıtı yoğunluk değerleri

Yakıt	Yoğunluk (g/cm ³)
Dizel	0,828
Biyodizel	0,865
B20 Karışımı	0,835

Temin edilen biyodizel, DB firması tarafından ITS Caleb Brett/Deniz Survey A.Ş. Laboratuvarı'nda analiz ettirilmiş ve test sonuçları Çizelge 3.3'de verilmiştir.

3.1.4. Emisyon Ölçüm Düzeneği

Testler, Türk Traktör ve Ziraat Makineleri A.Ş.'nin Ankara'da bulunan fabrikası Ar&Ge departmanı motor test laboratuvarında yapılmıştır. Motor test laboratuvarında dizel motor egzoz gazı emisyon analizleriyle ilgili tüm parametreler eksiksiz bir şekilde ölçülmüştür. Denemelerin yapıldığı sistem A/C dinamometresi ve HORIBA MEXA-7100D emisyon ölçüm düzeneğinden oluşmaktadır. PM ölçümü için HORIVA MDLT-1300 kısmi akışlı mini seyreltme tüneli kullanılmıştır.

Şekil 3.3'de deneme sisteminin şematik çizimi verilmiştir. Denemelerin yapıldığı test cihazlarının özellikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.

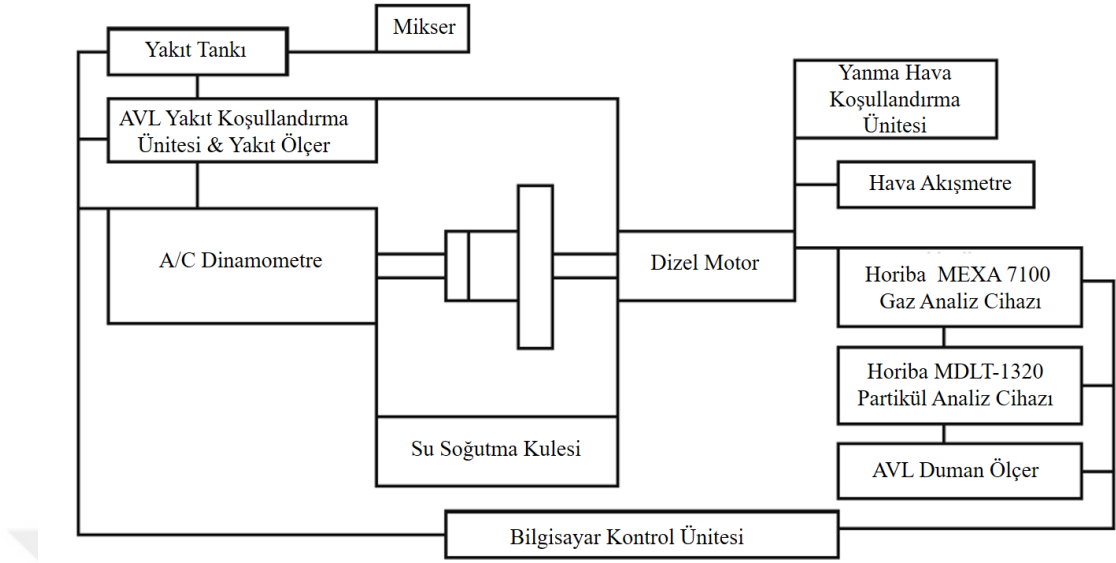
Çizelge 3.3. Denemede kullanılan biyodizelin analiz sonuçları

ÖZELLİKLER		BİRİM	ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ	ÖLÇÜM DEĞERLERİ	DENEY YÖNTEMİ
Yoğunluk		kg/m ³	± 0,027	884,6	TS EN ISO 12185
Vizkozite		mm ² /s	± 0,041	4,269	TS 1451 EN ISO 3104
Toplam kirlilik		mg/kg	± 0,716	12	TS EN 12662
Oksidasyon Kararlılığı		h	± 0,322	8,3	TS EN 14112
Alevlenme Noktası		°C	± 1,710	171	TS EN ISO 3679
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası		°C	± 0,05	-1	TS EN 116
Metanol		% (m/m)	0	0	TS EN 14110
Su		mg/kg	± 7,611	295	TS 6147 EN ISO 12937
Sülfatlanmış Kül		% (m/m)	± 0,001	0,002	TS 1985
Kükürt		mg/kg	± 0,108	1,8	TS EN ISO 20846
Fosfor		mg/kg	± 0,014	0,3	TS EN 14107
Sodyum		mg/kg	± 0,001	0,1	TS EN 14538
Potasyum		mg/kg	± 0,062	0,5	TS EN 14538
Kalsiyum		mg/kg	± 0,008	0,2	TS EN 14538
Magnezyum		mg/kg	± 0,007	0,1	TS EN 14538
İyot Sayısı		g. İyot/100 g	± 1,844	116	TD RM 14111
Gliserit	Monogliserit	% (m/m)	± 0,029	0,42	TS EN 14105
	Digliserit	% (m/m)	± 0,013	0,12	TS EN 14105
	Trigliserit	% (m/m)	± 0,003	0,02	TS EN 14105
Gliserol	Serbest Gliserol	% (m/m)	± 0,007	0	TS EN 14105
	Toplam Gliserol	% (m/m)	± 0,019	0,13	TS EN 14105
Ester		% (m/m)	± 2,616	96,9	TS EN 14103
Linolenik asit metil esteri		% (m/m)	± 0,166	2,5	TS EN 14103
Asit sayısı		mg KOH/g	± 0,028	0,32	TS EN 14104
Çoklu doymamış metil esterleri		% (m/m)	0	0,1	TS EN 14103
Setan sayısı*		-	-	57,7	TS EN 15195
Bakır şerit korozyonu		derece	-	1a	TS 2741 EN ISO 2160

* Akredite (AB-0157-T)ITS Caleb Brett/Deniz Survey A.Ş. Mersin Laboratuvarında yapılmıştır.

** Akredite değildir.

*** EN 590'a uygun dizel yakıtı ile harmanlanmak için kullanılacak YAME için karakteristik değerdir. YAZ: 1 Nisan-31 Ekim (± 15 gün), Kış: Yaz dönemi dışında kalan dönem

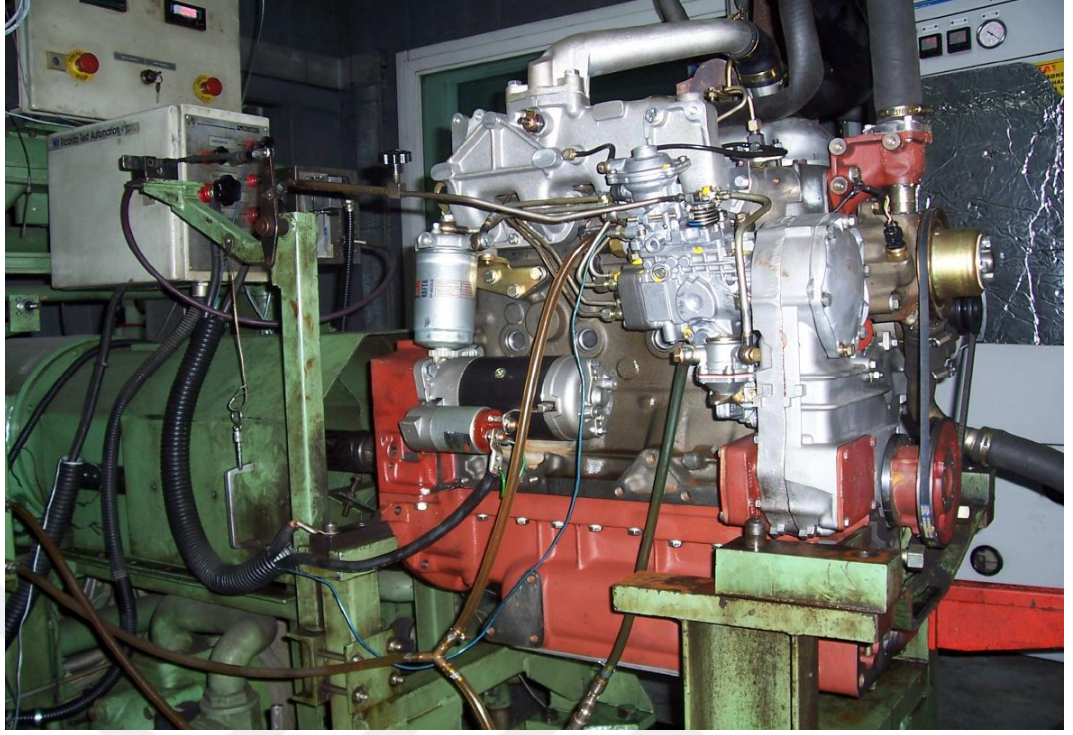


Şekil 3.3. Deneme düzeneği şematik çizimi

Çizelge 3.4. Denemenin yapıldığı test düzeneği özellikleri

Test Ekipmanı	Tipi
Dinamometre	A/C dinamometre (215 kW)
Tork	Dijital yük hücresi
Yakıt	ACL 733S
Duman Yoğunluğu	AVL 415
Hava Akışmetre	Cussons laminar hava akımı ölçer
Basınç	Dijital basınç transdüserleri
Sıcaklık	NiCR-Ni ısı çiftleri
Gaz Emisyonu	HORIBA MEXA-7100D
CO, CO ₂	AIA-721A
O ₂	NMPA-722A
HC	FIA-725A
NO _x	CLA-725A
Partikül Madde	HORIBA MDLT-1300

Denemelerin yapıldığı test düzeneği görünümü Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, ve Şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.4. A/C dinamometre genel görünümü



Şekil 3.5. Yakıt tüketimi ölçüm cihazı



Şekil 3.6. Egzoz emisyon ölçüm cihazı



Şekil 3.7. PM tartım kabini



Şekil 3.8. Duman yoğunluğu ölçüm cihazı

3.1.5. Kuyruk Mili (PTO) Performans Test Düzenegi

Kuyruk mili (PTO) performans testleri; elektrik kontrollü frenleme yapabilen, ölçümlerini dijital olarak gösteren ve verilerini bilgisayar ortamına aktarabilen tam donanımlı NJ Froment marka ve Sigma 5 model elektronik güç ölçüm düzeneği karakterindeki kuyruk mili test dinamometresi ile yapılmıştır. Bu ölçüm düzeneği motor devirlerini ölçerek değişik motor devirlerindeki güç ve tork değerlerini belirlemiştir. Test ünitesine ait teknik özellikler Çizelge 3.5’de verilmiştir. Şekil 3.9’da ise denemede kullanılan kuyruk mili performans test düzeneği görülmektedir.

Çizelge 3.5. Kuyruk mili (PTO) performans test düzeneği özellikleri

Marka	NJ Froment
Model	Sigma 5
Tip	Elektronik Dinamometre
Test sınırları	
540 devirde - 6 kanallı x 1 3/8"	1600 Nm - 80 HP
1000 devirde - 21 kanallı x 1 3/4"	1100 Nm - 154 HP
1000 devirde - 20 kanallı x 1 3/4"	2200 Nm - 309 HP



Şekil 3.9. Kuyruk mili (PTO) test düzeneği

3.1.6. Motor Yağı Analizinde Kullanılan Cihazlar

Denemelerde kullanılan traktörlerde Opet Fuchs tarafından üretilen AgroMega 15-40W motor yağı kullanılmıştır. Motor yağı değişimleri 200, 400, 600, 800 ve 1000 saat aralıklarda yapılmış ve yağ analizi için numuneler alınmıştır. Motor yağı analizleri Opet Fuchs Madeni Yağ San. ve Tic. A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan cihazların marka ve modelleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Motor yağ analizlerinde kullanılan cihazlar

Cihaz Adı	Markası	Modeli
FTIR Spektroskobu	Perkin Elmer	Spectrum 100
Viskozimetre	Herzog	HVM 472
Toplam Baz Numarası Test Cihazı	Metrohm	798 MPT
ICP-AES	Perkin Elmer	Optima 7000 DV
Alevlenme Noktası Test Cihazı	Herzog	HFP 370
Toplam Asit Numarası Test Cihazı	Mitsubishi	GT 200
Karl Fischer Su Tayin Cihazı	Mettler Toledo	C 30

3.1.6.1. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskobu

Madeni yağlarda kullanılmamış yağ numunesiyle, kullanılmış yağ numunesinin spektrumlarının birbirinden çıkarılmasıyla ölçülen değerler vardır. Bu parametrelerden bazıları; Soot A (Kurum, is), Soot B (Kurum, is), Water A (Su), Water B (Su), Oxidation A (Oksidasyon), Nitration (Nitrasyon), Phosphate Antiwear (Fosfat Aşınması), Gasoline (gaz,petrol,benzin), Diesel, Diesel Verification (Yakıt Doğrulama), Sulfation (Sülfat etkisi), Glycol (Glikol), Glycol verification A, Glycol verification B olarak bilinmektedir. Bu parametrelerin analizi ASTM (American Society for Testing and Materials - Amerikan Test ve Malzeme Derneği) yöntemlerinden ASTM E 2412 ile yapılmıştır. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskobuna ait görüntü Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskobu

3.1.6.2. Viskozimetre

Genellikle tanımlamada kinematik viskozite birimi olan cSt (centiStoke) kullanılmaktadır. Kalınlaşmış (viskozitesi artmış) yağda aşırı derecede kirlilik ve/veya reçineleşme olduğunu gösterir. İncelmiş (viskozitesi azalmış) yağın viskozitesinin düşüklüğünün nedeni, yakıt karışması, yanlışlıkla ince yağ karıştırılması veya yağın yorulmasından kaynaklanan moleküler zincirlerin kopması olabilir. Kinematik viskozite ölçümü ASTM yöntemlerinden ASTM D445 ile yapılmaktadır. Bu yöntemde yağ

numunesinin belli derecede sıcaklıkta tutulan bir yağ banyosunda bulunan ince kapiler bir borudan yerçekimi etkisi altında akması sağlanır. Akma süresine bağlı olarak yağın kinematik viskozitesi sabit iki nokta arasındaki akma süresinden, kullanılan Ubbelohde tüpüne ait K sabiti değeri ile çarpılarak yağın viskozitesi cSt (mm^2/sn) cinsinden bulunur. Viskozite ölçümünün yapıldığı cihaza ait görüntü Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Viskozimetre

3.1.6.3. Toplam Asit ve Baz Numarası Tayin Cihazı

Madeni yağlar, depolanmaları ve kullanılmaları süreci boyunca dış etkilere maruzdur. Bu etkilerin yağdaki en önemli sonucu, karbon (C) ve hidrojen (H) atomlarından oluşan moleküllere oksijen (O) girişini sağlayarak, yağın asite (COOH) dönüşmesidir. Oluşan değişik asitler, madenî yağın çalıştığı yüzeylerde aşındırıcı ve korozyif etki yaratırlar. O nedenle, yağ imalatçıları yağda asitleşmeyi dengelemek için, yağın içine alkali katkı maddeleri katarlar. Bunlar genellikle kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), çinko (Zn) ve P (fosfor) bileşikleridir. Yağın oksitleşmesi, dolayısıyla asit oluşumu, yağın içindeki alkali maddelerin düzeyini ölçerek değerlendirilebilir. TAN (Total Acid Number - Toplam Asit Sayısı) değeri, yağın bir mililitresindeki asidi nötrale edecek alkali madde potasyum hidroksit (KOH) miktarının gram olarak ifadesidir. TBN değeri, rezerv alkaliyi gösterdiği için kullanımda sürekli düşer. Bu analizler otomatik titratörle

yapılmaktadır. TAN tayini ASTM yöntemlerinden ASTM D 664 , TBN tayini ASTM yöntemlerinden ASTM D 2896 ile yapılmaktadır. Toplam baz numarası tayin cihazına ait görüntü Şekil 3.12’de, toplam asit numarası tayin cihazına ait görüntü Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Toplam baz numarası tayin cihazı



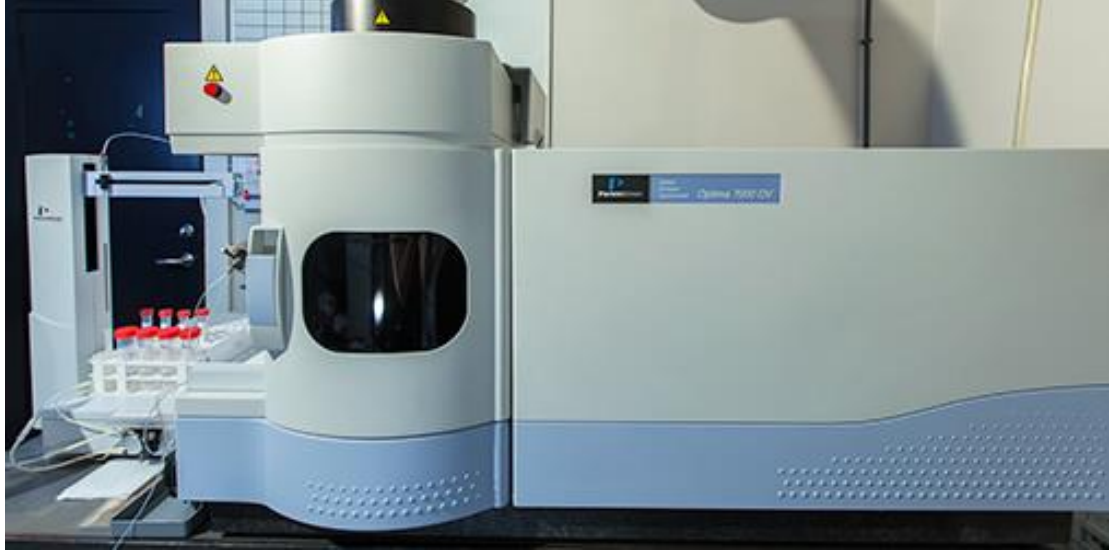
Şekil 3.13. Toplam asit numarası tayin cihazı

3.1.6.4. İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi (ICP-AES)

İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi (ICP-AES), sıvı numune veya bir kimyasal yardımı ile çözelti haline getirilebilir katı maddelerde metalik ve kısmen metalik olmayan elementlerin kantitatif (nicel) analizleri için kullanılır. Miktar tayini yapılacak elementin spektral şiddeti fotoelektrik üniteler tarafından absorblanır, elektrik sinyallerine dönüştürülür ve ışın ayırma sistemi ile bölünmesinden sonra kaydedilir. Elementel konsantrasyon ile spektral sinyal arasındaki orana karşılık gelen her bir değer için numune içindeki element oranları tespit edilir. Kinematik viskozite ölçümü ASTM yöntemlerinden ASTM D5185 ile yapılmaktadır. İndüktif eşleşmiş plazma atomik emisyon spektrometresine ait görüntü Şekil 3.14’de verilmiştir.

