T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK YAĞLARDAN ÜRETİLEN BİYODİZELİN TEK SİLİNDİRLİ BİR DİZEL MOTORUN PERFORMANS, EGZOZ EMİSYONLARI VE TİTREŞİMİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

NECDET ALÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. SUAT SARIDEMİR

DÜZCE, 2017

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK YAĞLARDAN ÜRETİLEN BİYODİZELİN TEK SİLİNDİRLİ BİR DİZEL MOTORUN PERFORMANS, EGZOZ EMİSYONLARI VE TİTREŞİMİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Necdet ALÇELİK tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Suat SARIDEMİR
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri
Doç. Dr. Suat SARIDEMİR (Tez Danışmanı)
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Fehni ERZİNCANLI
Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Mustafa KARAGÖZ
Karabük Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 22/02/2017

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

22 Şubat 2017

Necdet ALÇELİK

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve bu tezin hazırlanması süresince gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Suat SARIDEMİR'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından **2016.07.04.401** nolu yüksek lisans tez projesi olarak desteklenmiştir. Düzce Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'ne verdiği destekten dolayı teşekkür ederim.

22 02 2017 **Necdet ALÇELİK**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ VIII

ÇİZELGE LİSTESİ IX

SİMGELER X

ÖZET XII

ABSTRACT XIII

1. GİRİŞ 1

1.1.TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ 13

2. DİZEL MOTORLARDA YENİLENEBİLİR ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILAN BİYODİZEL VE ÖZELLİKLERİ 18

2.1. BİYODİZELİN TANIMI 18

2.2. BİYODİZELİN TARİHSEL GELİŞİMİ 20

2.3. BİYODİZELİN KULLANIM ALANLARI 23

2.4. BİYODİZELİN YAKIT KARAKTERİSTİKLERİ 24

2.4.1. Asit numarası 25

2.4.2. Serbest Gliserin 25

2.4.3. Toplam gliserin 25

2.4.4. Fosfor İçerigi 26

2.4.5. Biyolojik Olarak Bozunabilirlik 26

2.4.6. Toksik Etki 26

2.4.7. Depolama 26

2.4.8. İyot Sayısı 27

2.4.9. Viskozite ve Akış Özellikleri 27

2.4.10. Yoğunluk 28

2.4.11. Parlama(Alevlenme) Noktası 28

2.4.12. Bulutlanma noktası 28

2.4.13. Kalori Değeri 29

2.4.14. Soğukta Akış Özelliği 29

2.4.15. Akma Noktası 29

2.4.16. Setan Sayısı 29

2.4.17. Isıl Değer 30
2.4.18. Yağlayıcılık 30
2.4.19. Yağlama Yağının Seyrelmesi 31
2.4.20. Karbon Artığı 31
2.4.21. Kükürt İçeriği 31
2.4.22. Su İçeriği 32
2.4.23. Oksidasyon Kararlılığı 32
2.5. DÜNYADA VE ÜLKEMİZDE BİYODİZEL 32
2.5.1. Dünyada Biyodizel 32
2.5.2.Ülkemizde Biyodizel 35
2.6. BİYODİZELİN ÇEVREYE ETKİLERİ VE EMİSYON DEĞERLERİ 38
2.7. BİTKİSEL VE ATIK BİTKİSEL YAĞLARDAN BİYODİZEL ÜRETİMİ 39
2.7.1. Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi 39
2.7.2. Atık Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi 43
3. MATERYAL VE YÖNTEM 45
3.1. DİZEL MOTOR TEST ÜNİTESİ VE EMİSYON ÖLÇÜM CİHAZLARI 45
3.2. TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ ÖLÇÜM EKİPMANLARI 48
3.3. MOTOR PERFORMANS HESAPLAMALARI 50
3.3.1. Moment ve Güç 50
3.3.2. Yakıt Tüketimi Ve Özgül Yakıt Tüketimi 51
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 53
4.1. MOTOR PERFORMANS ÖLÇÜM SONUÇLARI 53
4.1.1. Moment Değişimleri 53
4.1.2. Güç Değişimleri 54
4.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi Değişimleri 56
4.2. EMİSYON DEĞİŞİMLERİ 57
4.2.1. Oksijen (O_2) Değişimleri 57
4.2.2. Karbonmonoksit (CO) Değişimleri 58
4.2.3. NOx Emisyonları 59
4.2.4. Karbondioksit (CO_2) Emisyonları 61
4.2.5. Yanmamış Hidrokarbon (HC) Değişimleri 62

4.2.6. Lamda(λ) Değeri **63**
4.2.7. Egzoz Gazı Sıcaklığı Değişimleri **64**
4.3. TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ SONUÇLARI **64**
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **72**
6. KAYNAKLAR **75**
ÖZGEÇMİŞ **83**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Transesterifikasyon işlemi genel akış şeması. 41
Şekil 2.2. Trigliseritlerin alkol ile transesterifikasyonu (a) Genel Denklem, (b) Tersinir 42
Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik görünümü 46
Şekil 3.2. Deney düzeneğinin resmi. 47
Şekil 3.3. K Test emisyon ölçüm cihazı. 48
Şekil 3.4. Titreşim ölçümünde kullanılan ekipmanlar. 49
Şekil 3.5. Yük hücresinin görünümü. 51
Şekil 3.6. Yakıt ölçüm düzeneği. 52
Şekil 4.1. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak moment 54
Şekil 4.2. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak güç 55
Şekil 4.3. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak 56
Şekil 4.4. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak 58
Şekil 4.5. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak 59
Şekil 4.6. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak 60
Şekil 4.7. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak 61
Şekil 4.8. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak HC 62
Şekil 4.9. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak 63
Şekil 4.10. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak 64
Şekil 4.11. B50 yakıtı ile 1250 d/d motor devrinde elde edilen frekans ve zaman 65
Şekil 4.12. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak 66
Şekil 4.13. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak 67
Şekil 4.14. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak 68
Şekil 4.15. Farklı oranlarda B0 ve B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı 70
Şekil 4.16. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak 71

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Biyodizel ve dizel yakıt özelliklerinin karşılaştırılması 20
Çizelge 2.2. Biyodizelin özellikleri. 24
Çizelge 2.3. AB Biyoyakıt kullanımı ve hedefleri..... 34
Çizelge 2.4. Harmanlama için gerekli biyodizel ve bitkisel yağ miktarları. 36
Çizelge 3.1. B100 ve B0 karışımlarının belirli özellikleri. 45
Çizelge 3.2. Deney motorunun teknik özellikleri. 45
Çizelge 3.3. Elektrikli dinamometreye ait teknik özellikleri. 47
Çizelge 3.4. Gaz analiz cihazı ölçüm parametre ve aralıkları. 48
Çizelge 3.5. İvme ölçere ait teknik özellikleri. 49
Çizelge 3.6. Gürültü ölçüm cihazı teknik özellikleri. 50
Çizelge 4.1. Tüm kanallardan elde edilen verilere göre hesaplanan a_{rms} titreşim..... 68

KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
APYME	Atık Pişirme Yağı Metil Esteri
ASTM	American Society for Testing and Materials(Amerika Malzeme Tecrübeleri Kurumu)
B0	% 100 Dizel Yakıt
B5	% 5 Biyodizel Katkılı Dizel Yakıt
B15	% 15 Biyodizel Katkılı Dizel Yakıt
B30	% 30 Biyodizel Katkılı Dizel Yakıt
B50	% 50 Biyodizel Katkılı Dizel Yakıt
B100	% 100 Biyodizel
BYME	Balık Yağı Metil Esteri
CFPP	Cold Filter Plugging Point (Soğuk Filtre Tıkanma Noktası)
CP	Cloud point (bulutlanma noktası)
DIN	Deutsche Industrie Norm veya Deutsches Institut für Normung(Alman Endüstri Normu ya da Alman Standartlar Enstitüsü)
EBB	European Biodiesel Board (Avrupa Biyodizel Kurulu)
EN	European Norm (Avrupa Standartları)
EPA	U.S Environmental Protection Agency (Amerikan Çevre Koruma Ajansı
EPDK	Enerji Piyasası Denetleme Kurumu
H/Y	Hava/Yakıt
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standard Organizasyonu)
KYME	Kanola yağı metil esteri
OPEC	Organization of Petroleum Exporting Countries(Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü)
ÖTV	Özel tüketim vergisi
PM	Partikül Madde
PP	Pour point (akma noktası)
PPME	Pongamia pinnata metil esteri
PYME	Atık palmiye metil esteri
Ppm	Parts per million**(**milyonda bir**)**
RMS	Ortalama karekök alma
SYA	Serbest yağ asidi
TG	Tutuşma gecikmesi
TS	Türk Standartları
YAME	Yağ asidi metil esteri
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

SİMGELER

a_k	Zaman bölgesi verilerinin k'ıncı değeri
a_{RMS}	İvme değerlerinin ortalama karekökü (m/s^2)
a_t	Toplam titreşim ortalama genlik değeri
be	Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
B	Saatlik yakıt tüketimi (kg/h)
C16–C18	Yağ Asidi (Palmitik Oleik Stearik Asit)
CH_3OH	Metanol
CH_4	Metan
CO	Karbonmonoksit
CO_2	Karbondioksit
D2	Ham petrol işleme yoluyla elde edilen bir ikinci damıtma gaz yağı
dBA	Gürültü seviyesi
F	Kuvvet (N)
g	İvme (m/s^2)
HCl	Hidroklorik asit
H_2O	Su
H_2SO_4	Sülfürik asit
H_3PO_4	Fosforik asit
KOH	Potasyum hidroksit
L	Motor merkezinin load cell'e uzaklığı (m)
m	t saniyede tüketilmiş yakıt miktarı (gr)
Me	Etkin Motor Momenti (Nm)
N	Zaman bölgesi toplam ivme değeri
n	Devir sayısı (d/d)
NaOH	Sodyum hidroksit
Ne	Efektif motor gücü (kW, BG)
NO	Azot oksit
NOx	Azot oksitler
O_2	Oksijen
Pe	Efektif motor gücü (kW)
SO_X	Kükürt Oksitler
t	Gram yakıt miktarının tüketilme zamanı (s)
Tex	Egzoz gazı sıcaklığı
λ	Hava fazlalık katsayısı

ÖZET

ATIK YAĞLARDAN ÜRETİLEN BİYODİZELİN TEK SİLİNDİRLİ BİR DİZEL MOTORUN PERFORMANS, EGZOZ EMİSYONLARI VE TİTREŞİMİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Necdet ALÇELİK
Düzce Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Doç. Dr. Suat SARIDEMİR
Şubat 2017, 96 sayfa

Enerji, gündelik hayatımızın vazgeçilmez bir unsurudur. Temel ihtiyaçlarımızın karşılanması ve devletlerin ekonomik ve sosyal alanda kalkınmasını sağlayan en önemli faktörlerden biridir. Enerji fiyatlarında meydana gelen artış, küresel ısınma ve iklim değişikliğine olan hassasiyet, enerjiye olan talebi günden güne arttırmaktadır. En önemli enerji kaynaklarından biri olan fosil yakıtlar ihtiyaca bağlı olarak zamanla tükenmektedir. Bu durum günümüzde enerjiyi verimli bir şekilde kullanma ihtiyacını ortaya çıkartmaktadır. Fosil yakıtların en önemli sektörlerinden biri olan Petrol sektörü, dünyada ve Türkiye'de çok büyük ekonomik değere sahiptir. Yakın gelecekte de fosil kökenli yakıtların tükenebileceği, bilinmesi gereken bir gerçektir. Fosil kökenli yakıtların yerini doldurabilecek, çevreyi en az seviyede kirletebilecek yenilenebilir enerji kaynaklarını bulmaya yönelik çalışmalar, 1970'li yıllarda ortaya çıkan petrol bunalımından bu yana devam etmektedir. Alternatif enerji kaynakları hakkında günümüze kadar yapılan araştırmalar sonucu bulunan bu kaynaklardan bir tanesi de bitkisel ya da hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel yakıtıdır. Bu çalışmada, biyodizel ve standart dizel yakıt karışımlarının tam yükte ve farklı devirlerde tek silindirli bir motorun performans, egzoz-gürültü emisyonları ve titreşime olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Standart dizel yakıt (B0) içerisindeki atık yağ metil esteri (B100) oranı arttıkça, güç, tork, CO ve HC emisyonlarında düşüş, özgül yakıt tüketimi ve NOx emisyonlarında artış görülmüştür. B50 ile en küçük motor titreşim toplam değerleri elde edilmiştir. B100 ve tüm karışım yakıtlarda silindir içi basınç artış oranına bağlı olarak genelde daha fazla yanma sonu motor gürültüsü elde edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında, atık bitkisel yağ metil esterinin standart dizel yakıtına yakın özellikler gösterdiği ve dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar sözcükler: Biyodizel, Performans, Egzoz emisyonu, Motor titreşimi, Gürültü

ABSTRACT

INVESTIGATION THE EFFECTS OF BIODIESEL PRODUCED FROM WASTE OIL ON THE SINGLE CYLINDER DIESEL ENGINE PERFORMANCE, EXHAUST EMISSIONS AND VIBRATION

Necdet ALÇELİK
Duzce University
Graduate School of Natural and Applied Sciences, Departmant of Mechanical Engineering
Master of Science Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Suat SARIDEMİR
February 2017, 96 pages

Energy is an indispensable part of our everyday lives. Energy is one of the most important factors that provides our basic needs and the development of the state in economic and social fields. The increase in energy prices, global warming and sensitivity to climate change increase the demand for energy day by day. Energy sources which are one of the most important of fossil fuels can be consumed in time. This has revealed the needs of using the energy efficiently today. The oil sector that is one of the most important sectors of fossil fuels has enormous economic value in the world and in Turkey. It is an necessity reality that fossil fuels may run out of in the near future. Studies that can be used in the place of fossil-based fuels, to find renewable energy sources that may pollute the environment to a minimum, have continued since the oil crisis occured in the 1970s. One of these alternative energy sources is biodiesel fuel that is derived from vegetable or animal oils. It has been carried out as a result of research carried out until now. In this study, the effects of the standard diesel and biodiesel fuel blends on a single-cylinder diesel engine performance, exhaust emissions, noise and vibration of the engine were investigated experimentally at different speeds and full load. When the ratio of waste vegetable oils methyl ester (B100) in standard diesel fuel (B0) is increase; reduction on engine power and torque, increase on specific fuel consumption, decreasing on HC, CO and CO_2, increasing on NOx emissions has been observed.The minimum engine vibration amplitude was obtained with B50. Usually with the B100 and all the fuel in the mixture more engine combustion end noise was obtained depending on the in-cylinder pressure increase ratio. The obtained results show that characteristics of waste vegetable oils methyl ester close with standart diesel fuel and it could be used as an alternative diesel fuel.

Keywords: Biodiesel, Performance, Exhaust emission, Engine vibration, Noise

1. GİRİŞ

Enerji, gündelik hayatımızın vazgeçilmez bir unsurudur. Temel ihtiyaçlarımızın karşılanması ve devletlerin ekonomik ve sosyal alanda kalkınmasını sağlayan en önemli faktörlerden biridir. Toplam enerji kaynaklarının günümüzde % 90'ını fosil kaynaklı yakıtlar oluşturmakta ve fosil yakıtlarında % 45'inin petrol kaynaklı olduğu bilinmektedir. Petrolün fosil yakıtlar içerisindeki oranının artmış olması ve 2030'lu yıllara gelindiğinde de bu oranın % 58 seviyelerine çıkması öngörülmektedir [1].

Enerji fiyatlarında meydana gelen artış, küresel ısınma ve iklim değişikliğine olan hassasiyet, enerjiye olan talebi günden güne arttırmaktadır. En önemli enerji kaynaklarından biri olan fosil yakıtların ihtiyaca bağlı olarak zamanla tükenilebilir olması, devletlerin enerjiye bağlı olan güvenliklerine de kaygıyla bakmalarına sebep olmaktadır.

Fosil yakıtlar hızla tükenirken günümüzde enerjiyi verimli bir şekilde kullanma ihtiyacı azami surette artmış, bununla birlikte yeni sistemlere de bir hayli ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Fosil yakıtların en önemli sektörlerinden biri olan Petrol sektörü, dünyada ve Türkiye'de çok büyük ekonomik değere sahiptir. Yakın gelecekte de fosil kökenli yakıtların tükenebileceği bilinmesi gereken bir gerçektir. Fosil kökenli yakıtların yerini doldurabilecek, çevreyi en az seviyede kirletebilecek yenilenebilir enerji kaynaklarını bulmaya yönelik çalışmalar, 1970'li yıllarda ortaya çıkan petrol bunalımından bu yana devam etmektedir. Bu çalışmalar daha çok elektrik enerjisi, güneş enerjisi, sıvılaştırılmış petrol gazları ve doğalgaz ile bitkisel yağlar üzerinde artarak devam etmektedir. Alternatif yakıtlar hakkında günümüze kadar yapılan araştırmalar sonucu bulunan bu yakıtlardan bir tanesi de bitkisel ya da hayvansal yağlardan elde edilen biyodizeldir. Dizel motor için biyokütle kökenli en önemli alternatif yakıt biyodizeldir. Biyodizel yakıtı aynı zamanda yeşil dizel ve dizel-bi adları ile de anılmaktadır [2].

Yenilenebilir bir yakıt olan ve saf bir şekilde farklı oranlarda dizel yakıtla sorunsuz karıştırılabilen biyodizel, dizel motorlar üzerinde hiçbir değişikliğe gidilmeden kullanılabilen ve emisyonlar açısından da çevreyi daha az kirleten bir yakııtır. Ayrıca literatürde biyodizelin silindir içerisinde kalan kalıntıların çözülmesinde pozitif katkı

sağladığı, motorun hareketli parçalarının yağlanmasını arttırarak motorun daha verimli çalışmasını sağladığı ifade edilmektedir [1]-[3]. Biyodizel yakıtı kükürt içermemektedir. Bundan dolayı sağlığa zararlı olan SO_2 emisyonu oluşturmamakta, tabiatta kolaylıkla çözünebilmekte ve böylece çevreye karşı zararlı etkileri asgari seviyede kalabilmektedir. Biyodizelin kullanımı arttıkça, çevrenin etkileneceği olumsuzlukların azalalacağı ve özellikle ulaşımdan kaynaklı hava kirliliğine olan etkilerinin düşürülmesi yönünde katkı sağlayacağı öngörülen tespitler arasında yer almaktadır [3].

Bugün biyodizel ile ilgili ilk resmi belge, 1937 yılında Brüksel Üniversitesinde G. Chavanne'nin yapmış olduğu ve patentini aldığı çalışmadır. Bu çalışmada, Palm Yağı Etil Esteri biyodizel olarak tarif edilmiştir. Bu işlemde asit katalizörlü transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen yakıt, 1938 yılının yaz ayında Brüksel ile Leuven kentleri arasında ticari olarak çalışan araçlarda kullanılmıştır. Biyodizelin vizkozitesi dizel yakıtın vizkozitesinden farklılık göstermiştir. Viskoziteyi azaltmanın çaresi olarak ayçiçeği metil esteri alanında çalışmalara ağırlık verilmiştir. Etil veya metil esteri adı seksenli yılların sonunda yazılmış olan bir makalede "Biodiesel" olarak adlandırılmış ve dünyada da bu ifade ile kabul görmüştür [4].

AB'nin 2003/30/EC sayılı emirleri gereği, 2005 yılı sonu itibariyle fosil yakıtların içerisine %2 oranında biyodizel yakıt katılması zorunlu hale getirilmiştir. Ülkemizde ise 27/09/2011 tarih ve 28067 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan "Motorin Türlerine İlişkin Teknik Düzenleme Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ"e göre lisanslı akaryakıt istasyonlarında satılan motorinin içerisine katılan yağ asidi metil esteri oranının 01/01/2014 tarihi itibariyle %1'i, 01/01/2015 tarihinden itibaren %2'yi ve 01/01/2016 tarihinden itibaren ise %3'ü geçmemesi zorunlu hale getirilmiştir [5].

Alternatif bir yakıt; teknik olarak uygulanabilir, ekonomik olarak geleneksel dizel yakıtla rekabet edebilir, çevresel açıdan güvenli ve kolay temin edilebilir olmalıdır. Bu kriterlerden yola çıkıldığında, trigliseritler (bitkisel ve hayvansal yağlar) ve türevleri, geleneksel dizel yakıta alternatif olabilecek niteliktedir. Bitkisel yağların dizel motorlarda kullanımı yeni bir kavram değildir. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilirliği, Rudolf Diesel'in dizel motoru keşfetmesinden ve yer fıstığı yağını yakıt olarak kullandığı ilk dizel motorunu 1900 yılında "Paris Fuarı"nda tanıtmasından beri bilinmektedir. O dönemlerde petrolün kolay bulunabilirliği, bitkisel yağlara göre daha ucuz olması ve bitkisel yağların kullanımında ortaya çıkan bazı problemler, bitkisel yağların yaygın olarak kullanılmasının önünde sürekli engel oluşturmuştur.

Günümüzde kullanılan biyodizel üretim kaynaklarını, yağ bitkileri ve yağlı tohumlar, atık kızartma yağları ve hayvansal yağlar olarak sınıflandırabiliriz. Bitkisel yağların başlıcaları: kanola yağı, ayçiçek yağı, aspir yağı, soya yağı, keten tohumu yağı ve pamuk tohumu yağıdır. Literatürde farklı bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel-dizel yakıt karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına olan etkilerinin incelendiği çok sayıda çalışmalar olmakla birlikte, biyodizel-dizel yakıt karışımlarının motor gürültü ve titreşimine olan etkilerinin incelendiği çalışmaların yetersiz olduğu görülmüştür.

Tahir ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, ayçiçeği yağı transesterifikasyonu işlemi sonucunda elde edilen ayçiçeği metilesterinin, fiziksel özellikleri belirlenerek içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılmış ve sonuçlar dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Yapılan motor testlerinden elde edilen güç eğrilerinde kayda değer bir değişiklik olmamakla birlikte, elde edilen azami gücün %60'lık diliminde özgül yakıt tüketiminin dizel yakıttan % 6 oranında daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun nedeni ise ayçiçeği metilesterinin ısıl değerinin dizel yakıttan % 13 oranında daha az olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir [6].

Dizel motorlarda motorinden kaynaklanan egzoz emisyon değerlerini düşürmek için oksijenli yakıtların kullanılması kaçınılmazdır. Oksijenli yakıtlar, petrol kökenli kaynaklardan üretilemediği için stratejik ve ekonomik bir değere sahiptir. Oksijenli yakıtların saf halde veya petrol türevi yakıtlarla oransal karıştırılarak kullanılması ve içten yanmalı motorlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarını azaltma çabaları, gündemi her zaman meşgul eden bir durum olmuştur. Oksijenli yakıtlardan en popüler olanları sırasıyla, metanol (CH_3OH), etanol (C_2H_5OH), tersiyer bütil alkol (TBA) (C_4H9OH) ve metil tersiyer bütil eterdir [7].

Geyer ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, ayçiçek yağı, ayçiçek metil esteri, pamuk yağı ve pamuk yağı metil esteri tek silindirli direk enjeksiyonlu (Avco-Bernard W-51 0,36L) motorda 1/3, 2/3 ve tam yük koşullarında test edilmiş, performans ve egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. Bitkisel yağların ve metil esterlerin dizel yakıta kıyasla NOx emisyonlarında artış meydana getirdiği, partikül emisyonlarının ise ayçiçeği yağında yüksek, metil esterlerde ise düşük olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, aldehit ve formaldehit emisyonlarında artış olduğu, termik verimin ise metil esterlerde daha iyi değerlere sahip olduğu belirtilmiştir [8].

Mittelbach ve Tritthart tarafından yapılan çalışmada, atık kızartma yağlarından metil ester üretilmiştir. Metil Ester yakıt olarak kullanıldığında HC, CO ve partikül madde emisyonlarında azalma, NOx emisyonlarını ise artırdığı ifade edilmiştir [9].

Hassett ve Hasan yaptıkları çalışmada, ayçiçeği yağından üretmiş oldukları metil esteri tek silindirli 3,8 kW gücünde direkt püskürtmeli bir dizel motorda test etmişlerdir. Motor testleri orta yük ve hız şartlarında yapılmıştır. Elde edilen performans değerlerinin standart dizel yakıta yakın değerlerde olduğu görülmüştür [10].

Karaosmanoğlu ve Aksoy yapmış oldukları çalışmada, seyreltme tekniği ile atık kızartma yağından elde edilen biyodizelin viskozitesini düşürmüşlerdir. Bu yakıtı standart dizel yakıt ile farklı oranlarda karıştırarak elde edilen karışımların fiziksel özellikleri hakkında çalışmalarda bulunmuşlar ve % 40'a kadar olan oranlardaki karışımların yakıt olarak kullanılabilirliğini belirtmişlerdir [11].

Czerwinski, dizel yakıtına %30 oranına kadar kolza tohumu yağı ekmiştir. Karışım yakıtın yüksek devirlerde, enjeksiyon şartlarında kısa gecikmelere neden olduğu fakat ateşleme aralığında ve şartlarında bir değişiklik meydana getirmediği belirtilmiştir. Yanma sonu sıcaklığının daha düşük, CO, HC ve özellikle PM emisyonlarında yükselme meydana geldiği ifade edilmiştir [12].

Peterson ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, 4 silindirli, direkt püskürtmeli, turbo şarjlı, dizel bir motorda soya etil esteri test edilmiştir. Test sonuçlarına göre, performans değerlerinde düşme, yakıt tüketiminde ise artış gözlemlenmiştir. HC, CO ve NO_x değerlerinde azalma, CO_2 değerlerinde ise artış meydana geldiği belirtilmiştir [13].

Schmidt ve Gerpen bitkisel yağ metil esteri ve dizel yakıtı karşılaştırarak yapmış oldukları çalışmada, direkt püskürtmeli turbolu bir dizel motor kullanmışlardır. Bitkisel yağ metil esterinin, standart dizel yakıta kıyasla özgül yakıt tüketimini artırdığı, termik verimi ise değiştirmediği belirtilmiştir [14].

Altın ve Yücesu, filtrelenmiş ham pamuk yağı ile standart dizel yakıtı ayrı ayrı 4 zamanlı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motor üzerinde test etmişlerdir. 1300 d/d ve 1700 d/d'de dizel yakıtı ve pamuk yağının motor performans ve egzoz emisyon ölçüm değerlerini kıyaslanmışlardır. Dizel yakıtı pamuk yağı ile kıyaslandığında efektif moment değerleri %3 ve %14, efektif güç değerleri %3 ve %11.7, özgül yakıt tüketimi değerleri %6 ve %27 daha yüksek, özgül enerji maliyeti %43 ve %50 daha düşük, duman koyuluğu değerleri ise dizel yakıta kıyasla daha iyi konumda olduğu

belirtilmiştir [15].

Radu ve Mircea tarafından yapılan çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan bitkisel yağların, sülfür oranlarının düşük, emniyetli bir şekilde depolanabilen ve insan sağlığına zarar vermeyen alternatif bir yakıt olduğu ifade edilmiştir. Fakat bu tür olumlu yönlerinin yanında ısıl değerinin düşük, viskozitesinin yüksek olması gibi olumsuz yönlerinin, dizel motorlarda problem meydana getirebileceği ihtimalini ortaya koymuşlardır. Yağ asitlerinden arındırılmış ayçiçeği yağı ve ham ayçiçeği yağı ile dizel yakıtın birbiriyle karıştırılmasından ortaya çıkan yakıt karışımlarının motor performanslarına % 20, % 40 ve tam yükteki etkilerinin incelenmesi sonucu (asiti alınmış ayçiçeği yağı ve ham ayçiçeği yağı)/dizel karışımlarının yanma ısılarının düşük, vizkozitelerinin yüksek değerlere sahip olduğu ve ham ayçiçek yağının kullanılmasında motor gücünün daha düşük, motor moment değerlerinin ve yakıt tüketiminin daha yüksek değerlerde olduğunu bildirmişlerdir [16], [17].

Masjuki ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, dört silindirli ön yanma odalı bir dizel motoru (Isuzu 4FB1) kullanarak, palmiye yağı metil esteri ve emülsiyonlarının standart dizel yakıt ile karşılaştırmalı olarak motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Öncelikle dizel yakıt ve palmiye yağı metil esterine %5 ve %10 oranlarında su karıştırmışlar, daha sonra bu karışımları %100 dizel yakıt ve %100 palmiye yağı metil esteri ile karşılıklı kıyaslayarak testleri gerçekleştirmişlerdir. Palmiye yağı metil esteri ve emülsiyonlarının dizel yakıta oranla daha az motor gücü sağladığı, enjektör memelerindeki karbon birikimlerinin emülsiyona edilmiş palmiye yağı metil esteri sayesinde azaldığı, emülsiyona edilmiş yakıtların ve palmiye yağı metil esterinin egzoz sıcaklıklarının dizel yakıta kıyasla düşüş gösterdiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, CO ve yanmamış HC'ların %100 palmiye yağı metil esteri ile dizel yakıta kıyasla %8,8 - %8,6 aralığında azaldığı, NOx değerinin ise %9,3 oranında artış gösterdiği bildirilmiştir [18].

Wu ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, transesterifikasyon yöntemiyle sığır iç yağından izo-propil ester ve sığır iç yağı ile restaurant atık yağından etil ester üretilerek bu esterlerin soğuk akış durumları test edilmiştir. Elde edilen ester %20 ve %80 oranlarında dizel yakıtıyla karıştırılarak motor performansına olan etkisi ölçülmüştür. Etil esterin soğuk akış özelliğinin (Tco=17,8°C) sığır iç yağından elde edilen izo-propil esterden (Tco=10,6°C) daha kötü olduğu tespit edilmiştir [19].

Yücesu ve arkadaşları, tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak kullandıkları bitkisel yağın motor performansına ve egzoz gaz emisyonlarına olan etkilerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada 2 nolu dizel yakıt ile birlikte farklı bitkisel yağlar ve bu yağlardan elde edilen metil esterler (ham soya yağı, ham ayçiçek yağı ve ham pamuk yağı, ve bunlardan elde edilen soya yağı metil esterleri, ayçiçek yağı metil esterleri ve pamuk yağı metil esterleri, ile rafine edilmiş kanola yağı, haşhaş yağı ve mısır yağı) test edilmiştir. Tam gazda, farklı devirlerde ve değişik yük altında yapılan testlerde, birbirinden farklı bitkisel yağlardan elde edilen performans değerleri dizel yakıttan daha düşük, duman koyuluğu ise bitkisel yağlardan elde edilen değerlerden daha fazla çıkmıştır. Buna bağlı olarak NO_x emisyon değerlerinin standart dizel yakıtdan daha fazla çıktığı belirtilmiştir. Bitkisel yağ metil esterinin ham yağa kıyasla performans değerlerinde iyileşme ve bu değerlerin dizel performans değerlerine daha yakın olduğu ifade edilmiştir [20].

Karaosmanoğlu ve arkadaşları tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorda ayçiçeği yağını 50 saat boyunca test etmişlerdir. Ayçiçek yağı 2 nolu dizel yakıt ile kıyas edilmiştir. Ayçiçeği yağının kullanılmasıyla birlikte performans değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. CO, CO_2, NO, NO_x ve HC emisyonlarında artış, is emisyonunda ise düşüş meydana geldiği belirtilmiştir. Emisyonlarda meydana gelen artışın, yağın viskositesinin daha yüksek olmasına bağlı olarak yakıtın atomizasyonunda istenilen oranların elde edilememesinden kaynaklandığı ifade edilmiştir. HC emisyonun artış göstermesi, ayçiçek yağının setan sayısının daha düşük olmasına bağlı olarak tam yanmanın gerçekleşmemesinden kaynaklandığı sonucuna varılımıştır. Enjektörler incelendiğinde enjektörlerde karbon birikintileri görülmediği bildirilmiştir [21].

Machacon ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, direkt enjeksiyonlu bir dizel motor üzerinde hiçbir değişikliğe gidilmeden hindistan cevizi yağı test edilmiştir. Hindistan cevizi yağı ile dizel yakıtınının birbirleriyle olan karışım oranları değiştirilerek yapılan ölçümlerde, hindistan ceviz yağı oranı arttırıldıkça duman koyuluğu ve NO_x emisyonlarında azalma meydana geldiği bildirilmiştir [22].

