



**T.C.**  
**MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİZEL YAKITINA ATIK YAĞ/ DIETHYLENE  
GLYCOL BUTYL ETHER İLAVESİNİN  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Cem Cenab ÖZEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim  
Dalı**

**Temmuz-2022**  
**MUŞ**  
**Her Hakkı Saklıdır**



**T.C.**  
**MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİZEL YAKITINA ATIK YAĞ/ DIETHYLENE  
GLYCOL BUTYL ETHER İLAVESİNİN  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Cem Cenab ÖZEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim  
Dalı**

**Danışman: Doç.Dr. Salih ÖZER**

**Temmuz-2022**  
**MUŞ**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL ve ONAYI

Cem Cenab ÖZEN tarafından hazırlanan “Dizel Yakıtına Atık Yağ/ Diethylene Glycol Butyl Ether İlavesinin Etkilerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması .../.../2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Üsame Demir  
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği

.....

#### Danışman

Doç. Dr. Salih ÖZER  
Muş Alparslan Üniversitesi,  
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,  
Makina Mühendisliği

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKÇAY  
Muş Alparslan Üniversitesi,  
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,  
Makine Mühendisliği

.....

Yukarıdaki sonuç;  
Enstitü Yönetim Kurulu ...../...../..... Tarih ve ...../..... nolu kararı  
ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Sedat BOZARI  
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Muş Alparslan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından Bap-21-MMF-4902-02 nolu proje ile desteklenmiştir.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Cem Cenab ÖZEN

Tarih: 01.06.2022

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## DİZEL YAKITINA ATIK YAĞ/ DIETHYLENE GLYCOL BUTYL ETHER İLAVESİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

**Cem Cenab ÖZEN**

**Muş Alparslan Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Salih ÖZER**

Sürekli artan enerji talebi, azalan fosil yakıt yatakları, ulusal güvenlik ve küresel ısınma ve daha yüksek hava kirliliği seviyeleri gibi çevresel konular yenilenebilir yakıtlara geçişi gerektirmektedir. Bu nedenle akademik çalışmalar son yıllarda fosil yakıtlar için daha temiz, daha güvenli, sürdürülebilir ve yenilenebilir yakıtların kullanılması üzerine odaklanmaktadır. Bu yakıtlar içerisinde atık olarak görülen kaynaklardan enerji üretilmesi ise önemli bir yer tutmaktadır. Bu sayede atıklar dolaylı yoldan da olsa ülke ekonomisine kazandırılmakta hem de enerji kaynaklarına alternatifler oluşturmaktadır. İkincil kaynak olarak atık bitkisel yağlar önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Çünkü dizel motorun ilk patentinden bu yana bitkisel yada hayvansal yağlar dizel motorlarında enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Hal böyle olunca atık yağlar önemli bir enerji kaynağı potansiyeline sahiptir. Dünya üzerinde son yıllarda yerli ve milli kaynaklarla üretilebilen biyodizel fosil kökenli yakıtların yerini alacak önemli bir yakıt kaynağı olarak görülmektedir. Hatta bir çok ülke dizel yakıtının içerisine belirli oranlarda karıştırdığı yakıt harmanlı karışımlarını ticari olarak satışa sunmaktadır. Bu şekilde fosil kökenli yakıtlara bağımlı olan ülkeler yurt dışına olan bağımlılıklarını azaltmayı hedeflemektedir.

Biyodizel bitkisel, hayvansal yada ikincil yağların bir alkol ile termokimyasal olarak işleme tabi tutulması sonucunda içten yanmalı motorlarda kullanılacak bir yakıt türüne dönüştürülmesi sonucunda üretilen motorlu araçlar için üretilmiş yakıt türüdür. Bu işlem ham bitkisel yağlar ile uygulanabildiği gibi atık yağların kullanımı ile de üretilmektedir. Fakat son yıllarda artan gıda ihtiyaçları nedeniyle tarım arazilerinin enerji tarımı amaçlı kullanımı endişeleri artmaktadır. Bu nedenle ikincil ürünlerden enerji üretimi daha çok ön plana çıkmaya başlamıştır. Bu durumda atık yağlardan elde edilecek motorlu taşıt yakıtları daha çok ön plana çıkmaktadır. Biyodizel üretimi maliyetli ve teknik bilgi gerektirmektedir. Bu nedenle enerji üretim maliyetleri artış olmaktadır. Bunun için atık yağların biyodizel üretilmeden doğrudan kullanımı ile ilgili yeni yolların üretilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Bu yüksek lisans tezi de mikro emülsiyon yöntemi ile atık yağların kullanımı amaçlamaktadır. Bunun için elde edilen atık yağlar Muş Alparslan Üniversitesi yemekhanesinden elde edilmiştir. Elde edilen atık yağlar öncelikle kalın bir filtreden sonrasında ise yakıt filtresinden geçirilmiştir. Elde edilen atık yağlar 110 °C sıcaklıkta ısıtılarak içerisindeki suyun uzaklaştırılması sağlanmıştır. Sonrasında elde edilen atık yağlar dizel yakıtının içerisinde hacimce %10 oranında atık yağ ilave edilerek DAG yakıt karışımı oluşturulmuştur. Sonrasında bu yakıt karışımlarının içerisine hacimce %5 (DAGD5), %10 (DAGD10) ve %20 (DAGD20) oranında Dietilen glikol butil ether ilave edilerek yeni yakıt karışımları oluşturulmuştur. Elde edilen karışımların viskozite, yoğunluk ve ısıl değerleri Malatya İnnü üniversitesinde analiz ettirilmiştir.