3.1.6.5. Alevlenme Noktası Tayini

Yağların, parlama ve yanma noktalarını belirleyen testtir. Bu değerler, çalışma güvenliği açısından önemlidir. Alevlenme noktası tayini ASTM yöntemlerinden ASTM D92 ile yapılmaktadır. Alevlenme noktası tayin cihazına ait görüntü Şekil 3.15.’de verilmiştir.



Şekil 3.14. ICP-AES tayin cihazı



Şekil 3.15. Alevlenme noktası tayin cihazı

3.1.6.6. Karl Fischer Su Tayin Cihazı

Yağ içeriğinde su, en tehlikeli dış etkilerin başında gelir. Zira suyun içindeki oksijen, karbon ve hidrojen ile birleşerek asit yapabildiği gibi, suyun bu özelliği ile temas ettiği yüzeylerde korozyona neden olduğu bilinmektedir. Su analizinde "ppm" (milyonda bir parçacık) birimi kullanılır. Laboratuvarımızda bu analiz, Otomatik Kulometrik Karl

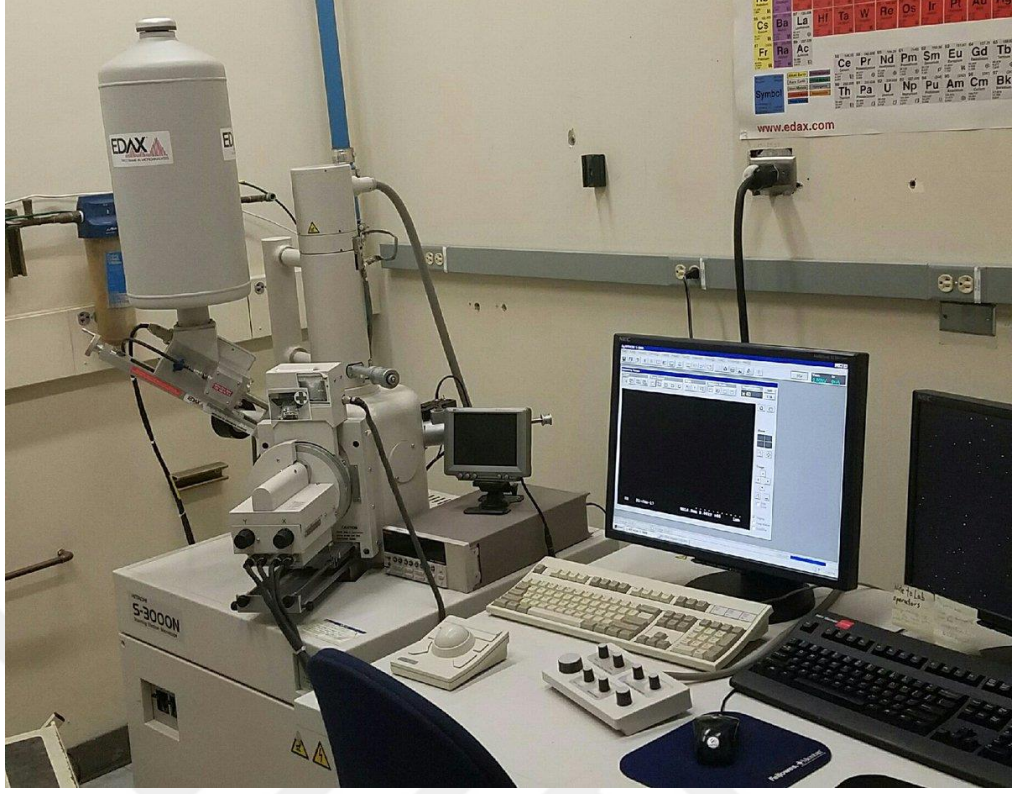
Fischer titrasyon cihazı ile ölçülür. Kulometrik nem tayini ölçümü ASTM yöntemlerinden ASTM D6304 ile yapılmaktadır. Karl Fischer su tayin cihazına ait görünüm Şekil 3.16.'de verilmiştir.



Şekil 3.16. Karl Fisher su tayin cihazı

3.1.7. Enjektör İncelemesinde Kullanılan Cihazlar

Tarla denemeleri sonrasında 1000 saat B20 ve dizel yakıt ile çalışan traktörlerin enjektörleri Bosch Türkiye'ye gönderilerek incelenmeleri sağlanmıştır. Bosch Türkiye'de elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektrometresi (EDS) yardımıyla, enjektör ucunda ve çevresinde biriken oluşumlar incelenmiştir. Elektron mikroskobu (SEM) ile malzemelerin makro ve alt mikron aralıklarında gözlenmesini sağlanmıştır. Enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi (EDS) ile birlikte kullanıldığında, malzemenin mikroskobik bölümleri üzerinde temel bir analiz yapılmıştır. Enerji dağılımlı X ışını spektrometresi görünümü Şekil 3.17'de, elektron mikroskobu görünümü ise Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Enerji dağılımlı X ışını spektrometresi



Şekil 3.18. Elektron mikroskobu

3.2. Yöntem

Bu çalışmada, değişik tarla işlerinde kullanılan aynı model ve marka iki farklı tarım traktöründe, B20 ve dizel yakıt ile 1000 saatlik çalışma sonrasında, motorun aşınmaya maruz kalan parçaları üzerinde oluşturduğu aşınma etkilerinin belirlenmesi amacıyla:

- Kuyruk mili (PTO) performans testleri,
- Motor emisyon testleri,
- Motorun aşınma etkilerini belirlemek üzere motor yağı analizleri ve görsel incelemeler,
- Yakıt seçeneğine bağlı olası etkilere maruz kalan enjektör meme ve iğnesi üzerinden SEM, FTIR, EDX ve fiziksel analizleri yapılmıştır.

3.2.1. Kuyruk Mili (PTO) Performans Testleri

1000 saatlik çalışmalar sonrasında traktörlerin Türk Traktör A.Ş.'de kuyruk mili dinamometresi kullanılarak güç, tork ve özgül yakıt tüketim değerleri ölçülmüştür. Maksimum güç ve maksimum torku veren devirlerin tespit edilebilmesi için motorun çalışıp kararlı hale gelmesi gerekmektedir. Kuyruk mili testleri OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) standardı Code 2'ye (OECD Standart Code for the Official Testing of Agricultural and Forestry Tractor Performance) yapılmıştır. Code 2'ye göre atmosferik basınç, hava nem oranı, hava sıcaklığı, motor hava giriş sıcaklığı, soğutucu sıcaklığı, motor yağ sıcaklığı ve yakıt sıcaklığı ölçülmüştür.

Traktör, dinamometreye kuyruk mili giriş şaftından bağlanmıştır. Traktör kuyruk mili seçme kolundan 540 min^{-1} kuyruk mili devrine ayarlanmıştır. Traktör tam gazda iken dinamometre, motoru otomatik modda yükleyerek tork ve güç değerleri belirlenmiş ve sonuçlar rapor olarak alınmıştır. B20 ve dizel yakıtlar için testler her iki traktörde ayrı ayrı yapılmıştır.

3.2.2. Emisyon ölçümleri

Motor emisyon test düzeneğinin standartları gereği traktörden motorun ayrılması ile sadece motor kullanılarak yapılmıştır. Motor soğutma suyu ve yağ 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.

Motor güç ve emisyon ölçümlerini belirlemek için motor tam gazda çalıştırılmış, dinamometre tarafından kademeli olarak yüklenerek, motor devri kademeli olarak düşürülmüş ve referans olarak motor devrindeki tüm ölçüm değerleri bilgisayara kaydedilmiştir.

Emisyonlar, gerekli standartlara uygunluğu doğrulamak ve sağlamak için gerekli yasal test prosedürlerine göre ölçülmüştür. ABD, AB ve Japonya da dahil olmak üzere birçok ülkede, off-road motor uygulamaları için bu işlemler 97/68/EC direktifinde belirtilen ISO 8178-C1 standardına uygun olarak gerçekleştirilmektedir.

Bu çerçevede motor, Çizelge 3.7’de belirlenmiş devir sayılarında 8 ayrı modda 10’ar dakika çalıştırılarak yapılmıştır. Her mod, farklı ağırlık faktörleriyle farklı hız ve yük koşullarının bir kombinasyonunu temsil etmektedir. Bu test döngüsünün tekrarlanabilir emisyon ölçüm koşulları yaratması ve her bir uygulama için gerçek bir çalışma koşulunu simüle etmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 3.7. ISO 8178-C1 test modları

Mod Numarası	Devir (min^{-1})	Tork (%)	Etki Katsayısı
1	2300	100	0,15
2	2300	75	0,15
3	2300	50	0,15
4	2300	10	0,10
5	1400	100	0,10
6	1400	75	0,10
7	1400	50	0,10
8	700	0	0,15

Partikül emisyonlarının belirlenmesinde partikül tüneli sistemi kullanılmıştır. Her testten önce, partikül tüneli ve örnekleme sistemi, hafif yükte çalışmanın neden olduğu yanmamış birikintilerin yakılmasını ve tanımlanmış koşulların testten teste kadar

tekrarlanabilmesini sağlamak için 55-60 °C'de koşullandırılmıştır. Numune almaya başlamadan önce tünel sıcaklıkları belirlenmiş ve numune alma süresi boyunca 0,5-52 °C arasında tutulmuştur. Egzoz emisyonları normal olarak her test modu için hacimsel olarak ölçülmüştür. Egzoz emisyon testleri ağırlıklı ortalama olarak hesaplanmış ve nihai emisyon sonuçları g/kWh (motor tarafından verilen mekanik enerji birimi başına kirletici gram) cinsinden ifade edilmiştir. Tartım kabini içerisinde yer alan hassas terazide temiz olarak tartılan florokarbon filtreler mini tünel sistemi üzerindeki bağlantı noktasına yerleştirilmiştir. Yüksek egzoz gazı sıcaklığı nedeniyle filtrelerin yanmaması için sistem tarafından %30 egzoz gazı ile %70 oranında ortam havası karışımı sağlanmış ve bu karışım tünele yerleştirilen filtre üzerinden 60 saniye süre ile geçirilmiştir. İşlem sonunda filtreler tünelden alınarak tekrar tartılmış ve bulunan fark bilgisayara girilerek yazılım tarafından hesaplanmıştır.

3.2.3. Yağ Analizleri ve Motor Ana Parçalarının İncelenmesi

Çalışmada kullanılan traktörlerden periyodik olarak her 200 saatte bir motor yağı ve filtresi değiştirilerek alınan yağ numuneleri analize gönderilmiştir. Traktör bakım aralıkları 200, 400, 600, 800 ve 1000 saat olduğu için yağ numuneleri bu aralıklara göre alınmış ve motor yağı içerisindeki kirleticiler, aşınma metalleri ve kimyasal analizlerden oluşan yağ analizleri yukarıda belirtilen metotlara göre yaptırılmıştır.

Fabrikada güç ölçümü ve emisyon ölçümleri tamamlanan motorlar demonte edilerek, B20 ve dizel yakıt kullanılarak çalıştırılmış bu iki motorun ana parçaları (motor silindir kapağı, supaplar, silindir iç yüzeyi, pistonlar, segmanlar, motor yatakları ve turboşarj ünitesi) görsel olarak da incelenmiştir.

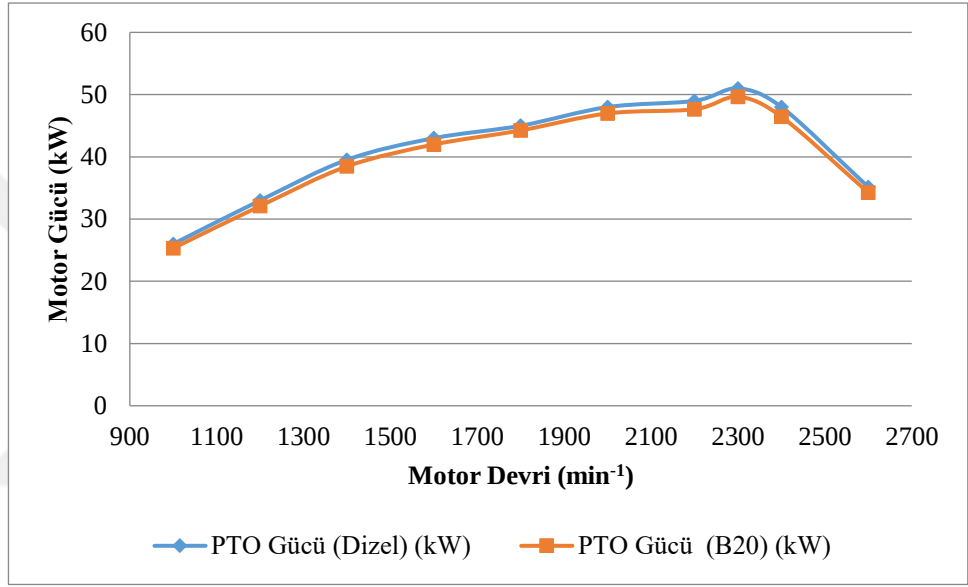
3.2.4. Enjektör Test ve Analizleri

Çalışmalar sonucunda motorların yakıt sistemleri üzerinden sökülen enjektörler, kullandığımız yakıtların etkilerinin analizi için Bosch Güç Aktarma Çözümleri Bursa Fabrikası'na (Bosch Powertrain Solutions Bursa Plant) gönderilmiştir. Kurum tarafından taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı x-ışını spektroskopisi (EDX) analizleri yapılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

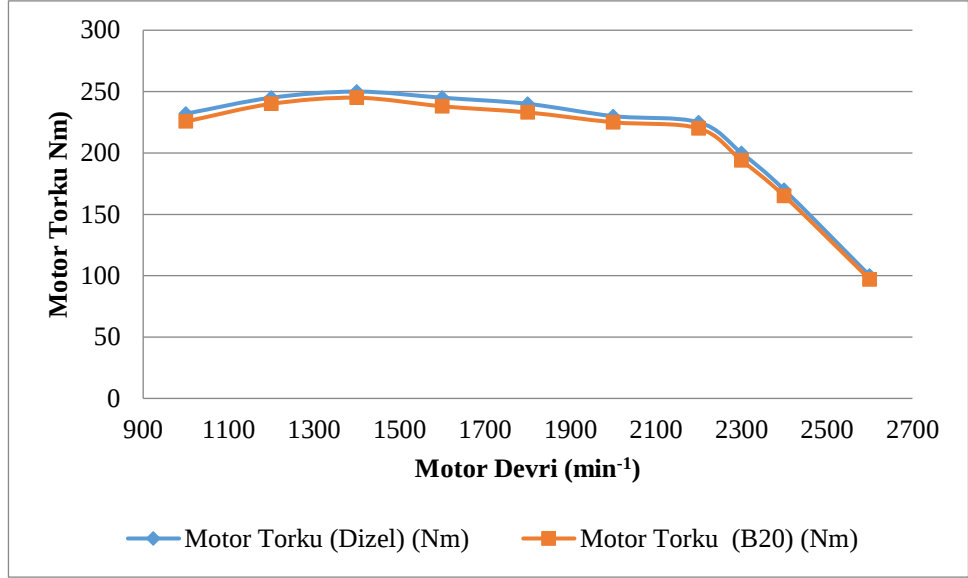
4.1. Kuyruk Mili (PTO) Performans Sonuçları

B20 ve dizel yakıtın motor performansının doğrudan dizel motor üzerinde incelendiği traktör kuyruk mili (PTO) testleri tork, güç ve özgül yakıt tüketim değerlerinin yük altında tespit edilmesi için gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3’de güç, tork, özgül yakıt tüketimi değerleri sırasıyla verilmiştir.