Çanakçı tarafından yapılan çalışmada, yüksek serbest yağ asidi içeren yağlardan üretilen biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Testler direkt püskürtmeli, 4 silindirli, turboşarjlı bir dizel motorda(Jhon Deere 4276 T) yapılmıştır. Yakıt olarak soya yağı metil esteri, yellow grease metil esteri ve 2 numaralı dizel yakıtı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar birbirleriyle kıyas edilmiştir. Testler

sonucunda yellow grease'ten (genellikle restaurant, fast food ve yemek fabrikaları gibi ticari ve endüstriyel şirketlerden doğrudan toplanan atık yağlar) elde edilen metil esterin termik verimi 2 numaralı dizel yakıt ile benzerlik gösterdiği fakat yakıt tüketiminin 2 numaralı dizel yakıta kıyasla daha fazla olduğu bildirilmiştir. Tam yük şartlarında yapılan testlerde, 2 numaralı dizel yakıta kıyasla metil esterin CO emisyonunda %17.77, yanmamış HC emisyonunda %46.27 azalma, NO_x emisyonunda ise %11.60 oranında artış meydana gelmiştir. Soya yağı metil esteri ile yellow grease metil esteri birbiriyle kıyaslandığında motor performansı ve emisyon değerlerinde önemli bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir [23].

Antolin ve arkadaşları, direk püskürtmeli bir dizel motorda ayçiçeği yağından elde edilen biyodizeli test etmişlerdir. Motor üzerinde hiçbir değişikliğe gidilmeden yapılan ölçümlerde, biyodizelin ısıl değerinin dizel yakıta kıyasla % 12 daha az olduğu tespit edilmiş fakat yoğunluk değerlerinde yapılacak artışla ortaya çıkan bu farkın dengelendiği belirtilmiştir. CO, HC, NO_x ve CO_2 emisyonlarının dizel yakıta kıyasla daha düşük ya da aynı, duman koyuluğunun ise daha düşük değerlerde olduğu bildirilmiştir [24].

Dorado ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Perkins marka 3 silindirli, direkt enjeksiyonlu, dört zamanlı, su soğutmalı bir motorda farklı çalışma şartlarında %100 atık zeytinyağı metil esteri ile dizel yakıtı birbirleriyle kıyaslanarak test edilmiştir. CO, NO_x, SO_2 ve CO_2 emisyonlarında genel olarak düşüş, NO_2 emisyonunda ise artış olduğu blirtilmiştir. Atık zeytinyağı metil esteri ile dizel yakıtı ayrı ayrı test edildiğinde motor performanslarında kayda değer bir farklılık olmadığı, özgül yakıt tüketiminde ise %8.5 artış meydana geldiği ifade edilmiştir. Yanma veriminde önemli bir değişiklik olmadığı, atık zeytinyağı metil esterinin kayda değer oranda rezerve sahip olmasından dolayı, petrol kökenli yakıtlara alternatif olacağı ve egzoz emisyonlarının azaltılması yönünde önemli bir katkı sağlayacağı belirtilmiştir [25].

Ulusoy ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada kullanılmış yemeklik yağlardan elde edilen biyodizel, TOFAŞ otomotiv fabrikasında bir dizel motorda şasi dinamometresi de kullanılarak test edilmiştir. Yapılan ölçümlerde biyodizel ile dizel yakıtına göre araç teker gücü ve momentinde %2.03'lük ve %3.35'lik bir azalma olduğu belirtilmiştir. İvmelenme test sonuçlarında ise, 40 km/saat'ten 100 km/saat'e kadar hızlanmada %7.32'lik, 60 km/saat'ten 100 km/saat'e kadar hızlanmada %8.59'luk bir düşüş olduğu, CO, HC ve PM emisyonlarında sırasıyla %8.59, %30.66, %63.33 azalma, CO_2

emisyonunda %2.62, NO_x emisyonunda %5.03 artış, yakıt tüketiminde ise %2.43 azalma meydana geldiği belirtilmiştir [26].

Tillem tarafından yapılan çalışmada, atık bitkisel yağ, ham kanola yağı ve nötr pamuk yağlarından metil alkol ve sodyum hidroksit kullanılarak transesterifikasyon yöntemiyle metil esterler üretilmiştir. Verimi %87.6, %94.2 ve %98.5 olan bu metil esterler ön yanma odalı dört silindirli bir turbo dizel motorda test edilmiştir. Üretilen biyodizele %20 oranında 2 nolu dizel yakıt katılarak performans ve emisyon değerleri karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. B80'nin moment, güç ve termik verim değerlerinin, 2 nolu dizel yakıttan elde edilen değerlere çok yakın değerler olduğu tespit edilmiştir. Biyodizel karışımının özgül yakıt tüketiminin, dizel yakıta kıyasla bir miktar arttığı, egzoz gazı ve yağlama yağı sıcaklıklarının ise azaldığı belirtilmiştir. Duman ve CO emisyonu ölçümlerinde, B80'nin dizel yakıta kıyasla azaldığı, CO_2 emisyonlarında düşme yönünde küçük değişimler olduğu, O_2 emisyonlarında ise küçük bir artış olduğu belirtilmiştir [27].

Çaylak'ın yapmış olduğu çalışmada, fındık yağı metil esteri tek silindirli 4 zamanlı, direk enjeksiyonlu Lombardini, 6LD 400 motorda test edilmiştir. Biyodizelin yakıt özelliklerinin 2 nolu dizel yakıtın standart özellikleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. 4 farklı yakıt tam yükte kısa süreli test edidikten sonra, egzoz emisyonlarında artış, motor performansında ise dizel yakıtına yakın değerler elde edildiği belirtilmiştir [28].

Özsezen tarafından yapılan çalışmada, atık palmiye yağından elde edilen biyodizelin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi araştırılmıştır. Ölçümler ön yanma odalı bir dizel motorda, 20, 40, 60 Nm sabit yük ve tam yük şartlarında, farklı devirlerde ve karışım oranlarında yapılmıştır. Biyodizel ve karışımlarının kullanılmasıyla birlikte motor performansında az bir düşüş, özgül yakıt tüketiminde ise artış olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte CO ve HC emisyonlarında azalma meydana gelirken, NO_x emisyonunda artış meydana geldiği ifade edilmiştir [29].

Sureshkumar ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada pongamia pinnata adlı bitkisel yağın metil esteri dizel yakıt ile karıştırılarak elde edilen karışımın motor performans ve egzoz emisyonlarına olan etkisi incelenmiştir. Yapılan ölçümlerde, pongamia pinnata metil esteri (PPME), dizel yakıtıyla %40 oranında karıştırılarak B40 yakıtı elde edilmiş ve bu karışımın en uygun motor performans ve emisyon değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir [30].

Özsezen ve Çanakçı'nın yapmış oldukları çalışmada, atık palmiye yağından (PYME) metil ester üretilmiştir. PYME ile standart dizel yakıt BMC marka, ön yanma odalı, bir dizel motorda tam yük şartlarında ve aynı devirlerde test edilmiştir. PMYE'nin dizel yakıta kıyasla motor döndürme momentinde, efektif gücünde ve termik veriminde düşüş görülmüştür. Özgül yakıt tüketimi ise artmıştır. Bütün motor devirlerinde PYME kullanıldığında CO, HC ve duman emisyonlarında azalma meydana gelirken, motor devrine bağlı olarak NO_x ve CO_2 değerlerinde de değişimler meydana geldiği belirtilmiştir [31]. Ghobadian ve arkadaşları**,** atık bitkisel yağlardan ürettikleri biyodizeli, 2 silindirli ve 4 zamanlı bir dizel motorun performansına ve emisyonlarına olan etkilerini, yapay sinir ağlarıyla analiz etmişlerdir. Biyodizel üretmek için kullanılacak atık yağlar bir restauranttan temin edilmiştir. Üretilen biyodizelin özelliklerinin ASTM standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir. Atık yağlardan üretilen biyodizelden elde edilecek güç, tork ve emisyon değerleri bir yapay sinir ağıyla tespit edilmiştir. Farklı motor hızları ve tam yük şartlarında, atık yağlardan elde edilen biyodizel ve dizel yakıt karışımları test edilerek birbirleriyle kıyaslanmıştır. Gerçek değerler yapay sinir ağıyla bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır. Atık yağdan elde edilen biyodizelin dizel motorda kullanılmasıyla birlikte, motor performans ve emisyon değerlerinde olumlu sonuçlar verdiği belirtilmiştir [32].

Reşitoğlu tarafından yapılan çalışmada, tam yük şartlarında gerçekleştirilen motor testlerinde kullanılan biyodizel, mutfak bulaşıkhanelerindeki yağ tutucularından elde edilen yüksek miktarda serbest yağ asidi içeren atık bitkisel yağlardan üretilmiştir. Üretilen biyodizel, dizel yakıtı ile karışım haline getirilmiş ve bu karışım yakıtın motor performans ve emisyonları üzerine etkileri incelenmiştir. Atık mutfak yağlarından elde edilen biyodizel standart dizel yakıtla %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80, %90 oranlarında karıştırılarak, her bir karışımın, yakıt özellikleri tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucu %10, %20, %30 ve %40 oranlı karışım yakıtların dizel yakıta daha yakın değerlere sahip olduğu görülmüştür. %10, %20, %30 ve %40 oranlı karışım yakıtlar ile standart dizel yakıt, hava soğutmalı tek silindirli direk enjeksiyonlu Lombardini 4LD 640 marka dizel motorda test edilmiştir. Karışım yakıtların ısıl değerleri dizel yakıtla karşılaştırıldığında daha düşük olduğundan özgül yakıt tüketimi de bu duruma bağlı olarak arttığı ifade edilmiştir. CO emisyonlarında düşüş, NO_x emisyonları artış, HC emisyonlarında ise düşüş olduğu belirtilmiştir [33].

Behçet ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, atık kızartma yağı metil esteri bir

dizel motorda yakıt olarak kullanılmış, performans ve emisyonlar üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Deneyler farklı karışım oranlarında ve motor devirlerinde yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre motor momenti ve efektif motor gücü dizel yakıta kıyasla biraz düşük çıkmış, özgül yakıt tüketiminde ise artış görülmüştür. NO_x ve O_2 emisyon değerleri, dizel yakıta kıyasla metil ester karışımlarında daha yüksek, HC, CO_2 ve CO emisyonları ise metil ester karışımlarında daha düşük çıktığı belirtilmiştir [34].

Engin tarafından yapılan çalışmada, atık ayçiçeği yağından üretilmiş biyodizele ön ısıtma işlemi uygulanmıştır. B50 yakıtının sıcaklığı 60 C°'ye yükseltilerek yakıtın vizkozitesinin saf eurodieselin 40 C° deki vizkozitesine yakın değerlere gelmesi sağlanmıştır. B100 yakıtı, 60°C'ye kadar ısıtılması sonucu eurodieselin oda sıcaklığındaki viskozitesine yakınlaşabilmiştir. 60 °C üzerindeki sıcaklık değeri için viskozite değeri okunamamıştır. B100 yakıtının 60 °C'deki viskozite ve yoğunluk değerlerinin eurodiesele çok yaklaştığı tespit edilmiştir. Yapılan ölçümler neticesinde motor döndürme momenti ve gücünün eurodieselden daha az, bununla birlikte özgül yakıt tüketimi B50 ve B100 yakıtlarda eurodieselden daha fazla çıktığı ifade edilmiştir. CO ve HC kirleticileri eurodieselden daha az çıkarken, NO_x kirleticisinin arttığı belirtilmiştir. İs değerlerinin düşük devirlerde B50 yakıtı için yüksek, B100 yakıtı için düşük; yüksek devirlerde ise B50 ve B100 yakıtların her ikisinde de eurodieselden düşük çıktığı belirtilmiştir [35].

Behçet ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada atık kızartma yağından elde edilen biyodizel standart dizel yakıtı ile % 25, %50 ve %80 oranlarında karıştırılarak B25, B50 ve B80 yakıtları elde edilmiştir. Elde edilen yakıtlar Katana Marka 170 F modeli tek silindirli bir dizel motorda test edilmiş olup, motor performans ve egzoz emisyon değerlerinin diğer biyodizel yakıtlarla benzer özellikler taşıdığı tespit edilmiştir. Ölçümlerden elde edilen veriler ışığında motor momenti ve efektif motor gücü dizel yakıta kıyasla düşük, yakıt tüketiminin ise yüksek olduğu belirtilmiştir. Atık yağlardan elde edilen biyodizelin NO_x ve O_2 emisyonları dizel yakıta kıyasla daha fazla, HC, CO_2 ve CO emisyonları ise daha düşük olduğu belirtilmiştir [34].

Behçet ve arkadaşlarının yapmış oldukları diğer bir çalışmada, atık balık yağından ve atık pişirme yağından üretilen biyodizel, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı ve direkt enjeksiyonlu RANBOW-LA186 marka bir dizel motorda test edilmiştir. Yapılan ölçümler ışığında, emisyonların D2 yakıtına kıyasla çevreyi daha az kirletici tutum sergilediğini tespit etmişlerdir. Bu duruma karşın motor performansında düşüş

gözlemlenmişlerdir. BYME(balık yağı metil esteri) ve APYME'nin(atık pişirme yağı metil esteri) kullanılmasıyla birlikte motor gücü ve torkunda D2 yakıtına göre sırasıyla % 3.3'lük ve % 3.87'lik düşüş olduğu, özgül yakıt tüketiminde % 10.33'lük bir artış olduğu belirtilmiştir. Bununla beraber biyodizel D2 yakıtıyla karşılaştırıldığında HC ve CO emisyonlarında sırasıyla % 17.29 ve % 21.15 civarında azalma, NO_x emisyonunda ortalama % 10.25 artış olduğu belirtilmiştir [36].

Çat tarafından yapılan çalışmada, atık yağdan biyodizel üretilmiş, ölçümler ise tek silindirli bir dizel motorda, değişik yük ve püskürtme basınçları altında, iki aşamada gerçekleştirilmiştir. 200 barlık püskürtme basıncı ve tam yük altında, B0, B50 ve B100 yakıtlarından elde edilen sonuçlara göre; B100 yakıtının özgül yakıt tüketimi B0 yakıtından yaklaşık olarak %15, B50 yakıtından %5 daha yüksek, B0 yakıtının özgül yakıt tüketimi ise diğer yakıtlardan daha düşük olduğu belirtilmiştir. CO, HC ve is emisyonları dizel yakıta kıyasla biyodizelde daha düşük çıkmıştır. Tam yük altında B100 yakıtına ait HC, CO ve is emisyonlarının B0 yakıtına kıyasla yaklaşık %23, %15 ve %17, B50 yakıtına kıyasla %11, %6 ve %6 oranında azaldığı belirtilmiştir. NO_x emisyonu B100 yakıtında daha fazla, tam yük altında NO_x emisyonu B100 yakıtında B0'dan %18, B50'den %7 daha yüksek elde etmişlerdir. Farklı püskürtme basıncı altında yapılan çalışmalarda, performans ve emisyon değerleri için en uygun püskürtme basıncı 220 bar olarak tespit etmişlerdir. Tam yükte B0 yakıtı için en düşük özgül yakıt tüketimi 200 bar'da belirlenirken; B50 ve B100 yakıtları için 220 bar'da tespit etmişlerdir. B100 yakıtının 220 bar basınç altında özgül yakıt tüketimi B0 yakıtına kıyasla %8, B50 yakıtından ise %3 daha fazla çıktığı belirtilmiştir. B100 yakıtı ile 220 bar püskürtme basıncı altında HC, CO ve is emisyonları B0 yakıtına kıyasla yaklaşık olarak %28, %18 ve %18 oranında, B50 yakıtı ile %14, %10 ve %7 oranında düşük elde etmişlerdir. B100 yakıtının NO_x emisyonu B0 yakıtına kıyasla %22, B50 yakıtına görede %5 daha fazla artış gösterdiği belirtilmiştir [37].

Şahin tarafından yapılan çalışmada, keten yağı metil esteri ile farklı oranlardaki dizel yakıt karışımları, tek silindirli bir dizel motorda test edilmiştir. En yüksek tork değerleri, dizel ve B2 yakıtları için 1000 d/d'da, B5 yakıtı için 1100 d/d'da, B20 yakıtı için 1400 d/d'da, B50 ve B100 yakıtları için 1200 d/d'da ölçülmüştür. Karışım içerisindeki biyodizel oranı fazlalaştıkça motorda ölçülen tork değerlerindeki azalmanın periyodik olarak arttığı belirtilmiştir. En yüksek motor gücü dizel yakıt ile 2100 d/d'da, B2 yakıtı ile 1800 d/d'da, B5, B20, B50 ve B100 yakıtları ile 2000 d/d'da ölçülmüştür. En düşük

özgül yakıt tüketimi dizel, B2, B5 ve B20 yakıtları için 1000 d/d'da, B50 ve B100 yakıtları için 1200 d/d'da tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda, biyodizelin motor gücünü düşürdüğü, özgül yakıt tüketimini ise artırdığı ifade edilmiştir [38].

Şanlı tarafından yapılan çalışmada, metil ve etil ester biyodizel yakıtlar, dizel yakıt ile farklı oranlarda karıştırılarak bir dizel motorda teste tabi tutulmuşlardır. Motor devrinin artışına bağlı olarak tüm deney yakıtlarının özgül yakıt tüketiminin düştüğü belirtilmiştir. Ester yakıtların özgül yakıt tüketiminin, dizel yakıta kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Etil esterin özgül yakıt tüketimi, metil estere göre daha düşük elde edilmiştir. Efektif motor verimi, motor devrinin artışına bağlı olarak bütün yakıtlarda artış göstermiştir. Dizel yakıtın efektif motor verimi, ester yakıtlara kıyasla daha düşük değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Ester yakıtlar birbiyle kıyaslandığında etil esterin daha yüksek efektif motor verimine sahip olduğu belirtilmiştir. Tüm yakıtlar için motor devri artışına bağlı olarak CO emisyonlarında düşüş gözlemlenmiştir. Ester yakıtlar dizel yakıta kıyasla daha az CO emisyonu üretmişlerdir. Etil esterin CO emisyonunun metil estere kıyasla daha düşük çıktığı tespit edilmiştir. Tüm test yakıtlarının CO_2 emisyonları, motor devrinin artışına bağlı olarak küçük bir miktar dahi olsa azalmıştır. Ester yakıtların, dizel yakıta kıyasla daha fazla CO_2 emisyonuna sahip oldukları, fakat diğer emisyon değerlerinde oluşan farklarla karşılaştırıldığında, CO_2 değerlerinin kendi aralarındaki değişimlerinin daha az miktarda olduğu belirtilmiştir. Motor devrinin 1100 d/d'dan 1400 d/d'ya yükseltildiğinde, HC emisyonlarının düştüğü, devir 1700 d/d'ya yükseltiğinde ise arttığı ifade edilmiştir. Bütün motor devirlerinde, ester yakıtların HC emisyonlarında önemli oranda azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Etil esterin metil estere kıyasla daha düşük HC emisyonu meydana getirdiği belirlenmiştir. Motor devri 1100 d/d'dan 1400 d/d'ya artırıldığında, yükselen NO_x emisyonları, motor devri 1700 d/d'ya yükseltildiğinde azalmıştır. Ester yakıtların NO_x emisyonları, dizel yakıta kıyasla daha fazla çıkarken, motor devrinin artışına bağlı olarak daha belirgin bir şekilde yükseldiği belirtilmiştir [39].

Şahin tarafından yapılan çalışmada, hardal yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmiş ve bu biyodizel (B100 ve B50)bir dizel motorda test edilmiştir. B50 ve B100 yakıtları dizel yakıtla kıyaslanarak kullanıldığında, bu yakıtların motor momentini sırası ile %2.5 ve %4.2 düşürdüğü belirtilmiştir. Motor güçlerinde ise sırasıyla %2.4 ve %4.3 oranlarında azalma olduğu, B50 ve B100 yakıtlar kullanıldığında, özgül yakıt tüketiminde artış meydana geldiği belirtilmiştir. Dizel, B50

ve B100 yakıtları için 2200 d/d motor devrinde yapılan testlerde, en düşük özgül yakıt tüketimi değerleri ölçülmüş, dizel yakıtına kıyasla bu yakıtlarda sırası ile %8 ve %17 oranında artış olduğu belirlenmiştir. CO emisyonlarında ise, dizel yakıtına kıyasla B50 ve B100 yakıtlarında sırasıyla %8, %16 oranında azalmalar meydana geldiği belirtilmiştir. NO_x oluşumu, düşük motor devirlerinde artış gösterirken, motor devir artışına bağlı olarak da düşme göstermiştir. 2700 d/d motor devrinde dizel, B50 ve B100 yakıtlarında en düşük NO_x emisyonu oluşurken, B50 ve B100 yakıtlarının kullanılmasıyla birlikte bu yakıtların dizel yakıta kıyasla NO_x emisyonlarında sırasıyla %7 ve %13 oranında düşüş meydana geldiği ifade edilmiştir [40].

1.1.TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ

Titreşim ve gürültü birbirinden bağımsız olarak düşünülebilecek iki farklı sorun olarak görülse de, biri diğerini tetikleyen iki bileşen olarak karşımıza çıkmaktadır. Kısacası titreşim gürültünün en temel kaynağını oluşturmaktadır. Gürültü miktarını yaklaşık olarak iki kat azaltmanın yöntemi titreşim miktarının azaltılmasıyla sağlanmaktadır [41].

Gürültü insanın hoşuna gitmeyen, arzu edilmeyen, rahatsızlık verici ses olarak tanımlamıştır. Gürültü, yalnızca ses dalgalarının şiddetinin, tiz ve tok olmalarına ve sürekliliğine bağlı olmamakla birlikte, insanın dışsal ve içsel durumlarına da bağlı olarak anlamlandırılmaktadır. Gürültü hangi koşulları taşırsa taşısın uzlaşılan bir konu vardır ki; o da rahatsızlık verici olmasıdır [42].

Gürültünün çıkışının çok nedenleri vardır. Fakat bu nedenlerden en yaygın olanlarından bir taneside motorlu taşıt kaynaklı gürültüdür. Taşıt motorunun çalıştırılmasından tutunda hareket ettirilmesine kadar geçen sürede ortaya çıkan gürültünün birçok bileşenleri vardır. Bunlar; motorun çalışmasından dolayı ortaya çıkan gürültü, aracın şasi ve kaportasından kaynaklanan gürültüler, frenleme anında sürtünmeden kaynaklanan gürültü, araç lastiklerinin yol ile temas kurmasından kaynaklı gürültü ve hareket halindeki taşıtın meydana getirdiği hava girdabının sebebiyet verdiği gürültüdür [43].

Taşıtlardan kaynaklı gürültü hareketleri, gürültünün oluştuğu merciden, muhatabı olan alıcıya kanallardan değişikliğe uğrayarak ulaşırlar. Gürültü, direkt olarak hava, yapı ve havaşyapı yollarıyla yayılımlanır. Bu üç yayılım yoluyla, taşıtta oluşan titreşimlerden

kaynaklı gürültülerin hedef kaynağa (insana) iletimi hava yoluyla olmaktadır [44]. Aynı zamanda, taşıtlarda oluşan mekanik titreşimler; mekanik enerjiyi ısı enerjisine çevirerek atmosfere salınmasına sebep olmaktadırlar. Taşıt kaynaklı titreşimlerin büyük bir kısmı içten yanmalı motorlar tarafından oluşturulmaktadır. Titreşim yapmadan çalışan içten yanmalı motor tasarlamak ve imal etmek imkansızdır. Ancak motor üzerindeki dinamik parçalara dinamik simülasyon yöntemiyle daha nitelikli matematiksel programlama yapılarak titreşimi daha düşük motor dizayn etmek imkansız değildir [45], [46].

Kategorik olarak incelendiğinde içten yanmalı motorlardan kaynaklı titreşimler iki durumda karşımıza çıkmaktadır. Dâhili titreşimlerin kaynağı olarak motor bloğu içerisinde hareketli motor parçalarının oluşturduğu titreşimler görülmektedir. Fakat dâhili titreşimler incelenirken blok üzerindeki hareketler ihmal edilmektedir. İkinci sırada incelenecek titreşim kaynağı ise motor bloğu üzerindeki harici titreşimlerdir. Motor bloğu üzerinde oluşacak harici titreşimler ise motor bloğunun motor takozları üzerindeki katı bir cismin davranışlarının incelenmesi işleminden öte bir şey değildir [45], [47], [48].

İçten yanmalı motorlardan kaynaklı ortaya çıkan titreşimler iki sebepten dolayı olmaktadır. Birincisi yanma işlemi süresince meydana gelen ani basınç farklılıkları, ikincisi ise doğrusal ve dairesel hareket halindeki motor parçalarının ivmesel değişimlerden kaynaklı eylemsizlik ve dengesizlik sonucu ortaya çıkarttığı kuvvetlerdir [46], [49], [50].

Pistonlu motorlar üzerinde oluşan titreşimler esas olarak; silindir içerisindeki yanma işlemi sonrasında yanma odasına etki eden yanmış gazlardan kaynaklı oluşan kuvvetlerden, doğrusal ve dairesel hareket eden motor parçalarından kaynaklı balansızlık ve atalet kuvvetlerinden, volanın oluşturduğu merkezkaç dönme hareketinden, supap sistemleri ve zaman ayar düzenekleri arasındaki geçici çalışma değişimlerinden kaynaklanmaktadır [50], [51].

Silindir içerindeki yanma işlemi sonucu ani basınç değişimleri meydana gelir. Ani basınç değişimleri motor dış yüzeylerinde titreşim meydana getirir. Motor dış yüzeyinde oluşan bu titreşim, havada basınç salınımları yaparak gürültü oluşmasına neden olur. Motor devrinin düşürülmesi, silindir miktarının arttırılması ve motor bloğu et kalınlığının arttırılması şeklinde alınabilecek önlemler yakıt tüketimi, maliyet, performans ve vergi diliminin artması gibi ekstra yüklerden dolayı ortaya çıkan sonuçlar

bu yöntemlerin tercih edilmesinin önünü tıkamaktadır. Çözüm olarak, motordan kaynaklanan gürültünün yalıtımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Hava filtresi emiş ağzı, hava filtresi haznesi boyun uzunluğu ve filtreye bağlantısı hava akışını engelleyemeyecek şekilde dizayn edilmelidir. İçten yanmalı motordan elde edilecek titreşimler deneysel çalışmalarla tespit edilip inceleme altına alınmalı, elden geldiğince hava filtresinin haznesi büyük yapılarak hava emişinden dolayı kaynaklanan gürültünün en aza indirgenmesine çalışılmalıdır [44].

Aynı zamanda titreşim ve gürültü, sürüş güvenliğine ve rahatlığına etki eden önemsenmesi gereken unsurlardan iki tanesidir. Dikkat çekici bir şekilde kompleks bir yapıya ve çalışma sistemine sahip motorlu taşıtlar, taşıtın taşıdığı yolcular ve yükleri, yolun zemininden kaynaklanan ve hareket halindeki taşıtın çevresine sürekli temas halinde bulunan hava ile sürekli etkileşim halinde bulunmaktadırlar. Motorlu taşıtlarından kaynaklı titreşim ve gürültünün temel nedenleri, pistonlu motor, yol zemini ve aerodinamik etkilerdir. Daima titreşim ve gürültü altında bulunan insanlarda dikkatini toplayamama, stres, asabilik hali ve sürekli kendini yorgun hissetme belirtileri görülmektedir [52], [53].

Literatürde motor titreşim ve gürültüsünün incelendiği çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Taghizadeh ve arkadaşları, motor devri el ile komuta edilebilen küçük bir tarım makinesinin titreşim değerlerine olan etkisini ölçülmüşlerdir. Tarım makinesinin motoru tarafından üretilen titreşim değerlerinin yatay, dikey ve eksenel yönlerde devre bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir [54].

Yine Taghizadeh ve arkadaşlarının yapmış olduğu başka bir çalışmada B5, B10, B15, B20, B30, B40, B50 ve B100 yakıtları 6 silindirli bir dizel motorda, değişik motor devirleri altında test edilmiş ve bu yakıtların motor titreşimleri üzerine olan etkileri ölçülmüştür. Titreşim değerleri, silindir bloğuna yatay, dikey ve eksenel yönlerde yerleştirilmiş ivme ölçerler tarafından okunmuştur. İvme ölçerlerden alınan bilgiler ışığında zaman bölgesi ve frekans analizleri yapılmıştır. 1800 d/d ile 2000 d/d'lar aralığında azami titreşim değerlerine ulaşılmıştır. B20 ve B40 yakıtlarının kullanılması sonucu dizel motorda en az titreşim değeri ölçülürken, bu durumun aksine B15, B30 ve B50 yakıtlarının kullanılmasıyla da en büyük titreşim değerleri ölçülmüştür [55].

Aytaç tarafından yapılan çalışmada, bir dizel motorda dizel yakıt ile bitkisel yağlar değişik oranlarda karıştırılarak test edilmiştir. Bu karışımların dizel motordaki yakıt

tüketimine, ekzoz gaz sıcaklık değişimlerine, indike basınca, motor gürültüsüne, yağ basıncı pompa eleman aşıntısına ve volumetrik verimine olan etkilerini incelemiştir. Yapılan kıyaslamada egzoz gaz sıcaklıkları en yüksek değere % 75 soya yağı- dizel karışımlarında ulaştığı, gürültü seviyelerinin karışım yakıtlarda düştüğü, motor indike basıncının değişmediği, yakıt tüketiminin arttığı ve motorun ilk harekete geçişinde olumsuz bir durum yaşanmadığı tespit edilmiştir [56].

Albayrak'ın yapmış olduğu çalışmada, kanola yağından kanola yağı metil esteri (KYME) üretilmiştir. KYME standart dizel yakıt ile farklı oranlarda karıştılarak, direkt enjeksiyonlu, 4 zamanlı ve tek silindirli, hava soğutmalı bir dizel motorda test edilmiştir. KYME içerikli yakıtlar ile, motor moment ve gücünde standart dizel yakıta göre azalmalar olduğunu belirtmiştir. Karışım yakıtların dizel yakıta kıyasla özgül yakıt tüketimini daha yüksek elde edtmiştir. Karışım yakıtların O_2 ve CO_2 emisyonlarında artış meydana geldiği tespit etmiştir. Karışım yakıtlarda en yüksek NOx emisyonunu, KYME60 yakıtı ile elde etmiştir. Karışım yakıtlarda KYME oranı arttıkça, NOx emisyonlarıda artmıştır. Aynı zamanda, yakıt içerisindeki KYME oranı arttıkça duman koyuluğunun da azaldığını belirtmiştir. En az titreşim genlik değeri 1400d/d'da standart dizel yakıt ile elde etmiştir. Titreşim değerlerininde, motor devrinin artışına bağlı olarak yükseldiğini tespit etmiştir [5].

Yapılan literatür çalışmaları, bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel yakıtların, dizel yakıta yakın özelliklere sahip olduğunu göstermektedir.

Standart dizel yakıtın üretim maliyeti, biyodizelin üretim maliyetinden daha düşüktür. Bu durum biyodizel üretimini olumsuz etkilemektedir. Atık restaurant veya evsel kızartma yağlarının biyodizel üretiminde kullanılması, oluşan bu yüksek maliyeti aşağılara çekebilecektir. Ayrıca bu atık restaurant veya evsel kızartma yağlar, biyodizel üretiminde kullanılarak, imhası konusunda da yasal bir zemin oluşturacaktır [29].

Biyodizel üretiminde oluşan yüksek maliyet, biyodizel üretiminde kullanılan hammaddenin (yüksek kaliteli bitkisel yağlar) maliyetinden kaynaklanmaktadır. Düşük maliyetli hammadde seçiminde tercih edilecek kaynağı ise atık kızartma yağları olarak gösterebiliriz. Atık kızartma yağlarının biyodizel yapımında kullanılması, üretim maliyetini düşürebileği gibi, bunun yanında çevresel kirlenmeyide önlemiş olacaktır. Hammadde miktarı hammaddeyi işleyecek biyodizel üreticisi için hayati bir konu

durumundadır. Fakat buna bağlı olarakta ülkemizde atık kızartma yağlarının mevcut durumu hakkında çok geniş kapsamlı bir araştırma yapıla gelmiş değildir [39].