Elde edilen yakıt karışımları 24 saat boyunca bekletilmiş ve çökelme olmadığı görülmüştür. Sonrasında motor deneylerine geçilmiştir. Motor deneyleri Muş Alparslan Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü motor test laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Motor deneyleri için motor 3000 d/dak sabit motor hızında ve %20, %40, %60 ve %80 motor yükünde her bir yakıt karışımı ile

tekrarlanmıştır. Motor deneyleri sırasında motorun egzoz gaz sıcaklığı, egzoz gaz emisyon değerleri (CO, HC, CO<sub>2</sub>, is ) ile yakıt tüketim değerleri kayıt altına alınmıştır. Elde edilen veriler grafik haline getirilmiş ve tez içerisinde tartışılmıştır. Dizel yakıtına atık yağ ilavesi ile birlikte özgül yakıt tüketim (ÖYT), CO, HC ve is emisyonları değeri artış göstermiş, CO<sub>2</sub> emisyonları azalma eğilimi göstermiştir. Bunun yanında dizel yakıtı/atık yağ ilavesine Diethilen butil ether ilavesi ile birlikte ise artış gösteren yakıt tüketim değeri, CO, CO<sub>2</sub>, is ve HC emisyonlarında ise düşmeler ve iyileşmeler göstermiştir.

**2022, 86 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Diethylene Glycol Butyl Ether, Dizel Yakıtı, Egzoz Emisyonları, Dizel Motorlar, İçten Yanmalı Motorlar



## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **EFFECTS OF ADDITIONAL WASTE OIL ADDITIONAL DIETHYL GLYCOL BUTYL ETHER TO DIESEL FUEL**

**Cem Cenab ÖZEN**

**Muş Alparslan University  
Natural and Applied Science  
Department of Nuclear Energy and Energy Systems**

**Advisor: Assoc. Prof. Salih ÖZER**

Environmental issues such as ever-increasing energy demand, dwindling fossil fuel deposits, national security and global warming, and higher levels of air pollution necessitate a shift to renewable fuels. For this reason, academic studies have been focusing on the use of cleaner, safer, sustainable and renewable fuels for fossil fuels in recent years. In these fuels, energy production from sources that are considered waste takes an important place. In this way, waste is brought to the national economy, albeit indirectly, and also creates alternatives to energy sources. Waste vegetable oils as a secondary source are considered to be an important energy source. Because vegetable or animal fats have been used as an energy source in diesel engines since the first patent for a diesel engine. As such, waste oils have an important energy source potential. Biodiesel, which can be produced with domestic and national resources in recent years, is seen as an important fuel source to replace fossil fuels. In fact, many countries offer fuel blended mixtures that are mixed in certain proportions of diesel fuel for commercial sale. In this way, countries that are dependent on fossil fuels aim to reduce their dependence on abroad.

Biodiesel is a type of fuel produced for motor vehicles produced as a result of converting vegetable, animal or secondary oils into a type of fuel that can be used in internal combustion engines as a result of thermochemical treatment with alcohol. This process can be applied with raw vegetable oils, as well as produced with the use of waste oils. However, in recent years, due to increasing food needs, concerns have been growing about the use of agricultural land for energy agriculture purposes. Therefore, energy production from secondary products has become more prominent. In this case, motor vehicle fuels that will be obtained from waste oils are more prominent. Biodiesel production is costly and requires technical knowledge. Therefore, the increase in energy production costs occurs. For this, it is necessary to produce new ways of directly using waste oils without producing biodiesel.

This master's thesis is also aimed at the use of waste oils by the micro-emulsion method. The waste oils obtained for this purpose were obtained from the dining hall of Muş Alparslan University. The resulting waste oils were first passed through a thick filter, and then through a fuel filter. The resulting waste oils were heated at a temperature of 110 °C and the water in them was removed. After that, the waste oils obtained were added to the diesel fuel by 10% waste oil by volume and a DAG fuel mixture was formed. After that, new fuel mixtures were created by adding Glycol Butyl Ether at a rate of 5% (DAGD5), 10% (DAGD10) and 20% (DAGD20) by volume to these fuel mixtures. The viscosity, density and thermal values of the obtained mixtures were analyzed at Malatya İnönü University.