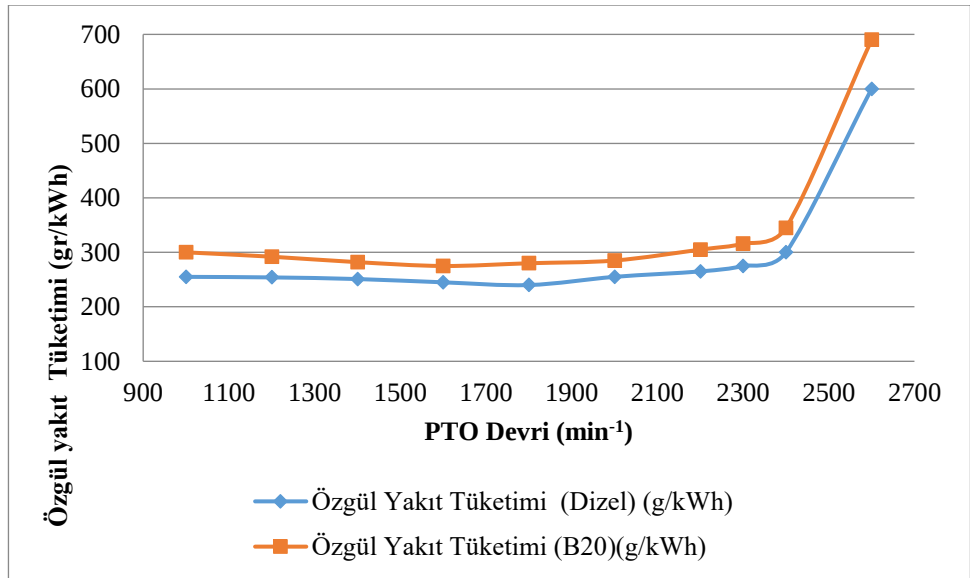
Şekil 4.1. B20 ve dizel yakıt motor güç değerleri

B20 ve dizel yakıt için kuyruk mili devrine göre 1000-2600 min⁻¹ aralığında motor kuyruk mili güç değerleri Şekil 4.1.’de görülmektedir. Verilen değerler incelendiğinde B20 yakıtından elde edilen güç değerlerinin dizel yakıtına göre az da olsa düşük çıktığı gözlemlenmektedir. 2300 min⁻¹ motor devrinde elde edilen maksimum güç değerleri dizel yakıt için 51 kW ve B20 için 49,65 kW bulunmuştur.



Şekil 4.2. B20 ve dizel yakıt motor tork değerleri

Şekil 4.2.'de her iki yakıt için kuyruk mili tork değerleri verilmiştir. Güçteki değişime paralel olarak B20'de, dizel yakıtı göre biraz daha düşük çıkmıştır. 1400 min⁻¹ motor devrinde maksimum tork değerleri dizel yakıt için 250 Nm ve B20 için 245 Nm olarak tespit edilmiştir.



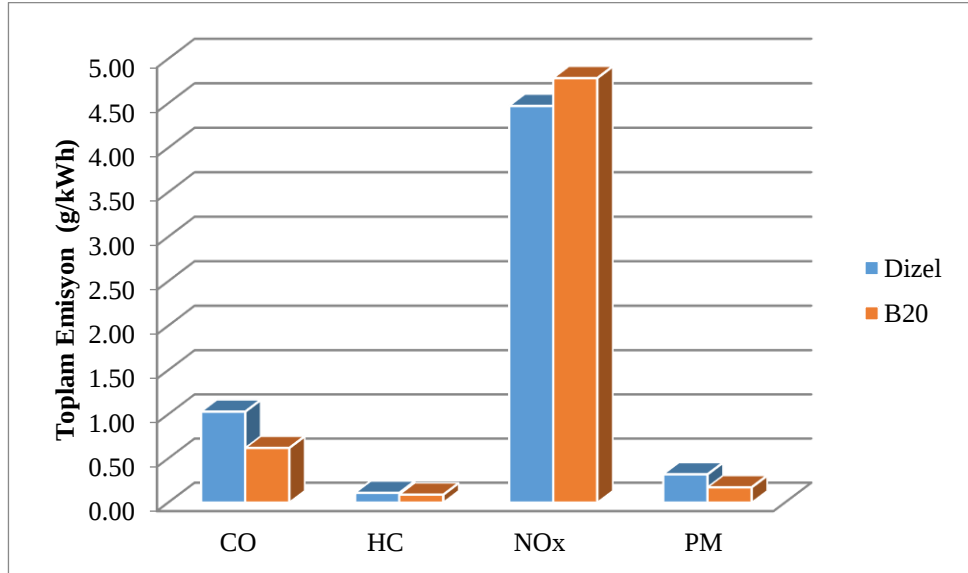
Şekil 4.3. B20 ve dizel yakıt özgül yakıt tüketim değerleri

B20 ve dizel yakıtın özgül yakıt tüketim değerleri Şekil 4.3.'de verilmiştir. Tüketilen yakıtın düşük ısı değeri ve birim güç üretimi başına yüksek yakıt tüketimi nedeniyle özgül yakıt tüketiminin biraz daha yüksek olduğu görülmüştür. Maksimum gücün elde edildiği 2300 min⁻¹ motor devrinde özgül yakıt tüketimi dizel yakıt için 275 g/kWh iken B20'de 316 g/kWh'tir.

Şekil 4.1-4.3'te verilen tam yük motor performans verilerine göre B20'de, dizel yakıtına göre maksimum güçte %3'lük güç kaybına, maksimum torkta %2'lik tork kaybı ve özgül yakıt tüketiminde %5'lik artış tespit edilmiştir. İki yakıt arasında güç, tork ve özgül yakıt tüketimi arasındaki farklılığın literatüre uygun olarak, kullandığımız yakıt karışımının ısı değeri, dizel yakıtına göre düşük olmasına bağlı olarak gerçekleştiği görülmüştür (Sugözü, Cengiz ve Altun, 2010).

4.2. Emisyon Ölçüm Sonuçları

CO, NO_x ve HC için Horiba Mexa-7100D emisyon ölçüm sistemi ve PM ölçümü için Horiba MDLT-1300 kısmi akışlı mini seyreltme tüneli kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.4.'de verilmiştir.



Şekil 4.4. B20 ve dizel yakıt emisyon değerleri

Şekil 4.4’de verilen emisyon değerleri;

- CO emisyonu dizel yakıt kullanımında 1,03 g/kWh, B20’de ise 0,618 g/kWh
- HC emisyonu dizel yakıt kullanımında 0,11 g/kWh, B20’de ise 0,0891 g/kWh
- PM emisyonu dizel yakıt kullanımında 0,32 g/kWh, B20’de ise 0,1728 g/kWh
- NO_x emisyonu dizel yakıt kullanımında 4,47 g/kWh, B20’de ise 4,7829 g/kWh’dir.

Şekil 4.4’te verilen emisyon ölçüm sonuçlarına göre B20’de dizel yakıtına göre CO’nun %42, HC değerinin %19, PM değerinin %46 azaldığı tespit edilmiştir bu değer yakıtın yapısında bulunan oksijene bağlı olarak yanma kalitesinin iyileşmesinden kaynaklandığı görülmektedir. Genel olarak dizel motorlarda sıkıştırma oranının yüksek olması ve katmanlı yanmadan dolayı NO_x değerinde dramatik artışlar görülmektedir. Elde ettiğimiz sonuçlarda B20 karışımının dizel yakıtı göre NO_x değerinin %1’lik gibi düşük bir oranda artış olması, motor yapısında bulunan EGR sisteminin etkisinden kaynaklanmıştır (Aalam, Saravanan ve Anand, 2016; Millo ve diğerleri, 2015; Liaquat ve diğerleri, 2013; Lebedevas ve diğerleri, 2007; Habibullah ve diğerleri, 2015; Vairamuthu ve diğerleri, 2016).

4.3. Motor Yağı Analiz Sonuçları

B20 ve dizel yakıt kullanan traktörlerden 200 saatlik aralıklar ile 5 kez alınan yağ numunelerinden yapılan analizlerinde motor yağı içerisindeki kirleticiler, aşınma metalleri ve kimyasal analizler yapılmıştır. Yağ analizi aşınma metalleri analizi sonuçları Çizelge 4.1.’de, yağdaki kirleticilerin analiz sonuçları Çizelge 4.2.’de ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Sn, Fe, Cu ve Al değerleri yağ analiz sonuçlarının, laboratuvarlarında ilgili analizleri gerçekleştiren yağ üreticisinin kontrol verilerine göre Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi kabul edilebilir sınırlar arasındadır. Diğer yandan aşınma metallerinden Cr, Ni ve Pb metal kalıntıları gözlemlenmemiştir.

Çizelge 4.1. Aşınma metalleri değerleri (mg/kg)

	Birim	Test	15W40	Yağ değişim aralığı (çalışma saati)									
		Metodu		200		400		600		800		1000	
			Limit	B20	Dizel	B20	Dizel	B20	Dizel	B20	Dizel	B20	Dizel
Sn	mg/kg	ASTM D5185	15-20	5	2	2	0	2	1	1	1	1	2
Pb	mg/kg	ASTM D5185	15-30	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni	mg/kg	ASTM D5185	10-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe	mg/kg	ASTM D5185	80-120	5	9	5	5	6	4	4	3	5	3
Cu	mg/kg	ASTM D5185	30-50	5	3	5	1	2	1	1	0	1	2
Cr	mg/kg	ASTM D5185	10-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	mg/kg	ASTM D5185	15-30	0	0	1	0	2	1	1	0	0	0

Çizelge 4.2’de verilen motor yağı analiz sonuçlarına göre yağ içerisindeki kirleticiler verilmiştir. Glikol, silisyum, yakıt seyrelmesi ve kurum; motor yağına sonradan karışan dış kaynaklı unsurlardır. Motor yağında glikol varlığı, motor yağına antifriz karışması durumunda ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca, yağ analiz sonrasında soğutma sisteminin problemsiz çalıştığı gözlemlenmiştir. Motor yağındaki silisyum miktarı, motor yağındaki toz miktarını ifade etmektedir. Motor yağında çıkan silisyum miktarları kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Silisyum miktarındaki farklılıklar ile yapılan iş ve hava filtresi temizliği arasında bağlantı kurmaktadır. Yakıt seyrelmesi ise motor yağına karışan yanmamış yakıtın bir göstergesidir. Yakıt seyrelme değerleri her iki yakıt için de birbirine yakın değerlerde çıkmıştır. B20 ile dizel yakıtın püskürtme açılarında çok fazla değişim olmadığı gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.3’te verilen kimyasal yağ analiz sonuçlarında viskozite indeksi (VI), toplam baz sayısı (TBN), toplam asit sayısı (TAN), su tayini (COC), parlama noktası, kinematik viskozite, sülfat, oksidasyon ve nitrasyon değerleri verilmiştir. Viskozite indeksi değeri ne kadar yüksekse sıcaklık değişimlerinde viskozitedeki değişimin o kadar az olduğunu gösteren değerdir. TBN değeri, yağlayıcılardaki kalsiyum sülfonat, magnezyum, çinko ve fosfor gibi katkı maddelerinin içeriğini gösterir. TAN değeri motor yağının bir mililitresindeki asidi nötralize edecek alkali madde potasyum hidroksit (KOH) miktarının gram olarak ifadesidir. Kimyasal analiz sonuçlarına göre tüm değerlerin yağ üreticisinin vermiş olduğu sınır değerler arasında olduğu gözlemlenmiştir.

B20 ve dizel yakıtlarından elde edilen ve Çizelge 4.1 – 4.3’de verilen yağ analiz değerleri (kirleticiler, aşınma metalleri ve kimyasal analiz) bakımından incelendiğinde;

- Sn, Fe, Cu ve Al değerlerinin toleranslar içerisinde olduğu tespit edilirken Cr, Ni ve Pb metal kalıntıları ise gözlemlenmemiştir. Dolayısıyla B20 yakıtının motor parçalarına yağ kaynaklı olumsuz yönde bir etkisinin olmadığı görülmüştür.
- Motor yağında glikolün tespit edilememesi, soğutma sistemi ile yağlama sistemi arasında sızıntı olmadığını göstermektedir.
- Silisyum miktarındaki farklılıklar, yapılan iş ve hava filtresi temizliği arasında bağlantı kurmaktadır. Çizelge 4.2’de ICP-Si değerlerinde B20 ve dizel yakıttaki değişiklikler traktörün daha fazla tozlu ortamda çalıştığını ve daha düşük çıkan değerlerdeki yakıtı kullanılan traktörün hava filtresi bakımının daha sık yapıldığını göstermektedir. Yakıt seyrelmesi ise motor yağına karışan yanmamış yakıtın bir göstergesidir. Yakıt seyrelme değerleri her iki yakıt içinde birbirine yakın değerlerde çıkmıştır. B20 ile dizel yakıtın püskürtme açılarında çok fazla değişim olmadığı gözlemlenmektedir.
- Çizelge 4.3’de verilen B20 ve dizel yakıt kullanılan motor yağı kimyasal analiz sonuçlarından TBN ve TAN değerlerinin limitler içerisinde olduğu ve yağlama yağının özelliğini koruduğu görülmüştür. TBN değerinin 8,1 mgKOH/gr’ın altına veya 3,25 mgKOH/gr’ın üstüne çıkması durumunda yağ özelliklerini yitirdiği anlamına gelmektedir.
- Motor yağı içerisindeki TBN değerini belirleyen katkı maddelerinin su tutma özelliğini arttırmasına rağmen, su tayini (COC) analiz sonucunda verilen değerler limit değerlerinin çok altında olduğu görülmüştür.
- Yağa karışan yanmamış yakıt karterdeki yağa ile karıştığında, yağın oluşturduğu film tabakası incelir, yağın viskozitesini azaltır ve yağ, özelliğini yitirir. Analiz sonuçlarındaki viskozite değerlerinde sınır değerler arasında kalmasından dolayı yakıt seyrelmesi olmadığı ve özellikle B20 yakıtını kullanmamızdan kaynaklı bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

Çizelge 4.2. Kirleticilerin değerleri (mg/kg)

Tipi	Birim	Test Metodu	15W40	Yağ değişim aralığı (h)									
				200		400		600		800		1000	
			Limit	B20	Dizel	B20	Dizel	B20	Dizel	B20	Dizel	B20	Dizel
FT-IR Glikol	-	ASTM D 2270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ICP-Si	mgKOH/g	ASTM D 2896	15-25	5	9	5	7	4	2	3	5	4	3
Yakıt seyrelmesi	mgKOH/g	ASTM D664	-	1,5	1,8	1,5	2	2	1,6	1,8	1,4	1,8	1,5
FT-IR Kurum	Ppm	ASTM D6304	2-3	0,04	0,045	0,01	0,022	0,01	0,01	0,01	0,035	0,01	0,03

Çizelge 4.3. Kimyasal analiz sonuçları (mg/kg)