Bu çalışmada, atık bitkisel yağlardan elde edilmiş biyodizel kullanılmıştır. Biyodizel yakıt standart dizel yakıt ile hacimsel olarak %5,%15,%30 ve %50 oranlarında karıştırılarak sırasıyla B5, B15, B30, B50 yakıtları elde edilmiştir. Standart dizel yakıtın (B0), saf biyodizel yakıtın (B100) ve karışım yakıtların tam yükte ve farklı devirlerde (1250 d/d, 1750 d/d, 2250 d/d, 2750 d/d ve 3250 d/d) tek silindirli bir dizel motorun performansına, egzoz emisyonlarına, titreşimine ve gürültü emisyonlarına olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

2. DİZEL MOTORLARDA YENİLENEBİLİR ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILAN BİYODİZEL VE ÖZELLİKLERİ

2.1. BİYODİZELİN TANIMI

Literatürde yapılan incelemelerde biyodizel ile ilgili birçok tanımlamalara rastlanmaktadır. Bu tanımlamalardan bazıları şu şekildedir;

Biyodizel, hammadde eldesi olarak bitkisel, hayvansal ve alg(yosun) yağlarından üretilen, yağ asitlerinin alkil mono esterleri şeklinde tarif edilen, biyo ve dizel kelimelerinin bir araya getirilmesiyle türetilen bir yakıt türüdür [39].

Biyodizel, biyoyakıt sınıfından olan, sıvı halde bulunan kaliteli alternatif yakıtlar kategorisinde değerlendirilen bir yakıttır. Biyodizele biyomotorin, yeşil enerji veya halkın söylemiyle yağ mazotu da denilmektedir [57].

Biyodizel yenilenebilir kaynaklardan üretilen biyokütle kökenli, dizel yakıta alternatif olarak kullanılabilecek bir yakıt çeşitidir. Bitkisel, kullanılmış bitkisel atık ve hayvansal yağların alkol kullanılarak kimyasal tepkimeye sokulması anında yağ molekülleri içeriğinde bulunan yağ asitleri ile yeni esterler meydana getirilmesi işlemidir. Bu işlemler sonucunda açığa çıkan gliserinde bir yan ürün olarak karşımıza çıkmaktadır. Daha sonra elde edilen gliserin, saflaştırma işlemine tabi tutulup, parfüm ve kozmetik gibi alanlarda da kullanılabilmektedir [58].

Biyodizel, yenilenebilir kaynaklardan üretilen uzun zincirli yağ asitlerinin mono alkol esterleri şeklinde tarif edilen, menşei biyolojik olan, ester tabanlı, oksijen içeriği yüksek ve dizel motorlarda yakılabilen bir tür yakıttır [59].

Biyodizelin yakıt özelliklerini belirleyen en önemli etkenden bir tanesi hammadde olarak tercih edilen yağın çeşitidir. Yağın bünyesindeki yağ asitlerinin çeşitleri ve miktarları biyodizelin yakıt kalitesini doğrudan etkilemektedir [60].

Bitkisel ve hayvansal yağ kaynaklı biyodizel yakıtın kimyasal içeriği dizel yakıta benzememektedir. Fakat fonksiyonel olarak dizel yakıta benzer tarafları olan bir yakıttır [61].

Biyodizel biyolojik açıdan çabuk bozunabilen fakat toksit içermeyen, emisyon değerleri düşük olan çevreyle barışık bir yakıttır [62].

Dizel yakıt ile biyodizel yakıt arasındaki en bariz farklılık petrolün günden güne rezervinin azalması ve tarımsal faaliyetlerle ve bitkisel atık yağların geri kazanımıyla birlikte devamlı yenilenebilir kaynağa sahip olmasıdır. Biyodizel, yağlı tohumlu bitkilerin yağları, hayvansal yağlar ve bitkisel atık yağları metanol veya etanol ile bir katalizör yardımıyla tepkimeye sokulmasıyla ortaya çıkan bir yakıt türüdür. Biyodizel kesinlikle bir petrol ürünü bir yakıt değildir. Biyodizel, tek başına kullanılabileceği gibi dizel yakıtla karıştırılarak da kullanılabilir. Taşıt motoru üzerinde bir değişiklik yapmaya gerek kalmadan kullanılabilmektedir. Biyodizel dizel yakıta hangi oranda katıldıysa o oranla isimlendirilmektedir. Örneğin %5 oranında biyodizel dizel yakıta katılmışsa B5 olarak, eğer saf olarak kullanılmışsa B100 olarak adlandırılmaktadır [63].

Biyodizel hammaddesi olarak, Amerika kıtasında soya yağı, Avrupa kıtasında kanola tohumu yağı, Endenozya ve Malezya'da palmiye yağı ve Güney Asya'da da jatropha bitkisi yağı kullanılmaktadır [64], [65].

Biyodizel yakıt olarak önemli avantajları bünyesinde barındırmaktadır. Bu avantajları şu şekilde sıralayabiliriz;

1. Kükürtü, aromatik hidrokarbonları, metalleri ve ham petrol artıklarını üzerinde taşımaz.
2. Isıl değer, yoğunluk ve viskozite gibi değerler dizel yakıta yakın değerlerdir.
3. CO_2, CO, HC gibi egzoz emisyon değerleri dizel yakıta kıyasla daha düşüktür.
4. Oksijen içeriği dizel yakıta oranla yüksektir.
5. Milli imkânlarla ileri teknoloji gerektirmeden üretilebilir.
6. Özgül yakıt tüketimi, motor gücü ve moment değerleri dizel yakıta yakın değerlerdir.
7. Daha az toksit madde içerirler.
8. Sosyo-ekonomik gelişmelere katkı sağlarlar.
9. Setan sayısı yüksektir.
10. Tutuşma sıcaklığı yüksek olmasından dolayı nakliyesi ve saklanması tehlike içermez.

Tabiî ki bu önemli avantajları yanında dezavantajlı yanlarıda vardır. Onlarda şunlardır;

1. NO_x emisyonları dizel yakıta kıyasla yüksektir.
2. Dizel yakıta kıyasla soğuk akış nitelikleri daha kötüdür. Bu da motoru ilk çalıştırma anında sorun meydana getirmektedir [66].

Biyodizel ile dizel yakıtının birbiriyle karşılıklı olarak kıyaslanması Çizelge 2.1'de gösterilmiştir [67].

Çizelge 2.1. Biyodizel ve dizel yakıt özelliklerinin karşılaştırılması

Özellikler	Biyodizel	Dizel
Setan sayısı	51-62	44-49
Yağlayıcılık	Oldukça iyi	Çok düşük
Biyolojik ayrışabilirlik	Kolayca ayrışabilir	Zayıf
Toksik	Gerçekte toksik değil	Yüksek toksik
Oksijen	%11 den fazla oksijen	Çok düşük
Aromatikler	Aromatik içermez	%18-22
Kükürt	Yok	%0,05
Parlama noktası	300-400 F	125 F
Dökülme zararı	Yok	Yüksek
Malzeme uyuşabilirliği	Kauçuk hariç diğer malzemeler ile az uyuşabilir	Kauçuk hariç doğal Malzemelerde etkili değildir
Taşınması	Zara vermeden ve patlamadan taşınabilir	Tehlikelidir
Isıl değeri	Dizel 'den %2-3 daha düşüktür	
Temin kaynağı	Yenilenebilir	Yenilenemez
Temini	Çok geniş	Sınırlı
Enerji teminatı	Ulusal ham materyal	Ulusal ve ithalat karışımı
Alternatif yakıt	Evet	Hayır
Üretim işlemleri	Kimyasal reaksiyonlar	Reaksiyon + parçalanma

2.2. BİYODİZELİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Biyolojik yakıtların tarihsel gelişim, politik ve ekonomik değişimsel faktörlere dayanmaktadır. Biyodizel, dizel yakıta alternatif yakıt olarak 1970'li yıllarda enerji krizi sonrası sahneye çıkarak büyük ilgi uyandırmıştır. 1800'lü yıllardan itibaren bitkisel yağların transesterifikasyonu, gliserin elde etmek için uygulanan bir yöntem olmuştur. Temel hedef gliserin üretmek olduğundan, organik yağlardan transesterifikasyon yöntemle elde edilen metil veya etil esterler (biyodizel), o yıllarda elde edilen yan ürün olarak karşımıza çıkmaktadır [68].

Biyodizelin tarihçesi 19. YY. sonlarında (1898 yılında) Rudolf Diesel'in yer fıstığı yağını dizel motor üzerinde denemesi ve Paris Dünya Fuarında tanıtmasıyla başlamıştır [69].

Rudolf Dizel bu tanıtımı yaptıktan yaklaşık olarak 15 sene sonra, bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasının ülkeler tarımına olumlu yönde bir katkı sağlayacağını ve kendi zamanında bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasının petrol ve kömür katranı kadar

önemlilik arzetmediğini fakat gelecekte en az petrol ve kömür katranı kadar revaçta olacağını ifade etmiştir [70]. Biyolojik yakıtların ulaşım sektöründe önemli bir yeri olacağını akla getiren tek kişi Rudolf Diesel olmamıştır. Henry Ford 1908 yılından sonra tasarladığı otomobillerin etanol yakıtına uyumlu olmasını göz ardı etmemiştir. Rudolf Diesel ve Henry Ford gibi dizel motor üreticileri biyolojik yakıtların geleceğini çok önceden fark etmelerine rağmen, ekonomik ve politik savaşların etkisinden dolayı bu sektöre gereken ilgiyi zamanında gösterememişlerdir [68].Dizel motorlar üzerindeki benzer deneysel çalışmalar, St. Petersburg'da bitkisel ve hayvansal yağlar kullanılarak devam ettirilmiştir. Motorlarda kullanılması için lazım olan yağlar çoğunlukla Afrika'daki sömürgelerden temin edilmiştir. Bitkisel yağlar 1. Dünya Savaşı esnasında bazı ülkeler tarafından acil durumlarda yakıt olarak kullanılmıştır. Yine 1. Dünya savaşı yıllarında ikiz yakıt projesi dâhilinde Amerika Birleşik Devletleri Ohio State Universitesinde pamuk ve mısır yağlarının dizel yakıt ile karıştırılarak kullanılması yönünde çalışmalar yapılmıştır [71].

Biyodizel adını İlk defa literatürüne alan kuruluş 1992 yılında Amerika Ulusal Soy Dizel Geliştirme Kuruluşudur [72].

Bununla birlikte, bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmesi için içeriğinde bulunan gliserinin uzaklaştırılması adına yapılan akademik çalışmalar devam etmiş olup, ismi "BİYODİZEL" olan yenilenebilir kaynaklardan elde edilen yakıt için ilk patent G.Chavanne'ye, 31 Ağustos 1937 tarihinde Belçika'da bulunan Brüksel Üniversitesi tarafından verilmiştir [73]. Biyodizel ilk olarak, 2. Dünya savaşı öncesinde Güney Afrika'da büyük ve güçlü motorların çalıştırılmasında kullanılan bir yakıt olmuştur [70]. Fosil yakıt kökenli petrolün türevi yakıt olan dizel yakıt ekonomik olarak uzun yıllar boyunca temin edilebilir olması nedeniyle motorlar sürekli bu yakıta uyumlu olacak şekilde tasarlanmış ve üretilmiştir. Petrol krizlerinin belirli zaman aralıklarında ortaya çıkması, bitkisel yağları yakıt olarak kullanmak ihtiyacını ortaya çıkarıp gündem oluştursa da, konuyla ilgili yoğun ilmi çalışmalar 1970 yılındaki petrol krizinden sonra tam anlamıyla başlamıştır [74]. Buna sebep olarak, 1973 ve 1979 yıllarındaki krizlerin kaynağı olan Ortadoğu kaynaklı petrolün azalması ve buna istinaden petrol fiyatlarındaki öngörülemeyen artışlar olarak gösterilebilir [75]. Aynı zamanda, 1973 yılında ortaya çıkan OPEC petrol ambargosu üzerine petrol krizleri karşısında çeşitli ülkelerde, milli kaynaklardan azami faydalanma, tarımsal kaynakları en iyi şekilde değerlendirme, ülkedeki döviz rezervlerini ülke içinde tutabilme ve ileri yıllarda ortaya

çıkabilecek enerji krizleri karşısında hazırlıklı olabilme düşünceleri önem kazanmıştır. Bu hadiseler bütün ülkelerde dışa bağımlılığın en üst göstergelerinden bir tanesi olan fosil yakıtların olduğu gerçeğinin görülmesine sebep olmuştur [28].

Bununla birlikte, 1978 krizinin ardından 1980'lerde dizel araçlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilecek bitkisel yağlarda viskozite sorunu ortaya çıkmıştır. Bu sorun yağların metil alkolle reaksiyona sokularak metil estere, yani biyodizele dönüştürülmesiyle çözülmüştür [76].

1997 yılında Kyoto Protokolünün imzalanması ile birlikte, gelecek yıllara ait biyoyakıtın kullanılması potansiyeli hakkında toplumsal şuurun oluştuğu görülmüştür. Biyodizel ve etanol gibi biyoyakıtların önü böylece açılmıştır. Bu durum Rudolf Diesel ve Henry Ford gibi öncülerin anlatmak istedikleri beklentileri açığa çıkarmıştır. ABD'de alternatif yakıtlar üzerine yapılan çalışmalar, bitkisel yağlar üzerinde yoğunlaşmış, bu çalışmalar John Dere, International Harvester, Caterpillar ve Perkins gibi motor imalatçıları üzerinden 1980'li yıllardan itibaren devam etmiştir [75].

1990'lı yıllarda ortaya çıkan Körfez Savaşı'nın tesiriyle petrol fiyatlarındaki artış, biyodizel üretimini tekrar gündeme getirmiştir. Avrupa'nın nüfus ve ekonomisi açısından büyük ve önemli ülkelerinden olan Almanya ve Fransa'nın önderliğinde biyodizele dair bir piyasa oluşturulmaya başlanmış ve biyodizel üretimi sürekli arttırılmıştır. 2000'li yıllarda petrol fiyatlarının tekrar yükselmesi, çevreci hassasiyetin güçlenmesi ve kırsal bölgelerin kalkındırılması gibi etmenlerin etki etmesiyle birlikte biyodizel sektörü büyüme trendine geçmiştir [77].

İtalya'da endüstriyel amaçlı üretimi yapılan kolza, soya veya ayçiçek yağları metil esterleri ilk biyoyakıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu biyoyakıtlar Diesel-bi ismi altında üretilmiş, 1991 yılı itibariyle İsviçre'nin Zürih şehri belediye otobüslerinde kullanılmış ve bu yakıtın çevre kirliliğine tesir edebilecek emisyon testleri de yapılmıştır [75].

Günümüzde bitkisel yağların dizel motorlarda dizel yakıta alternatif yakıt olabilirliği üzerinde gündem oluşmuş ve böylece bitkisel yağların kimyasal ve fiziksel özellikleri ile dizel motorlarında sıkıntı çıkartmadan kullanılabilir olup olmadığı üzerinde araştırmalar yapılmıştır [78].

Biyodizel üretimindeki artışın nedenlerinden biri, küresel iklim değişiklikleri, havanın ve suyun kalitesinin düşmesi ve insan sağlığının etkilenmesidir. Bu yüzden biyodizel,

bütün dünya ülkeleri için üretimi ve kullanımı yaygın olarak kabul gören bir yakıt şekline dönüşmüştür [76].

2.3. BİYODİZELİN KULLANIM ALANLARI

Biyodizel büyük ölçekli işletmelerde üretimi yapılabildiği gibi daha küçük işletmelerde de üretimi yapılabilmektedir. Biyodizelinin bünyesinde barındırdığı nitelikler, bir alternatif yakıt olarak dizel motorların dışında da kullanılabilmesine fırsat tanımaktadır. Biyodizele aynı zamanda "Acil Durum Yakıtı" ve "Askeri Stratejik Yakıtı"da denilmektedir. Biyodizel elektrik üretmek için jeneratör yakıtı ve ısınmak içinde kalorifer yakıtı olarak da değerlendirilebilmektedir. Kükürt içermediğinden dolayı seralarda kullanılabilecek bir yakıt olarak da dikkati çekmektedir. Bununla birlikte, yer altı madencilik sektöründe ve gıda işleme sanayinde kullanımı tavsiye edilmektedir. Yurdumuzda da hava sıcaklığının çok düşük olduğu bölgeler dışında dizel yakıtının kullanılabildiği bütün alanlarda kullanılabilecek bir yakıttır. Biyodizel ulaşım sektöründe dizel yakıtının yerine kullanılabildiği gibi konut ve sanayi sektörlerinde de fuel oil yakıtı yerine kullanılabilecek bir yakıt türü olarak karşımıza çıkmaktadır [79].

Biyodizelin motor yakıtı dışında kullanım alanları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Soba, fener ve diğer ısıtıcılarda yakıt olarak,
2. Model uçaklarda yakıt olarak,
3. Kalorifer kazanlarında yakıt olarak,
4. Yapışkan kimyasal, sprey boyaların ve otomobillerde istenilmeyen boya oluşumlarının temizlenmesinde çözücü madde olarak,
5. Motor parçaları üzerinde oluşan yağ ve kurumun temizlenmesi işleminde,
6. Çok fonksiyonel makine yağlayıcısı olarak,
7. Tuğla imalatı ve çömlekçilik işlemlerinde,
8. Çevreye saçılan petrolün temizlenmesi işleminde,
9. Jeneratörde elektrik üretme işleminde yakıt olarak,
10. Betonun yapışmasını önlemek için inşaat kalıplarının sıvanmasında,
11. Hidrolik devrede hidrolik sıvısı olarak kullanılma işleminde,
12. Demiryolu raylarının yağlanması işleminde,
13. Gıda işletmelerinde gıda kurutma işlemi için gerekli olan yakıt ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilmektedir [80].

2.4. BİYODİZELİN YAKIT KARAKTERİSTİKLERİ

Biyodizelin, dizel motorlarda teknik açıdan bir değişikliğe gidilmeden ya da küçük değişikliklere gidilerek kullanılabilme imkanı vardır. 1996 öncesi üretimi yapılan bazı taşıtlarda kullanılan doğal kauçuk malzemesi, biyodizel yakıtı ile intibak sağlayamamıştır. Bunun nedeni ise biyodizelin doğal kauçuk kökenli hortum ve contalara zarar vermiş olmasıdır. Bu problem ancak dizel yakıtı içerisine katılan biyodizelin oranının azaltılmasıyla aşılabilmiştir [81]. Ayrıca, yakıt deposunun iç yüzeyindeki ve yakıt iletimin borulardaki tortular, biyodizelin çözücülük özelliğinden dolayı ayrışacaktır. Bu nedenle filtrelerin tıkanması gibi sorunlar da ortaya çıkabilecektir. Oluşacak sorunlara karşı tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bununla birlikte yakıt istasyonlarında ve taşıt tamirhanelerinde bir değişikliğe gidilmesine de gerek yoktur [71]. Biyodizel, fosil yakıt olan dizel yakıt ile her oranda karıştırılabilme özelliğine sahiptir. Bu özellikten dolayı, dizel yakıtin kalitesi de artacaktır. Çizelge 2.2'de biyodizel ve dizel yakıtların bazı özellikleri verilmiştir [5].

Çizelge 2.2. Biyodizelin özellikleri.

Yakıt Özellikleri	Birim	Sınır Değeri (min - max)	Biyodizel	Dizel
Kapalı Formül			$C_{19}H_{35.2}O_2$	$C_{12.228}H_{23.29}S_{0.0575}$
Molekül Ağırlığı	g/mol		296	120 - 320
Alt Isıl Değeri				
Kütlesel	Mj/kg		37,1	42,7
Hacimsel	Mj/L		32,6	35,5
Özgül Ağırlığı (15 °C)	kg/L	0,875 - 0,90	0,87 - 0,88	0,82 - 0,86
Kinematik Viskozite (40 °C)	mm^2/s	2 - 4,5	4,3	2,5 - 3,5
Tutuşma Noktası	°C	55 - ...	>100	>55
Kükürt İçeriği	% Kütlesel	... - 0,05	<0,01	<0,05
Tutuşma Katsayısı	Setan Sayısı	49 - ...	>55	49 - 55
Kül	% Kütlesel	... - 0,01	<0,01	<0,01
Su Miktarı	mg/kg	... - 200	<300	<200

Biyodizel içerikli yakıtın silindir içerisinde yanması ile, egzoz gazlarının emisyon değerleride düşmektedir.

Biyodizel, içerisinde orta uzunlukta C_{16}-C_{18} yağ asidi zincirlerini barındıran metil veya etil ester tipi bir yakıttır.

Yapısında oksijen bulundurmasıda, dizel yakıttan kendisini ayıran önemli bir özelliktir

[2]. Biyodizel kendi ağırlığının yaklaşık olarak %10'u kadar bünyesinde oksijen bulundurmaktadır. Bu sebeple silindir içerisindeki yanma daha iyi olmakta ve buna bağlı olarak da azami yanma odası basıncı artış göstermektedir [82].

Yanma sonucu ortaya çıkan gazlar, çevreye zararlı olmakla birlikte, silindirin içerisinde oluşan su buharı ile birleşerek asit meydana getirmektedir. Meydana gelen asit motor parçaları üzerinde korozyon oluşmasına sebep olmaktadır [83].

Biyodizel yakıtların esterleştirilmesi sırasında katalizörlerden gelen ve uzaklaştırılamayan artık metallerin oranı biyodizelin kül miktarını arttırıcı etkiye sahiptir. Biyodizel içerisinde çözünebilme yeteneğine sahip metaller, tortu oluşmasına ve iç parçaların aşınmasına neden olmaktadır [84].

2.4.1. Asit numarası

Biyodizelin içerisindeki serbest yağ asitlerinin ölçüsüne asit numarası denmektedir. Bu asitler motorda aşınma meydana getirirler. Katalizör kullanılarak yapılan biyodizel üretiminde serbest yağ asitleri biyodizelin içerisinden uzaklaştırılır. Fakat su veya hava ile oluşabilecek bir temas asit numarasında tekrar yükselmeye neden olabilir. Bu sebeple biyodizel üreticilerinin yakıtın kalite kontrol işlemleri sırasında kesinlikle bu değeri takibe almaları gerekmektedir [27].

2.4.2. Serbest Gliserin

Yakıt içerisinde moleküler gliserinin bulunmasına serbest gliserin denmektedir. Bu durum şu anlama gelmektedir; transesterifikasyon tepkimesinin akabinde ester ile gliserin istenilen standartlarda ayrışamamaktadır. Bu durum yıkama işleminin yetersiz olmasından ya da başka sebeplerden dolayı gliserinin yakıttan arzu edilebilir seviyede ayrıştırılamamış olmasından kaynaklanmaktadır. Silindir içerisinde karbon oluşumunun en önemli etkenlerinden bir taneside yakıtın içerisinde serbest gliserinin bulunmasıdır [27].

2.4.3. Toplam gliserin

Yakıt içerisindeki serbest ve bağlı gliserinin toplamına denmektedir. Mono, di ve trigliseritlerin içerisinde bulunan gliserinlerede bağlı gliserin denmektedir. Toplam gliserin oranının yüksek olmasının nedeni, istenilen düzeyde transesterifikasyon tepkimesinin oluşamamasıdır. Bu durumun ortaya çıkartmış olduğu sonuç ise, silindir

içerisinde fazla karbon birikintisinin oluşmasıdır [27].

2.4.4. Fosfor İçerigi

Biyodizelin fosfor içeriği süreç esnasında bitkisel ve hayvansal yağların bünyesinde bulunan zar ve proteinlerin doğal sonucu olarak oluşan fosfolipidlerin tam olarak istenilen düzeyde saflaştırma işlemine tabi tutulamaması sonucunda meydana gelen ve aynı zamanda yakıtın içeriğinde istenmeyen bir karakteristiktir [27].

2.4.5. Biyolojik Olarak Bozunabilirlik

C16–C18 metil esterleri biyodizeli oluşturmakla birlikte, koruma altına alınmazlarsa tabiatta zorlanmadan hızlı bir şekilde bozunabilmektedir. Suyla karıştırıldıklarında, yaklaşık olarak 1 aya yakın bir süreçte biyodizelin %95'i, dizel yakıtın ise %40'ı bozunabilmektedir. Biodizel tabiatta da bozunabilmektedir. İşte bu bozunabilme özelliği de dekstroza yani şekere benzemektedir [85].

2.4.6. Toksik Etki

Biyodizelin toksik tesiri yani zehirleyici özelliği yoktur. Biyodizel vücuda alındığında hayati tehlikeyi ortaya çıkaracak miktar, 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı olmakla birlikte, bu miktar sofra tuzu için 1,75 g tuz/kg vücut ağırlığı kadardır. Tuz biyodizele kıyasla 10 kat daha fazla öldürücü güce sahiptir. İnsan eli üzerinde yapılan testlerde biyodizelin ciltte sabun çözeltisine kıyasla %4 oranında daha düşük toksik tesirine sahip olduğu bildirilmiştir. Biyodizel toksik özelliğine sahip olmamasına rağmen, biyodizel ve dizel yakıt /biyodizel karışım yakıtlarının kullanılması halinde dizel yakıtı için zorunlu hale getirilen standartlaştırılmış şartların (göz koruyucuları, havalandırma sistemleri vb.) kullanılması gerekmektedir [86].

2.4.7. Depolama

Dizel için gerekli depolama yöntem ve kuralları biyodizel için de geçerlidir. Biyodizelin depolandığı alan temiz, nemsiz, aydınlık olmayan bir ortam olmalıdır. Deponun yapıldığı malzeme paslanmaz ve yumuşak çelikten, florlanmış polietilenden ve florlanmış polipropilenden tercih edilebilmektedir. Depo, taşıma ve motor parçalarında kullanılan malzemelerde bazı elastomerler, tabii ve ve butil kauçukları kullanmak tavsiye edilmez. Çünkü biyodizelin bu malzemelere zarar verdiği bilinmektedir. Bu yüzden biyodizel yakıta uyumlu Viton B tipi elastomerik malzemenin kullanılması en

doğru yaklaşım olacaktır [2]

2.4.8. İyot Sayısı

Yağların doymamışlığının ölçüsü iyot sayısına bağlıdır. Yağ türünün iyot sayısını etkilemesi önemli bir krıterdir [87]. Biyodizel içerisindeki iyot sayısı üretimi yapılan bitkisel yağların niteliği, çift bağ sayısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [88]. Biyodizele özgü bir nitelik olan iyot sayısı aynı zamanda yakıtın doymamışlık derecesini de verir. Yakıtın doymamışlığı, tortu oluşumuna ve depolamadaki kararlılık problemine neden olmaktadır. Yakıtın içerisindeki sayısal yönden fazla iyot sayısı enjektörün tıkanmasına ve yanma odası üzerinde fiziksel hasara neden olduğu gibi motor yağının viskozitesinde de düşmeye sebebiyet vermektedir [89].

2.4.9. Viskozite ve Akış Özellikleri

Viskozite bir sıvının akmaya karşı göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanmaktadır. Kinematik viskozite değerinin atanmasındaki temel faktör ise, sıvının sabit sıcaklık şartlarında düşey bir borunun içerisinden akıtılarak, borunun üzerinde bulunan işaretlenmiş bir mesafeyi geçmesi gereken zamanın hesaplanmasından başka bir şey değildir [87]. Yakıtın viskozitesi, taşıt motorlarında yakıt sisteminin arzu edilen çalışma şartlarında, yakıtın atomizasyonunda, tutuşma gecikmesinde, yakıtın yanma sürecinde ve bunlarla birlikte yakıtın ısıl verimliliğinde önemli rol oynar. Biyodizel yakıtların viskoziteleri dizel yakıt viskozitesinden daha yüksek olmaktadır [90]. Yakıtın akıcı olması, yakıt besleme sistemi için önem arz etmektedir. Yakıtın silindir içerisindeki atomizasyonu yanma performansını etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesidir. Bir yakıtın viskozitesinin yüksek olması, düşük atomizasyona, yanmanın kalitesinin düşmesine, enjektörlerde tıkanmaya ve segman bölgesinde karbon birikintilerinin artmasına neden olmaktadır. Viskozitenin yüksek olması yüksek pompalama basıncını gerektirmekte ve enjektörlerdeki yakıt püskürtme faaliyetlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Biyodizelin viskozitesi 40 ^{0}C sıcaklıkta aşağı yukarı 3,5-6 mm^2/s'dir. Hidrokarbonların bünyesinde bulununan zincir uzunluğu artış gösterdikçe viskozite artmakta, çift bağ miktarının artmasıyla birlikte viskozite azalmaktadır. Biyodizel yakıtın saf olmaması ve oksidasyon mamulleri viskoziteyi arttıran diğer sebepler arasında yer almaktadır [87]. Viskoziteyi etkileyen başka bir değerin adıda sıcaklıktır. Viskozitenin yüksek çıkması transesterifikasyon işleminin başarısızlıkla sonuçlandırıldığının bir göstergesidir. Test yöntemi olarak DIN EN ISO 3104

kullanılmaktadır. Yüksek viskozite probleminin çözülebilmesinin önünde iki seçenek görünmektedir; ya motor yakıta ya da yakıt motora uyarlanmalıdır (viskozitenin düşürülmesi) [86].

2.4.10. Yoğunluk

Biyodizelin yoğunluğu(860–900 kg/m^3, 15°C, EN 14214) dizel yakıta (820–845 kg/m^3) nazaran daha yüksektir. Yoğunluk, yakıt tüketimine ve yanma ısısına etki eden parametrelerin başında gelir. Hidrokarbon zincirindeki uzama, yakıtın yoğunluğunu azaltmakta, çift bağı sayısındaki artış, yakıtın yoğunluğunu arttırmaktadır [87]. Biyodizelin yoğunluğunun yüksek çıkması yakıtın içeriğinde bulunan gliserinin yeterince arındırılmadığı sonucunu bizlere gösterir. Biyodizel, dizel yakıta kıyasla %5-7 oranında daha fazla yoğun olmaktadır. Ayrıca yüksek yoğunluk güç kaybına sebep olmaktadır [91].

2.4.11. Parlama (Alevlenme) Noktası

Yakıt ısıtıldıktan sonra yakıtın üzerinde biriken yakıt buharıyla birlikte havanın tutuşabildiği en düşük sıcaklık değeri olarak tanımlanan ifade, literatüre parlama noktası olarak isimlendirilmektedir. Biyodizelin parlama noktası gayet iyidir. Motor üzerinde de önemli bir performans değişikliği oluşturmamaktadır. Parlama noktasının artması ve azalması yanma karakteristikleri üzerinde de pek fazla etki meydana getirmemektedir [87]. Risk sınıflaması yapmak için parlama noktası referans alınan önemli bir değerdir. Taşıma ve depolama için parlama noktasının yüksek olması arzu edilir. Motorin için parlama noktası 74 °C iken, biyodizel için bu değer aşağı yukarı 220 °C dir. Parlama noktasının belirlenmesinde kullanılan standart, DIN EN 22719 standardı olarak adlandırılmaktadır [91].

2.4.12. Bulutlanma noktası

Biyodizel yakıtın bulutlanma noktası, motorin yakıta kıyasla daha yüksek olmasından dolayı, motorun soğukta çalışma niteliklerini kötüleştirmektedir. Üretimi yapılan biyodizel yakıtların bulutlanma noktalarının birbirinden farklı çıkmasının nedeni, doymuş yağ asidi farklı düzeyde olan hammaddelerle açıklanabilmektedir. Bu yüzden bulutlanma noktasını daha aşağı seviyelere çekmek için yakıt içerisine özel katkı maddeleri ilave edilmelidir veya düşük doymuş yağ asidi oranına sahip olan yağlar ile yüksek doymuş yağ asidi oranına sahip olan yağlar karıştırılarak bulutlanma noktası

düşürülmelidir [84].

2.4.13. Kalori Değeri

Yakıtın kalori değeri motorun en elverişli şartlarda çalışması için önemli bir ölçüttür. Biyodizel yakıtın kalorisi 35 mj/kg'den daha fazladır. Bir yakıtın kalori değeri DIN 51900-3 test yöntemiyle bulunmaktadır [91].

2.4.14. Soğukta Akış Özelliği

Biyodizelin akma noktası dizel yakıta kıyasla daha yüksektir. Hal böyle olunca, yakıtların soğuk hava şartlarında kullanılması sorunsal hale gelmektedir. Doymuş hidrokarbonların içeriğindeki CP, CFPP, PP değerleri yüksek çıkmaktadır. Yüksek sıcaklıklar kristalize olmalarına neden olmaktadır. Hayvansal ve kızartma yağlarda doymuş hidrokarbonlar sayıca daha çoktur. Bir yakıtın soğuk akış özelliği iyi olmadığı takdirde, motor üzerindeki yakıt besleme sistemi parçaları da hasara uğrayabilmektedir. Bundan başka motorun ilk harekete geçirilmesi esnasında da sorunlar yaşanılabilmektedir [91].

2.4.15. Akma Noktası

Ortam sıcaklığının düşmesiyle birlikte yakıt yoğunlaşarak akamayacak bir noktaya doğru gider. İşte bu noktaya akma noktası denmektedir. Biyodizel, dizel yakıta göre daha yukarı değerlerde akma noktasına sahip bir yakıttır. Bu nedenle biyodizel yakıt dizel yakıta kıyasla soğuk hava şartlarında daha çok sorun ortaya koyan bir yakıt olarak karşımıza çıkmaktadır [89]. Yağın doymuşluk oranı ve asit numarası biyodizel yakıtın akma noktasına etki eden parametrelerdendir. Bir yağın doyma noktasındaki yukarıya doğru bir ivmelenme, akma noktasını da bu yönde etkilemektedir [92].

2.4.16. Setan Sayısı

Dizel motorlarda kullanılan yakıtların tutuşma niteliğinin göstergesine setan sayısı denmektedir. Uzun düz zincir yapılı doymuş hidrokarbonlar daha yüksek setan sayısına sahiptir. Dizel vuruntusuna daha yatkın yakıtlar kendi kendine tutuşma sıcaklık değeri yüksek olan yakıtlardır. Hidrokarbonların uzunluğunun artması setan sayısını arttırmaktadır. Çift bağ sayısının artması ise setan sayısını azaltmaktadır. Oksidasyon sonucu ortaya çıkan peroksitler setan sayısının artmasına neden olmaktadır [93]. Setan sayısı tutuşma gecikmesini etkileyen bir özelliktir. Setan sayısının artması tutuşma

gecikmesini azaltmaktadır. Yakıtın uygun zamanda tutuşmaması, dizel vuruntusu sonucu motorun gürültülü çalışmasına ve motor parçalarının zarar görmesine neden olmaktadır. Biyodizel yakıtın setan sayısı, biyodizelin elde edildiği hammadde(yağın) içeriğinde bulunan yağ asidinin ayırıcı niteliklerine bağlı olarak değişmektedir. Biyodizelin setan sayısı, dizel yakıtla karşılaştırıldığında daha yüksek değere sahip olduğu görülmektedir [82]. Setan sayısı, yanma, kararlılık, sürülebilirlik, HC ve CO emisyonlarının yanında motor performansını da etkileyen bir değişkendir. Biyodizelin setan sayısının motorinden daha yüksek olması nedeniyle yanma veriminin artışı yönünde olumlu bir etki göstermektedir [87]. İçten yanmalı motorlarda kullanılan dizel yakıtın setan sayısı en az 40 olması gerekir. Yüksek setan sayısı elde etmek, yüksek maliyet gerektirmektedir. Bu yüksek maliyetleri aşmanın tek yolu setan sayısını 40 ila 48 arasında tutmakla olmaktadır. Biyodizelin setan sayısı kullanılan hammaddeye göre değişkenlik gösterdiğinden, genellikle 46 ila 60 arasında değişmektedir [81].

2.4.17. Isıl Değer

Bir yakıtın birim kütlesi/hacmi başına alınan enerji miktarına ısıl değer denmektedir. Isıl değer ağırlık sınırlaması olan araçlar için önemli bir parametredir. Doymuş hidro karbonlardaki zincir uzunluğunun artış göstermesi ısıl değer üzerinde de artış olmasını tetiklemektedir. Hidrojen sayısında azalma (doymamışlığın artması) görüldükçe ısıl değerin de düştüğü görülmektedir. Biyodizeldeki oksijen içeriğinin fazla olması, ısıl değeri dizel yakıta kıyasla daha aşağılara (aşağı yukarı %11 seviyelerine) çekmektedir. Biyodizel yakıt ile aynı motor çalışma şartlarında dizel yakıtla elde edilen güç ve tork değerleri elde edilememekte fakat yakıt tüketiminin arttırılması durumunda benzer performans değerleri elde edilebilmektedir [87].

2.4.18. Yağlayıcılık

Hareketli motor parçalarının (piston segman bölgesi, yakıt pompası, enjektör vb.) aşınma problemleri ancak yağlama yapılarak çözülebilir. Günümüzde petrol türevi yakıtların bünyesinde buluna kükürt miktarının düşürülmesi yönünde yapılan çalışmalar meyvesini vermiştir. Kükürt oranının düşürülmesi ile birlikte yakıt içerisine katkı maddeleri ilave edilerek motorinin yağlama özelliğini geliştirilebilmektedir. Fakat bu katkı maddelerinin kullanılması yakıt besleme elemanları üzerinde tortu oluşturabilmektedir [93]. Biyodizelin dizel yakıta kıyasla yağlayıcılık özelliği dahaiyidir. Buda motorun ömrünün uzamasına katkı sağlamaktadır. Arıtılma işlemi

yapılmamış biyodizel yakıtın içeriğinde düşük miktarda monogliserid, trigliserid ve digliserid bulunmaktadır. Saflaştırma işlemine tabi tutulmuş biyodizel, dizel yakıta ilave edilmiş ve bu karışımın yağlayıcılık özellikleri araştırılmıştır. Arıtılmamış biyodizel ile arıtılmış biyodizel karşılaştırıldığında, arıtılmamış biyodizelin daha iyi yağlayıcılığa sahip olduğu tespit edilmiştir [94].

2.4.19. Yağlama Yağının Seyrelmesi

Biyodizel kullanılan bir motorda yağlama yağının seyrelmesi, ortaya çıkan olumsuzlukların arasında yer alır. Biyodizel yakıt ile motor yağının arasındaki münasebet yakıt enjeksiyon pompasında ve silindirin içerisinde gerçekleşmektedir. Yapılan araştırmalar sonucu yağlama yağının seyrelme oranı %4-5 olarak belirlenmiştir [95].

Motor yağının seyrelmesi, motor yaşına ve kullanım süresine göre değişmektedir. Yağ seyrelmesi motor yaşının büyüklüğü ile veya motorun çalışma süresinin fazlalığı ile birlikte artış göstermektedir. Dizel yakıtın yağlama yağına karışması sonucu yakıtın büyük bir kısmı buharlaşmaktadır. Biyodizel kullanıldığında ester moleküllerinin yağlama yağına yakın kaynama noktasına sahip olması, buharlaşmayı engelleyerek kısa bir sürede motor yağının zarar görmesine sebep olmaktadır [57].

2.4.20. Karbon Artığı

Karbon artığı, enjektör delikleri ve yanma odası çevresi gibi bölgeleri etkileyerek buralarda karbon birikintilerinin oluşmasına neden olmaktadır. Oksijenin olmadığı bir alanda yakıtın yanma benzetimi DIN EN ISO 10370 sınama yöntemi kullanılarak karbon artığı miktarı belirlenebilmektedir. Biyodizel uygulanabilirlikte çok çok az karbon artığı bırakmaktadır. Yapılan testler sonucu, bırakılan artığın azami karşılığı, kütlenin %0.4'üne karşılık gelmektedir [91].

2.4.21. Kükürt İçeriği

Kükürt motorinin içeriğinde bulunan ve problem oluşturan bir parametredir. Egzoz borusunda bulunan sülfür oksit hidrojenle tepkimeye girerek sülfürik asidi açığa çıkarır ve asit yağmurlarının oluşmasına neden olur [87]. Biyodizeli oluşturan hammaddelerin içeriğinde genel itibariyle çok az miktarda kükürt vardır. Fakat biyodizel üretim süreçlerine girildiğinde proteinler, katalizör ve/veya nötralizasyon gereçleri kükürt oluşmasına neden olabilmektedir [84]. Kükürt oranı motorun korozyonuna ve çevresel

kirliliğe etkisi bakımından büyük öneme sahiptir. Bitkisel yağlardaki kükürt oranı %0.01 dir. ASTM sınır değeri ise % 0.5'dir ve biyoyakıtlar için bu sınır değeri geçilememektedir [83].

2.4.22. Su İçeriği

Biyodizel içerisindeki su, çözünmüş halde veya asılı vaziyette damlacıklar şeklinde bulunmaktadır. Biyodizelin içerisinde su kesinlikle bulunmamalıdır. Su, enjeksiyon sistemi parçalarının aşınmasına sebep olan bir maddedir. Su, bundan başka biyodizelin içerisinde mikrobiyolojik hareketliliklere de neden olacağından dolayı, biyodizelin asitlenmesine ve içerisinde çamur oluşmasına da neden olabilmektedir [96].

2.4.23. Oksidasyon Kararlılığı

Yakıtların kimyasal yapıları da dikkate alındığında biyodizel yakıtın oksidasyon kararlılığı dizel yakıta kıyasla daha düşük olmaktadır. Ayçiçek yağının içeriğinde linoleik ve linolenik asidin fazla olduğu görülmektedir. Doymuş yağ asitlerinin (palm yağı) oksidasyon kararlılığı incelendiğinde, sonucun yüksek çıktığı görülebilmektir. Ham yağın içeriğinde bulunan karoten ve tokoferol (antioksidan), oksidasyon kararlılığına da etki edebilmektedir [57].

2.5. DÜNYADA VE ÜLKEMİZDE BİYODİZEL

2.5.1. Dünyada Biyodizel

1990'lı yıllara gelindiğinde patlak veren Körfez savaşı, petrol fiyatlarında artışa neden olmuş, bunun sonucu olarak Almanya, Fransa ile birlikte biyodizel piyasasını oluşturmaya başlamıştır. Bu durum biyodizel üretiminin sürekli artmasına sebep olmuştur [77].

2000'li yıllarda gelişen süreçler petrol fiyatlarının yükselmesine, çevresel kaygıların artmasına sebep olmuştur. Kırsal bölgelerin kalkınmadaki rolünü olumlu yönde etkileyecek tarımsal üretimin hareketlenmesi, biyodizel sektörünü canlandırmıştır [77].

AB 2002 yılında biyodizel üretimine önemli bir katkıda bulunmuş, vergi muafiyeti programını yürürlüğe koymuştur. AB ülkelerinde biyodizele tümüyle vergi muafiyeti uygulamasına geçilmiştir [97].

2000'li yıllarda dünyadaki biyodizel prodüksiyonu 1 milyar litrenin altında seyrederken,

bu miktar 2006 yılında 6 milyar litre, 2008 yılında ise 12.2 milyar litre seviyelerine yükselmiştir [77].

Dünyada en fazla biyodizel üretiminde başı Almanya, Fransa ve diğer AB üye ülkeleri çekmektedir ve bu oran % 64 olarak kayıtlara geçmiştir. Biyodizel üretim miktarı 2010 yılı verilerine göre 7.75 milyon ton, 2011 yılı verilerine göre ise 22.11 milyon ton olarak kayıtlara geçmiştir. AB ülkeleri içerisinde 2010 yılında biyodizel üretiminde Almanya, Fransa, İspanya ve İtalya gibi AB ülkeleri %67'lik bir paya sahiptirler. Biyodizel üretiminde AB'den sonra ABD gelmektedir ve bu ülkenin dünya üzerindeki payı ise %16 civarında seyretmektedir [77].

Avrupa Birliği yayımlamış olduğu 2003/30/EC sayılı biyoyakıtlarla ilgili yönergeyle, umumi olarak 2010 yılında ulaşım alanında kullanılan yakıtın %5.75'ini biyoyakıtlardan tedarik etmeyi hedefleri arasına almıştır. 2009 yılında bu yönergeyi revize ederek çıtayı 2020 yılına ve oranı ise % 10'a yükseltmiştir. Revize ettiği hedeflere ulaşabilmek için tarımı ekonomik olarak desteklemekte ve biyodizele vergi indirimi uygulamaktadır. Biyoyakıt üretimi için kullanılacak olan tarım ürünlerini ekip biçecek çiftçilere dikim yaptığı arazide dönüm başına 45 Avro destek sağlamaktadır. Avrupa Birliği yayımladığı 2003/96/EC sayılı başka bir yönergede biyoyakıtlara, fosil kökenli yakıtlardan (benzin ve dizel yakıta) yaklaşık olarak %50 daha az vergilendirme uygulayacağını bildirmektedir [39].

Biyodizel çevre dostu bir yakıt olduğundan sürekli destekleme görmüştür. Bunun için kapalı su havzalarında, ormanlık alanlarda, gıda sektöründe, maden işletmeciliğinde, CO_2 emisyonlarının yoğun olduğu şehirlerin toplu taşımacılık sektöründe kullanılması yönünde zorlayıcı tedbirler alınmıştır. Avrupa birliğinde biyoyakıtlar açısından tarımsal kalkınma, global ısınma ve enerji güvenliği bakımından yapılan zorlu çalışmalar büyük ehemmiyet taşımaktadır. İzlenmekte olan enerji politikaları gereği, vergilendirmede şart koşulan "kirleten öder" ibaresi hayata geçirilmiş ve böylece biyoyakıt konusunun ne kadar ciddiye alındığı gözler önüne serilmiştir. Çizelge 2.3'de Avrupa Birliğinin 2030 yılına kadar biyoyakıt kullanımı yönündeki hedefleri gösterilmektedir [38].

Çizelge 2.3. AB Biyoyakıt kullanımı ve hedefleri.

AB Biyoyakıt Kullanımı ve Hedefleri			
2007	2010	2020	2030
%5	%5.75	%10	%25

ABD'de Enerji Politikası Yasasının 2005 yılı itibariyle yürürlüğe girmesiyle birlikte biyodizele, dizel yakıtı ile harmanlanması koşulu ile litre başına 0,264 $ vergi indirimi yapılması kararlaştırılmıştır. 2007 senesinde yürürlüğe giren Enerji Bağımsızlığı ve Güvenliği Yasası gereği, 2022 hedefleri arasında yer alan, 136 milyon ton biyoyakıtın karayolu nakliyeciliğinde kullanılması planlanmaktadır. Güney Asya ülkelerinden Hindistan'da 2003 yılında kabul edilen ulusal biyodizel programı gereği jojoba bitkisinden biyodizel üretiminin desteklenmesine başlanmıştır. Bu program gereği 2003 ile 2007 yılları arasında 400 bin ton jojoba ekiminin yapılması, 2007 ile 2012 yılları arasında ise jojoba ekiminin arttırılarak, üretilen biyodizelin dizel yakıt ile %20 oranında harmanlanması öngörülmüştür. Hindistan'da jojoba bitkisinden üretilen biyodizel, bütün vergilendirmenin dışında tutulmuştur [98].

Palmiye yağı üretiminde dünyada lider ülke konumda bulunan Endonezya'da 2009 yılı itibariyle ulaşım sektörü alanında motorinin içerisine %1 biyodizel karıştırılması kararlaştırılmıştır. Malezya'da palmiye yağından üretilen biyodizel ile motorinin birbiriyle %5 oranında karıştırılması zorunlu hale getirilmiştir. Çin, yağlı tohum üretiminde zorluklar yaşadığından dolayı hammadde sıkıntısı çekmekte ve biyodizel üretimini destekleyici teşviklerde bulunamamaktadır. Güney Amerika ülkesi olan Brezilya'da çıkarılan biyodizel yasası, 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu yasaya göre biyodizelin, dizel yakıta 2008 yılı itibariyle %2 oranında, 2013 yılında ise % 5 oranında karıştırılması kararlaştırılmıştır [39].

Ülke dahilinde biyodizel yapımının sürdürülebilir olmasının önündeki en büyük handikap hammeddedir. Dünyadaki en büyük biyodizel üreticileri araştırıldığında, biyodizelin hammaddesinin kendi toprakları üzerinde yetiştirdikleri bitkilerden elde edilen gıda kullanımı fazlası yağlarlardan olduğu görülmektedir [39].

Biyodizel yapımında kullanılan hammadde, ülkelerin ekimini yaptıkları yağlı tohum bitkilerine göre değişiklik göstermektedir. Kanola bitkisinden üretimi yapılan biyodizelde önder ülkeler Almanya ve Avusturya'dır. Ayçiçeği yağından biyodizel

üretiminde Fransa ve İtalya, soya yağından biyodizel üretiminde ABD, palmiye yağından biyodizel üretiminde ise Malezya başı çekmektedir. Kullanılmış yemeklik (kızartmalık atık yağ) yağlardan biyodizel yakıt üretiminde ABD, İngiltere ve Avusturya önder durumundadır. Çevresel hassasiyetlerin artmış olduğu günümüzde, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyodizel kullanımı, gelişmiş ülkeler tarafından günden güne desteklenmiş ve biyodizel kullanımındaki duyarlılığın arttırılması yönünde katkı sağlamıştır. Bununla birlikte devletler, yağlı tohum üretimlerini ve bitkisel yağlarla ilgili görünümlerini biyodizel yakıta göre şekillendirmektedirler. Avrupa Birliğinde biyodizel tüketimini arttırmak ve bu yakıtı içselleştirmek için "Avrupa Biyodizel Kurulu" (EBB-European Biodiesel Board) kurulmuştur. 2005 yılı ve sonrası için dizel yakıta katılacak biyodizel miktarı artırılarak revize edilmiştir. Almanya kanola bitkisinden yeni çeşitler geliştirerek, biyodizel üretimi için bu bitkinin ekimini artırıcı tedbirleride almıştır. Bununla birlikte Almanya biyodizeli, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Öncelik Tanıma Yasası" dâhilinde değerlendirilebilecek yakıtlardan görmektedir. 2007 yılı itibariyle biyoyakıtlara aşama aşama vergi indirimi uygulanmış, tarımsal amaçlı yakıt olarak kullanılması halinde ise vergi alınmaması kararlaştırılmıştır [77].

2.5.2.Ülkemizde Biyodizel

Petrol ürünlerine olan gereksinimimizin yalnızca %9 kadarlık kısmı ülkemiz kaynaklarından temin edilebilmektedir. Bu hal ülkemizin alternatif kaynaklara olan ihtiyacını ortaya koymakta ve arayışlara itmektedir. Bu sebeple biyodizel yakıt, ülkemizin muhtaç olduğu petrole ve doğalgaza alternatif bir yakıt olarak ülkemizin bugünü ve geleceği için önem arz eden bir pozisyona kavuşmuştur. Bazı büyükşehirlerimiz hava kirliliğiyle mücadele kapsamında toplu taşımacılık taşıtlarında kullanılan dizel yakıta belli oranlarda biyodizel katılması yönünde bir irade ortaya koymuşlardır. Fakat planlamada yapılan eksikliklerden ötürü yağlı tohum eldemiz ülkemizin ihtiyaç duyduğu orana erişememektedir. Bu yüzden petrole olan bağımlılığımızın yakın ve orta zamanda kalkmayacağı kuvvetli bir ihtimal dâhilinde görülmektedir. Mevcut imkânlarımızın, dünyayla rekabet edebilecek seviyede olduğu da inkar edilemiyecek bir gerçektir [99].

Biyodizelde kurulu kapasite açısından ülkemiz, Almanyanın ardından 1,5 ton kapasite ile 2. sırada yerini almaktadır. Ülkemizin bu kurulu kapasitesi, AB'nin ihtiyaç duyduğu

zorunlu biyodizel miktarını tedarik ve ihraç eden bir merkez haline dönüşmesine sebep olabilecektir [38].

2006 yılı sonu itibariyle yurdumuzda, yerli tarım mahsullerinden üretimi yapılan biyodizel yakıtın, motorin ile %2 oranında karıştırılması karşılığında, ÖTV indirimi uygulamasına geçilmiştir. Bununla birlikte motorinin içerisine biyodizelin katılması konusunda yurdumuzda bir zorunluluk olmadığından dolayı biyodizel yakıt için beklenen ilerleme sağlanamamıştır. Yurdumuzda, biyodizele uygulanan vergi muafiyetleri ve yakıtların birbiriyle karıştırılmasıyla ilgili yasalar incelendiğinde tam bir hedefin belirlenemediğini, alınan kararların bir sonraki süreçte iptal edildiğini veya revizyona uğratıldığını görmekteyiz. Ülkemizde ilk defa 20.12.2003 tarih ve 25322 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan kanun ile biyodizel, Özel Tüketim vergisinden muaf tutulmuştur. Bu vergi muafiyetinin etkisiyle ülkemizde birçok biyodizel üretim tesisi faal duruma geçirilmiştir. Daha sonra 08.04.2006 tarih ve 25794 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan yasayla birlikte biyodizele litre başına 0,6498 TL ÖTV uygulamasına geçilmiştir. Bu uygulama, açılan birçok biyodizel tesislerinin tamamına yakınının kapanmasına neden olmuştur. 26.12.2006 tarih ve 26388 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan yasayla birlikte yerli tarım mahsullerinden elde edilen biyodizelin motorin ile karıştırılması halinde, motorinden alınan ÖTV'nin en fazla % 2 olmak şartıyla biyodizel karışım oranı nispetinde vergi indirimine tabi tutulacağı kararlaştırılmıştır [39].

Ülkemizde motorlu taşıt yakıtlarının kullanımı araştırıldığında; dizel yakıtın 2013 yılında bir önceki seneye göre % 7 arttığı (19,8 Milyon m^3) görülmüştür [39]. Çizelge 2.4'te harmanlama için gerekli biyodizel ve bitkisel yağ miktarları görülmektedir.

Çizelge 2.4. Harmanlama için gerekli biyodizel ve bitkisel yağ miktarları.

Yıl	Harmanlama İçin Gerekli Biyodizel Miktarı (bin m^3)	Biyodizel İçin Gerekli Bitkisel Yağ Miktarı (bin ton)
2014	206,60	203,16
2015	436,80	429,52
2016	692,40	680,86

Biyodizel, dünyadaki gelişmelere paralel olarak 2000'li yılların başında ülkemizin gündemine girmiştir. Bu konu hakkında üniversitelerimizdeki çalışmalar artarak devam etmiştir. 2001 yılına gelindiğinde Sanayi ve Ticaret Bakanlığı bünyesinde kurulan "Biyodizel Çalışma Grubu" faaliyetlerine resmen başlamıştır [100].

Ülkemizde özel sektör biyodizele büyük alaka göstermiş ve bu alakaya istinaden 2005-

2008 yılları arasında biyoyakıt üretim kuruluşları hızlı bir şekilde bu sektördeki yerini almaya başlamıştır. Biyodizel üretim kuruluşlarının yatırım maliyetlerinin biyoetonol yatırım maliyetlerine kıyasla daha düşük miktarlarda olmasından dolayı, ülkemizde aktif olarak çalışan biyoyakıt kuruluşlarının %95 lik kısmı biyodizel kuruluşlarından oluşmaktadır [77].

Biyodizel sektörü Türkiye'de 2000'li yılların başında vücud bulmaya başlamasıyla birlikte, gelişmesi yönündeki sıkıntılı sürecinide bir türlü atlatamamıştır. Ülkemizde geçmiş senelerde 56'sı lisanslı olmak üzere 200'ü aşkın biyodizel tesisi açılmıştır. Bu tesislerin toplam kapasiteleri, yeterli yerli hammadde bulunamamasından dolayı 1.5 milyon tonu geçememiş ve tesislerin birçoğu kapanmak zorunda kalmıştır. EPDK'dan alınan 14 Eylül 2013 tarihli bilgiler ışığında, EPDK'da kayıt altında bulunan 23 işletmenin biyodizel üretim lisansına sahip olduğu görülmüştür. Ülkemizde yerli tarım ürünlerinden faal bir şekilde biyodizel imalatı yapan tek firmamız (DB Tarımsal Enerji Sanayi Ve Ticaret A.Ş) bulunmaktadır. İzmir merkezli olan bu firma Anadolu'nun dört bir yanında verimsiz tarım topraklarında yetiştirdiği aspir bitkisinden biyodizel imalatı yapmaktadır. Şimdilik 20 bin ton/yıl olan üretimin, önümüzdeki dönemde 80 bin ton/yıl'a çıkartılması planlanmaktadır. EPDK'nın düzenlemiş olduğu sektör raporuna göre DB Tarım firması tarafından 2011 yılında 11646 ton biyodizel üretilmiş ve lisans sahibi distribütörlere 10136 ton biyodizel, 2012 yılında 17729 ton biyodizel üretilmiş ve lisans sahibi distribütörlere 18366 ton biyodizel satışı yapılmıştır. 2011 ve 2012 yıllarında ne ithalat nede ihracat yapılmış olup, üretime kıyasla yapılan fazladan satış üreticinin elinde tuttuğu üründen karşılanmıştır. 2012 yılında İngiltere ve İtalya'dan 24790 ton biyodizel karışımlı dizel yakıt ithalatı yapılmıştır. Türkiye'de 2013 yılında 45500 hektarlık alana aspir bitkisi ekimi yapılmış olup, ekili alanın 2017 yılı sonu itibariyle 500 bin hektara çıkarılması planlanmaktadır. Çevre Bakanlığının verilerine göre ülkemizde, lisans almış 6 adet atık bitkisel yağlardan biyodizel üretim tesisi bulunmaktadır [101].

Bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin motorinle harmanlanması koşuluyla % 2 vergi muafiyeti öngörüldüğü halde, atık kızartma yağlarından elde edilen biyodizel yakıt için vergiden muafiyet getirilmemiştir. 06.06.2008 tarih ve 26898 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan 5766 sayılı yasayla birlikte atık kızartma yağlardan ve yerli tarım ürünlerinden elde edilen biyodizel yakıttan 72 kuruşluk ÖTV alınmaya başlanmıştır. 31.12.2009 tarih ve 27449 sayılı Resmi Gazete yayımlanan Bakanlar Kurulu Kararı

gereği bu hammaddelerden elde edilen biyodizel yakıta uygulanmakta olan ÖTV'ye litre başına 19 kuruşluk zam yapılmıştır. Bununla beraber; 31 Aralık 2013 tarih ve 28868 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Özel Tüketim Vergisi Genel Tebliği gereği ülkemizde toplanan atık kızartma yağlardan ve son kullanma tarihi geçmiş bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel yakıta % 2 ÖTV muafiyeti getirilmiştir [39].

2.6. BİYODİZELİN ÇEVREYE ETKİLERİ VE EMİSYON DEĞERLERİ

Biyodizelin en önemli avantajlardan birkaçı; çevreci, yenilenebilir hammadde ve sürdürülebilir enerji potansiyeline sahip olmasıdır. Atık miktarının azaltılması yönündeki avantajı ise, atık bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilebilmesidir. Bu nedenle biyodizel, atıklardan elde edilebilen, enerjinin geri dönüşümü çerçevesinde çevreci bir yakıt olarak karşımıza çıkmaktadır [102].

Biyodizel, Amerikan Çevre Koruma Ajansı tarafından (EPA- U.S Environmental Protection Agency) Temiz Hava Kanunu Bölüm 211 (b) programı çerçevesinde, egzoz emisyonlarının vermiş olduğu zararların ve gelecekte ortaya çıkması mümkün olabilen sağlık problemlerinin etkileri değerlendirildiğinde tek alternatif yakıttır [63].

Fosil yakıtların sebep olduğu olumsuz etkilerden bir tanesi de küresel ısınmadır. Fosil yakıt kullanılan içten yanmalı motorların atmosfere bıraktığı CO_2, dünyada aşırı ısınmaya neden olan sera etkisine sebep olmaktadır.

Biyodizel tabiatta en kısa zamanda, %99.6 gibi oranlarda, biyolojik olarak parçalanabilme özelliğine sahip, çevre ile uyumlu, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır [85].

Biyodizel, suda 28 gün gibi bir sürede % 95 oranında çözünebilme özelliğine sahip iken, motorinde bu oran % 40 seviyelerindedir. Bu yüzden, Birleşik Devletlerde su taşımacılığında kullanılan ulaşım vasıtalarında saf biyodizel kullanımı yasal zorunluluk haline getirilmiştir. Biyodizelin sahip olduğu kükürt miktarı dizel yakıta kıyasla daha azdır. Bu durum doğal olarak asit yağmuru gibi olumsuz etkenlerin oluşmasını engellemektedir. Bununla birlikte karbonmonoksit (CO), partikül madde (PM), yanmamış hidrokarbon (HC), HF, SO_X ve CH_4 emisyonlarının düştüğü, NO_X ve HCl emisyonlarının arttığı görülmektedir. Yüzde yüz biyodizel kullanıldığında sülfür oksit ve sülfat emisyonu görülmemektedir. CO emisyonunda % 48 oranında azalma meydana gelmektedir. Partikülün solunması insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Biyodizelde, dizel yakıta kıyasla partikül miktarında % 47 oranında düşme olduğu görülmektedir. Biyodizel kullanıldığında yanmamış hidrokarbonlar %67, CO_2 %80, kanserojen etki yapan aromatik hidrokarbonlar %75-%90 oranında azalmaktadır. Biyodizel kükürt içermediğinden dolayı, kükürt dioksit emisyonunu oluşturmamakta ve NO_X ve diğer egzoz emisyonlarını azaltmakta kullanılan kontrol teknolojileri, biyodizel kullanılan motorlarda kolaylıkla pratiğe dönüştürülebilmektedir. Biyodizel sağladığı emisyonlardan dolayı kanser yapıcı etkilerin azalmasına, kanser riskinin %90'lara varan oranlara kadar düşmesine sebep olmaktadır. Ozon tabakası üzerindeki etkileri dizel yakıta kıyasla %50 daha düşüktür. Ayrıca biyodizel insan sağlığını etkileyen çevresel birçok faktörü etkisiz hale getirerek potansiyel kanser yapıcı polisilik aromatik hidrokarbon ve türevlerinden (PAH) üretilen emisyonlarda da, %80-90 düşüş meydana getirmektedir [103].

2.7. BİTKİSEL VE ATIK BİTKİSEL YAĞLARDAN BİYODİZEL ÜRETİMİ

2.7.1. Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi

Enerji içerikleri incelendiğinde, bitkisel yağlarla fosil yakıtlar arasında belirgin bir farklılık görülmemektedir. Fakat viskoziteleri incelendiğinde, bitkisel yağların viskozitesi fosil yakıtlara kıyasla 10-20 kat daha yüksektir. Yüksek viskozite, enjektörlerde tıkanma, soğuk hava şartlarında motorda ilk çalıştırmada olumsuzluk ve motor ömründe kısalma gibi etkilere neden olmaktadır. Bitkisel yağ veya bitkisel yağ/motorin karışımlarının dizel motorlarında en çok hasar verdiği bölge yakıt besleme sistemi olarak görülmektedir. Yapılan çalışmalar, bitkisel yağların doğrudan kullanılmasının uygun olmadığını göstermektedir. Bu nedenden dolayı, öncelikli olarak yapılması gereken işlemler yakıtın motora uyumlu hale getirilmesi ve bitkisel yağların viskozite probleminin çözülmesidir [57]. Yakıtın özelliklerinin değiştirilmesi işlemi ısıl ve kimyasal olmak üzere iki ayrı yöntemle yapılmaktadır. Bunlardan en uygun olanı kimyasal yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [27]. Bitkisel yağları iyileştirmede kullanılan kimyasal yöntemler şunlardır;

1-Seyreltme (inceltme) yöntemi

2-Mikroemülsiyon oluşturma yöntemi

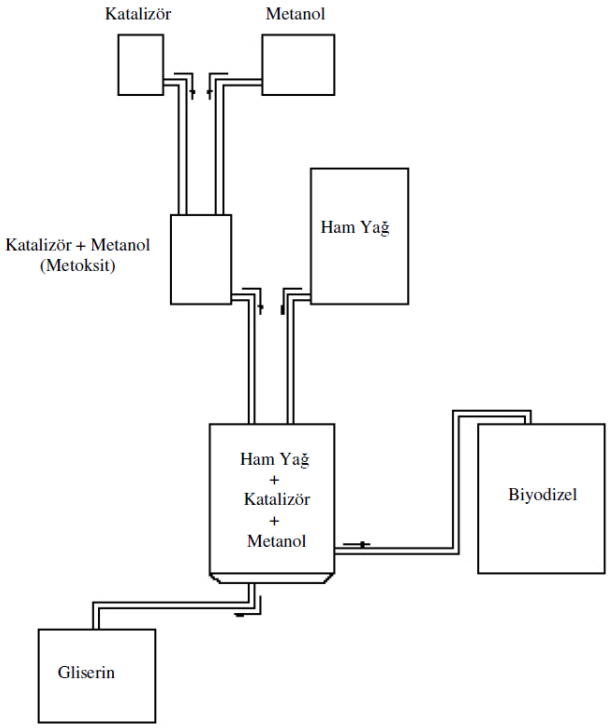
3-Piroliz (ayrıştırma) yöntemi

4-Süperkritik yöntem

5-Transesterifikasyon (yeniden esterleştirme) yöntemi olmak üzere beş gruba ayrılmaktadır [57].