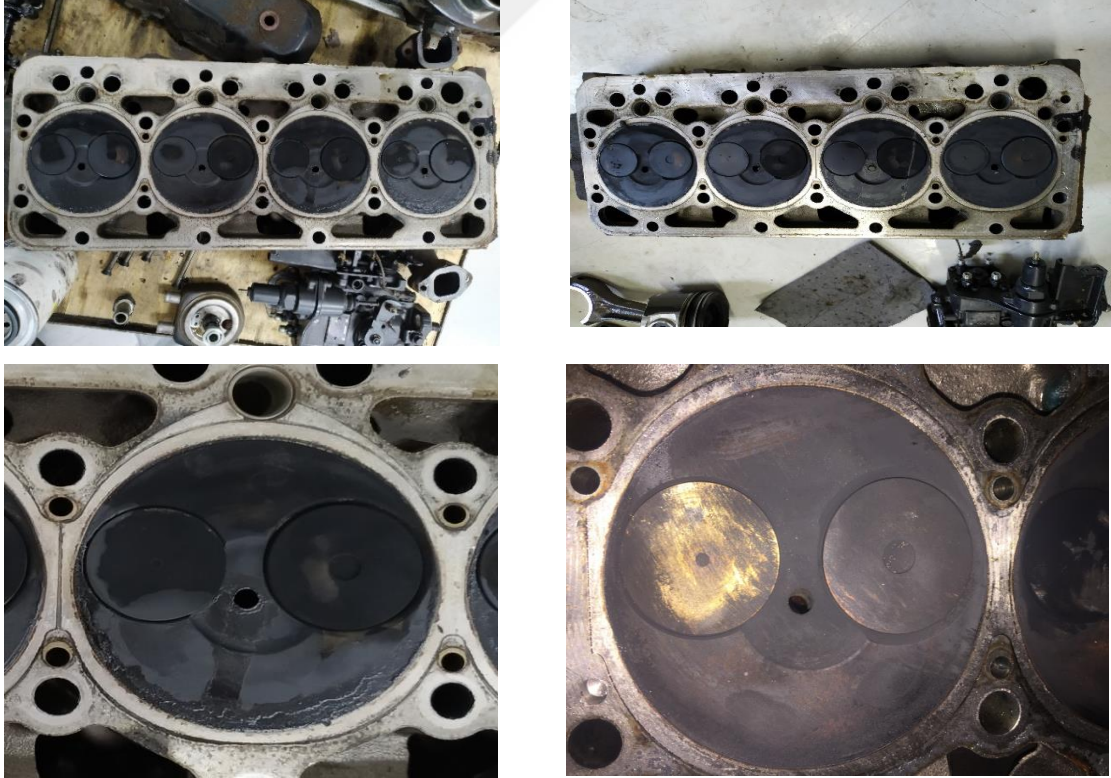
Tipi	Birim	Test Metodu	15W40	Yağ değişim aralığı (h)									
				200		400		600		800		1000	
			Limit	B20	Dizel	B20	Dizel	B20	Dizel	B20	Dizel	B20	Dizel
VI	-	ASTM D 2270		141	132	142	132	141	131	142	126	141	140
TBN	mgKOH/gr	ASTM D 2896	>8,1	12,19	13,12	12,04	12,32	12,32	12,32	12,09	12,10	11,94	12,3
TAN	mgKOH/gr	ASTM D664	<3,25	3,05	3,02	3,06	3,05	3,05	3,04	3,02	3,04	3,21	3,06
Su Tayini (COC)	ppm	ASTM D6304	<2000	216	195	236	197	197	169	189	124	205	211
Parlama Noktası	°C	ASTM D 92	-	232	238	230	240	230	240	230	240	234	231
Kinematik Vizkozite, 40°C	mm²/s	ASTM D 445	92-138	97,05	96,32	97,4	96,81	95,83	95,64	96,22	96,05	96,4	97,12
Kinematik Vizkozite, 100°C	mm²/s	ASTM D 445	12-18	13,67	12,97	13,76	13,04	13,52	12,86	13,6	12,85	13,56	13,71
FT-IR Sülfat	Abs/cm	ASTM E 2412	15-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FT-IR Oksidasyon	Abs/cm	ASTM E 2412	15-30	4	0	3	0	3	0	3	0	2	5
FT-IR Nitrasyon	Abs/cm	ASTM E 2412	15-30	3	3	2	3	3	3	3	2	3	2

4.4. Motor Ana Parçalarının Görsel Analiz Sonuçları

B20 ve dizel yakıt kullanan traktörlere ait motorlar Türk Traktör Fabrikası'nda sökülerek, görsel olarak incelemeye alınmıştır. Motor parçalarına ait görseller Şekil 4.5-4.13 arasında verilmiştir.



Şekil 4.5. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan traktör motorları



Şekil 4.6. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan silindir kapakları



Şekil 4.7. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan motor supapları



Şekil 4.8. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan kol yatakları



Şekil 4.9. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan krank mili yatakları



Şekil 4.10. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan pistonlar



Şekil 4.11. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan krank milleri



Şekil 4.12. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan silindir cidarları



Şekil 4.13. B20 (sol) ve dizel yakıt (sağ) kullanılan turboşarj üniteleri

Motorun demonte işlemi sonrasında atölye ortamında yapılan tespitlerde her iki yakıtın da kullanıldığı motorların ana parçalarında olağan üstü bir aşınma tespit edilmemiştir. Bununla birlikte, her iki motorunda EGR sistemine sahip olması nedeniyle parçalar üzerinde bir miktar kurum tespit edilmiş olup, B20 yakıtında egzoz gazının temas ettiği parçalarda biraz daha fazla kurum birikintisi ile karşılaşmıştır.

Şekil 4.5-4.13'te verilen motor ana parçalarının görsel olarak incelenmiş ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Turboşarj ünitesinde B20'de, dizel yakıtı göre daha fazla kurum gözlemlenmiştir, Bu kurum, uzun süreli çalışma koşullarında turboşarj ünitesi dönen parçalarının balansına olumsuz yönde etki edip arızalanmasına sebep olabilir. Wastegate bölümünde Şekil 4.13'de görülebileceği gibi dizel yakıtta daha az kurum ile karşılaşmıştır. Bu farklı kurum miktarı oluşumuna, B20'nin ısı değerlerinin dizel yakıttan daha az ve yakıt tüketiminin dizel yakıtı göre daha fazla olmasından kaynaklandığı söylenebilir.
- B20 ve dizel yakıt kullanılan motorların silindir kapakları ve supapları incelendiğinde, B20 yakıt kullanılan silindir kapağında, supapların silindir kapağına oturma yüzeylerinde ince bir kurum tabakası tespit edilmesine rağmen bu kurumlaşmanın 1000 saatlik çalışma süresi için normal bir birikme olduğu ve supapların çalışmasına etkisinin fazla olmayacağı kanaatine varılmıştır. Bununla birlikte her iki yakıt içinde gözlemlenen kurumun, motorun EGR sistemine sahip

olmasından ve karter yağı buharını emiş hattına veren karter havalandırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

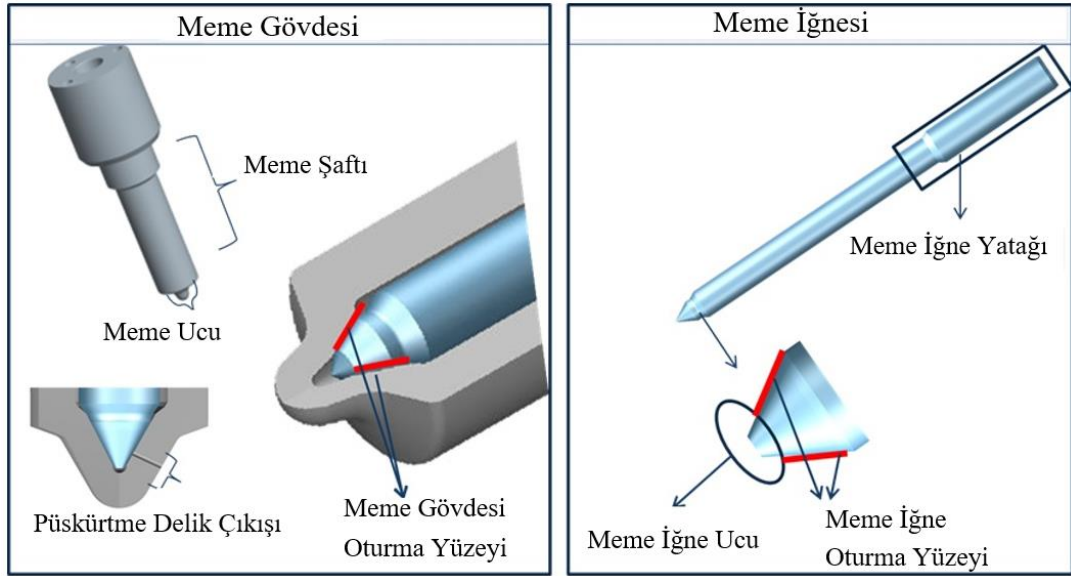
- Her iki yakıt kullanımında da krank mili, kol ve ana yataklarında kabul edilebilir düzeyde aşınma olduğu, 1000 saatlik çalışma süresi için aşınmanın toleranslar içerisinde kaldığı gözlemlenmiştir.
- B20 yakıtında kullanılan pistonların üst yüzeyinde, dizel yakıtına göre daha fazla kurum tespit edilmiştir ve kurum miktarının 1000 saatlik çalışma için toleranslar içerisinde olduğu kanaatine varılmıştır. Her iki yakıt kullanımında da segmanlarda sakızlaşma ve sıkışıklık, piston ve silindir dayanma yüzeylerinde krepaj ve aşınma tespit edilmemiştir.

4.5. Enjektör Meme Analiz Sonuçları

Dizel yakıt ve B20 ile 1000 saatlik çalışmadan sonra enjektör meme ve iğnelerine etkilerinin belirlenmesi için:

- Enjektör memelerinin fonksiyonel değerlendirilmesi ve görsel kontrolü,
- Enjektör meme uçlarının ve meme iğnelerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi,
- Enjektör meme ucu ve meme iğnesi üzerindeki tortuların FTIR spektroskopi analizi,
- EDX element analizleri yapılmıştır.

Aşağıda analiz edilen enjektör memesinin parçaları (meme gövdesi ve meme iğnesi parçaları) üzerindeki kısımlar Şekil 4.14’de gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Enjektör memesinin kısımları

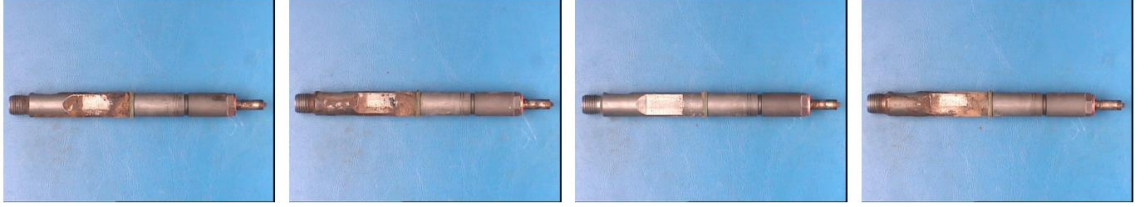
4.5.1. Enjektör Memelerinin Fonksiyonel Değerlendirmesi ve Görsel Kontrolü

Yakıtın silindir içinde yanması sonucu enjektörde biriken karbon birikintilerinin etkilerine ilişkin enjektörlerin temel parametreleri ve işlevini yerine getirip getirmediği değerlendirilmiştir. Ölçülen ve değerlendirilen enjektör memelerinin fiziksel parametreleri Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

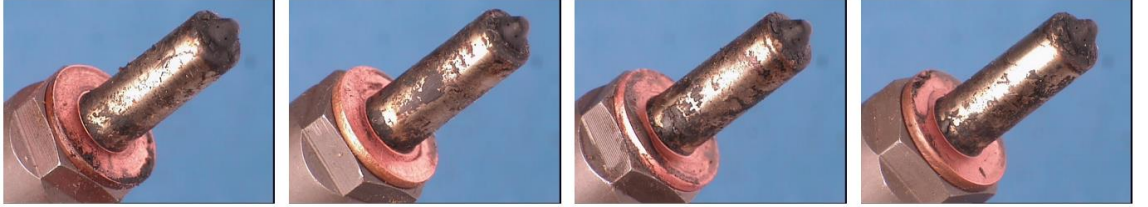
Çizelge 4.4. Enjektör memelerinin fiziksel ölçüm sonuçları

	Sızdırmazlık*	Temizlenme öncesi Meme Akış Miktarı*	Temizleme Sonrası Meme Akış Miktarı*	Koklaşma Derecesi. *	Açma Basıncı	Gövde/İğne Klavuz Açıklığı*	Gövde oturma yüzeyi aşınma derinliği *	Gövde Deformasyonu Derinlik *	Strok
Birim	bar	cm ³ /100 bar	cm ³ /100 bar	%	bar	cm ³ /min	µm	µm	mm
Nominal Değer	≥150	-	-	<5	-	-	-	-	-
1 (Dizel)	Sıkı	580,42	581,03	0,1	215,68	22	1,1	1,4	0,248
2 (Dizel)	Sıkı	577,09	577,64	0,1	215,18	40	1,1	1,2	0,249
3 (Dizel)	Sıkı	580,06	580,19	0,02	214,71	60	1,1	1,4	0,252
4 (Dizel)	Sıkı	579,08	579,54	0,08	207,94	25	1	<1	0,25
1 (B20)	Sıkı	576,07	576,08	0	212,43	33	<1	<1	0,248
2 (B20)	Sıkı	574,61	574,71	0,02	212,35	36	<1	<1	0,249
3 (B20)	Sıkı	572,95	573,38	0,07	213,62	55	<1	<1	0,239
4 (B20)	Sıkı	574,84	574,95	0,02	216,87	48	<1	<1	0,138

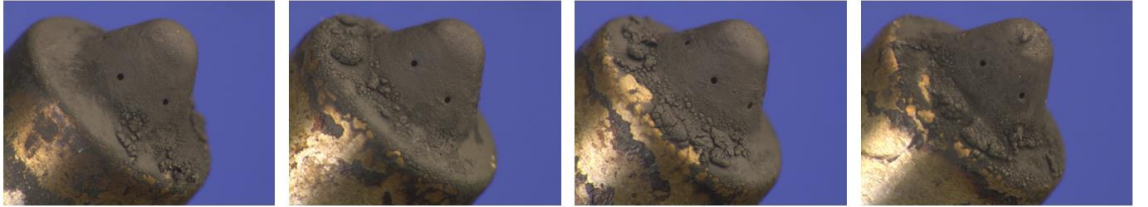
B20 ve dizel yakıtları için enjektörlerde biriken karbon kalıntılarında eskime/yaşlanma ürünleri (malzeme deformasyonu sonucu oluşan) ve inorganik bileşenler gözlenmiştir. (Şekil 4.15- 4.22)



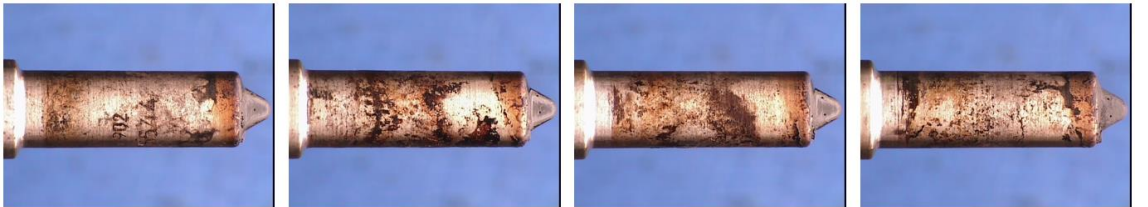
Şekil 4.15. B20 ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı enjektörler (temizleme öncesi)



Şekil 4.16. B20 ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme gövdesi (temizleme öncesi)



Şekil 4.17. B20 ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme uçları (nozzle tips) (temizleme öncesi)



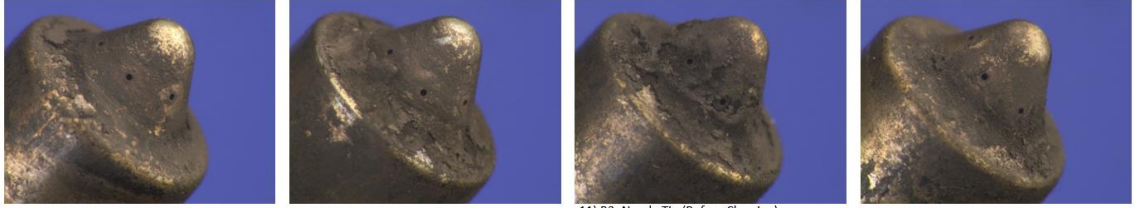
Şekil 4.18. B20 ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme şaftı (nozzle stems) (temizleme öncesi)