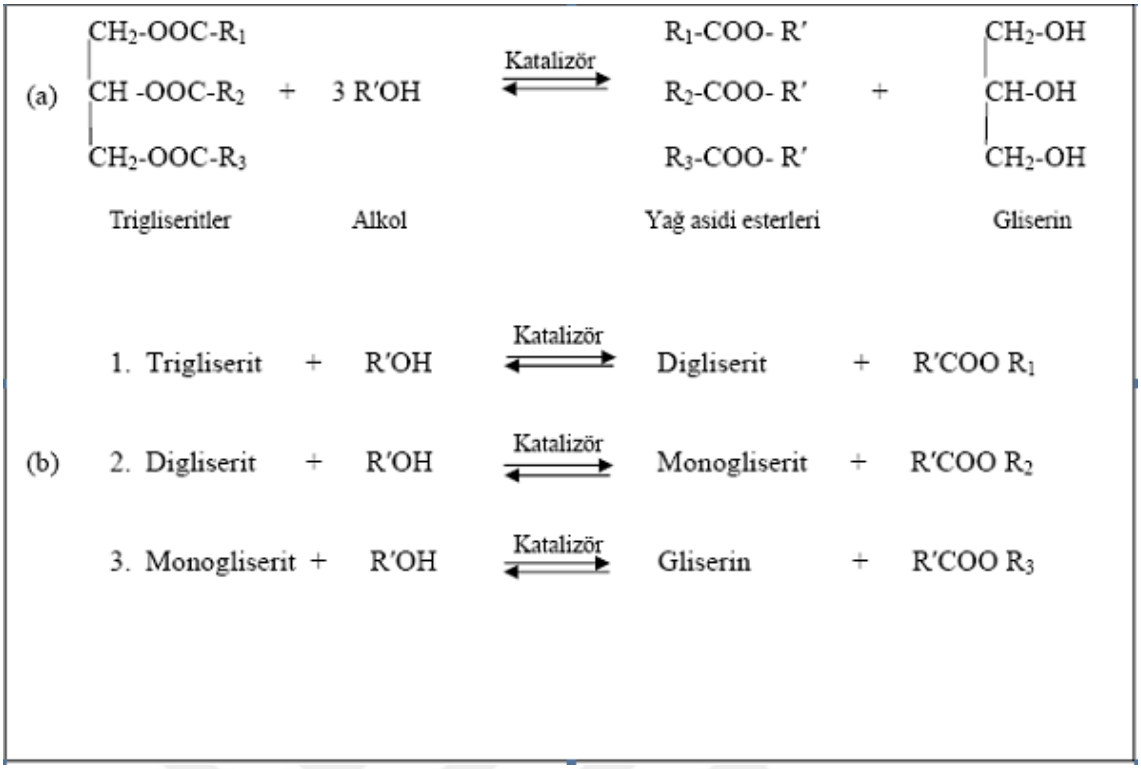
Seyreltme yöntemi, bitkisel yağların motorin ile belirlenen oranlarda karıştırılmasıyla yapılan bir uygulamadır. Bitkisel yağ/motorin karışım oranının standart yakıt özelliklerini bozacak oranda seçilmemesi gerekmektedir. Mikroemülsiyon oluşturma yöntemi, metil ve etil alkol gibi sıvılar kullanılarak mikroemilsüyonlar meydana getirilmesiyle, özellikle yakıtın vizkozitesinde yapılan iyileştirme işlemidir. Priloz yöntem ise bitkisel yağların oksijenden arındırılan bir ortamın içerisinde ısıl bozunmaya bırakılarak alkanlar, alkenler, alkadienler, karboksilikasitler, aromatlar ve küçük oranda gazların çıkartıldığı bir işlemdir. Priloz yöntemiyle ortaya çıkarılan ağır hidrokarbonların kimyasal bileşimlerinin petrol bünyesinde bulunan hidrokarbonların özelliklerine eş değerlerde olduğu saptanmıştır [27]. Süper kritik yöntem katalizör kullanılmadan, 350 ^{0}C sıcaklıkta ve 240 saniye zaman diliminde gerçekleştirilen bir metottur [104].

Transesterifikasyon yöntemi, bitkisel ve hayvansal yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi yönünde gerçekleştirilen en önemli kimyasal bir yöntemdir. Bu işlemde bir trigliserit molekülü alkol ve katalizör ile birlikte tepkimeye sokularak, gliserin ve yağ asidi alkil esterleri elde edilmektedir. Biyodizel, bitkisel ve hayvansal yağların transesterifikasyonu sonucu elde edilen bir yakıttır [63]. Kimyasal yöntemler arasında en çok bilinen ve tercih edilen yöntem transesterifikasyon yöntemidir. Transesterifikasyon işleminin genel akış şeması Şekil 2.1’de verilmiştir [27].



Şekil 2.1. Transesterifikasyon işlemi genel akış şeması.

İyileştirme işleminin başlangıcında alkol ve katalizör bir depo içerisinde karıştırılır. İşlenmemiş yağ reaktörün içerisine alınır ve 55 ^{0}C'ye kadar ısıtılır. Birbiriyle karışım haline getirilen alkol- katalizör ikilisi, ısıtılan yağın üzerine dökülür ve karıştırılır. Karışım beklemeye alınır. Karışımın içeriğindeki bileşimlerin yoğunluklarındaki farklılıklardan dolayı biyodizel üstte çıkar, gliserin dibe çöker. Gliserin tahliye musluğundan tahliye edilir. Biyodizel, içerisinde gliserin olma olasılığına karşı 30-35 $^{\circ}$C sıcaklığındaki ılık su ile yıkanır. Yıkama işleminden sonra gliserin suya karışır, su ile aralarındaki faz farkı nedeniyle gliserin dibe çöker ve bir müddet sonra gliserin boşaltılır. Bununla beraber biyodizelin içerisinde su kalma olasılığına karşı, ısıtma işlemi yapılarak suyun buharlaşması sağlanır. Genel transesterifikasyon reaksiyonu şeması ve basamakları Şekil 2.2'de gösterilmiştir [27]. İlk aşamada trigliseridler digliseridlere, sonrasında digliseridler monogliseridlere ve monogliseridlerde gliserole dönüşmektedir. Her işlem basamağı sonrasındada gliseridlerden ester molekülü elde edilmektedir [27].



Şekil 2.2. Trigliseritlerin alkol ile transesterifikasyonu (a) Genel Denklem, (b) Tersinir basamak reaksiyonları (Rİ, R1, R2, R3 alkil gruplarını temsil etmektedir).

Transesterifikasyon işlemi esnasında, reaksiyon zamanına ve ürün dönüşümüne alkol ve katalizörün kullanılım miktarlarının etkisi bulunmaktadır. Başka bir etken ise tepkime sıcaklığıdır. Viskozitenin transesterifikasyon reaksiyonu sonrası yaklaşık olarak 10 kat daha azaldığı, yoğunluğun ise bir parça düştüğü görülmektedir. Bununla birlikte biyodizelin molekül ağırlığının, bitkisel yağın molekül ağırlığından 3 kat daha az olduğu görülmüştür. Uçuculukta da bir nebze iyileşme meydana gelmektedir. Biyodizel imalatında en çok kullanılan alkol, metanoldur. Başka alkollere göre daha iyi sonuçlar vermesi ve maliyetinden kaynaklanan üstünlüğü, metanolun daha çok kullanılmasına imkân vermektedir. Bununla beraber etanol, izopropil alkol ve bütil alkol gibi alkollerin biyodizel üretiminde kullanıldığı bilinmektedir. Fakat bu alkoller kullanıldığında tepkime koşulları değişmekte ve biyodizelin imalatı zorlaşmaktadır. Transesterifikasyon işleminde tepkimenin bütünlüğünü, verimini ve hızını arttırmak amacıyla katalizör kullanılmaktadır [63]. Transesterifikasyon iyileştirme işleminde alkali, asidik ve enzimatik katalizörler tercih edilmektedir [27].

En çok kullanılan katalizörler sırasıyla potasyum hidroksit (KOH) ve sodyum hidroksit (NaOH) olarak göze çarpmaktadır. Bununla beraber asit katalizörleride kullanmak muhtemeldir. Fakat transesterifikasyon reaksiyonunda asit katalizörleri kullanmak alkali

katalizörleri kullanmaya kıyasla daha yavaş olmakta ve daha fazla alkol tüketilmesine sebep olmaktadır. Oda sıcaklığı şartlarında asit katalizör kullanılarak gerçekleştirilen bir transesterifikasyon reaksiyonunda, tepkime çok yavaş ve ester dönüşümü daha az gerçekleşmektedir. Biyodizel imalatı 5 aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar alkol ve katalizörün birbiriyle karıştırılması, transesterifikasyon reaksiyonu, gliserini ayırma işlemi, alkol distilasyonu ve yıkama prosedürüdür [63]. Üretimi yapılan biyodizelin sorun çıkartmadan tüketilmesi istenmektedir. Bu yüzden biyodizelin içerisine iyileştirici, önleyici, koku önleyici, yanmayı iyileştirici, buzlanmayı önleyici, biyolojik oluşumları önleyici ve koku önleyici yakıt katkı maddeleri katılmaktadır [57].

2.7.2. Atık Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi

Bitkisel yağların dizel motorlarında kullanılması ekonomik açıdan dezavantajlı bir durumdur. Petrol kaynaklarının yetersiz kaldığı ya da petrol kaynaklarına ulaşılamadığı hallerde veya acil ihtiyaç duyulan durumlarda kullanılabilmektedir. Bitkisel yağa alternatif olarak bitkisel atık yağların kullanılması halinde daha az maliyetli bir durum ortaya çıkmaktadır. Bitkisel yağlar kullanıldıktan sonra, fiziksel ve kimyasal yapıları üzerinde değişiklik meydana gelmektedir [37]. Mesela kızartma esnasında yağ sıcaklığının yükselmesine paralel olarak hidroliz, polimerizasyon ve oksidasyon benzeri kimyasal tepkimeler oluşmaktadır. Oluşan bu tepkimeler yağın özelliklerini değiştirici etkiye sahiptir [33].

Buna bağlı olarak yoğunluk, viskozite, sabunlaşma değeri ve serbest yağ asidi miktarının arttığı, iyot değerinin ise düştüğü görülmektedir [37]. Atık bitkisel yağların özellikleri bitkisel yağlara kıyasla değişkenlik göstermektedir. Bundan dolayı atık bitkisel yağların dizel motorlarda sorunsuz kullanılabilmesi için yağın bünyesindeki su ve istenmeyen diğer unsurların uzaklaştırılması gerekmektedir [37].

Analiz sonuçları, atık bitkisel yağlarla bitkisel yağların arasında belirgin bir ayrım olmadığını göstermektedir. Transesterifikasyon reaksiyonu için ısıtma ve katı maddelerin filtre edilmesi yeterli olmaktadır. Ekseriyetle atık kızartma yağların serbest yağ asidi (SYA) düzeyleri % 2 kütlesel oranından daha fazladır [57]. Bitkisel yağların kızartma esnasında viskoziteleri artmaktadır. Viskozitenin artması bileşiklerin ortaya çıkmasına ve molekül ağırlıklarının artmasına bağlıdır. Bu durumun yegâne sebebi polimerizasyon olarak görülmektedir. Atık bitkisel yağların asit değeri ekseriyetle 1 mg KOH/g'ın altında bir değere sahiptir. Bir yağın asid değeri 1 mg KOH/g ise, SYA aşağı

yukarı % 0,5 civarında olacaktır. Atık yağlar kullanıldığında özelliklerinin değişeceği ve buna bağlı olarak serbest yağ asit oranının artacağı düşünülmektedir. Eğer bir yağın içerisinde serbest yağ asidi miktarı yüksek ise ve alkali katalizörle reaksiyona sokulmuşsa, bu durum karşısında sabun oluşumunun meydana gelmesi engellenemeyecektir. Eşitlik 2.1'de sabun oluşum reaksiyon denklemi verilmiştir [33].

$$R\text{-}COOH + KOH \rightarrow R\text{-}COOK + H_2O \qquad (2.1)$$

Serbest yağ asitleri ester transformasyonunu yavaşlatırken, tepkime anında meydana gelen sabun, tepkimenin bitiminde ester, gliserin ve yıkama suyunun ayrışmasına mani olmaktadır. Bu nedenle serbest yağ asidi yüksek olan yağlar direkt olarak alkali katalizör ile tepkimeye sokulmamaktadır. Bu sebeple atık bitkisel yağlar ile transesterifikasyon reaksiyonu işlemine başlamadan evvel yapılması gereken, yağdaki serbest yağ asidi miktarını tespit etmektir. Yağdaki serbest yağ asidi miktarı % 0.5'den fazla çıkmış ise asit katalizörleri (H_2SO_4, H_3PO_4, HCl) kullanılması yerinde olacaktır. Ancak bu şekilde bir uygulama yöntemi seçilirse serbest yağ asitleri mono esterlere dönüştürülebilir. Uygulanan bu yönteme ön iyileştirme denilmektedir. Ön iyileştirme işlemiyle birlikte yağdaki serbest yağ asidi miktarı da düşürülmüş olacaktır. Aynı zamanda ön iyileştirme yapılabilmesi için yağdaki serbest yağ asidi miktarına bağlı olarak kullanılacak alkol ve katalizör miktarı da tespit edilir. Serbest yağ asidi miktarı arzu edilen değere indirgendiğinde, transesterifikasyon reaksiyonu işlemine geçilir. Eşitlik 2.2'de asit katalizör eşliğinde esterifikasyon reaksiyonu görülmektedir [33].

$$\underset{\text{Yağ asidi}}{RCOOH} + \underset{\text{Metanol}}{CH_3OH} \xrightarrow{\text{Asit katalizör}} \underset{\text{Metil ester}}{RCOOH_3} + \underset{\text{Su}}{H_2O} \qquad (2.2)$$

Ortamdaki suyun miktarı ile asidik esterifikasyon reaksiyonun hızı birbiriyle ters orantılıdır. Bu ters orantı, ortamda bulunan suyun katalizörü inhibe etmesinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla asidik reaksiyonda ortamın su miktarı izlemeye alınmalı, ihtiyaç duyulması halinde ise bu suyun kurutulması ve uzaklaştırılması yoluna gidilmelidir [33].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. DİZEL MOTOR TEST ÜNİTESİ VE EMİSYON ÖLÇÜM CİHAZLARI

TS EN 14214 standartlarına uygun olarak atık bitkisel yağlardan üretilmiş olan biyodizel yakıt (B100) ve standart dizel yakıt karışımlarının belirli özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

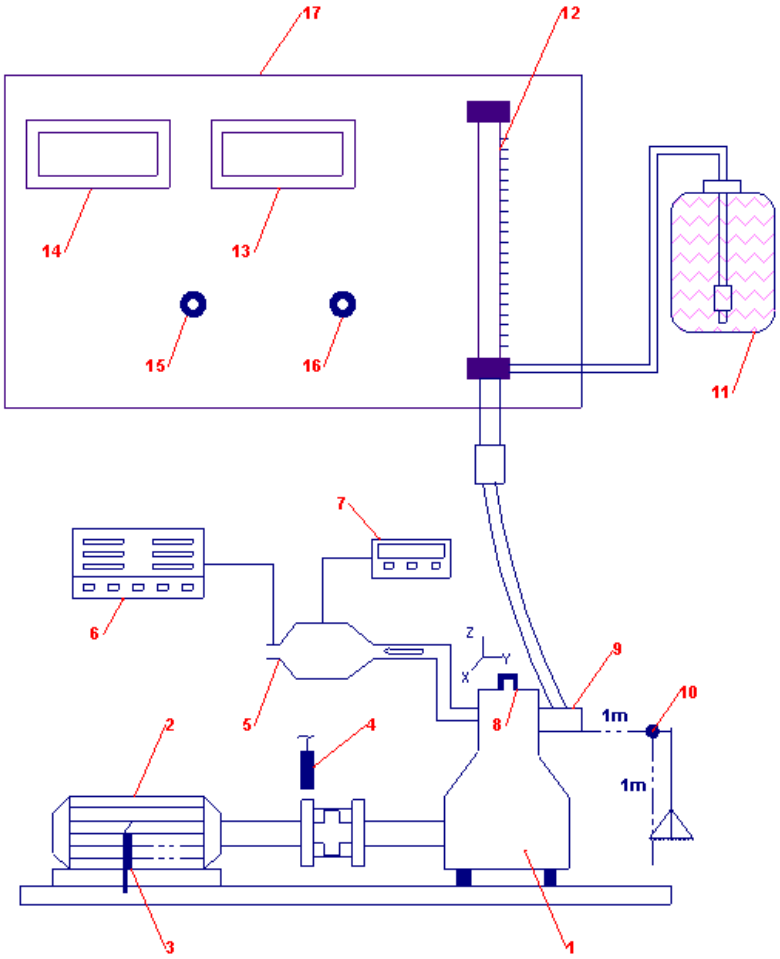
Çizelge 3.1. B100 ve B0 karışımlarının belirli özellikleri.

Özellik	B100	B30	B15	B5	B0
Yoğunluk (kg/m^3)	880	846	843	836	832,7
Kinematik Viskozite (mm^2/s)	4,832	3,705	3,61	3,5	3,3
Su İçeriği (mg/kg)	877	251	198	95	55
Bakır Şerit Korozyon	1A	1A	1A	1A	1A
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (°C)	-1	-6,3	-9,2	-13,3	-22
Mikrokarbon Kalıntısı (%w/w)	0,32	0,08	0,05	0,01	0,01
Oksidasyon Kararlılığı	11,6	27,3	31,3	24,9	22

Deneylere başlamadan önce motor 10-15 dakika kadar çalıştırılmıştır. Tüm deneyler motor yağ sıcaklığı 50 ºC'ye ulaşınca aynı şartlar altında yapılmıştır. Motor yağ sıcaklığı K tipi termo eleman ile ölçülmüştür. Her bir deney aynı şartlar altında 3 kere tekrarlanmıştır.

Çizelge 3.2. Deney motorunun teknik özellikleri.

Motorun Markası ve Modeli	Antor 6LD 400
Silindir Sayısı	1
Kurs Hacmi	395 cm^3
Sıkıştırma Oranı	18:01
Soğutma Sistemi	Hava Soğutmalı
Maksimum Motor Devri	3600 d/d
Enjektör açılma basıncı	200 bar
Maksimum Motor Momenti	2200 d/d'da (21Nm)



1	Dizel motor	10	Gürültü ölçüm cihazı
2	Elektrikli dinamometre	11	Yakıt kabı
3	Yük sensörü (Load cell)	12	Yakıt ölçüm büreti
4	Hız sensörü	13	Hız göstergesi
5	Egzoz	14	Tork göstergesi
6	Egzoz emisyon ölçüm cihazı	15	Yükleme anahtarı
7	Sıcaklık göstergesi	16	Marş anahtarı
8	İvme ölçer (3 eksenli)	17	Kontrol paneli
9	Yakıt pompası		

Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik görünümü

Deneysel çalışmalarda kullanılan motor test düzeneğinde; direk enjeksiyonlu, 4 zamanlı ve tek silindirli hava ile soğutmalı bir dizel motor ve 15 kW güç absorbe edebilen Kemsan marka bir elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Deney öncesi motorun yakıt pompası ve enjektör ayarları katalog değerlerine göre yapılmıştır. Çizelge 3.2' de deney motoruna ait teknik özellikler, Şekil 3.1'de test motorunun şematik görünümü, Şekil 3.2'de deney düzeneğinin resmi verilmiştir.

Elektrikli dinamometreye ait teknik özellikler ise Çizelge 3.3'de verilmiştir. Deney düzeneğinde kontrol panelinde bulunan motor dönme sayısı ve dinamometreye etki eden kuvveti görüntüleyen dijital göstergeler, 100 ml'lik yakıt tüketimi ölçme büreti ve motor yük kontrol butonu bulunmaktadır.

Şekil 3.2. Deney düzeneğinin resmi.

Ayrıca deney sistemine yerleştirilmiş olan K tipi termon elemanlar vasıtasıyla ortam sıcaklığı ve egzoz sıcaklığı, üç eksenli ivme ölçer ile titreşim ölçümleri, gürültü ölçüm cihazıyla motor gürültüsü ölçülmüştür.

Çizelge 3.3. Elektrikli dinamometreye ait teknik özellikleri.

Markası	Kemsan
Maksimum frenleme gücü	15 kW
Maksimum Devir	6000 d/d
Yük hücresi modeli	Esit STCS 50 model (S tipi)
Yük hücresi kapasitesi	50 kg
Elektrik ihtiyacı	220/380 V. 50 Hz.

CO, HC, NO_x ve O_2 emisyonları Şekil 3.3'te görülen, K Test emisyon ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Çizelge 3.4'de emisyon ölçüm cihazı ölçüm parametre ve aralıkları verilmiştir.

Şekil 3.3. K Test emisyon ölçüm cihazı.

Çizelge 3.4. Gaz analiz cihazı ölçüm parametre ve aralıkları.

Marka	K Test
O_2 konsantrasyonu (%)	0-25 (%)
CO konsantrasyonu (%)	0-15 (%)
NOx konsantrasyonu (ppm)	0-5000 (ppm)
HC (ppm)	0-20.000(ppm)
CO_2konsantrasyonu (%)	0-20 (%)
OPASİTE %	0 - 99.99
OPASİTE K	0 - 9.99
Lambda	0,5 - 2,0

3.2. TİTREŞİM ve GÜRÜLTÜ ÖLÇÜM EKİPMANLARI

Şekil 3.4'te titreşim ölçümünde kullanılan ekipmanlar görülmektedir. Titreşim ölçüm verileri, üç eksenli piezoelektrik ivme ölçere sahip dört kanallı VIBROTEST 80 model FFT analizi yapabilen veri toplama cihazı ile alınmıştır. Cihaz Brüel & Kjaer yazılım ve donanım sistemine sahiptir.

Şekil 3.4. Titreşim ölçümünde kullanılan ekipmanlar.

Veriler Hanning filtreleme yöntemi ile 6400 çözünürlükte filtrelenerek analiz edilmiştir. Deneylerde 5 kHz'e kadar olan titreşim verileri alınmıştır. Titreşim verilerinin toplam ortalaması, ortalama karekök alma (RMS) yöntemi ile belirlenmiştir. Titreşim birimi g (m/s^2) dir. Motor titreşim verileri, üç eksende (x, y, z) ölçüm yapabilen Brüel & Kjaer 4527 model piezoelektrik ivme ölçer ile alınmıştır. Üç eksenli ivme ölçerin özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. İvme ölçere ait teknik özellikleri.

İvme Ölçer Tipi	Brüel & Kjaer 4527
Frekans Aralığı	0.3 - 10000 Hz
Hassasiyet	10 mV/g
Sıcaklık Ölçüm Aralığı	-60 - 180 °C
Ağırlık	6 gram
Elektrik Bağlantısı	1-4 28 UNF
Rezonans Frekansı	30 kHz

İvme ölçer silindir kapağı üzerine vida ile montaj edilmiştir. Şekil 3.1'de ivme ölçerin yatay (x-CH1), eksenel (y-CH2) ve dikey (z-CH3) eksenleri görülmektedir. Svantek 104 model bir gürültü ölçüm cihazı (dozimetre) ile motor gürültü ölçümü yapılmıştır. Gürültü ölçüm cihazına ait teknik özellikler Çizelge 3.6'da verilmiştir. Gürültü ölçümü için cihaz, ISO 362-1:2007 standardına uygun olarak motor bloğundan 1 m uzaklığa yerleştirilmiştir [105].

Çizelge 3.6. Gürültü ölçüm cihazı teknik özellikleri.

Markası	Svantek SV 104
Filtreler	A, C ve Z
Zaman sabitleri	Yavaş, Hızlı, Impulse
Ölçüm aralığı	55 dBA RMS ÷ 140.1 dBA Pik
Frekans aralığı	30 Hz ÷ 8 kHz
Dinamik aralık	95 dB
Hafıza	8 GB

3.3. MOTOR PERFORMANS HESAPLAMALARI

3.3.1. Moment ve Güç

Deneyler sırasında motor yükte çalışırken, kuvvet değeri dinamometreye 0,17 m uzaklıktaki yük hücresinden okunmuştur. Motor momenti aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$Me=F*g*L \tag{3.1.}$$

Burada;

Me : Etkin Motor Momenti (Nm)

F : Load cell'den okunan kuvvet (kg)

L : Motor merkezinin load cell'e uzaklığı (m)

g: Yer çekim ivmesi (m/s^2)

Motor gücü ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$Pe = Me \times n / 9549 \tag{3.2.}$$

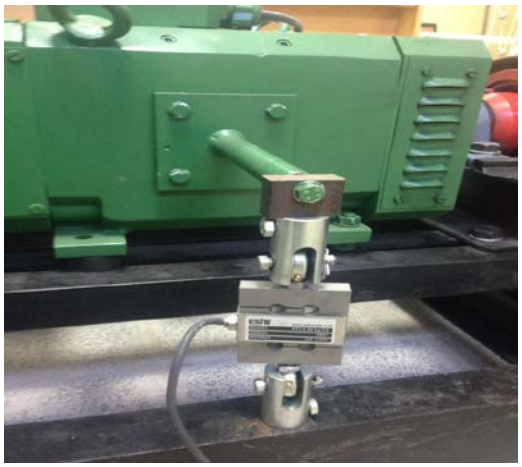
Burada;

Pe : Efektif motor gücü (kW)

Me : Etkin Motor momenti (Nm)

n : Motor devri (d/d)

Motor gücünün tespitinde çekme prensibine göre çalışan Esit STCS 50 model S tipi yük hücresi kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Yük hücresinin görünümü.

3.3.2. Yakıt Tüketimi Ve Özgül Yakıt Tüketimi

Yakıt tüketiminin belirlenmesinde 1ml hassasiyetli 100 ml hacme sahip ölçekli bir cam büret ve % 1 hassasiyetli kronometre kullanılmıştır. Yakıt ölçüm düzeneği Şekil 3.6'da verilmiştir. Yakıt ölçümünde 60 s'de tüketilen yakıt miktarı baz alınmış ve motorun farklı yük ve devir şartlarında bu sürede ne kadar yakıt tükettiği cam büret ve kronometre yardımı ile tespit edilmiştir. 60 s'de hacimsel olarak tüketilen yakıt miktarı değeri kullanılarak saatlik yakıt tüketimi litre olarak belirlenmiştir. Belirlenen değer yakıtın yoğunluğu ile çarpılarak kg cinsinden saatlik yakıt tüketim miktarı elde edilmiştir.

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$B=[\,(m\times 3600)/t]/1000 \qquad (3.3.)$$

Burada:

B : Saatlik yakıt tüketimi (kg/h)

m : t saniyede tüketilmiş gram yakıt miktarı (gr)

t : gram yakıt miktarının tüketilme zamanı (s)

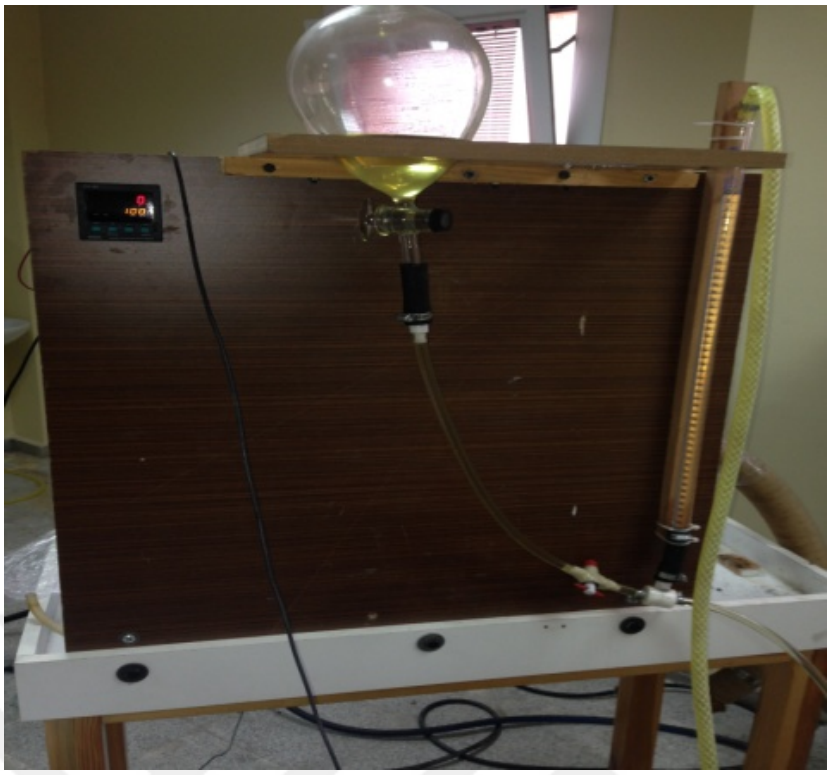
$$be= B \times 1000 / Pe \qquad (3.4.)$$

Burada:

be : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

Pe : Efektif motor gücü (kW)'dir.

Yakıt ölçüm düzeneği Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6. Yakıt ölçüm düzeneği.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, atık bitkisel yağlardan üretilmiş olan biyodizel yakıt (B100), hacimsel olarak %5, %15, %30 ve %50 oranlarında standart dizel yakıt (B0) ile karıştırılarak B5, B15, B30 ve B50 yakıtları elde edilmiştir. Elde edilen yakıtların, tam yükte ve farklı devirlerde (1250 d/d, 1750 d/d, 2250 d/d, 2750 d/d ve 3250 d/d) tek silindirli dizel bir motorun performansına, egzoz emisyonlarına, titreşimine ve gürültü emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir.

Faz ayrışmasına sebep olmaması için karışımlar her bir deney öncesinde hazır hale getirilmiştir. Motor tam yükte ve 3250 d/d'de çalışma sıcaklığına gelene kadar standart dizel yakıtı ile çalıştırılmıştır. Testlerde motor devri her bir karışım yakıt ile tam gaz konumunda önce 3250 d/d'ya getirilmiş, daha sonra motor devri 1250 d/d 'ya düşürülmüş ve motor devri sırasıyla 1250, 1750, 2250, 2750 ve 3250 d/d'ya yükseltilerek ölçümler yapılmıştır. Deneyler bütün yakıt karışımları için aynı şartlarda yapılmıştır. Deneylere başlamadan önce yakıt enjeksiyon pompası, enjektör püskürtme basıncı (200 bar), püskürtme avansı (20°) ve supap boşlukları motor katalog değerlerine göre tekrar ayarlanmış ve motor yağı, yağ filtresi, hava filtresi değiştirilmiştir.