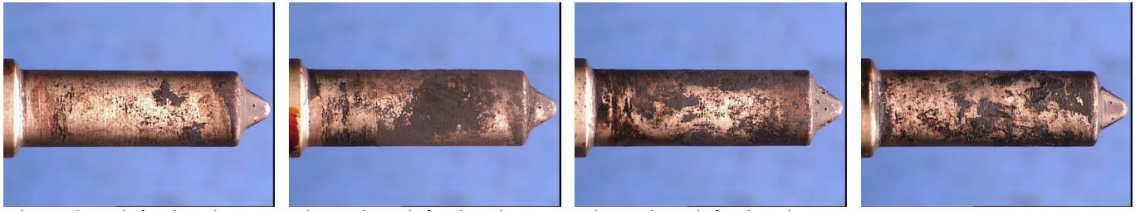
Şekil 4.19. Dizel yakıt ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı enjektörler (temizleme öncesi)



Şekil 4.20. Dizel yakıt ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme gövdesi (temizleme öncesi)



Şekil 4.21. Dizel yakıt ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme uçları (nozzle tips) (temizleme öncesi)



Şekil 4.22. Dizel yakıt ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme şaftı (nozzle stems) (temizleme öncesi)

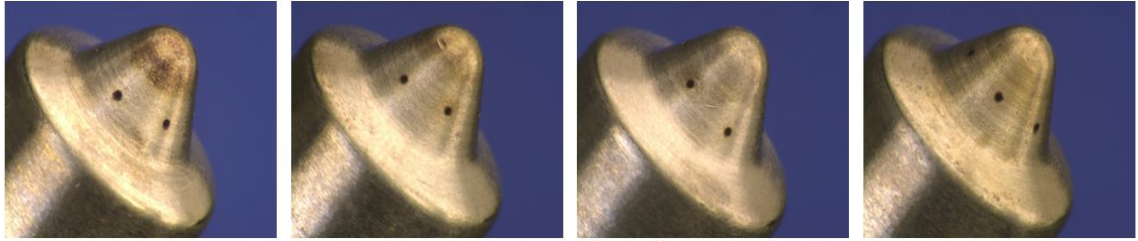
Dizel yakıt ve B20 ile çalışan motorlardan sökülen enjektörlerin memelerindeki tortular büyük olmasa da, Şekil 4.17-Şekil 4.22 arasında, koklaşmış karbon tortuları daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Dizel kaynaklı HC yanması sonucu oluşan belirgin karbon

tortuları enjektörlerde görülebilir. Öte yandan, B20 yakıtının yanması sonucu oluşan karbon birikintileri daha küçük ve farklı bir formda görünmektedir.

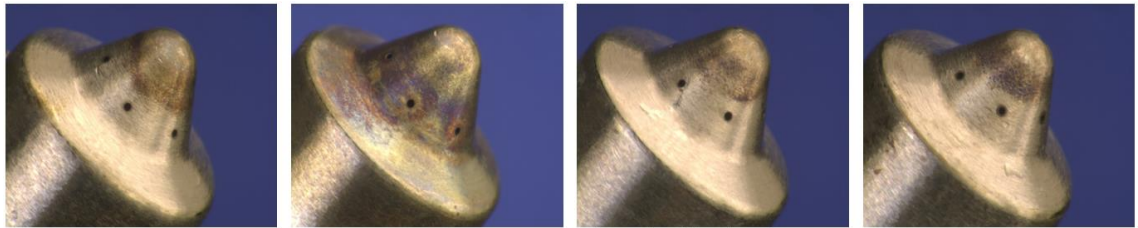
4.5.2. FTIR, SEM ve EDX Analizleri

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

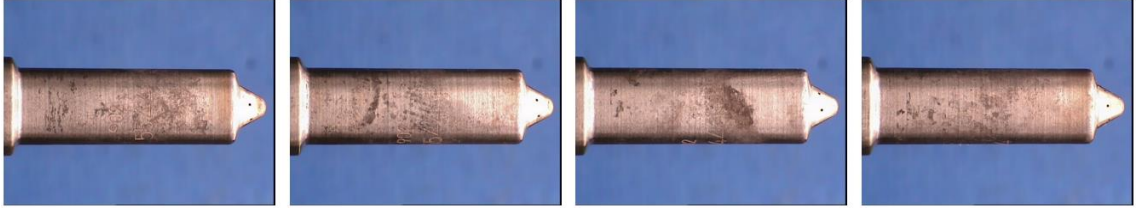
Dizel yakıt ve B20 kullanılarak 1000 saatlik dayanıklılık testi tamamlandıktan sonra enjektörler demonte edilmiş, temizlenmiş ve ölçüm kriterlerine uygun şekilde hazırlanmıştır. Temizleme sonrası meme ucu ve meme şaftları görselleri Şekil 4.23- 4.36 arasında verilmiştir. Bu aralıktaki meme iğneleri ve meme uçlarının SEM analiz sonuçları ise B20 için Şekil 4.27’de ve dizel yakıt için Şekil 4.28’de verilmiştir.



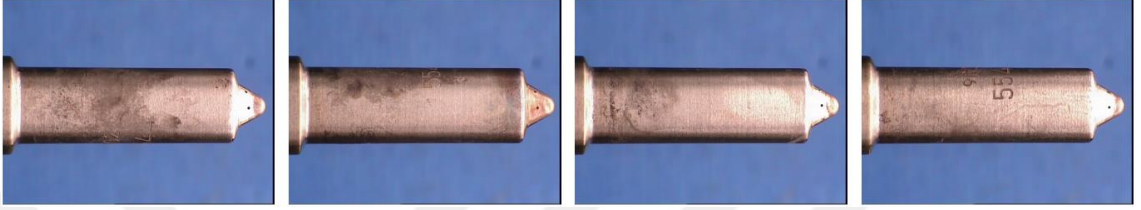
Şekil 4.23. B20 ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme uçları (nozzle tips) (temizleme sonrası)



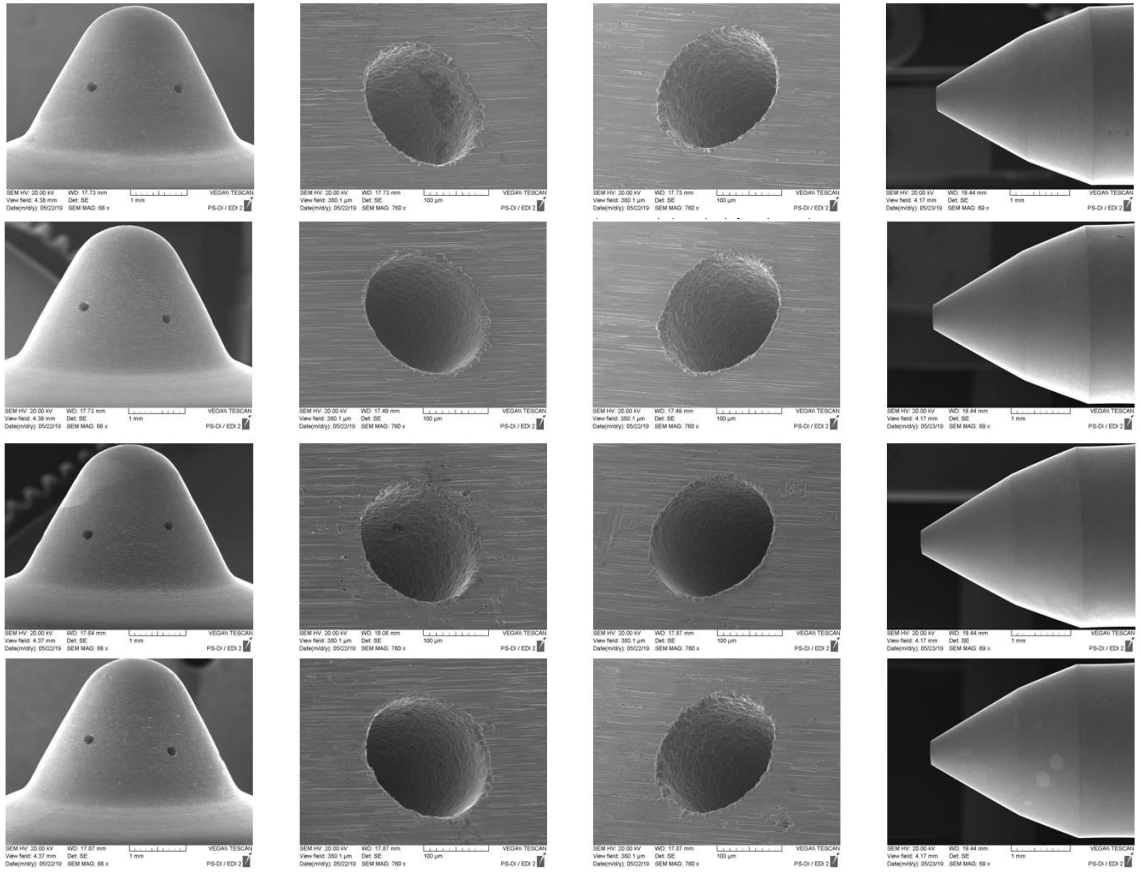
Şekil 4.24. Dizel yakıt ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme uçları (nozzle tips) (temizleme sonrası)



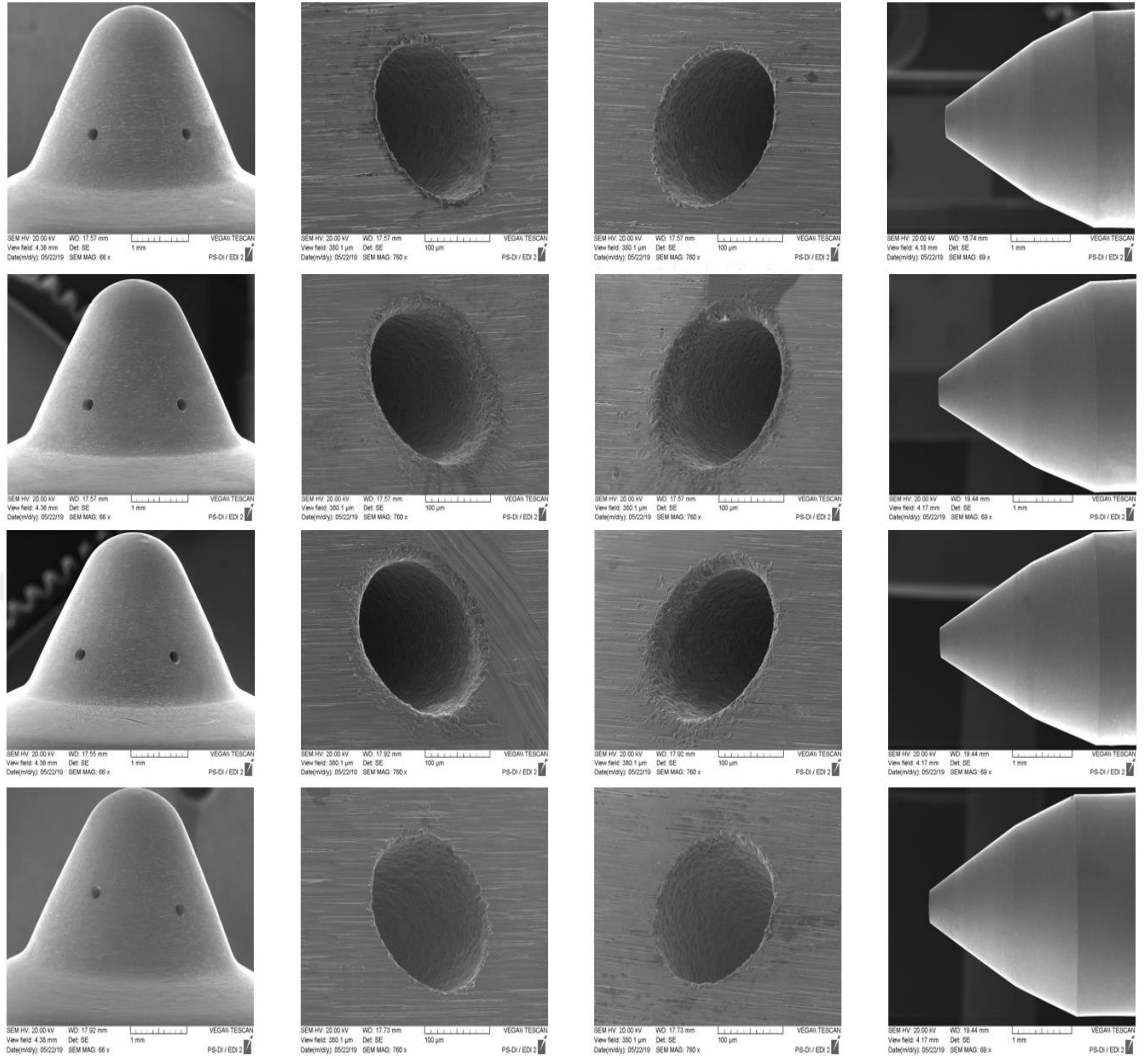
Şekil 4.25. B20 ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme şaftı (nozzle stems) (temizleme sonrası)



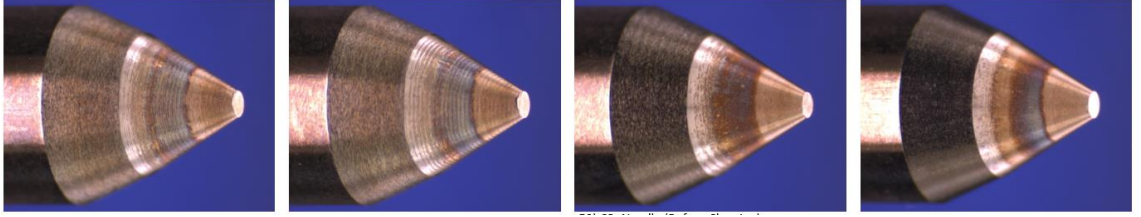
Şekil 4.26. Dizel yakıt ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme şaftı (nozzle stems) (temizleme sonrası)



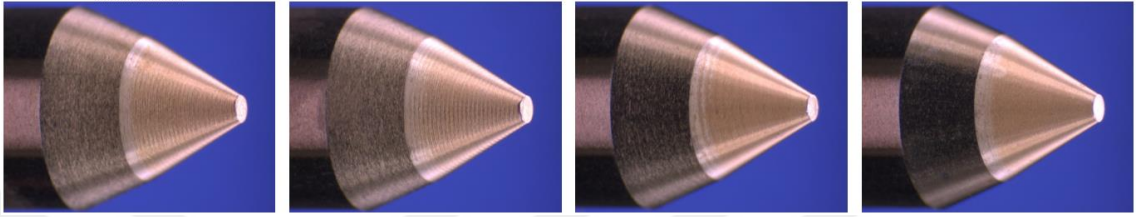
Şekil 4.27. B20 ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı püskürtme çıkışı ve iğne oturma alanı (temizleme sonrası)



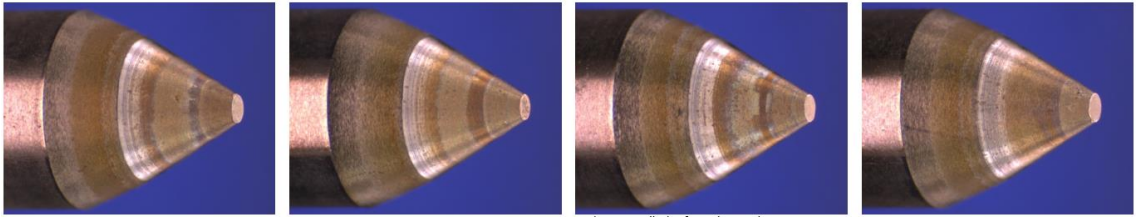
Şekil 4.28. Dizel yakıt ile çalışma sonrası 1, 2, 3 ve 4 numaralı püskürtme çıkışı ve iğne oturma alanı (temizleme sonrası)



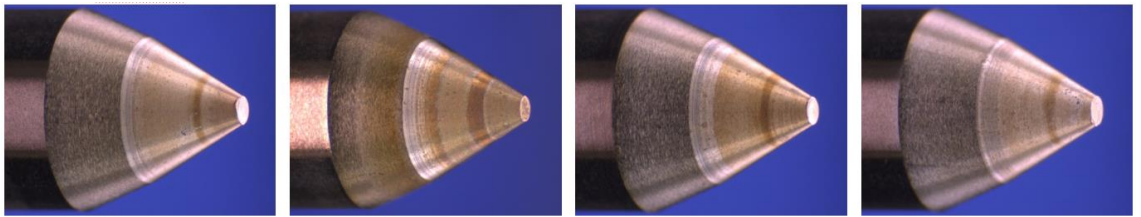
Şekil 4.29. B20 ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı meme uçları (nozzle tips) (temizleme öncesi)



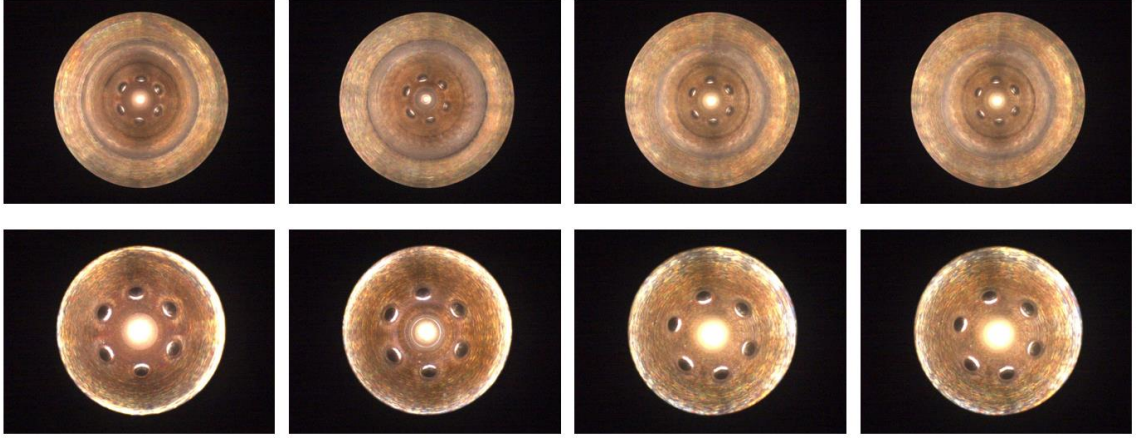
Şekil 4.30. B20 ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı meme uçları (nozzle tips) (temizleme sonrası)



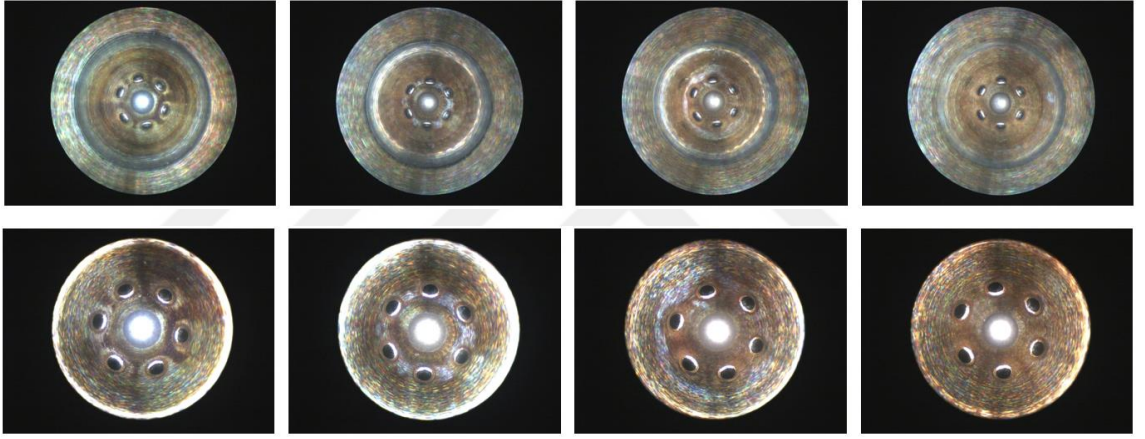
Şekil 4.31. Dizel yakıt ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı meme uçları (nozzle tips) (temizleme öncesi)



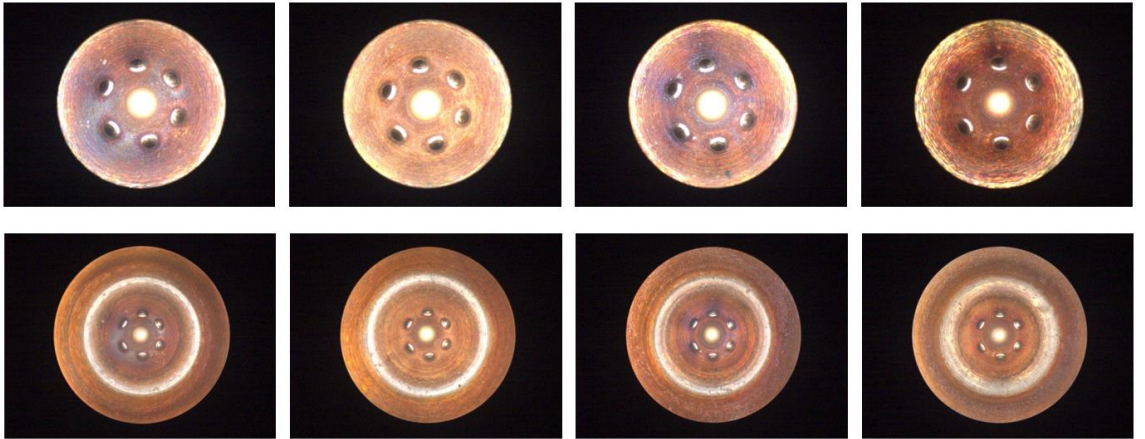
Şekil 4.32. Dizel yakıt ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı meme uçları (nozzle tips) (temizleme sonrası)



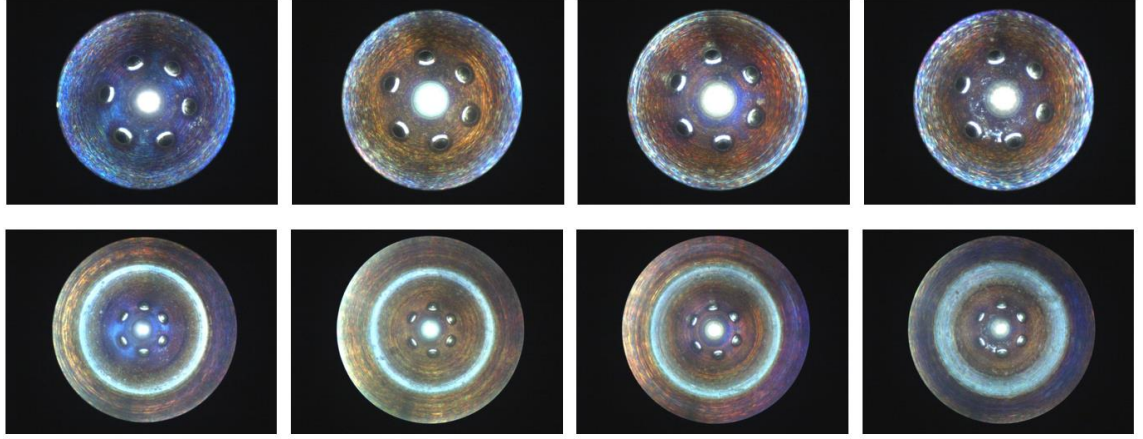
Şekil 4.33. B20 ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı meme gövdesi oturma yüzeyi (temizleme öncesi)



Şekil 4.34. B20 ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı meme gövdesi oturma yüzeyi (temizleme sonrası)



Şekil 4.35. Dizel yakıt ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı meme gövdesi oturma yüzeyi (temizleme öncesi)



Şekil 4.36. Dizel yakıt ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı meme gövdesi oturma yüzeyi (temizleme sonrası)

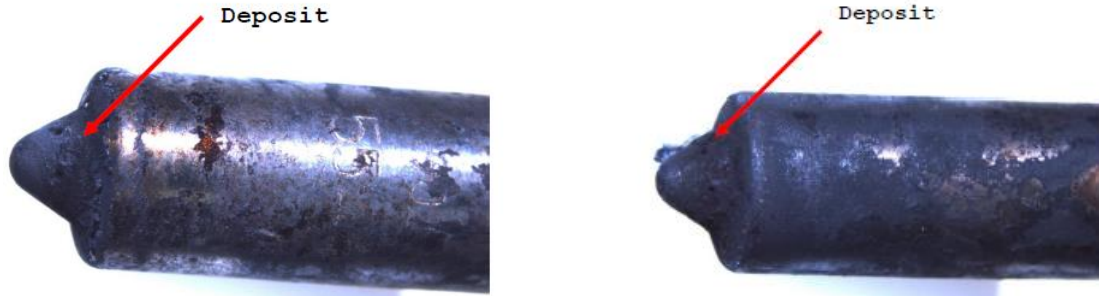
4.5.2.2. Enjektör Meme Ucu ve Meme İğnesi Üzerindeki Tortuların FTIR Spektroskopisi ve EDX Element Analizleri

Enjektör meme ucu ve meme iğnesi üzerindeki tortuların FTIR spektroskopisi ve EDX element analizleri FTIR Şekil 4.38. ve 4.39’da görüldüğü gibi meme ucunda Bosch temel ölçüm metoduna göre 3 noktadan ölçüm yapılmaktadır, bunlar spektrum 1, spektrum 2 ve spektrum 3 noktalarıdır. Ölçüm sonuçları hangi noktadan daha net ve daha fazla veri veriyse o ön plana çıkartılmıştır. Meme ucu üzerindeki diğer iki noktadaki birikintiler bu ölçüm noktasına göre daha yoğun element bulundurmadağı için dikkate alınmamaktadır.

4.5.2.2.1. Enjektör Meme Ucu ve Meme İğnesi Üzerindeki Tortuların FTIR Spektroskopisi Analizi

Enjektör iğnesi ve meme uçlarındaki tortular FTIR kullanılarak analiz edilmiştir. İğne üzerindeki tortuların FTIR spektral analiz sonucu, poliizobütilen süksinimit (PIBSI) ve dizel parçalarının inorganik bileşenlerini içerdiğini ortaya koymuştur. Hem B20 hem de dizel yakıt kullanılan enjektör meme uçlarında Şekil 4.37’de görüldüğü gibi yaşlanma ürünleri ve inorganik bileşenler tespit edilmiştir (Liaquat ve diğerleri, 2014). Gelişmiş dizel enjeksiyon sistemleri, enjektör ucunda ve çevresinde tortular oluşturabileceğini, özellikle enjektör ucunun daha yüksek sıcaklıkların olduğu kısımlarda tortu oluşumunun ortaya çıktığı gözlemlenmiştir (Shu, Dong, ve Liang, 2012; Leedham ve

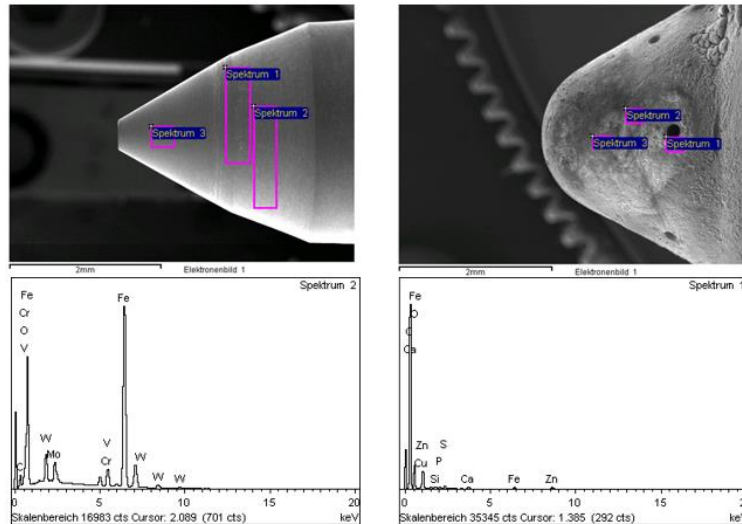
diğerleri, 2004; Birgel ve diğerleri, 2008). Genel olarak, temel testler, enjektör ucunun üzerindeki ve çevresindeki tortuların, her iki yakıtta da meme açıklıklarında önemli bir daralmaya neden olmadığını göstermiştir.