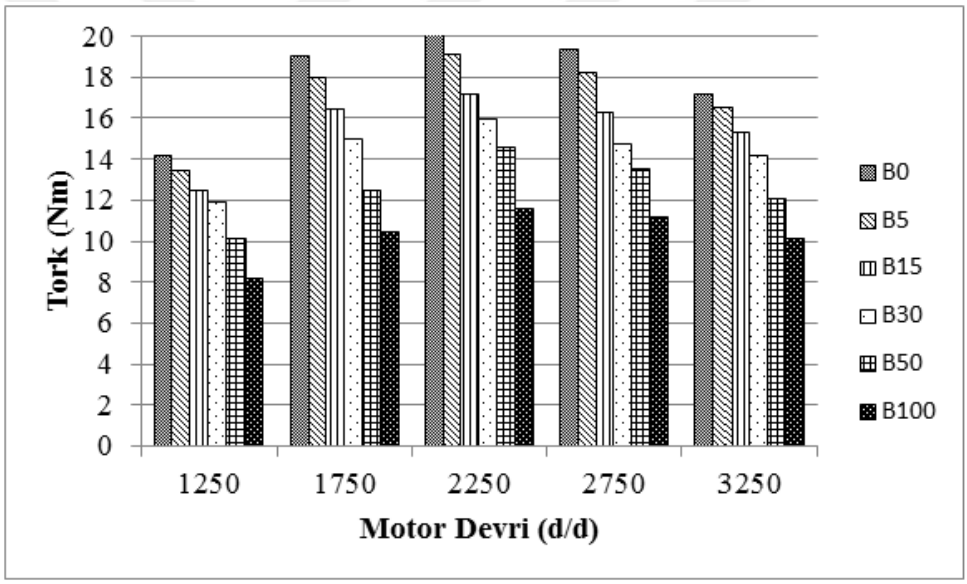
4.1. MOTOR PERFORMANS ÖLÇÜM SONUÇLARI

4.1.1. Moment Değişimleri

Farklı oranlardaki B100 içerikli dizel yakıt karışımlarının, motor devrine bağlı olarak motor momentine ve gücüne olan etkileri Şekil 4.1'de verilmiştir. En yüksek moment değerlerine B0 ile, en düşük moment değerlerine ise B100 yakıtı ile ulaşılmıştır. Tüm yakıtlar için en yüksek tork değerleri 2250 d/d'de, en düşük tork değerleri ise 1250 d/d'de elde edilmiştir. Şekil 4.1 incelendiğinde, tüm devirlerde karışımdaki biyodizel yüzdesi arttıkça motor torkunda düşme meydana geldiği görülmektedir. Bu durum B0'ın ısıl değerinin, B100 içerikli yakıt karışımlarının ısıl değerinden daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır [5]. Ayrıca yanma mekanizmasını direkt etkileyen yakıtın viskozitesi, setan sayısı ve yoğunluğu gibi parametreler moment değişimine direkt tesir edebilmektedir. 2250 d/d'den sonraki devirlerde tüm yakıtlar için tork değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu duruma sebep olarak yüksek motor devirlerinde volumetrik verimin azalması ve mekanik kayıpların artması görülmektedir [34]. Aynı

zamanda giriş karışımlarının akış ve kütle dirençleri motor devir sayısı ile bağıntılı olarak hızlı bir şekilde artış göstermesi ve sürtünme kayıplarının da yine motor devir sayısı ile birlikte yaklaşık değerlerde orantısal bir şekilde artış göstermesi sebebiyle motor torkunda düşme meydana gelmektedir [33].

Tüm yakıtlar için en yüksek moment değişimlerinin gerçekleştiği 2250 d/d'de B0 ile 20.01 Nm, B5 ile 19.17 Nm, B15 ile 19.17 Nm, B30 ile 16.02 Nm, B50 ile 14.6 Nm, B100 ile 11.64 Nm moment elde edilmiştir. B0'a göre B100 ile % 72, B50 ile %37, B30 ile % 25, B15 ile % 16 ve B5 ile %4 daha düşük moment değişimi gerçekleşmiştir. Tüm yakıtlar için en düşük moment değişimlerinin gerçekleştiği 1250 d/d'de B0 ile 14.17 Nm, B5 ile 13.5 Nm, B15 ile 12.52 Nm, B30 ile 11.9 Nm, B50 ile 10.17 Nm, B100 ile 8.22 Nm moment elde edilmiştir. B0'a göre B100 ile % 72, B50 ile %39, B30 ile % 19, B15 ile % 13 ve B5 ile %5 daha düşük moment değişimi gerçekleşmiştir.



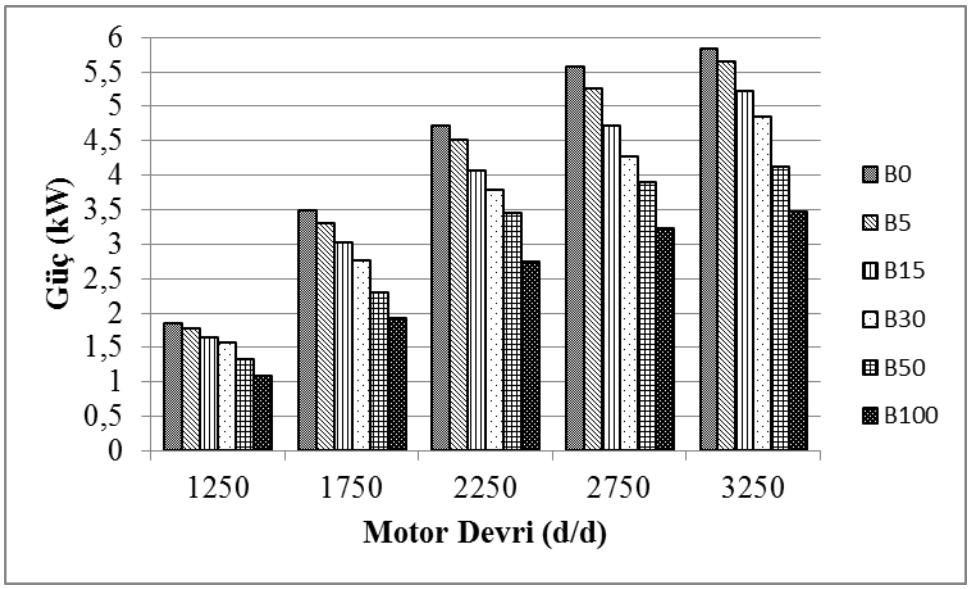
Şekil 4.1. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak moment değişimi.

4.1.2. Güç Değişimleri

Farklı oranlardaki B100 içerikli dizel yakıt karışımlarının, motor devrine bağlı olarak motor gücüne olan etkileri Şekil 4.2'de verilmiştir. Tüm yakıtlar için en düşük güç 1250 d/d'de, maksimum güç ise 3250 d/d'de elde edilmiştir. Motor devrinin artış göstermesi ile birlikte hava hareketleri artmış, yanma iyileşmiş ve tüm yakıt karışımları için motor gücü devir sayısına bağlı olarak arttmıştır [5]. Standart dizel yakıtın içerisine ilave edilen B100 miktarı artıkça, karışım yakıtlarda karışımın oranı nisbetinde motor gücünde düşme meydana gelmiştir. Bunun en önemli nedeni B100'ün ısıl değerinin

standart dizel yakıta kıyasla daha düşük olmasıdır. Motor gücünde meydana gelen düşme, B100'ün yoğunluk ve viskozitesinin standart dizel yakıta kıyasla daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Viskozite, yakıtların atomizasyon çapına tesir eden önemli bir faktördür. Atomizasyon çapı ise silindir içerisindeki yakıt/hava karışımınına tesir etmektedir. Yüksek viskoziteli yakıtların atomizasyon çapı büyük olmasından dolayı yakıt/hava karışımı ideal bir karışım oluşturamamaktadır. İdeal yakıt/hava karışımının arzu edilen seviyeye ulaşamaması yanmayı etkileyen tutuşma gecikme süresini uzatmakta, yanmayı kötüleştirmekte ve motor gücünün düşmesine neden olmaktadır. Bundan başka B100'ün ısıl değerinin standart dizelden daha düşük olması, motor gücünün düşmesinin sebeplerinden biri olarak değerlendirilmektedir [5], [106].

Tüm yakıtlar için en yüksek güç değişimlerinin gerçekleştiği 3250 d/d'de B0 ile 5.82 kW, B5 ile 5.64 kW, B15 ile 5.22 kW, B30 ile 4.84 kW, B50 ile 4.12 kW, B100 ile 3.46 kW güç elde edilmiştir. B0'a göre B100 ile % 68, B50 ile %41, B30 ile % 30, B15 ile % 12 ve B5 ile %3 daha düşük güç elde edilmiştir. Tüm yakıtlar için en düşük güç değişimlerinin gerçekleştiği 1250 d/d'de B0 ile 1.85 kW, B5 ile 1.76 kW, B15 ile 1.63 kW, B30 ile 1.55 kW, B50 ile 1.33 kW, B100 ile 1.07 kW moment elde edilmiştir. B0'a göre B100 ile % 73, B50 ile %39, B30 ile % 19, B15 ile % 14 ve B5 ile %5 daha düşük güç değişimi gerçekleşmiştir.

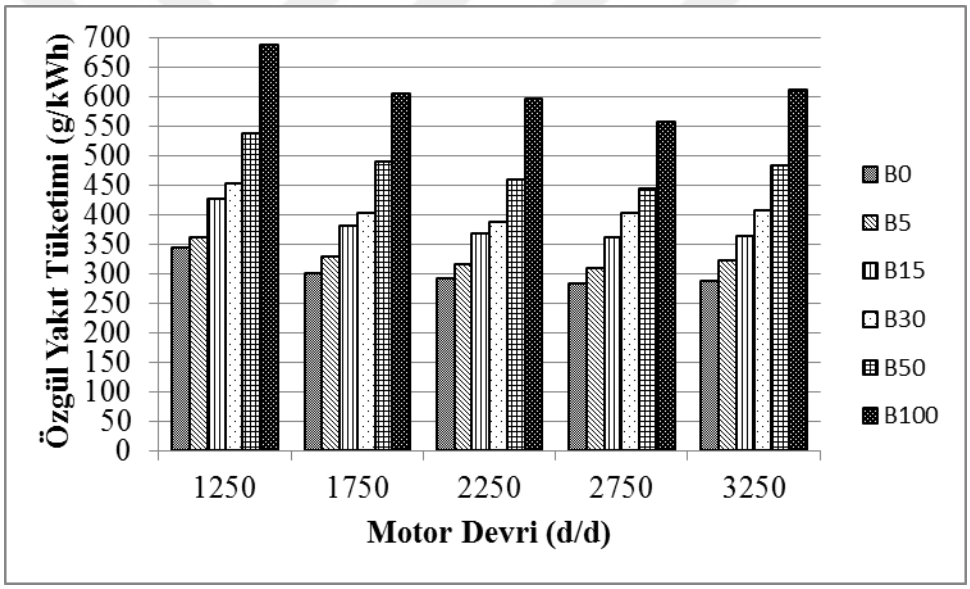


Şekil 4.2. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak güç değişimi.

4.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi Değişimleri

Farklı oranlardaki B100 içerikli dizel yakıt karışımların, motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimine olan etkileri Şekil 4.3'te verilmiştir. Tüm yakıtlar için en düşük özgül yakıt tüketimi 2750 d/d'de, en fazla özgül yakıt tüketimi ise 1250 d/d'de elde edilmiştir.

Özgül yakıt tüketimleri, düşük motor devirlerinde yüksek değerde iken motor devrinin artışı ile 2750 d/d' ye kadar azalmakta ve bu devirden sonra artmaktadır. Düşük motor devirlerinde gücün düşük olması nedeniyle, özgül yakıt tüketimi tüm yakıtlar için yüksektir. Bunun nedeni düşük motor devirlerinde elde edilen güç ile sarfedilen yakıt arasındaki oransal ilişkiden kaynaklanmaktadır. Başka bir manayla ifade edilecek olursa, motor gücü nekadar düşük olursa özgül yakıt sarfiyatıda o oranda yüksek olacaktır.



Şekil 4.3. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimine olan etkileri.

2750 d/d' den sonra özgül yakıt tüketiminindeki artışın nedeni ise, motor devir sayısının artması ile birlikte volumetrik verimin düşmesi ve sürtünme kuvvetlerinin artmasıdır. Ayrıca, enjektörden püskürtülen yakıtın yoğunluğu, miktarı, viskozitesi ve ısıl değeri özgül yakıt tüketimi miktarını etkilemektedir. B100'ün ısıl değeri dizel yakıtınkinden daha düşük olduğundan dolayı aynı enerjiye ulaşabilmek için yakıt karışımları içeriğindeki B100 oranına bağlı olarak enjektörden daha fazla yakıt püskürtülmektedir [5], [107]. Bu nedenle özgül yakıt tüketimi B100 içerikli yakıt karışımları ile daha büyüktür. Tüm yakıtlar için en yüksek özgül yakıt tüketiminin gerçekleştiği 1250 d/d'de

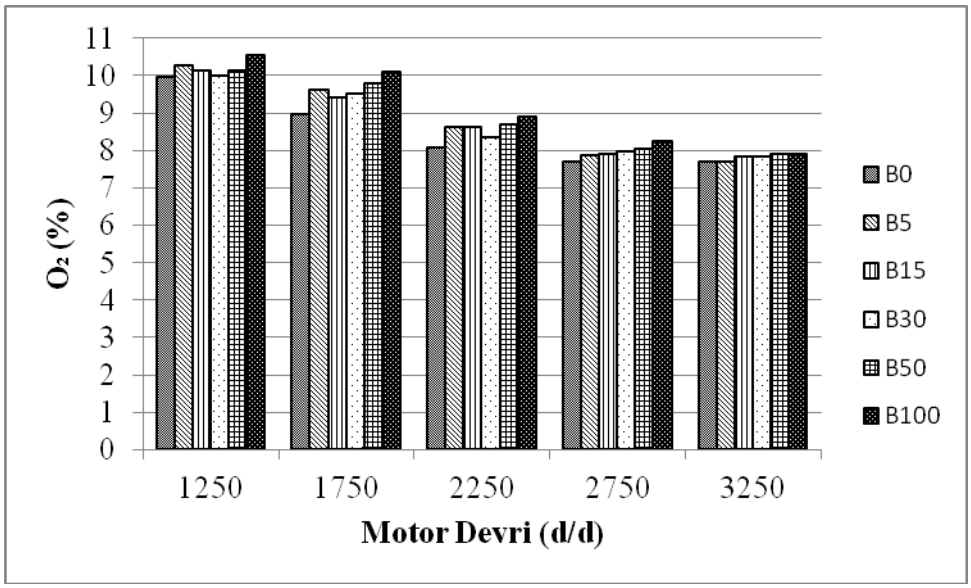
B0'a göre B100 ile % 50, B50 ile %36, B30 ile % 24, B15 ile % 19 ve B5 ile %5 daha fazla özgül yakıt tüketimi gerçekleşmiştir. Tüm yakıtlar için en düşük özgül yakıt tüketiminin gerçekleştiği 2750 d/d'de B0'a göre B100 ile % 49, B50 ile %36, B30 ile % 30, B15 ile % 22 ve B5 ile %8 daha fazla özgül yakıt tüketimi gerçekleşmiştir.

4.2. EMİSYON DEĞİŞİMLERİ

Dizel motorlarından kaynaklanan O_2, CO, CO_2, HC, NO_x kirleticileri emisyon standartlarının temel parametreleridir. Bu emisyonların canlılar ve çevre üzerinde olumsuz etkileri vardır. Sunulan çalışma ile biyodizel içerikli yakıtların, motor devrine bağlı olarak O_2, CO, CO_2, NO_x, HC emisyonları ve egzoz sıcaklığına olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

4.2.1. Oksijen (O_2) Değişimleri

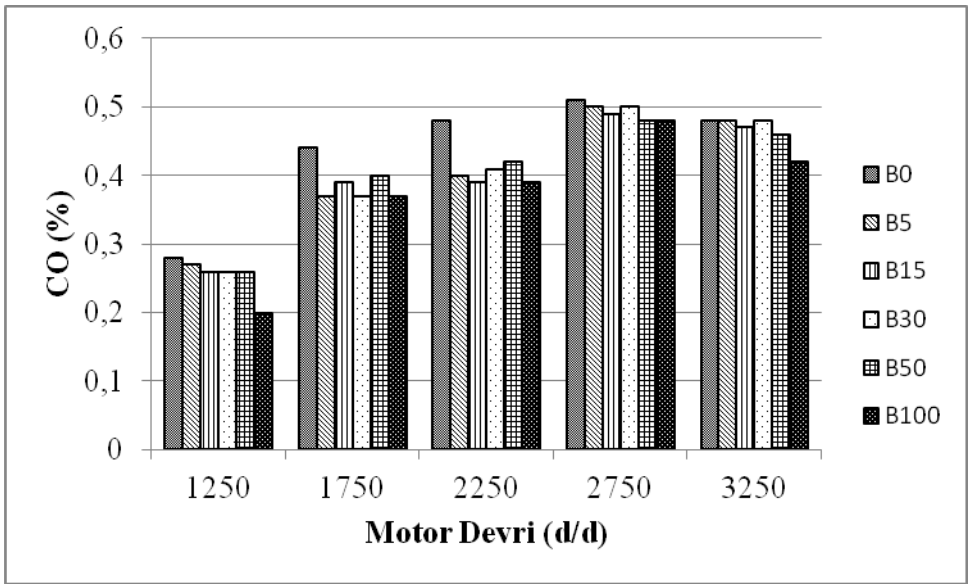
Yakıt içeriğindeki O_2'nin oransal olarak artış göstermesiyle birlikte, emisyonların içeriğindeki O_2 oranıda artmaktadır [86]. O_2 emisyonunun ölçülmesi yanma esnasında oksijen miktarının hangi oranda kullanıldığını göstermesi açısından önemlidir. Biyodizel oksijen içeriği açısından zengindir. Bu nedenle, karışımın zengin olduğu bölgede O_2, yanmayı daha da iyileştirmektedir [108]. Şekil 4.4'de farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak O_2'ye olan etkileri görülmektedir. B100 karışımlı yakıtların içeriğindeki O_2 oranı, tüm motor devirlerinde B0'a kıyasla daha fazla görülmektedir. Bunun en önemli nedeni B100'ün içeriğinde oksijenin var olmasıdır. Motorun düşük devirlerinde volumetrik verimin yüksek olması nedeniyle, O_2 miktarı en yüksek değere 1250 d/d'da ulaşmıştır. Tüm yakıtlar için O_2 miktarı motor devrine bağlı olarak azalmaktadır. Motor devrinin artmasıyla birlikte, yanma odası içerisinde meydana gelen türbülans artarak karışımı daha ideal pozisyona getirmekte ve karışımın yanma hızını arttırmaktadır. Bu durum hem yanma kalitesini hem de O_2 tüketimini arttırmaktadır. Bu nedenle, egzozdan çıkan O_2 oranıda azalmaktadır. O_2 oranının en yüksek olduğu 1250 d/d' da, egzoz gazı içeriğinde, B100 ile B0'a göre % 6, B50 ve B15'e göre % 2, B5'e göre % 3 ve B30'a göre ise %1 daha fazla O_2 bulunmaktadır.



Şekil 4.4. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak O_2'ye olan etkileri.

4.2.2. Karbonmonoksit (CO) Değişimleri

CO eksik yanma ürünüdür ve bunu etkileyen en önemli faktör de karışımın hava- yakıt oranıdır. Hava ve yakıtın tam olarak karışamaması, O_2 ve CO_2 oluşması için gerekli zamanın eksikliği, CO emisyonlarını tetiklemektedir [109]. Dizel motorları, benzinli motorlara göre daha büyük hava fazlalık katsayısıyla çalışmaktadır. Doğal olarak bu durum CO emisyonlarının benzine göre daha düşük çıkmasına sebebiyet vermektedir. Fakat büyük hava fazlalık katsayısı, dizel motorların yanma odaları içerisinde bulunan yerel olarak zengin bölgelerdeki CO emisyonlarını artırmaktadır. Ayrıca fakir bölgelerde de, eksik yanma ve sıcaklıkların düşük olmasından kaynaklı CO emisyonları oluşmaktadır [110]. Şekil 4.5'de farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak elde edilen CO değişimleri verilmiştir. Şekil 4.5'de görüldüğü gibi CO emisyonları tüm yakıt karışımları için 2750 d/d' ye kadar artmış, daha sonra azalma göstermiştir.



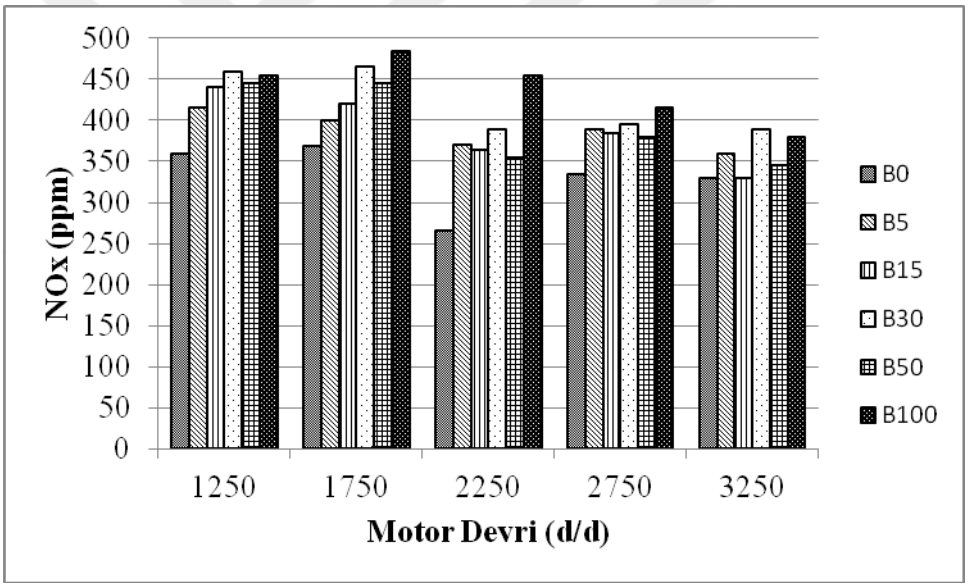
Şekil 4.5. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak CO'ye olan etkileri.

Tüm devirlerde B0'ın CO emisyonları, karışım yakıtlardan daha fazla çıkmıştır. Bunun temel nedeni ise biyodizel yakıtların içeriğindeki oksijen miktarının fazla olması ve biyodizelin yüksek oranda H/C oranına sahip olmasıdır. Düşük motor devirlerinde volumetrik verimin daha yüksek ve yeterli yanma süresi olması nedeniyle, tüm yakıt karışımları için CO emisyonları daha düşük orandadır. Yüksek motor devirlerinde, yakıtın yanma süresinin kısalması ve volumetrik verimin düşmesinden dolayı tüm yakıtları için CO emisyonları artmıştır. Bu durum 2750d/d'ya kadar devam etmiş ve 2750 d/d'dan sonra CO emisyonları düşme eğilimine geçmiştir. Bu düşüşün temel sebebinin, devir sayısının artmasına bağlı olarak karışımın daha homojenize olması ve yanmanın iyileşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [36]. 1250 d/d motor devrinde, B100 ile elde edilen CO emisyonu, B0'dan yaklaşık % 40 daha azdır. Aynı devirde B100 ile, B50, B30 ve B15'e göre %8 ve B5'e göre ise % 4 daha az CO oranı elde edilmiştir. CO emisyonlarının en fazla olduğu 2750 d/d motor devrinde ise B100 ve B50'nin CO emisyonu, B0'dan %6, B30 ve B5'den % 2 ve B15'den ise %4 daha az çıkmıştır.

4.2.3. NO_x Emisyonları

NO_x emisyonları, silindir içi yanma sıcaklığının yaklaşık 1800 K'e ulaşmasıyla havanın iyonize olup, içeriğindeki azotun ayrışıp oksijenle birleşmesi ile oluşmaktadır [111]. NO_x tanımlaması bu emisyonun içeriğinde değişik oksitlerin azotla birlikte bileşik oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Aynı şekilde NO, NO_x emisyonlarının büyük bir

kısmını, NO_2 ise NO_x'in küçük bir kısmını, N_2O, N_2O_3 ve N_2O_5 ise NO_x'in ihmal edilebilecek küçük bir kısmını oluşturmaktadır. NO_x emisyonunu tetikleyen üç önemli etmen vardır. Bunlar; sıcaklık, oksijen oranı ve zamandır. Yanmanın iyileşmesi, yanma sonu basıncını ve sıcaklığını arttıracağından dolayı bu durum NO_x emisyonlarını arttırmaktaktadır. Fakat, zengin karışımlarda yanma esnasında yeterli oksijenin bulunmaması ve fakir karışımlarda da yanmanın yavaş olmasından dolayı, yanma sonu sıcaklığı ve basıncının azalması, NO_x emisyonlarını düşürmektedir [112]. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi, B100 içerikli yakıtların NO_x miktarları B0'a göre motorun tüm devirlerinde yüksek çıkmıştır. Aynı motor gücü için, B100 içerikli yakıtların özgül yakıt tüketimi, B0'a göre daha fazladır. B100'ün içeriğindeki oksijen miktarının fazla olması ve yanma esnasında oksitlenmeyi iyileştirmesi, yanma bölgelerinin sayısında artış meydana getirmektedir. Bu nedenle, yüksek sıcaklığın elde edildiği bölgelerin artması NO_x emisyonlarının oluşum hızını artırmaktadır [113].



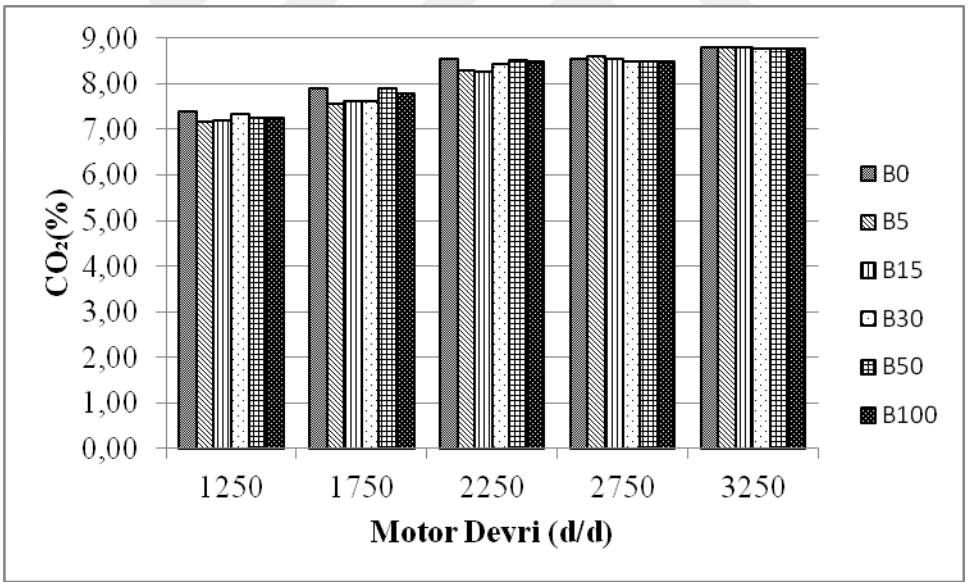
Şekil 4.6. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak NO_x'e olan etkileri.

NO_x emisyon değerleri B100 yakıtı için 1750 d/d'ya kadar artış göstermiş olup, daha sonra düşme eğilimine girmiştir. Devrin artmasıyla, emme zamanı kısalarak volümetrik verim düşmekte ve silindir içerisine alınan O_2 miktarının azalması ile birlikte, azot ile oksijenin silindir içerisinde bulunma süresi de azalmaktadır. Bu nedenle, motor devrinin artmasıyla NOx oluşumunda düşüş meydana gelmiştir [34]. B0 ve B30 yakıtları için en yüksek NO_x değeri 1750 d/d'da, B5, B15 ve B50 yakıtları için ise 1250 d/d'da elde edilmiştir. En düşük NO_x değeri B0 ve B30 için 2250 d/d'da, B5, B30 ve B50 için ise 3250 d/d'da ölçülmüştür. 1750 d/d motor devrinde, B100 ile elde edilen NO_x değeri,

B0'dan %24, B50'den %17, B30'dan %21, B15'den %12 ve B5'den %8 daha fazla çıkmıştır. 3250 d/d motor devrinde ise, B100 ile elde edilen NO_x değeri, B0'dan %13, B50'den %4, B30'dan %15 ve B5'den %8 daha fazla çıkmıştır. NO_x oranı, B0 ile tüm motor devirlerinde diğer yakıt karışımlarından daha az çıkmıştır.

4.2.4. Karbondioksit (CO_2) Emisyonları

Eksoz emisyonlarının bir türevi olan CO_2 emisyonu oranı, tam yanmayı ifade eden bir değerdir. Renksiz kokusuz ve zararsız bir gaz olan CO_2, normal yanma süreçlerinin bütününde açığa çıkmaktadır. CO_2 'nin sınır değerlerinin üstüne çıkması, sera etkisine sebep olmaktadır [25]. Yanma esnasında yakıtın içerisinde bulunan karbon ve hidrojen bileşenlerinin birbirinden ayrışmasıyla birlikte, hidrojen bileşeni suya dönüşmektedir. Karbon bileşeni ise oksidasyon esnasında yeterli oksijeni bulması halinde CO_2'ye, bulamaması halindeyse CO veya dumana dönüşmektedir [114]. Şekil 4.7'de farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak CO_2'ye olan etkileri görülmektedir.



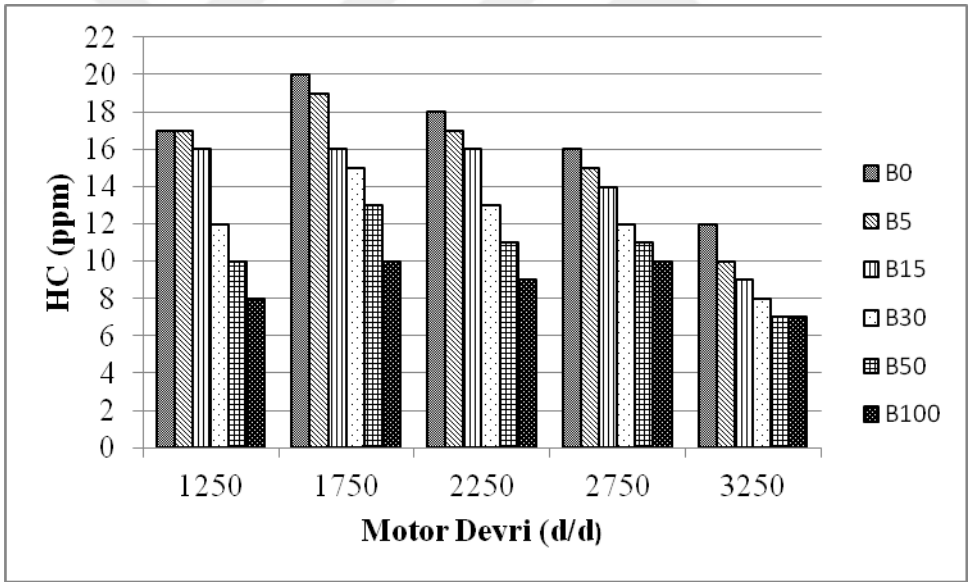
Şekil 4.7. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak CO_2'ye olan etkileri.

Tüm yakıt karışımları için CO_2 değerleri, motor devrine bağlı olarak artış göstermiştir. Motor devrinin artmasıyla, yanma işleminin gerçekleşmesi için gerekli olan süre kısalmakta ve hava yakıt karışımında bulunan havanın ortamda fazla olması nedeniyle CO_2 oranında artış meydana gelmiştir. 2250 d/d motor devrine kadar, B0 ile elde edilen CO_2 değerleri, diğer yakıt karışımlarına göre daha yüksek çıkmıştır. 1250 d/d motor devrinde, B100 ve B50 yakıtları ile B0'a kıyasla %2, B30'a göre %1, B15 ve B5'e göre

%3 daha az CO_2 elde edilmiştir. 2250 d/d'de ise B100, B50 ve B0 yakıtlarının CO_2 emisyon değerleri aynı seviyede olup, B30 ile %1, B15 ve B5 ile B0'a göre %3 daha az CO_2 emisyonu elde edilmiştir.

4.2.5. Yanmamış Hidrokarbon (HC) Değişimleri

HC emisyonları genellikle eksik yanmadan kaynaklanmaktadır ve yanmadan dış ortama atılan yakıt meydana getirir. HC oluşumunun iki temel nedeni ise ortamdaki düşük sıcaklık ve yetersiz bulunan oksijendir. İçten yanmalı motorlarda HC emisyonları daha çok yanmanın tam gerçekleşmediği bölgelerde oluşmaktadır [115]. Şekil 4.8'de farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların HC emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimleri görülmektedir. Karışım içeriğindeki B100 oranına bağlı olarak HC emisyonlarının azaldığı görülmektedir. Bu durum B100 içerisindeki karbon oranının düşük, oksijen oranının fazla olmasına bağlı bir durumdur. Bu nedenle, B100 içerisindeki yüksek O_2, zengin bölgelerde yeterli yanmayı temin etmektedir [33], [37].