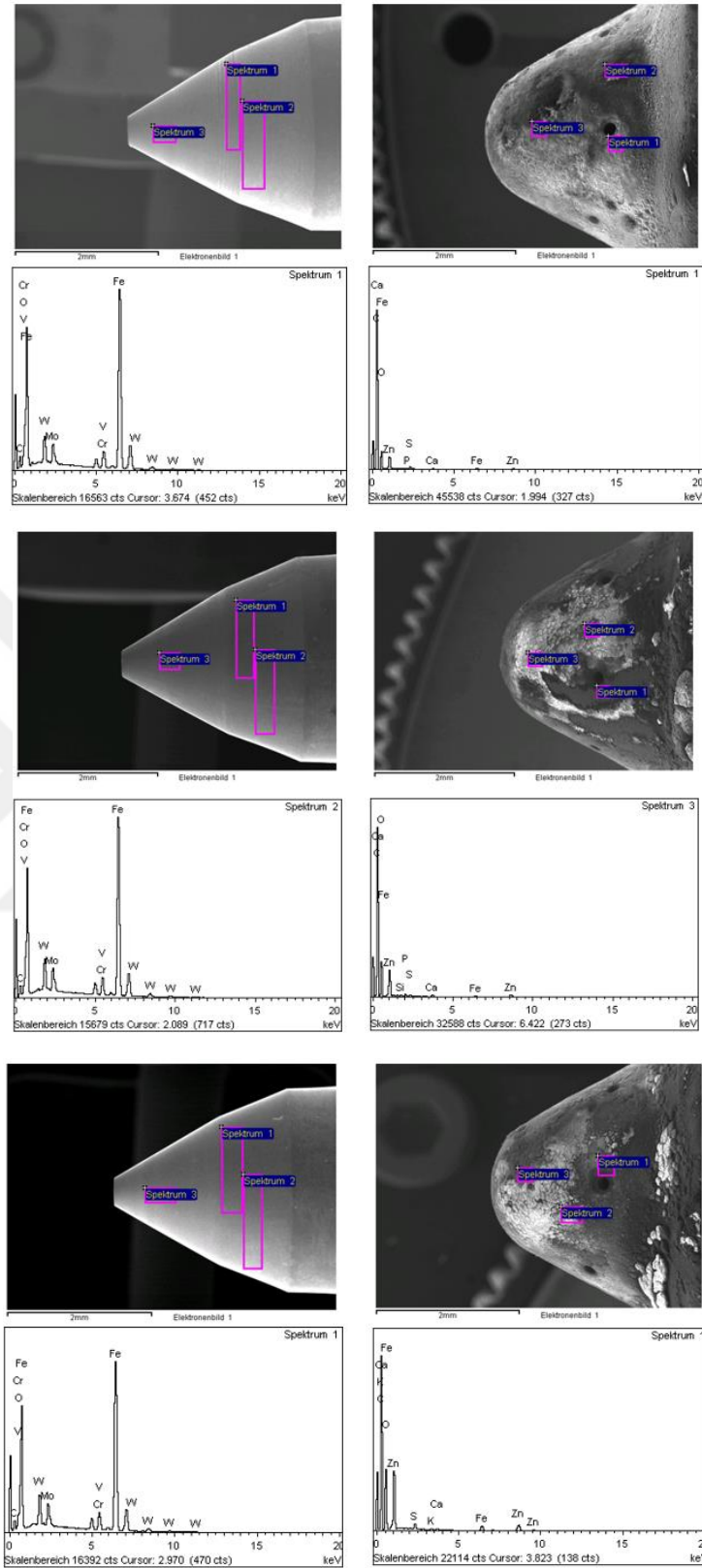


Şekil 4.37. B20 ve dizel yakıt FTIR analizi yapılan meme uçları

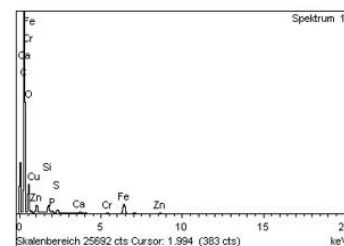
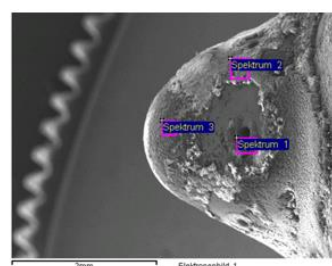
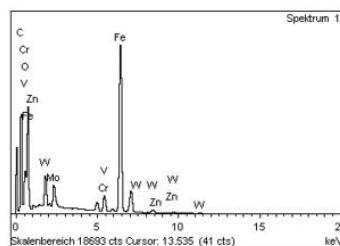
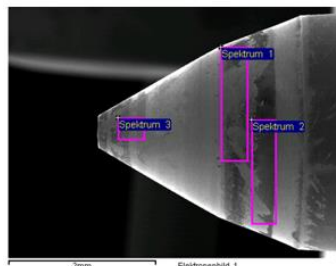
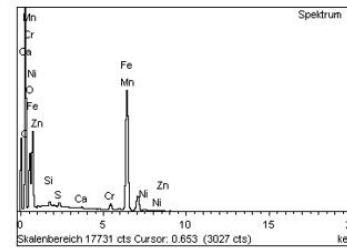
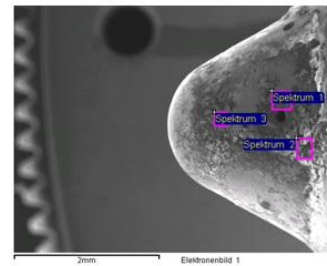
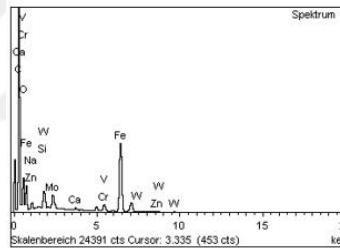
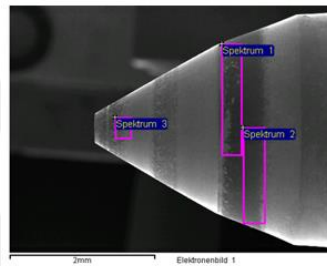
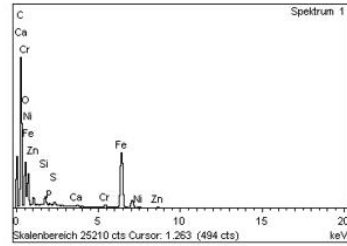
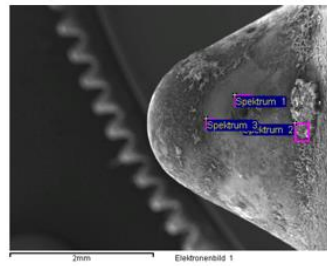
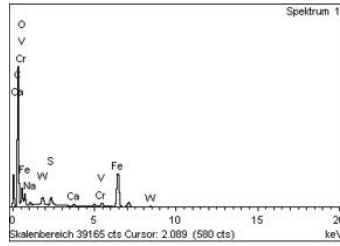
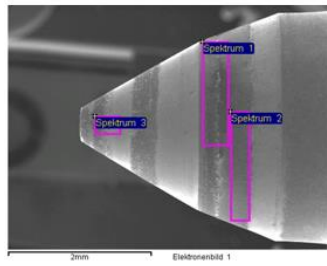
4.5.2.2.2. EDX element analizleri

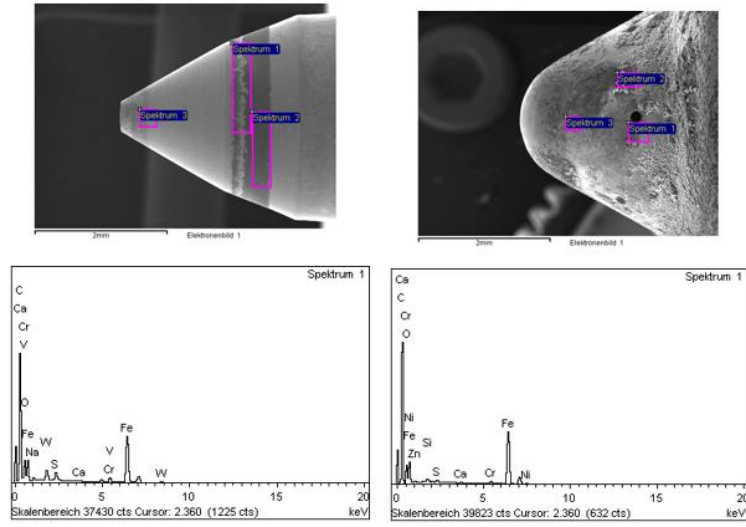
EDX analizi kullanılarak enjektör meme ucunda ve iğnelerde biriken artıkların element analiz sonuçları B20 için Şekil 4.38’de ve dizel yakıt için Şekil 4.39’da verilmiştir. Element analizleri sonucunda tespit edilen elementler Çizelge 4.5. ve Çizelge 4.6.’da verilmiştir.





Şekil 4.38. B20 ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı EDX analiz sonuçları (deposit analysis)





Şekil 4.39. Dizel yakıt ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı EDX analiz sonuçları (deposit analysis)

Çizelge 4.5. B20 ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı memelerde tespit edilen elementler

Tespit edilen elementler				
Ölçüm noktası	1	2	3	4
İğne yüzeyi	C, O, W, Mo, Cr, V	C, O, W, Mo, Cr, V	C, O, W, Mo, Cr, V	C, O, W, Mo, Cr, V
Meme ucu	C, O, Zn, S, Ca, Cu, {Si, P}	C, O, Zn, S, {Ca, P}	C, O, Zn, {Si}	C, O, Zn, S, {Ca, K}

Çizelge 4.6. Dizel yakıt ile çalışmış 1,2,3 ve 4 numaralı memelerde tespit edilen elementler

Tespit edilen elementler				
Ölçüm noktası	1	2	3	4
İğne yüzeyi	C, O, W, Mo, Cr, V, S, Na, Ca	C, O, W, Mo, Cr, V, Na, Zn, {Si, Ca}	C, O, W, Mo, Cr, V	C, O, W, Mo, Cr, V, S, Na, {Ca}
Meme ucu	C, O, Zn, Si, S, {Ca, P}	C, O, Si, S, {Zn, Ca}	C, O, Zn, Ca, S, {P, Cu}	C, O, S, {Ca}

EDX analizi kullanılarak enjektör meme ucunda ve iğnelerde biriken artıkların elementel analiz sonuçları Şekil 4.38 ve 4.39'da ve tespit edilen elementler Çizelge 4.5 ve 4.6'da verilen analiz sonuçlarına göre B20 ve dizel yakıtı ile çalışan enjektör gruplarında, iğne yüzeyinde C, O, W, Mo, Cr ve V elementleri bulunmuştur. Bu elementlere ek olarak dizel yakıt ile çalışan 1 nolu iğne yüzeyinde S, Na ve Ca, 2 nolu iğne yüzeyinde Na ve Zn, eser miktarda Si, Ca, 4. iğne yüzeyinde S ve Na, eser miktarda Ca tespit edilmiştir. Meme

ucunda, B20 ile çalışan 1, 2 ve 4 nolu enjektörlerde de C, O, Zn, S ve Ca tespit edilmiş, 3 nolu enjektörde Ca ve S tespit edilememiştir. Ayrıca enjektörler arasında Si, P ve K eser miktarda görülmüştür. Dizel yakıtı ile yapılan çalışmada B20 yakıtına benzer olarak C, O, Zn, S ve eser miktarda Ca elementlerine rastlandığına, diğer elementler bakımından enjektörler arasında değişkenlik olmak ile birlikte eser miktarda farklılıkların olduğu gözlemlenmektedir. Çizelge 4.5 ve 4.6'ya göre, meme ucunda tespit edilen C, O, S ve özellikle Zn elementlerinin varlığı karter havalandırmadan kaynaklı motor yağının yanma odasında karışmış olabileceğini gösterirken, C ve O'nun varlığı yakıt kaynaklı olduğunu göstermektedir. İğne üzerindeki diğer elementler (özellikle Na, S ve Ca) yakıtta katkı maddelerinin varlığını göstermektedir (Hoang ve Le, 2019). Enjektör üzerinde yapılan birikimlerin analizinde, temel bileşim esas olarak karbon (C) ve oksijen (O) olup eser miktarlarda farklı diğer elementler bulunmuştur. Bunun nedeni yanma esnasında silindir içerisinde oluşan yüksek sıcaklıklar nedeniyle, hidrokarbon bileşimli yakıtın elementel olarak karbon ve hidrojene ayrışmasıyla ortaya çıkan birikimlerdir (Liaquat ve diğerleri, 2014). Bu elementlerin bulunması üç şekilde izah edilebilir, birincisi; yakıtın temasta bulunduğu motor parçaları, ikincisi; silindire alınan hava ile birlikte karter havalandırmasından gelen yağ buharı ve üçüncüsü yanma esnasında silindir cidarı içerisindeki motor yağı filmi. Bunların sonucu olarak, alüminyum (Al), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), çinko (Zn), kurşun (Pb), vb. elementler analiz sonucunda incelenen enjektör parçaları üzerinde bulunabilir (Liaquat ve diğerleri, 2013). Bu bağlamda, tüm parçalarda kükürt (S) bulunması, dizel yakıtından kaynaklı kontaminasyonu göstermiştir. Ayrıca demir (Fe) ve kromun (Cr) varlığının meme malzemesinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Çizelge 4.5'de verilen elementel analiz sonuçlarına göre, B20 yakıtı analiz verileri % olarak C oranının %73,47, O oranının ise %23,34 olarak elde edildiği diğer elementlerin ise oransal olarak %1'in altında değerlerde oldukları görülmektedir. Aynı şekilde dizel yakıt için Çizelge 4.6'da verilen elementlerden C %50,49, O'nin ise %19,95 olarak tespit edildiği diğer elementlerin değerlerinin yüzdesel olarak düşük kaldığı tespit edilmiştir. karbon oranının B20 yakıtında yüksek çıktığı ve görsel olarak bu enjektörler üzerindeki birikimlerde görülmektedir. Oksijen oranının ise yakıt kaynaklı olarak B20 yakıtında az da olsa fazla olması ve yanan yakıt sonrası tespit edilmesi önemli bir belirteç olarak yorumlanabilir. Silindir içerisine verilen yakıtı bağli olarak, hidrojenin verimli yanması sonrası yakıtın formülünde bulunan karbonun partikül olarak

görölmesine ve fazla olan oksijenin ise fazlalık olarak açığa çıkmasına neden olacaktır. Ayrıca, traktör motorunun EGR sistemiyle donatılmış olması, azotoksitlerin fazla çıkmamasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda tepkimeye girmeyecek O'nun fazla olarak gözükmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



5. SONUÇ

Yapılan tez çalışmasında, B20 ve dizel yakıt karşılaştırmalı olarak motor performansı, emisyon, motor ana parçaları ve enjektörler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, aynı marka, model ve özelliklerdeki iki farklı tarım traktöründe B20 ve dizel yakıtlarının kullanılmasının etkileri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. 1000 saatlik çalışma sonunda B20 ve dizel yakıtlar ile elde edilen performans değerlerinin birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Performans test sonuçlarına göre B20 yakıt kullanımında dizel yakıtı göre %3 güç, %2 tork düşüşü ve özgül yakıt tüketiminde %5 artış olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlerin traktör kullanımında operatörün fark edilemeyeceği düzeyde olduğu gözlenmiştir.

Emisyonlarda CO %40, HC %19, partikül madde PM değerlerinde %46 düşme ve NO_x değerinde %7 artış olduğu görülmüştür. B20 yakıt emisyonlarında CO, HC ve PM değerleri daha düşükken, NO_x için beklendiği gibi azda olsa yüksek bir değer gözlenmiştir. Bu sonuçlar, dizel yakıt ile karşılaştırıldığında, motor da önemli bir değişiklik yapmadan B20 yakıtının kullanılabileceğini göstermiştir.

Motor yağı içerisinde bulunan aşınma metalleri motorun durumu ile ilgili bilgi vermektedir. Traktörlerin tarlada çalışma esnasında 200 saat bakım aralıklarında alınan yağların numune analizlerinde yağın içerisinde kayda değer aşınma metallerine ve kimyasal analiz sonuçlarında olumsuzluğa rastlanmamıştır. Bununla birlikte motorun durumunu yansıtan aşınma metallerinden yağ analiz sonuçlarına göre Sn, Fe, Cu ve Al metalleri yağ içerisinde tespit edilmiştir. Sn ve Cu motor krank mili ve kol yataklarında, Fe motor ana parçalarının tamamında, Al ise pistonlarda aşınmayı ifade etmektedir. Her iki yakıt kullanımında da motor krank mili yatakları ve kol yataklarında bulunan Sn ve Cu değerleri limitler içerisinde çıkmıştır. Motor yağlama yağı içerisinde bulunan Fe değerlerinin motor ana parçalarının neredeyse tamamında kullanılmasından dolayı normal olarak diğer elementlere göre daha yüksek çıktığı görülmektedir. Öte yandan aşınma metallerinden Cr, Ni ve Pb metal kalıntıları gözlemlenmemiştir. Dolayısıyla B20 yakıtının motor parçalarına yağ kaynaklı olumsuz yönde bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Motor yağı analizinde yağ içerisindeki kirleticiler motorun çalışma esnasında dış etkilere kaynaklanan ve motor yağının kirlenmesine sebep olan parametrelerdir. Bu kirleticiler glikol, silisyum, yakıt seyrelmesi ve kurumdur. Glikol motor yağında glikol varlığı, motor yağına antifriz karışması durumunda ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca, yağ analiz sonrasında soğutma sisteminin problemsiz çalıştığı gözlemlenmiştir. Motor yağındaki silisyum miktarı, motor yağındaki toz miktarını ifade etmektedir. Motor yağında çıkan silisyum miktarları kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Silisyum miktarındaki farklılıklar ile yapılan iş ve hava filtresi temizliği arasında bağlantı kurmaktadır. Yakıt seyrelmesi ise motor yağına karışan yanmamış yakıtın bir göstergesidir. Yakıt seyrelme değerleri her iki yakıt için de birbirine yakın değerlerde çıkmıştır. B20 ile dizel yakıtın püskürtme açılarındaki çok fazla değişim olmadığı gözlemlenmektedir. B20 ve dizel yakıttaki değişiklikler traktörün daha fazla tozlu ortamda çalıştığını ve daha düşük çıkan değerlerdeki yakıtı kullanılan traktörün hava filtresi bakımının daha sık yapıldığını göstermektedir. Yakıt seyrelmesi ise motor yağına karışan yanmamış yakıtın bir göstergesidir. Yakıt seyrelme değerleri her iki yakıt içinde birbirine yakın değerlerde çıkmıştır. B20 ile dizel yakıtın püskürtme açılarındaki çok fazla değişim olmadığı gözlemlenmektedir.

Kimyasal yağ analiz sonuçlarında viskozite indeksi (VI), toplam baz sayısı (TBN), toplam asit sayısı (TAN), su tayini (COC), parlama noktası, kinematik viskozite, sülfat, oksidasyon ve nitrasyon değerleri motor yağının ömrü hakkında bilgi vermektedir. Viskozite indeksi değeri ne kadar yüksekse sıcaklık değişimlerinde viskozitedeki değişimin o kadar az olduğunu gösteren değerdir. TBN değeri, yağlayıcılardaki kalsiyum sülfonat, magnezyum, çinko ve fosfor gibi katkı maddelerinin içeriğini gösterir. TAN değeri motor yağının bir mililitresindeki asidi nötralize edecek alkali madde potasyum hidroksit (KOH) miktarının gram olarak ifadesidir. Kimyasal analiz sonuçlarına göre tüm değerlerin yağ üreticisinin vermiş olduğu sınır değerler arasında olduğu gözlemlenmiştir. B20 ve dizel yakıt kullanılan motor yağı kimyasal analiz sonuçlarından TBN ve TAN değerlerinin limitler içerisinde olduğu ve yağlama yağının özelliğini koruduğu görülmüştür. TBN değerinin 8,1 mgKOH/gr'ın altına veya 3,25 mgKOH/gr'ın üstüne çıkması durumunda yağ özelliklerini yitirdiği anlamına gelmektedir. Motor yağı içerisindeki TBN değerini belirleyen katkı maddelerinin su tutma özelliğini arttırmasına

rağmen, su tayini (COC) analiz sonucunda verilen değerler limit değerlerinin çok altında olduğu görülmüştür. Yağa karışan yanmamış yakıt karterdeki yağa ile karıştığında, yağın oluşturduğu film tabakası inceler, yağın viskozitesini azaltır ve yağ, özelliğini yitirir. Analiz sonuçlarındaki viskozite değerlerinde sınır değerler arasında kalmasından dolayı yakıt seyrelmesi olmadığı ve özellikle B20 yakıtını kullanmamızdan kaynaklı bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

1000 saatlik çalışma sonrasında demonte edilen her iki motorun ana parçalarının görsel incelemesi de motor yağı analiz sonuçları ile örtüşmekte ve B20'nin motor ana komponentlerine olumsuz etkisi olmadığı tespit edilmiştir. B20'de dizel yakıtı oranla supaplarda ve turboşarj ünitesinde daha fazla karbon birikimi tespit edilmiştir. Bu karbon birikiminin motorun çalışmasına olumsuz bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.

Enjektörlerin analizinde, nispeten kalın ve üst üste binen birikintilerin, lokal olarak enjektör meme ucunda ve enjeksiyon deliği çıkışı çevresinde olduğu gözlemlenmiştir. Dizel yakıt kullanılan enjektör iğnesi üzerindeki tortuların FTIR spektral analizi, bunların PIBSI ve inorganik bileşenler içerdiğini göstermektedir. Gerek B20 gerekse dizel yakıt kullanılan meme uçlarında eskime ürünleri ve inorganik bileşenler içerdiği belirlenmiştir. Elementel analiz sonuçlarına göre bu bileşenlerden B20 yakıtı için, C oranının %73,47, O oranının ise %23,34 olarak elde edildiği diğer elementlerin ise oransal olarak %1'in altında değerlerde oldukları görülmektedir. Aynı şekilde dizel yakıt için, C %50,49, oksijenin (O) ise %19,95 olarak tespit edildiği diğer elementlerin değerlerinin yüzdesel olarak düşük kaldığı tespit edilmiştir. Enjektör parçalarında ve meme uçlarında karbon birikintileri bulunmasına rağmen, bunların yakıt enjeksiyon ekipmanı tertibatı üzerinde herhangi bir yapısal veya işlevsel etkisi olmadığı görülmüştür. Ölçülen tüm fonksiyonel değerlerin standartlara uygun olduğu belirlenmiştir.

Her iki yakıt kullanılarak 1000 saatlik çalışma için gerçekleştirilen testlerin sonuçları, organik bileşenlere ve enjektörde bazı düzensiz karbon birikintilerine rağmen B20 yakıtının dizel yakıt yerine güvenle kullanılabileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Aatola, H., Larmi, M., Sarjovaara, T. ve Mikkonen, S. (2009). Hydrotreated Vegetable oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off Between NO_x, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine. SAE International Journal of Engines, 1(1), 1251-1262. <https://doi.org/10.4271/2008-01-2500>
- Aalam, C. S., Saravanan, C. G., Anand, B. P. 2016. Impact of high fuel injection pressure on the characteristics of CRDI diesel engine powered by mahua methyl ester blend. Applied Thermal Engineering, 106, 702-711. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.05.176>
- Agarwal, A. K. ve Agarwal, D. (2021a). Field-Testing of Biodiesel (B100) and Diesel-Fueled Vehicles: Part 1—No Load and Highway Driving Emissions, and Acceleration Characteristics. Journal of Energy Resources Technology, 143(4). <https://doi.org/10.1115/1.4048307>
- Agarwal, A. K. ve Agarwal, D. (2021b). Field-Testing of Biodiesel (B100) and Diesel-Fueled Vehicles: Part 2—Lubricating Oil Condition Monitoring. Journal of Energy Resources Technology, 143(4). <https://doi.org/10.1115/1.4048308>
- Agarwal, A. K. ve Agarwal, D. (2021c). Field-Testing of Biodiesel (B100) and Diesel-Fueled Vehicles: Part 3—Wear Assessment of Liner and Piston Rings, Engine Deposits, and Operational Issues. Journal of Energy Resources Technology, 143(4). <https://doi.org/10.1115/1.4048309>
- Agarwal, A. K. ve Agarwal, D. (2021d). Field-Testing of Biodiesel (B100) and Diesel-Fueled Vehicles: Part 4—Piston Rating, and Fuel Injection Equipment Issues. Journal of Energy Resources Technology, 143(4). <https://doi.org/10.1115/1.4048310>
- Anonim, (2009). Biodiesel Guidelines, Worldwide Fuel Charter Committee, Erişim adresi: https://www.acea.auto/uploads/publications/20090423_B100_Guideline.pdf
- Anonim, (2015). Biodiesel's Benefits in Europe, European Biodiesel Board, Erişim Adresi: http://www.ebb-eu.org/pressdl/BiodieselsBenifitsInEU_AdjacentGovernment.pdf
- Anonim, (2016a). Biodiesel Handling and Use Guide (fifth edition), DOE/GO-102016-4875, US Department of Energy, Erişim Adresi: [https://www.biodiesel.org/docs/default-source/fact-sheets/nrel-biodiesel-handling-and-use-guide-\(5th-edition\).pdf?sfvrsn=2cbc14aa_4](https://www.biodiesel.org/docs/default-source/fact-sheets/nrel-biodiesel-handling-and-use-guide-(5th-edition).pdf?sfvrsn=2cbc14aa_4)
- Anonim, (2016b). Neste Renewable Diesel Handbook, Erişim adresi: https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_ha_ndbook.pdf

- Anonim, (2017). Biyodizel Üretimi ve Harmanlanmasıyla İlgili Beklentiler ve Öneriler, Çalıştay Sonuç Raporu, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 6 Aralık 2017, Ankara.
- Anonim, (2019). Biyodizel Endüstri Raporu 1. Erişim adresi: <https://biyodizel.org.tr/asset/pdf/biyodizel.pdf>
- Anonim, (2020). Rapeseed oil remains primary feedstock for German biodiesel. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen (UFOP). Erişim adresi: <https://biodieselmagazine.com/articles/2517088/rapeseed-oil-remains-primary-feedstock-for-german-biodiesel>
- Anonim, (2021). Petrol Piyasası 2017 Yılı Sektör Raporu, EPDK <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-104/petrolaylik-sektor-raporu>
- Anonim, (2022). Erişim adresi: <https://www.biofuelsystems.com/biodiesel/specification.htm>
- Bartoli, Y., Lyford-Pike, E. J., Lucke, J. E., Khalek, I. A., Feist, M. D. ve McCormick, R. L. (2010). 1000-hour durability evaluation of a prototype 2007 diesel engine with aftertreatment using B20 biodiesel fuel. SAE International Journal of Fuels and Lubricants, 2(2), 290-304. <https://www.jstor.org/stable/26271557>
- Bietresato, M. ve Friso, D. (2014). Durability test on an agricultural tractor engine fuelled with pure biodiesel (B100). Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 38(2), 214-223. <https://doi.org/10.3906/tar-1302-51>
- Birgel, A., Laddommatos, N., Aleiferis, P. G., Zülch, S., Milovanovic, N., Lafon, V., ... ve Richards, P. (2008). Deposit formation in the holes of diesel injector nozzles: A critical review. <https://doi.org/10.4271/2008-01-2383>
- Borovalı, S., (2018a). “Yağlı Tohum Bitkileri ve Biyoyakıtlar”, 9. Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı Bildirisi, İstanbul
- Borovalı, S., (2018b). Erişim adresi: <https://www.dbtarimsalenerji.com.tr/>
- Bouilly, J., Mohammadi, A., Iida, Y., Hashimoto, H., Geivanidis, S. ve Samaras, Z. (2012). Biodiesel stability and its effects on diesel fuel injection equipment (No. 2012-01-0860). SAE Technical Paper. <https://doi.org/10.4271/2012-01-0860>
- Çetin, M., ve Kuş, H. (2009). Erzincan’ın biyodizel yakıt amaçlı tarımsal üretim potansiyeli. V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Diyarbakır. Erişim adresi: https://www.emo.org.tr/ekler/10dedd2470a26f5_ek.pdf
- Energy, F. (2019). Biodiesel cloud point and cold weather issues. Erişim adresi: <https://farm-energy.extension.org/biodiesel-cloud-point-and-cold-weather-issues/>

- Fregolente, P. B. L., Fregolente, L. V., & Wolf Maciel, M. R. (2012). Water content in biodiesel, diesel, and biodiesel–diesel blends. *Journal of chemical & engineering data*, 57(6), 1817-1821. <https://doi.org/10.1021/je300279c>
- Galle, J., Verhelst, S., Sierens, R., Goyos, L., Castaneda, R., Verhaege, M., ... ve Bastiaen, M. (2012). Failure of fuel injectors in a medium speed diesel engine operating on bio-oil. *Biomass and Bioenergy*, 40, 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.01.041>
- Habibullah, M., Rizwanul Fattah, I. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A. 2015. Effects of palm–coconut biodiesel blends on the performance and emission of a single-cylinder diesel engine. *Energy & Fuels*, 29(2), 734-743. <https://doi.org/10.1021/ef502495n>
- Hartono, Z. A. ve Cahyono, B. (2020). Effect of Biodiesel B30 on Deposit Forming and Wear Metal of Diesel Engine Components. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 5(1). <http://dx.doi.org/10.12962/j25481479.v4i4.5587>
- Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Rafiee, S., Mohammadi, P., Ghobadian, B., Lam, S. S., Tabatabaei, M. ve Aghbashlo, M. (2021). Exergetic, economic, and environmental life cycle assessment analyses of a heavy-duty tractor diesel engine fueled with diesel–biodiesel–bioethanol blends. *Energy Conversion and Management*, 241, 114300. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114300>
- 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>
- Isioma, N., Muhammad, Y., Sylvester, O. D., Innocent, D. ve Linus, O. (2013). Cold flow properties and kinematic viscosity of biodiesel. *Universal Journal of Chemistry*, 1(4), 135-141. <https://doi.org/10.13189/ujc.2013.010402>
- Karadağ A. Biyodizel Ders Notları, Bartın Üniversitesi Fen Fakültesi https://cdn.bartın.edu.tr/biyoteknoloji/86babca0507e88ae8f7ecb1dea802c6b/sunum3biyodizel_19Kl5Fg.pdf
- Khan, S. A., Hussain, M. Z., Prasad, S., ve Banerjee, U. C. (2009). Prospects of biodiesel production from microalgae in India. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(9), 2361-2372. <https://10.1016/j.rser.2009.04.005>
- Karagöl, E. T. ve Kavaz, İ. (2017). Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji. *Analiz. Seta*, 197, 18-28. Erişim adresi: <https://setav.org/assets/uploads/2017/04/YenilenebilirEnerji.pdf>
- Knothe, G., ve 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>

- Küçük, N., Aydoğdu, M. H., ve Şahin, Z. (2021). Yağlı Tohum Piyasalarındaki Gelişmeler Ve Türkiye Kolza Piyasası Trend Analizi. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 32(1), 215-227. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.976052>
- Lebedevas, S., Vaicekauskas, A., Lebedeva, G., Makareviciene, V., ve Janulis, P. (2007). Change in operational characteristics of diesel engines running on RME biodiesel fuel. Energy & Fuels, 21(5), 3010-3016. <https://doi.org/10.1021/ef060314t>
- Leedham, A., Caprotti, R., Graupner, O. ve 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>
- Liaquat, A. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Fazal, M. A., Khan, A. F., Fayaz, H., ve Varman, M. (2013). Impact of palm biodiesel blend on injector deposit formation. Applied energy, 111, 882-893. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.06.036>
- Liaquat, A. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Fattah, I. R. (2014). Impact of biodiesel blend on injector deposit formation. Energy, 72, 813-823. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.006>
- Maawa, W. N., Mamat, R., Najafi, G., ve De Goey, L. P. H. (2020). Performance, combustion, and emission characteristics of a CI engine fueled with emulsified diesel-biodiesel blends at different water contents. Fuel, 267, 117265. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117265>
- Millo, F., Debnath, B. K., Vlachos, T., Ciaravino, C., Postrioti, L., Buitoni, G. 2015. Effects of different biofuels blends on performance and emissions of an automotive diesel engine. Fuel, 159, 614-627. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2015.06.0960016-2361/Ó2015>
- Nguyen, V. H. ve Pham, P. X. (2015). Biodiesels: Oxidizing enhancers to improve CI engine performance and emission quality. Fuel, 154, 293-300. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.04.004>
- Ogejo, J. A. ve Grisso, R. D. (2015). Biodiesel Fuel, Virginia State University, Virginia Cooperative Extension Publication 442-880. Erişim adresi: <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/75465/442-880.pdf?sequence=1>
- Önem Koç, E. ve Sekmen, P. (2009). Dizel yakıtların yağlayıcılık özelliklerinin belirlenme yöntemleri. Teknolojik Araştırmalar Dergisi. Erişim adresi: <https://hdl.handle.net/20.500.11857/424>
- Özdemir, Z. Ö. ve Mutlubaş, H. (2016). Biyodizel üretim yöntemleri ve çevresel etkileri. Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2(2), 129-143. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/442584>
- Pereira, F. M., Velásquez, J. A., Riechi, J. L., Teixeira, J., Ronconi, L., Riolfi Jr, S., ... ve Travain, J. C. (2020). Impact of pure biodiesel fuel on the service life of engine-

- lubricant: A case study. Fuel, 261, 116418.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116418>
- Raqeeb, M. A. ve Bhargavi, R. (2015). Biodiesel production from waste cooking oil. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, ISSN:0975-7384, 7(12), 670-681. Erişim adresi: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163058039>
- Reksowardojo, I. K., Setiapraja, H., Fajar, R., Wibowo, E. ve 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>
- Richards, E. (2013). Careers in biofuels. US Bureau of Labor Statistics. Erişim adresi: <https://www.bls.gov/green/biofuels/biofuels.pdf>
- 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>
- Sinem, I. ř. I. K. ve Yavuz, S. (2022). Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlara Genel Bir Bakış. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (34), 193-201. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1079255>
- Streimikiene, D., Simionescu, M., ve Bilan, Y. (2019). The impact of biodiesel consumption by transport on economic growth in the European Union. Engineering Economics, 30(1), 50-58. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.30.1.21831>
- Sugözü, İ., Cengiz, Ö. N. E. R., ve Altun, ř. (2010). The performance and emissions characteristics of a diesel engine fueled with biodiesel and diesel fuel. International Journal of Engineering Research and Development, 2(1), 50-53. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/353298>
- Suthisripok, T. ve Semsamran, P. (2018). The impact of biodiesel B100 on a small agricultural diesel engine. Tribology International, 128, 397-409. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.07.042>
- Tomić, M., Savin, L., Simikić, M., Kiss, F., Keřelj, K., Ivaniřević, M., ... ve Sedlar, A. (2021). Effects of biodiesel on changes in IC engine performances: A long-term experiment with farm tractors. Fuel, 292, 120300. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120300>
- 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. ve Stamatelos, A. M. (2019). Diesel-injection equipment parts deterioration after prolonged use of biodiesel. Energies, 12(10), 1953. <https://doi.org/10.3390/en12101953>

- Ulusoy, Y. (2016). Investigation of Performance and Emissions Effects of Waste Vegetable Oil Methyl Ester in A Diesel Engine. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 21(2), 299-308. <https://doi.org/10.17482/uumfd.276859>
- 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 Eenergy*, 13(1), 40-48. <https://doi.org/10.1080/15435075.2014.909360>
- Vairamuthu, G., Sundarapandian, S., Kailasanathan, C., & Thangagiri, B. (2016). Experimental investigation on the effects of cerium oxide nanoparticle on Calophyllum inophyllum (Punnai) biodiesel blended with diesel fuel in DI diesel engine modified by nozzle geometry. *Journal of the Energy Institute*, 89(4), 668-682. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2015.05.005>
- Yanmaz, V., (2018) Bitkisel Atık Yağların Yönetimi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Özel Atıkların Yönetimi Şube Müdürlüğü.
- Yuan, Y., Hansen, A. ve Zhang, Q. (2004). The specific gravity of biodiesel fuels and their blends with diesel fuel. Erişim adresi: <https://hdl.handle.net/1813/10383>
- Zdrodowski, R., Gangopadhyay, A., Anderson, J. E., Ruona, W. C., Uy, D., & Simko, S. J. (2010). Effect of biodiesel (B20) on vehicle-aged engine oil properties. *SAE international journal of fuels and lubricants*, 3(2), 579-597. Erişim adresi: <https://www.jstor.org/stable/26272961>