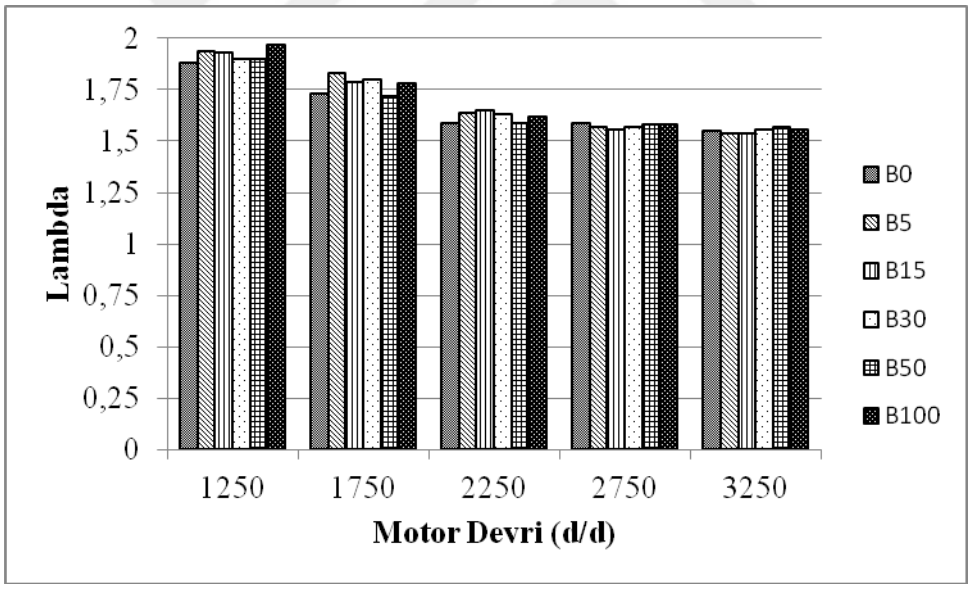
Şekil 4.8. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak HC emisyonlarına olan etkileri.

Şekil 4.8'te görüldüğü gibi, 1750 d/d'dan sonra yanma odasında oluşan türbülansın artmasına bağlı olarak yanma kalitesi artarak HC emisyonları düşmektedir. Aynı zamanda yüksek devirlerde, hava hareketleri basınç ve sıcaklık değerlerini artırıp tam ve kısmi oksitlenmeyi tetiklemiştir. Bu nedenle, motor devrinin artmasıyla birlikte tüm yakıtlar için HC emisyonları azalmıştır [33]. 1750 d/d motor devrinde B100 ile B0'a göre %100, B50'ye göre %53, B30'a göre %33, B15'e göre %25 ve B5'e göre ise %5 daha az HC emisyonu elde edilmiştir. 3250 d/d motor devrinde ise, B100 ve B50 ile

B0'a göre %71, B30'a göre %50, B15'a göre %33 ve B5'a göre %20 daha az HC emisyonu elde edilmiştir.

4.2.6. Lamda(λ) Değeri

Hava fazlalık katsayısı (λ), motorun çalışması esnasında gerçek hava/yakıt oranının teorik yanma için lazım olan (stokiyometrik) hava/yakıt oranına oranıdır. İçten yanmalı motorlar çalışma şartları dahilinde farklı H/Y oranında çalışmalarını sürdürürler [115]. Dizel motorlar için silindir içerisine alınan hava miktarı, emisyon değerlerini etkilemesi açısından son derece önemlidir. Bununla bağlantılı olarak λ değeri, silindir içerisine alınan hava oranını belirlemede etkili bir rol oynamaktadır [5]. Şekil 4.9'da farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak λ'ya olan etkileri görülmektedir. Tüm yakıt karışımları için düşük motor devirlerinde lamda değerleri yüksek devirlere göre daha büyüktür. Bu durum, düşük motor devrilerinde volumetrik verimin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca motor devri yükseldikçe, silindir içerisine daha fazla yakıt gönderilmesiyle birlikte λ değeride küçülmektedir [5].

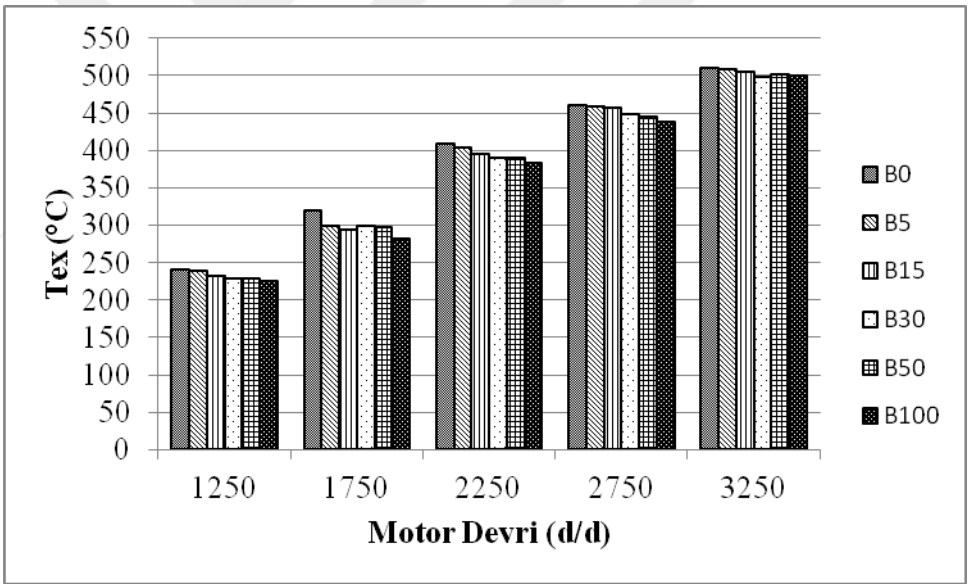


Şekil 4.9. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak λ'ya olan etkileri.

2250 d/d'dan sonraki motor devirlerinde, tüm yakıtlardaki λ değerleri hemen hemen birbirine yakın çıkmıştır. Bu durumun temel sebebi ise, B100'ün ısıl değerinin B0'a göre daha düşük olması ve B100 içerikli yakıtların özgül yakut tüketimlerinin daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır [116]. 1250 d/d motor devrinde λ değeri, B100 ile B0'a göre %5, B50 ve B30'a göre %1, B15 ve B5'e göre ise %3 daha büyüktür.

4.2.7. Egzoz Gazı Sıcaklığı Değişimleri

Silindirin içinde bulunan yakıt hava karışımının yanma işlemi sonucu ortaya çıkan emisyonların, atmosferik ortama çok yüksek sıcaklıklarda bırakılmaması arzu edilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda bulunan egzoz gazları, silindirde iş zamanında yanma işleminin tam anlamıyla gerçekleşemediğinin ve egzoz supaplarının açıldığında yanmanın devam ettiğinin bir göstergesi olarak karşımıza çıkmaktadır [27]. Şekil 4.10'de görüldüğü gibi, B100 içerikli yakıtların egzoz gazı sıcaklığı, B0'a göre daha düşüktür. B100, B0'a göre daha fazla O_2 içermektedir. Bu nedenle B100 içerikli yakıtların silindir içi yanma hızları daha yüksektir. Ayrıca, B100 içerikli yakıtların ısıl değerleri, B0'a göre daha düşüktür. Bu nedenle, yakıt karışımları içeriğindeki B100 oranına bağlı egzoz gazı sıcaklıkları tüm devirlerde düşmektedir [5]. 1250 d/d motor devrinde, B100 ile B0'a göre %7, B50 ve B30'a göre %5, B15'e göre ise %4 daha az egzoz sıcaklığı elde edilmiştir.

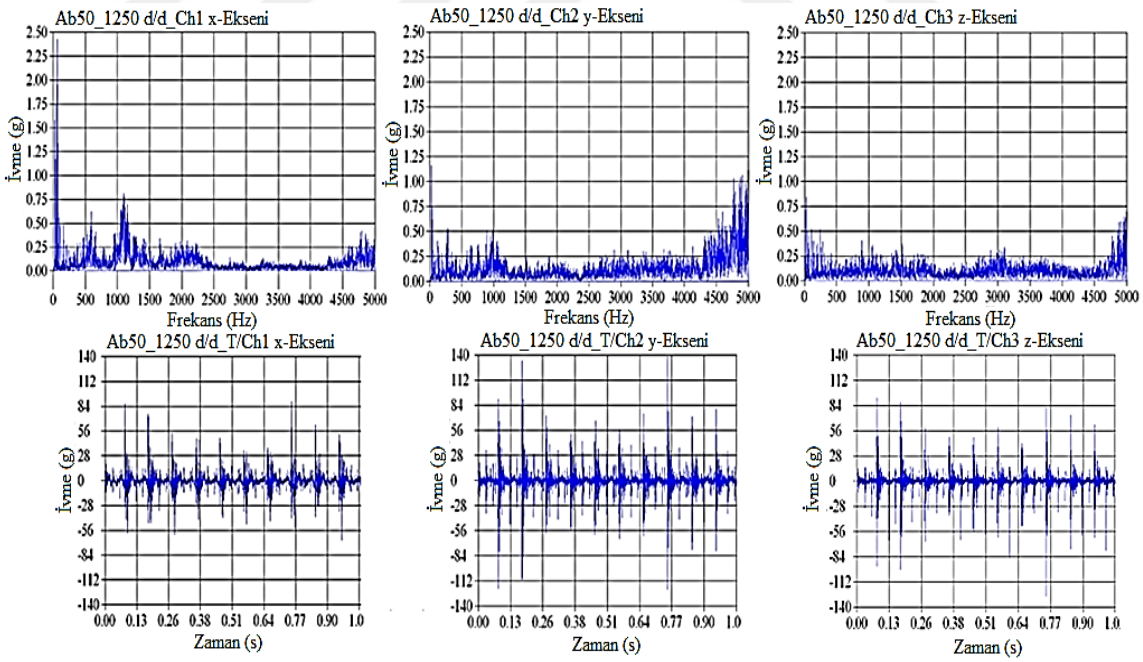


Şekil 4.10. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak egzoz sıcaklığına olan etkileri.

4.3. TİTREŞİM ve GÜRÜLTÜ SONUÇLARI

İlk deneyler standart dizel yakıt (B0) ile yapılmıştır. Şekil 4.11'de standart dizel yakıt ile hacimsel olarak %50 oranında karıştırılarak elde edilen B50 yakıtının tam yükte ve 1250 d/d'da motor titreşimine olan etkisi, her üç eksen içinde frekans ve zaman bölgesi (time domain) analizleri ile görülmektedir. Frekans bölgesi grafikleri, zaman bölgesi verilerinin FFT analizi ile frekans bölgesi verilerine dönüştürülmesi ile elde

edilmektedir. Şekil 4.11'de ilk sütun x ekseni, ikinci sütun y eksenini ve sonuncu sütun ise z eksenini göstermektedir. Titreşim verileri belirlenen örnekleme frekansında 1,28 s boyunca kayıt edilmiştir. Her bir deney için ivme ölçerin her bir kanalından toplam 16384 ivme değeri alınmıştır. Şekil 4.11'de frekans bölgesi grafikleri incelendiğinde, 2500 Hz'e kadar x ekseninde en büyük ivme değeri (titreşim) oluştuğu görülmektedir. 1000 Hz-4000 Hz aralığında y ekseninde en küçük ivme değerleri elde edilmiştir. z ekseni için ise, minimum ve maksimum frekanslarda en büyük ivme değerleri elde edilmiştir. Zaman bölgesi grafikleri incelendiğinde ise, y ekseninde en büyük ivme değerinin oluştuğu, x ekseninde ise en küçük ivme değerinin oluştuğu görülmektedir. Zaman bölgesi, titreşimin zamana bağlı olarak ne kadar değiştiğini gösterir. Motorun dakikadaki dönüş sayısı 1250 d/d, 60'a bölündüğünde krank milinin 1 saniyede kendi ekseni etrafındaki dönüş sayısı (20,8) bulunur. Dört zamanlı motorlarda krank milinin kendi ekseni etrafındaki 2 dönüşünde, enjektör 1 kere yakıt püskürtmektedir. Bu nedenle enjektör 1 saniyede yaklaşık 10 kere yakıt püskürtür. Enjektörün her bir yakıt püskürtmesi ile oluşan yanma sonucunda, Şekil 4.11'de zaman bölgesi grafiklerinde görüldüğü gibi yaklaşık 10 adet titreşim pik değerleri oluşmuştur.



Şekil 4.11. B50 yakıtı ile 1250 d/d motor devrinde elde edilen frekans ve zaman bölgesi grafikleri.

Farklı motor devirlerinde B0, B100 ve karışım yakıtlar(B5, B15, B30 ve B50) ile elde edilen titreşim genlik değerlerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla, her bir deney için ivme ölçerin her bir kanalı ile ölçülen titreşim genlik değerlerinin ortalama karekök değerleri

(RMS) hesaplanmıştır. Her bir kanaldan elde edilen zaman bölgesi genlik değerlerinin RMS'si, Eşitlik 4.1'de verilen denklem ile hesaplanmıştır [55], [117].

$$a_{RMS} = \sqrt{1/N \sum_{k=1}^{N} a_k^2} \tag{4.1}$$

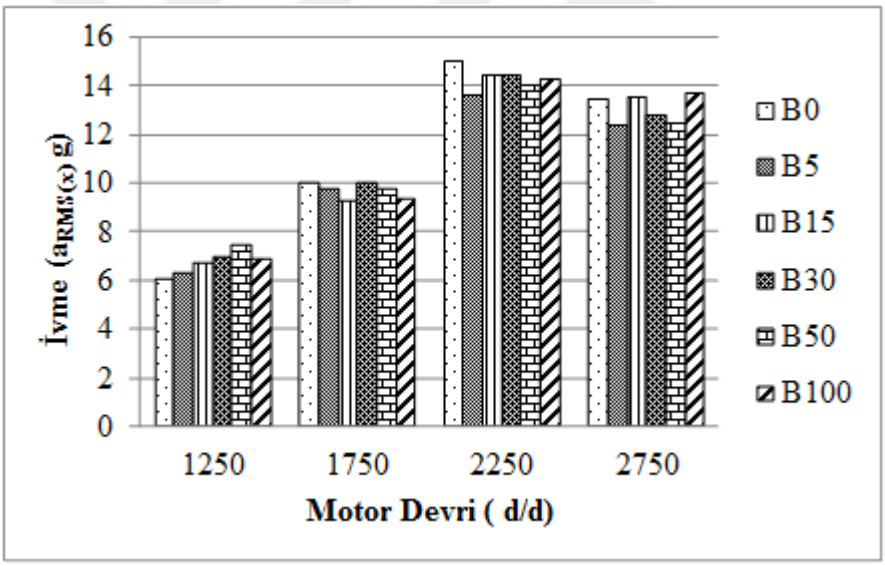
Burada;

a_{RMS} : İvme değerlerinin ortalama karekökü (m/s^2),

a_k: Zaman bölgesi verilerinin k'ıncı değeri,

N= Zaman bölgesi toplam ivme değeri (1.28 s süre için N = 16384)

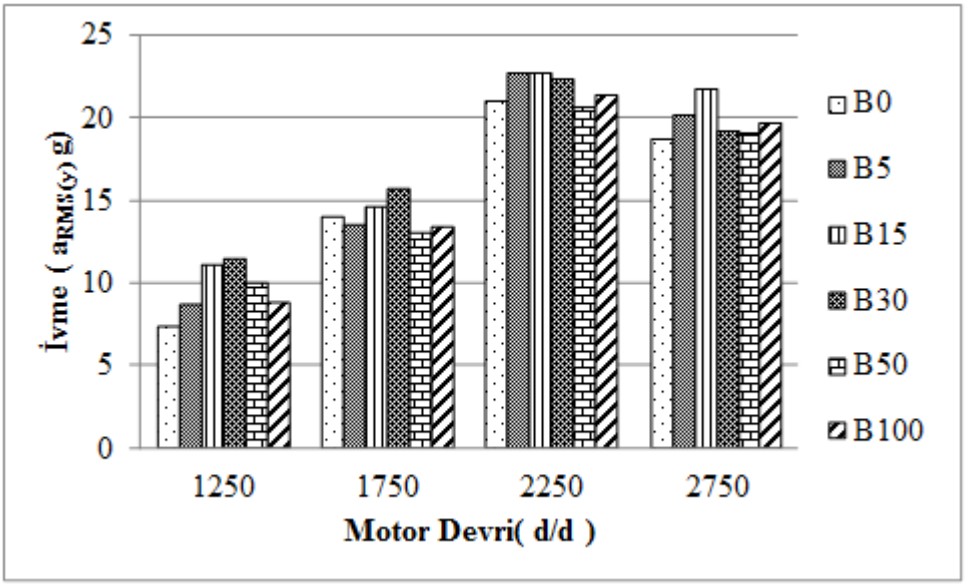
B0, B100 ve karışım yakıtları ile motor devrine bağlı olarak üç eksende (x,y,z), ivme ölçerin Ch1, Ch2 ve Ch3 kanallarında alınan titreşim verilerinin ortalama karekökü (a_{RMS}), Eşitlik 4.1'e göre hesaplanmıştır. Şekil 4.12'de devre bağlı olarak, tüm kanallardan elde edilen verilere göre hesaplanan $a_{RMS(x)}$ ivme değerleri görülmektedir.



Şekil 4.12. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak x-ekseni doğrultusunda motor titreşimine etkisi.

Yatay (x) doğrultuda tüm yakıtlar için en düşük titreşim 1250 d/d'de, en büyük titreşim ise 2250 d/d'da elde edilmiştir. 1250 d/d motor devrinde B0 ile B100'e göre %11, B50'ye göre %18, B30'a göre %12, B15'e göre %9 ve B5'e göre ise %3 daha az titreşim değeri elde edilmiştir. 2250 d/d motor devrinde ise, B0 ile B100'a göre %5, B50'ye göre %7, B30'a göre %4, B15'e göre %4 ve B5'e göre ise %10 daha fazla titreşim değeri elde edilmiştir. Şekil 4.13'de devre bağlı olarak, tüm kanallardan elde edilen verilere göre hesaplanan $a_{RMS(y)}$ titreşim değerleri görülmektedir.

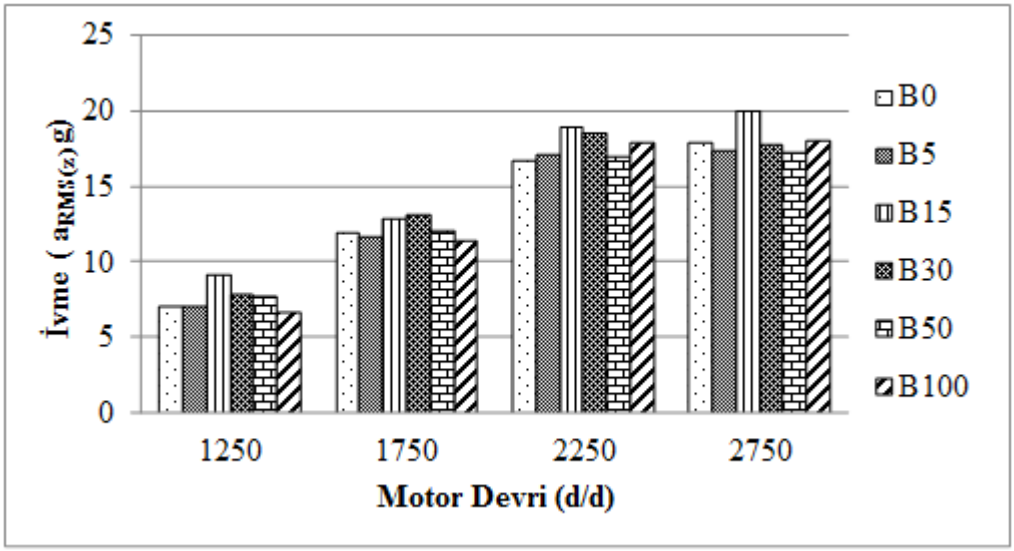
Eksenel (y) doğrultuda tüm yakıtlar için en düşük titreşim 1250 d/d'de, en büyük titreşim ise 2250 d/d'da elde edilmiştir. 1250 d/d motor devrinde B0 ile B100'a göre %16, B50'ye göre %26, B30'a göre %35, B15'e göre %33 ve B5'e göre %14 daha az titreşim değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.13. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak y-ekseni doğrultusunda motor titreşimine etkisi.

2250 d/d motor devrinde ise, B0 ile B100'a göre %2, B30'a göre %6, B15 ve B5'e göre %8 daha fazla B50'ye göre %2 daha az titreşim değeri elde edilmiştir. Şekil 4.14'de devre bağlı olarak, tüm kanallardan elde edilen verilere göre hesaplanan $a_{RMS(z)}$ titreşim değerleri görülmektedir.

Dikey (z) eksen doğrultusunda tüm yakıtlar için en düşük titreşim 1250 d/d'de, en büyük titreşim ise 2750 d/d'da elde edilmiştir. 1250 d/d motor devrinde B0 ile B100'a göre %6 daha fazla, B50'ye göre %9, B30'a göre %11, B15'e göre %23 ve B5'e göre ise %1 daha az titreşim değeri elde edilmiştir. 2750 d/d motor devrinde ise, B0 ile B100'a göre %1, B15'e göre %11 daha az, B50'ye göre %3, B30'a göre %1 ve B5'e göre ise %3 daha fazla titreşim değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.14. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak z-ekseni doğrultusunda motor titreşimine etkisi.

Çizelge 4.1'te devre bağlı olarak, tüm kanallardan elde edilen verilere göre hesaplanan a_{RMS} titreşim değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.1. Tüm kanallardan elde edilen verilere göre hesaplanan a_{rms} titreşim değerleri

Yakıt	Devir (d/d)	Ch1(x) (m/s^2)	Ch2 (y) (m/s^2)	Ch3 (z) (m/s^2)
Ab0	1250	6.140	7.439	7.056
	1750	10.023	14.012	12.021
	2250	15.021	21.055	16.769
	2750	13.472	18.768	17.876
Ab5	1250	6.331	8.681	7.142
	1750	9.792	13.541	11.773
	2250	13.623	22.805	17.174
	2750	12.452	20.193	17.343
Ab15	1250	6.766	11.085	9.139
	1750	9.329	14.665	12.840
	2250	14.488	22.813	18.975
	2750	13.541	21.839	20.050
Ab30	1250	7.008	11.517	7.902
	1750	10.078	15.709	13.165
	2250	14.494	22.439	18.589
	2750	12.846	19.305	17.731
Ab50	1250	7.489	10.052	7.722
	1750	9.779	13.083	12.080
	2250	14.077	20.712	16.974
	2750	12.529	19.133	17.288

Şekil 4.12, 4.13, 4.14 ve Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi x,y,z eksenlerinde, tüm yakıtlar içinde motor titreşim değerleri maksimum motor tork devri olan 2250 d/d'ye kadar artıp, daha sonra düşmeye başlamıştır. Tüm yakıt karışımları için eksenel (y) yönde Ch2

kanalından elde edilen titreşim değerlerinin en büyük olduğu, yanal (x) eksende Ch1 kanalından elde edilen titreşim değerlerinin ise en küçük olduğu görülmektedir. Bu durum, diğer eksenlere göre motorun eksenel yönde daha fazla salınım yapmasından ve atalet kuvvetlerinin eksenel yönde en büyük, yatay yönde ise en küçük olmasından kaynaklanmaktadır. En yüksek titreşim değerleri ise, eksenel (y) yönde Ch2 kanalından alınmıştır. Eksenel (y) ve dikey (z) yönlerde, B100 ve karışım yakıtlar ile B0'a göre genellikle daha büyük titreşim değerleri elde edilmiştir. Bu durumun, B100 ve karışım yakıtların yoğunluk ve viskozitesinin B0'a göre daha büyük olmasına bağlı olarak artan tutuşma gecikmesi (TG) süresinden kaynaklandığı düşünülmektedir. B100 ve karışım yakıtların yüksek viskoziteye sahip olması, yakıtın atomizasyon oranını düşürerek TG süresini artırmaktadır. Bu nedenle, uzun TG süresi boyunca silindire daha fazla yakıt girmekte ve bu durum yanma sonu basınç artış hızını artırmaktadır. Motor tek silindirli olduğu için ve tam yük altında çalıştırıldığından dolayı, eksenel yönde daha fazla salınım yapmaktadır.

Her bir motor devri için, tüm eksenlerden gelen titreşim verileri Eşitlik 4.2 kullanılarak düzenlenmiş ve ortalama titreşim toplam değeri (a_t) elde edilmiştir. Tüm eksenlerdeki a_t değerini elde etmek için, her bir eksendeki RMS ivme değerleri kullanılmıştır [55], [117].

$$\mathbf{a_t} = \sqrt{a^2{}_{\mathbf{RMS(x)}} + a^2{}_{\mathbf{RMS(y)}} + a^2{}_{\mathbf{RMS(z)}}} \tag{4.2}$$

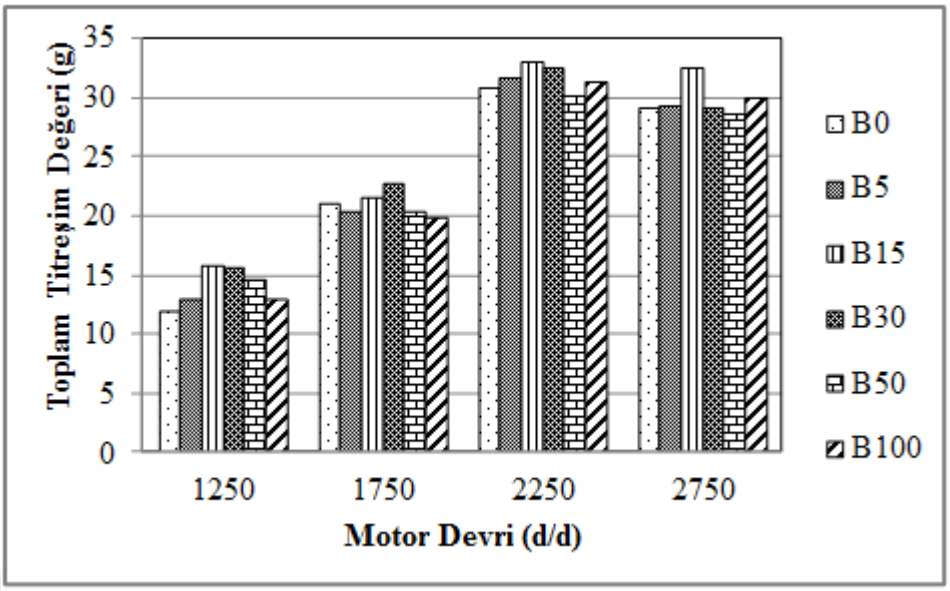
Burada;

a_t, toplam titreşim ortalama değeri, $a_{RMS(x)}$, $a_{RMS(y)}$ ve $a_{RMS(z)}$, ise sırasıyla yatay, eksenel ve dikey yönlerdeki RMS ivme değerleridir. Şekil 4.15'de B0, B100 ve karışım yakıtlar için, toplam titreşim ortalama değerleri görülmektedir.

Tüm yakıtlar için en düşük toplam titreşim değeri 1250 d/d'de, en büyük toplam titreşim değeri ise 2250 d/d'da elde edilmiştir. 1250 d/d motor devrinde B0 ile B100'a göre %8, B50'ye göre %19, B30'a göre %24, B15'e göre %25 ve B5'e göre %7 daha az toplam titreşim ortalama değerleri elde edilmiştir. 2250 d/d motor devrinde ise, B0 ile B100'a göre %2, B30'a göre %5, B15'e göre %7 ve B5'e göre %3 daha az, B50'ye göre %2 daha fazla toplam titreşim ortalama değerleri elde edilmiştir.

Şekil 4.15'de görüldüğü gibi, tüm yakıt karışımları için toplam titreşim ortalama değeri, maksimum motor tork devri olan 2250 d/d'ye kadar artıp daha sonra düşme eğilimine

girmiştir.

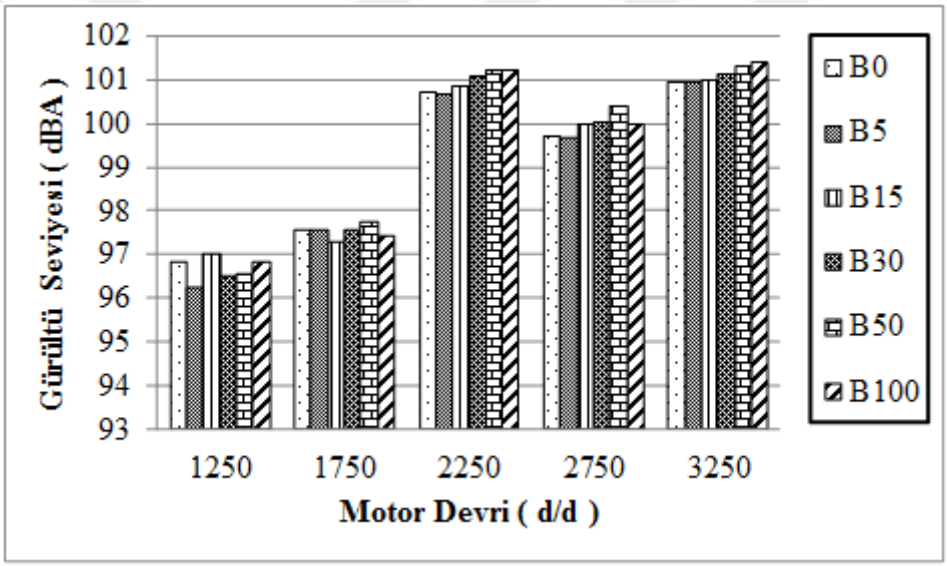


Şekil 4.15. Farklı oranlarda B0 ve B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak toplam titreşim ortalama değerlerine etkisi.

Literatürde maksimum titreşim değerinin, maksimum motor tork devrinde elde edildiği ifade edilmektedir [55]. Bu durum referans 55 ile örtüşmektedir. Maksimum tork devri olan 2250 d/d motor devrine kadar, supapların açık kalma süreleri yeterli olduğundan dolayı, motora yeterince hava emilebilmiş ve silindir içi yanma basıncı artmıştır. Artan yanma basıncı, a_t değerini de artırmıştır. Silindir içindeki basınç artış hızı, yanma odası duvarını doğrudan etkileyerek, motor bloğunda titreşimlere neden olmaktadır. Devre bağlı olarak artan motor parçalarının atalet kuvveti, a_t'yi de artırmıştır. Motor parçalarının atalet kuvvetlerinin devre bağlı olarak artması, motor titreşim genlik değerini de artırmaktadır. 2250 d/d'den sonra ise emme için gerekli süre azaldığından dolayı volumetrik verim düşmektedir. Bu nedenle 2750 d/d'de motor zengin karışım ile çalıştığından dolayı, yanma sonu basıncı ve dolayısı ile a_t değeri de azalmıştır. En küçük a_t değeri 1250 d/d'de standart dizel yakıt (B0) ile elde edilirken, 1750 d/d'de B100 ile, sonraki devirlerde B50 yakıtı ile elde edilmiştir. Ayrıca, B15'in TG süresi, diğer yakıtlara göre daha büyük olduğundan dolayı, TG süresi boyunca silindire daha fazla yakıt girmekte ve bu durum silindir içi basınç artış oranını artırmaktadır. B15 yakıtı ile, 1750 d/d'nin haricindeki diğer devirlerde en yüksek a_t elde edilmiştir. Motorlarda titreşime etki eden başlıca unsurlar, motor tasarımı ve kullanılan yakıtın özelliğidir. Yakıtın setan sayısı, parlama noktası, viskozitesi, yağlama özelliği, ısıl özellikleri, fiziksel özellikleri, kimyasal ve moleküler yapısı yanmaya ve dolayısı ile motor

titreşimine etki eden unsurlardır [55]. Biyodizel yakıtlar ağırlıkça yaklaşık %10 oksijen içerir. Genellikle, yakıt enjeksiyon zamanı, setan sayısı ve viskozite motor titreşimini etkileyen önemli unsurlardır [55]. Bu faktörler B50 yakıtı için en iyi yanma şartlarını sağlayarak motorda vuruntuyu azaltmaktadır. Bu nedenle B50 yakıtı ile, deney motoru için 1250 d/d ve 1750 d/d'nin üzerindeki devirlerde en düşük a_t değeri elde edilmiştir. Şekil 4.16'da, farklı oranlardaki yakıt karışımlarının motor devrine bağlı olarak ortalama gürültü emisyon değerlerine olan etkisi verilmiştir.

Şekil 4.16'da görüldüğü gibi, 1750 d/d'ye kadar tüm yakıtlarda motor gürültüsü düşük çıkmakta iken, 1750 d/d'den sonra tüm yakıtlar için motor gürültüsünün arttığı görülmektedir. Tüm yakıtlar için en düşük motor gürültü emisyonları 1250 d/d'de, en büyük motor gürültü emisyonları ise 3250 d/d'da elde edilmiştir.



Şekil 4.16. Farklı oranlarda B100 içerikli yakıtların motor devrine bağlı olarak ortalama gürültü emisyon değerlerine olan etkisi.

İçten yanmalı motorlarda oluşan gürültü seviyesi, enjeksiyon zamanlaması ve tutuşma gecikmesi gibi değişkenlere bağlı olarak değişen silindir içi basınç artış oranına bağlıdır [118]. Tutuşma gecikme süresinin uzaması, yanma olayı öncesi silindir içerisine daha çok yakıt püskürtülmesine sebep olmaktadır. B100 ve karışım yakıtların B0'a kıyasla daha yüksek viskozite değerini barındırmaları, silindirin içerisine püskürtülen yakıtın damlacık çapını büyülterek atomizasyonu kötüleştirmektedir. Bu sebeple 1250 d/d ve sonraki tüm motor devirlerinde, B100 ve tüm karışım yakıtlarda silindir içi basınç artış oranına bağlı olarak genelde daha fazla yanma sonu motor gürültüsü elde edilmiştir [119].

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, B0, B5, B15, B30, B50 ve B100 yakıt karışımlarının tek silindirli bir dizel motorun performans, emisyon, titreşimin ve gürültü karakteristiklerine olan etkileri incelenmiştir. B100 ve karışımlı yakıtların kullanımı ile motor moment ve gücünde standart dizel yakıta kıyasla düşüşler gözlemlenmiştir. B100 içerikli yakıtlardan elde edilen moment ve güç değerleri, dizel yakıtı ile kıyaslandığında dizel yakıttan daha düşük değerler elde edildiği görülmüştür. Standart dizel yakıtın içerisine ilave edilen B100 miktarı artıkça karışım yakıtlarda karışımın oranı nispetinde motor momentinde ve gücünde düşme meydana gelmiştir. Bunun nedeni, bu yakıtların ısıl değerlerinin daha düşük, viskozitesinin ve yoğunluğunun ise daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Bir yakıtın viskozite ve yoğunluğunun yüksek olması, enjektörlerden püskürtülecek yakıtın atomizasyonunda sıkıntılar meydana getirmektedir. Bu durum yakıtın silindir içerisindeki yanma süresinin uzamasına ve motor performans değerlerinin düşmesine neden olacaktır. Tüm yakıtlar için en yüksek özgül yakıt tüketimi, 1250 d/d'de elde edilmiştir. Düşük motor devirlerinde, gücün düşük olması nedeniyle, özgül yakıt tüketimi tüm yakıtlar için yüksektir. Bunun nedeni düşük motor devirlerinde elde edilen güç ile sarfedilen yakıt arasındaki oransal ilişkiden kaynaklanmaktadır. Özgül yakıt tüketiminin, B100 oranına bağlı olarak artmasının sebebi, B100 içerikli yakıtların yoğunluğunun yüksek, ısıl değerlerinin düşük olmasından kaynaklıdır ve aynı enerjiyi sağlayabilmek için de motorun daha fazla B100 içerikli yakıt tüketmesi gerekmektedir. Yakıt içeriğindeki O_2'nin oransal olarak artış göstermesiyle birlikte, emisyonların içeriğindeki O_2 oranıda artmaktadır. B100 karışımlı yakıtların içeriğindeki O_2 oranı, tüm motor devirlerinde B0'a kıyasla daha fazla görülmektedir. Bunun en önemli nedeni, B100'ün içeriğinde oksijenin var olmasıdır. Motorun düşük devirlerinde volumetrik verimin yüksek olması nedeniyle, O_2 miktarı en yüksek değere 1250 d/d'de ulaşmıştır. Tüm devirlerde B0'ın CO emisyonları, karışım yakıtlardan daha fazla çıkmıştır. Bunun temel nedeni ise, biyodizel yakıtların içeriğindeki oksijen miktarının fazla olması ve biyodizelin yüksek oranda H/C oranına sahip olmasıdır. Yüksek motor devirlerinde, yakıtın yanma süresinin kısalması ve volumetrik verimin düşmesinden dolayı tüm yakıtları için CO emisyonları artmıştır. Tüm yakıt karışımları için CO_2 değerleri, motor devrine bağlı olarak artış göstermiştir. Motor devrinin artmasıyla, yanma işleminin gerçekleşmesi için gerekli olan süre

kısalmakta ve hava yakıt karışımında bulunan havanın ortamda fazla olması nedeniyle CO_2 oranında artış meydana gelmiştir. Karışım içeriğindeki B100 oranına bağlı olarak HC emisyonlarının azaldığı görülmektedir. Bu durum B100 içerisindeki karbon oranının düşük, oksijen oranının fazla olmasına bağlı bir durumdur. Bu nedenle, B100 içerisindeki yüksek O_2, zengin bölgelerde yeterli yanmayı temin etmektedir. 1750 d/d'dan sonra yanma odasında oluşan türbülansın artmasına bağlı olarak yanma kalitesi artarak, HC emisyonları düşmektedir. Aynı zamanda yüksek devirlerde, hava hareketleri basınç ve sıcaklık değerlerini artırıp tam ve kısmi oksitlenmeyi tetiklemiştir. Bu nedenle, motor devrinin artmasıyla birlikte tüm yakıtlar için HC emisyonları azalmıştır. Tüm yakıt karışımları için düşük motor devirlerinde lamda değerleri yüksek devirlere göre daha büyüktür. Bu durum düşük motor devrilerinde volumetrik verimin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca motor devri yükseldikçe silindir içerisine daha fazla yakıt gönderilmesiyle birlikte λ değeride küçülmektedir. B100 içerikli yakıtların egzoz gazı sıcaklığı, B0'a göre daha düşüktür. B100, B0'a göre daha fazla O_2 içermektedir. Bu nedenle B100 içerikli yakıtların silindir içi yanma hızları daha yüksektir. Ayrıca, B100 içerikli yakıtların ısıl değerleri, B0'a göre daha düşüktür. Bu nedenle, yakıt karışımları içeriğindeki B100 oranına bağlı egzoz gazı sıcaklıkları tüm devirlerde düşmektedir. B100 içerikli yakıtların ısıl değerleri düşük olduğu için, egzoz gazı sıcaklıkları dizel yakıtına göre düşük çıkmıştır. B100 içerikli yakıtların NO_x miktarları, B0'a göre motorun tüm devirlerinde yüksek çıkmıştır. Aynı motor gücü için, B100 içerikli yakıtların özgül yakıt tüketimi, B0'a göre daha fazladır. B100'ün içeriğindeki oksijen miktarının fazla olması ve yanma esnasında oksitlenmeyi iyileştirmesi, yanma bölgelerinin sayısında artış meydana getirmektedir. Bu nedenle, yüksek sıcaklığın elde edildiği bölgelerin artması NO_x emisyonlarının oluşum hızını artırmaktadır. Biyodizel ile yapılan testlerde, biyodizelin içeriğinde bulunan O_2'nin NO_x emisyonlarının artmasına neden olduğu bildirilmektedir. NO_x değerlerinin düşürülmesi için motor içerisine alınan havanın giriş sıcaklığının düşürülmesi yöntemi, çözüm olarak değerlendirilebilir. Tüm yakıtlar için a_t değeri, 2250 d/d motor devrine kadar hızlıca artıp, daha sonra düşme eğilimine girmiştir. 2750 d/d'de, silindir içi yanma için gerekli süre azaldığından dolayı a_t değeri düşmektedir. 1250 d/d'nin haricindeki diğer tüm devirlerde, B50 ile en küçük a_t değerleri elde edilmiştir. B50 yakıtının deney motorunun titreşim değerini azaltmada en uygun yakıt olduğu sonucuna varılmıştır. B15 yakıtı ile genellikle en yüksek a_t değerleri elde edilmiştir. Tüm yakıtlar için en düşük motor gürültü emisyonları 1250 d/d'de, en büyük motor gürültü emisyonları ise 3250 d/d'da

elde edilmiştir. 1750 d/d motor devrinde, tüm yakıtlarda motor gürültü emisyonları birbirine yakın çıkarken, 2250 d/d ve 2750 d/d motor devrinde de aynı sonuçlar elde edilmiştir. İçten yanmalı motorlarda oluşan gürültü seviyesi, enjeksiyon zamanlaması ve tutuşma gecikmesi gibi değişkenlere bağlı olarak değişen silindir içi basınç artış oranına bağlıdır. B100 ve karışım yakıtların B0'a kıyasla daha yüksek viskozite değerini barındırmaları, silindirin içerisine püskürtülen yakıtın damlacık çapını büyülterek atomizasyonu kötü yönde etkilemektedir. Bu sebeple 1250 d/d ve sonraki tüm motor devirlerinde B100 ve tüm karışım yakıtlarda silindir içi basınç artış oranına bağlı olarak genelde daha fazla yanma sonu motor gürültüsü elde edilmiştir. Motor titreşim genliği ve silindir içi yanma gürültüsünü azaltmanın en etkili yolunun, yakıtın yanma hızının sınırlandırılması olduğu sonucuna varılmıştır. Atık yağların değerlendirilmediğinde, çevreyi kirletici özelliğinin bulunduğu bilinmektedir. Yapılan çalışma ile bu atık yağların biyodizel üretiminde değerlendirilmesiyle, taşıtlarda dizel yakıt ile karıştırılarak kullanılabileceğini göstermektedir. Bu sayede hem çevre için zararlı olan bu kirleticiden kurtulmuş olunacak, hemde ekonomik olarak bir kazanç kapısı açılmış olunacaktır. Ayrıca emisyon değerlerindeki olumlu tarafları biyodizeli cazip kılmaktadır. Üretim maliyeti açısından bakıldığında, atık yağların ekonomik bir değer olarak karşılığının olmadığı görülmektedir. Biyodizel ile motorinin, üretim aşamasında ortaya çıkan maliyetleri kıyaslandığında, aralarında çok büyük ekonomik değer farkı olduğu görülmektedir. Atık yağlardan biyodizel üretiminin yapılması ve üretilen biyodizelin dizel motorlarda kullanılması enerjide dışa bağımlılığı bir nebze azaltacaktır. Sonuçta atık yağlardan biyodizel üretimi hem çevresel hem de maddi yönde faydalar sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

[1] A. Bolat, "Orta segment bir tarım traktöründe biyodizelin motor performansı etkileri ve biyodizelin Türkiye için önemi," Yüksek lisans tezi, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2007.

[2] F. Karaosmanoğlu, "Ekojenerasyon Dünyası," *Kojenerasyon Dergisi*, c.10, ss. 50-56, 2002.

[3] B. Yaşar, M. N. Ören, "Türkiye'de yağlı tohumlardan enerji üretimi ve yağ-enerji güvencesinde yaşanan sıkıntılar," *VIII. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi*, Bursa, Türkiye, 2008, ss.145-154.

[4] J.V. Gerpen, C. L. Peterson and C. E. Goering, "Biodiesel: an alternative fuel for compression ignition engines," *Agricultural Equipment Technology Conference*, Louisville, Kentucky, USA, 2007, pp. 1-22.

[5] S. Albayrak, "Biyodizelin tek silindirli bir dizel motorun performans, emisyon ve titreşimlerine olan etkilerinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2014.

[6] A. R. Tahir, H. M. Lapp and L. C. Buchanan, "Sunflower oil as fuel for compression ignition engines," *Proceedings Of the International Conference On Plant and Vegetable Oils as Fuels*, Holiday Inn Fargo, North Dakota, USA, 1982, pp. 82-91.

[7] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, NewYork, USA: McGraw-Hill, Inc., 1988, pp. 491-558.

[8] S. M. Geyer, M. J. Jacobus ve S. Lestz, "Comparison of diesel engine performance and emissions from neat and transesterified vegetable oils," *Transaction of the ASAE*, 1984, pp. 375-381.

[9] M. Mittelbach, P. Tritthart, "Diesel fuels derived from vegetable oils III. emission test using methyl ester of used frying oil," *Journal of American Oil Chemistry Society*, vol. 65, no. 7, 1988, pp. 1785- 1187.

[10] D. J. Hasset, R. A. Hasan , "Sunflower methyl ester as diesel fuel," *Vegetable Oils Fuels of The International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels***,** North Dakota, USA, 1992, pp. 123-127.

[11] F. Karaosmanoğlu, H.A. Aksoy, "Kullanılmış kızartma atık yağının seyreltme yöntemi ile alternatif yakıt olarak değerlendirilmesi," *6. Enerji Kongresi*, İzmir, Türkiye, 1994, ss. 461-462.

[12] J. Czerwinski, "Performance of hd-dı-diesel engine with addition of ethanol and rapeseed oil," *SAE Technical Paper 940545*, pp. 1-16, 1994.

[13] C. L. Peterson, D. Reece, "Potential of vegetable oils as a transportation fuel," *Pasific Rim TransTech Conference. ASCE (American Society of Civil Engineers) Third İnternational Conference on Applications of Advanced Technologiesin Transportation Engineering*, Seattle, Washington, USA, 1995, pp. 242-248.

[14] K. Schmidt and J. H. V. Gerpen, "The effect of biodiesel fuel composition on diesel combustion and emissions", *SAE Technical Paper 961086*, pp. 1- 14, 1996.

[15] R. Altın, S. Yücesu, “Pamuk yağının dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması ve motor performansının belirlenmesi,” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 12, ss. 117-131, 1999.

[16] R. Radu, Z. Mircea, “The use of sunflower oil in diesel engines,” *SAE Technical Paper 972979*, pp. 1-10, 1997.

[17] A. Srivastava, R. Prasad, “Triglycerides-based diesel fuels,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 4, no. 2, pp. 111-133, 2000.

[18] H. Masjuki, M. Z. Abdulmuin, H. S. Sii, “Indirect injection diesel engine operation on palm oil methyl esters and its emulsions,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers: Part D*, vol.211, no. 4, pp. 291-299, 1997.

[19] W. Wu, T. A. Foglia, W. N. Marmer, R. O. Dunn, C. E. Georing, T. E. Briggs, “Low-temperature property and ergine perforrnance evaluation of ethyl and ısopropyl esters of tallow and grease,” *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 75, no. 9, pp. 1173-1178, 1998.

[20] H. S. Yücesu, R. Altın ve S. Çetinkaya, “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi,” *Turkish Journal of Engineering Environment Science*, c. 25, ss. 39–49, 1999.

[21] F. Karaosmanoglu, G. Kurt, T. Ozaktas, “Direct use of sunflower oil as a compression-ignition engine fuel,” *Energy Sources*, vol. 22, no. 7, pp. 659-672, 2000.

[22] H. T. C. Machacon, S. Shiga, T. Karasawa, H. Nakamura, “Performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with coconut oil-diesel fuel blend,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 20, no. 1, pp. 63-69, 2001.

[23] M. Canakci, “Production of biodiesel from feedstocks with high free fatty acids and its effect on diesel engine performance and emissions,” Ph. D. Thesis, Mechanical Engineering, Iowa State University, Iowa, USA, 2001.

[24] G. Antolin, F. V. Tinaut, Y. Briceno, V. Castano, A. Perez and Ramırez, “Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification,” *Biosource Technology*, vol. 83, no. 2, pp. 111-114, 2002.

[25] M. P. Dorado, E. Ballesteros, J. M. Arnal, J. Gomez, F. J. Lopez, “Exhaust emission from a Diesel engine fuelled with transesterifıed waste olive oil,” *Fuel*, vol. 82, no. 11, pp. 1311-1315, 2003.

[26] Y. Ulusoy, Y. Tekin, M. Çetinkaya, F. Karaosmanoğlu, “The engine tests of biodiesel from used frying oils,” *Energy Sources*, vol. 26, no. 10, pp. 927-932, 2004.

[27] İ. Tillem, “Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2005.

[28] A. Çaylak, “Motorin fındık yağı metilesteri karışımının yakıt olarak kullanılmasının motor performansı üzerine etkilerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2006.

[29] A. N. Özsezen, “Atık palmiye yağından üretilen biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyon karakterleri üzerine etkisinin incelenmesi,” Doktora tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2007.

[30] K. Sureshkumar, R. Velraj, R. Ganesan, "Performance and exhaust emission characteristics of a cı engine fueled with pongamia pinnata methly ester (ppme) and ıts blends with diesel," *Renewable Energy*, vol. 33, no. 10, pp. 2294-2302, 2008.

[31] A. N. Özsezen, M. Çanakçı, "Atık kızartma yağından elde edilen metil esterin ön yanma odalı bir dizel motorda kullanımının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 23, no. 2, ss. 395-404, 2008.

[32] B. Ghobadian, H. Rahimi, A. M. Nikbakht, G. Najafi, T. F. Yusaf, "Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network," *Renewable Energy*, vol. 34, no. 4, pp. 976- 982, 2009.

[33] İ. A. Reşitoğlu, "Atık yağlardan üretilmiş biyodizelin dizel motor performans ve emisyonuna etkisinin deneysel olarak araştırılması," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye, 2010.

[34] R. Behçet, A. V. Çakmak, S. Aydın, C. İlkılıç ve H. Aydın , "Atık kızartma yağı metil esterinin bir dizel motorunda motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması," *6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Elazığ, Türkiye, 2011, ss. 72-76.

[35] M. Engin, "Atık ayçiçeği yağından biyodizel üretimi ve ön ısıtma uygulaması," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2011.

[36] R. Behçet, S. Aydın, A. V. Çakmak, "Bitkisel ve hayvansal atık yağlardan üretilen biyodizellerin tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak kullanılması," *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 2, s. 4, ss. 55-62, 2012.

[37] S. Çat, **"**Dizel Motorda Atık Biyodizel Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2012.

[38] S. Şahin, "Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması," Yüksek lisans tezi, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2013.

[39] H. Şanlı, "Atık kızartma yağlarının karakterizasyonu ve biyodizel üretiminde değerlendirilmesi," Doktora tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2014.

[40] A. Şahin, "Hardal yağından elde edilen biyodizelin motor performansına etkileri ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2014.

[41] H. Solmaz, "Dört silindirli dört zamanlı bir dizel motorunun dinamik modeli ve titreşimlerinin incelenmesi," Doktora tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.

[42] N. Aktürk, Y. Ünal, "Gürültü, Gürültüyle Mücadele ve Trafik Gürültüsü," Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bülteni, s. 3, ss. 21–32, 1998.

[43] N. Aktürk, ve M. Gürpınar, "Çevresel ulaşım gürültüsünün trafik planlaması yönünden incelenmesi", Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2001, ss. 346-359.

[44] İ. Çetin, M. Eroğlu, N. Aktürk, "Taşıt motorlarının neden olduğu gürültü," Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi ve Fuarı, Ankara, Türkiye, 2002, ss. 1-13.

[45] J. P. D. Hartog, *Mechanical Vibrations*, 3rd ed., Dover publications, inc. Newyork, USA: McGraw-Hill, 1947, pp. 103-266.

[46] R. Wang, "A Study of Vibration Isolation of Engine Mount System," MsD Thesis, The Department of Mechanical and Industrial Engineering, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada, 2005.

[47] C. F. Taylor, *The Internal Combustion Engine in Theory and Practice*, 2nd ed., Vol. 2, Massachusetts, USA: The M.I.T. Press, 1985, pp. 240-297.

[48] A. S. Rangwala, *Reciprocating Machinery Dynamics*, 1st ed., New Delhi, India: New Age International Publishers, 2006, pp. 162-279.

[49] Y. Yu, N. G. Naganathan, R. V. Dukkipati , "A literature review of automotive vehicle mounting systems," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 36, pp. 123-142, 2001.

[50] A. Boysal ve H. Rahnejat, "A torsional vibration analysis of a multi-body single cylinder ınternal combustion engine model," *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 21, 481-493, 1997.

[51] M. De la Cruz, S. Theodossiades, H. Rahnejat, "An investigation of manual transmission drive rattle," *Journal of Multi-Body Dynamics*, vol. 224, pp. 167-181, 2009.

[52] C. Drugă, D. Barbu, S. Lache, "Vibration And The Human Body," *Fascicle of Management and Technological Engineering*, vol. 6, s. 16, pp. 168-173, 2007.

[53] I. Hostens, H. Ramon, "Descriptive analysis of combine cabin vibrations and their effect on the human body," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 266, no. 3, pp. 453-464, 2003.

[54] A. Taghizadeh, T. Tavakoli, B. Ghobadian, "Analysis and evaluation of vibrations of power tiller in the stationary condition," *Iranian Biosys Eng*, vol. 41, pp. 27-37, 2010.

[55] A. Taghizadeh, B. Ghobadian, T. Tavakoli, S. Mohtasebi, "Vibration analysis of a diesel engine using biodiesel and petrodiesel fuel blends," *Sci Verse Science Direct*, vol. 102, pp. 414-422, 2012.

[56] Ş. Aytaç, "Küçük güçlü bir dizel motorunda motorin ve bitkisel yağların oransal karışımlarının yakıt olarak kullanılmasında bazı performans değerlerinin saptanması üzerine bir araştırma," Doktora tezi, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 1997.

[57] A. S. Altınsoy, "Biyodizel üretimi, motorlarda kullanımı ve Türkiye'deki kaynakların incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.

[58] A. Demirbas, "Progress and recent trends in biodiesel fuels", *Energy Conversion and Management*, vol. 50, no. 1, pp. 14-34, 2009.

[59] J. Connemann ve J. Fischer "Biodiesel world 2000 First decennium of a biofuel", *International Congress and Expo Lipids, Fats, and Oils*, Würzburg, Germany, 2000, pp. 3-5.

[60] E. M. Shadid, Y. Jamal, "A review of biodiesel as vehicular fuel", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, no. 9, pp. 2484-2494, 2008.

[61] Ç. Deniz, "Biyodizel dizel karışımlarının bazı fiziksel özelliklerinin biyodizel oranı ile değişimi," Yüksek lisans tezi, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2013

[62] T. Krawczyk, "Biodiesel-Alternative fuel makes inroad but hurdles remain" *INFORM 7*, 1996, pp. 801-829.

[63] M. Yıldız, "Atık yağlardan biyodizel üretimi ve karakterizasyonu," Yüksek lisans tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 2008.

[64] G. Knothe, K. Jurgen, J. V. Garpen, *The Biodiesel Handbook*, 1st ed., Campaign, Illinois, USA: AOCS Pres, 2005, pp.1-303.

[65] Van Gerpen, J., "Business Management for Biodiesel Producers", *National Renewable Energy Laboratory*, Colorado, USA, Subcontractor Rep. NREL/SR-510-36242, 2004.

[66] A. R. Tahir, H. M. Lapp, L. C. Buchanan, "Sunflower oil as a fuel for compression ıgnition engines", *Vegetable oils Fuels Processing of The International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuel*, ASAE, 1982, pp. 82-91.

[67] Ö. Fedai, "Transesterifikasyon ile kanola yağı metil esteri sentezinin optimizasyonu," Yüksek lisans tezi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.

[68] Anonim, (2016, 02 Şubat). [Online]. Erişim: htpp://www.yildiz.edu.tr/~oscg/AlanegitimindeBitirmeProjeleri/Biodizel.pdf/

[69] A. Demirbas, "Fuelwood characteristics of six indigenous wood species from Eastern Black Sea Region," *Energy Sources* vol. 25, pp. 309–316, 2003.

[70] G. Knothe, R. O. Dunn, M. O. Bagby, "Biodiesel: The use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels, Oil Chemical Research," National Center for Agricultural Utilization Research, Agricultural Research Service, U.S Department of Agriculture, U.S.A., 1996.

[71] A. Yiğit, "Dizel motorlarda kanola yağı metil esteri kullanımının performans ve emisyonlara etkileri," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2009.

[72] A. Sabancı, M. Atal, A. Yaşar, " Türkiye'de biyodizel kullanım ve olanakları," *Tarım makinaları bilim dergisi*, c. 2, s. 1, ss. 33-39, 2006.

[73] Anonim, (2016, 02 Şubat). [Online]. Erişim: http://www.albiyobir.org.tr/dunyada_b.htm

[74] G. Pahl foreword by Bill McKibben, **"***Biodiesel, growing a new energy economy*," 1st ed., White River Junction,Vt, USA, Chelsea Green Pub. Co., 2005.

[75] A. Işığıgür, "Türkiye kökenli aspir tohum yağlarının transesterifikasyonu ve dizel yakıt alternatifi olarak değerlendirilmesi," Yayınlanmamış doktora tezi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1992.

[76] A.B. Kafadar, "Yağlardan biyodizel eldesine etki eden faktörlerin araştırılması," Doktora tezi, Kimya Anabilim Dalı, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye, 2010.

[77] B. T. Top, “Biyodizel,” Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, Tepge Bakış, Aralık 2011 / ISSN: 1303–8346 / Nüsha: 1

[78] A. K. Eliçin, “Biyodizel yakıtla çalıştırılan küçük güçlü bir dizel motorun performans ve emisyonuna giriş hava basıncı etkisinin deneysel olarak araştırılması,” Doktora tezi, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2011.

[79] Anonim, (2016, 06 Şubat). [Online]. Erişim: http://www.dbtarimsalenerji.com.tr/ıcerik.aspx?cat=42&sub_cat=42&id=44

[80] Anonim, (2016, 06 Şubat). [Online]. Erişim: http://biodizel.tr.gg/Biodizel.htm

[81] A. Dinçbaş, “Biyodizel kullanımının dizel motoru üzerindeki etkilerinin uzun süreli testlerle ve motorinle karşılaştırmalı olarak incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2007.

[82] C. S. Lee, S. W. Park and S. I. Kwon, “An experimental study on the atomization and combustion characteristics of biodiesel-blended fuels,” *Energy&Fuels*, vol. 19, pp. 2201- 2208, 2005.

[83] B. Alpgiray, “Kanola yağının diesel motorunun performans ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi,” Yüksek lisans tezi, Tarım makinaları Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.

[84] J. V. Gerpen, B. Shanks, R. Pruszko, D. Clements, G. Knothe, “Biodiesel production technology,” National Renewable Energy Laboratory, Colarado, USA, Subcontractor Rep. NREL/SR-510-36244, 2004.

[85] T. Ölçüm, “Biyodizel teknolojisi,” Yüksek lisans tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.

[86] S. Nişancı, “Biyodizel yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin deneysel araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Muhendisliği Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.

[87] Anonim, (2016, 06 Şubat). [Online]. Erişim: http://biyokure.org/biyodizelin-yakit-ozellikleri/5464/

[88] Ş. Karahan, “Biyodizel kalitesi ve biyodizel kalitesinin dizel motorlara etkileri,” *Tübitak MAM Enerji Enstitüsü*, 2007, ss. 1-61.

[89] H. Öğüt ve H. Oğuz, “Üçüncü milenyum yakıtı,” 2. Baskı. Ankara, Türkiye, Nobel Akademik Yayıncılık, 2006, ss.1-190.

[90] Z. Şen, F. Karaosmanoğlu, A. D. Şahin, A. Öztopal, M. Çetinkaya M, *V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2004.

[91] A. Akyarlı, "Biyodizel yakıtının uluslararası standartlarda üretimi", *Biyoenerji Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 2004, ss. 1-11.

[92] O. Çıldır, M. Çanakçı, “Çesitli bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde katalizör ve alkol miktarının yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 21, s. 2, ss. 367-372, 2006.

[93] Ş. Karahan, “Biyodizel kalitesi ve biyodizel kalitesinin dizel motorlara etkisi,” *Ulusal Biyodizel Sunuştayı*, Ankara, 2006.

[94] H. Jianbo, D. Zexue, L. Changxiu, M. Enze, “Study on the lubrication properties of biodiesel as fuel lubricity enhancers,” *Fuel*, vol. 84, no. 12-13, pp. 1601–1606, 2005.

[95] M. Karabektaş, "Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak biyodizel kullanımının motor performansına etkisi," Doktora tezi, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2002.

[96] C. Demir. (2015, 15 Şubat). Biyodizel standartları ve analiz yöntemleri. [Online]. Erişim: www.albiyobir.org.tr/files/img_etk/e06-1008-cevdetdemir.ppt.

[97] A. N. Özsezen, M. Çanakçı, "Türkiyede ve dünyada enerji tüketimi," *Biyodizel GAP V. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı*, Şanlıurfa, Türkiye, 2006, ss. 415-422.

[98] J. B. Gonsalves, "An assessment of the biofuels industry in India", *United Nations Conference on Trade and Development*, Genova, Italy, 2006, pp. 1-42.

[99] P. Elmas. (2016, 19 Şubat). Umudumuz biyodizel. [Online]. Erişim: http://www.izto.org.tr/Portals/0/IztoGenel/Dokumanlar/umudumuz_biodizel_p_elmas_26.04.2012%2022-45-41.pdf.

[100] M. Narin, "Dünyada ve Türkiye'de enerji tarımı," *2. Ulusal İktisat Kongresi*, Deü İbf İktisat Bölümü, İzmir, Türkiye, 2008.

[101] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi 2013 Çalışma Grubu "Enerji raporu 2013" Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye, Rap. DEK-TMK Yayın No: 0022, 2014.

[102] Ö. Aybastıer, "Bitkisel atık yağların karakterizasyonu ve biyodizel üretiminde değerlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Kimya Ana Bilim Dalı, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2010.

[103] Anonim, (2016, 21 Mart). [Online]. Erişim: http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx

[104] A. Altuntaş, "Hardal yağı biyodizelinde depolama süresi ve şartlarının yakıt özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2006.

[105] M. D. Redel-Macias, S. Pinzi, D. Leiva, A. J. Cubero-Atienza, M. P. Dorado "Air and noise pollution of a diesel engine fueled with olive pomace oil methyl ester and petrodiesel blends," *Fuel*, Vol. 95, no. 1, pp. 615–621, 2012.

[106] S. Özer, E. Vural, B. Özdalyan, "Dizel motorlarında kanola yağı metil esteri – dizel yakıtı karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri," *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 9-18, 2011.

[107] İ. Sugözü, F. Aksoy, S. A. Baydır, "Bir dizel motorunda ayçiçeği metil esteri kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisi," *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 6, s. 2, ss. 49-56, 2009.

[108] S. S. Örnek, "Dizel motorlarda biyodizel kullanımının egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2007.

[109] A. Kutlar, M. Ergeneman, H. Arslan, M. Mutlu, "Taşıt egzozundan kaynaklanan kirleticiler," İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 1998, ss.1-112.

[110] A. A. Abdel-Rahman, "On the emissions from internal-combustion engines: a review," *International Journal of Energy Research*, vol. 22, no. 6, pp. 483-513, 1998.

[111] M. Canakci, H. Sanli, "An assessment about the reasons of NO_x rise in biodiesel's exhaust emissions," *Journal of Naval Science and Engineering*, vol. 3, pp. 81-92, 2005.

[112] M. Canakci, "NO_x emissions of biodiesel as an alternative diesel fuel," *International Journal of Vehicle Design*, vol. 50, no. 1-4, pp. 213-228, 2009.

[113] A. N. Özsezen, M. Çanakçı, "Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c.15, s. 2, ss. 173-180, 2009.

[114] C. Haşimoğlu, "Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi," Doktora Tezi, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Sakarya Üniversitesi, 2005.

[115] A. Keskin, "Tall yağı esaslı biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretimi ve bunların dizel motor performansı üzerindeki etkileri," Doktora Tezi, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi, 2005.

[116] C. Haşimoğlu, İ. Özsert, Y. İçingür, "Biyodizel yakıtlı düşük ısı kayıplı bir dizel motorunun tam yük egzoz emisyon karakteristikleri," *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 6, s. 3, ss. 11-18, 2009.

[117] H. Saruhan, "Experimental analysis of maximum valve lift effects in cam-follower system for internal combustion engines," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 28, no. 9, pp. 3443–3448, 2014.

[118] M. F. Russell, R. Haworth, "Combustion noise from high speed direct injection diesel engines," *SAE Technical Paper 850973*, pp. 1-22, 1985.

[119] Y. Haik, M. Y. E. Selim, T. Abdulrehman, "Combustion of algae oil methyl ester in an indirect injection diesel engine," *Energy*, Vol. 36, no. 3, pp. 1827-1835, 2011.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Necdet ALÇELİK

Doğum Tarihi ve Yeri : 1972-Düzce

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : nejdethredsteel@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2017
Lisans	Otomotiv Teknolojisi Eğitimi	Marmara Üniversitesi	1997
Önlisans	İklimlendirme ve Soğutma	İstanbul Teknik Üniversitesi	1993
Lise	Motor	Düzce Endüstri Meslek Lisesi	1989