The resulting fuel mixtures were kept for 24 hours and no precipitation was observed. After that, engine experiments were started. Engine experiments were carried out in the engine test laboratory of the Department of Mechanical Engineering of Muş Alparslan University. For engine experiments, the engine was repeated with each fuel mixture at a constant engine speed of 3000 rpm and an engine load of 20%, 40%, 60% and 80%. During the engine experiments, the exhaust gas temperature, exhaust gas emission values (CO, HC, CO<sub>2</sub>, is) and fuel consumption values of the engine were recorded. The data obtained

were graphed and discussed in the thesis. Along with the addition of waste oil to diesel fuel, the value of specific fuel consumption (SFC), CO, HC and IS emissions has increased, and CO<sub>2</sub> emissions have shown a tendency to decrease. In addition, with the addition of diethylene glycol butyl ether to diesel fuel / waste oil, the fuel consumption value increased, and CO, CO<sub>2</sub>, IS and HC emissions decreased and improved.

**2022, 86 Pages**

**Keywords:** Diethylene Glycol Butyl Ether, Diesel Fuel, Exhaust Emissions, Diesel Engines, Internal Combustion Engines



## ÖNSÖZ

Bu çalışma 2022 yılında Rusya-Ukrayna savaşı ile patlak vermesinden sonra tüm dünyayı ilgilendiren enerji krizinde yerel ve milli kaynakların varlığının ne kadar önemli olduğunu ifade etmeye çalışmaktadır. Ayrıca sürdürülebilir bir çevre ve enerji ilişkisinde biyokütle yakıtlarının özellikle atıkların değerlendirilmesindeki önemine vurgu yapmaktadır.

Ülkemiz açısından tüm motor taşıt kaynaklarını yurt dışından karşılayan ülkemizdeki atık yağların motorlu araçlarda değerlendirilebilmesi açısından önem arz etmektedir. Bunun yanında atık yağların değerlendirilmesi sağlanmış olunacaktır.

Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı Yüksek Lisans programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmamın yürütülmesinde ve hazırlanmasında her konuda bildiklerini paylaşarak değerli katkılarını sağlayan tez danışmanım Doç. Dr. Salih ÖZER'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmamın hazırlanması sırasında her zaman manevi destekleriyle yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Cem Cenab ÖZEN  
MUŞ-2022

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT .....	vi
ÖNSÖZ.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR .....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Dizel Yakıtlar .....	3
1.1.1. Dizel yakıtın özellikleri .....	3
1.2. Dizel Motorlarda Yanma.....	5
1.2.1. Tutuşma gecikmesi.....	7
1.2.1.1. Ani yanma (kontROLSÜZ yanma) safhası .....	8
1.2.2. Kontrollü yanma.....	8
1.2.2.1. Art yanma .....	9
1.3. Dizel Motorlardan Kaynaklanan Egzoz Kirleticileri.....	9
1.3.1. Karbon monoksit (CO).....	11
1.3.2. Azot oksit (NOx).....	11
1.3.3. Hidrokarbonlar (HC) .....	13
1.3.4. İS .....	14
1.4. Dizel Motorlarda Yağlar ve Atık Yağlar.....	15
1.4.1. Atık madeni yağ (şanzıman yağı) oluşumu zararları ve dikkat edilecek hususlar.....	16
1.4.2. Atık madeni yağların (şanzıman yağının) geri kazanımı ile bertarafı .....	17
1.5. Atık Dönüşüm Prosesleri.....	18
1.5.1. Doğrudan yakma .....	19
1.5.2. Gazlaştırma.....	19
1.5.3. Sıvılaştırma.....	20
1.5.4. Piroliz .....	21
1.6. Dizel Motorların Kullanım Alanları ve Önemi .....	22
1.7. Dizel Motorların Olumlu ve Olumsuz Özellikleri .....	22
1.8. Çalışma Sistemleri Açısından Dizel Motorlar.....	23
1.8.1. Emme zamanı .....	23
1.8.2. Sıkıştırma zamanı .....	24
1.8.3. Yanma ve genişleme zamanı .....	25
1.8.4. Egzoz zamanı .....	25
1.9. Dizel Motorlarında Yanma Olayı.....	26
1.9.1. Uzun tutuşma süresi .....	26
1.9.2. Yüksek hızlı yanma (kontROLSÜZ yanma).....	26
1.9.3. Kontrollü yanma.....	26
1.9.4. Gecikmiş yanma .....	27

1.10. Dizel Motorlarda Emisyon Üretimi.....	27
1.10.1. Karbonmonoksit üretimi (CO) .....	28
1.10.2. Azot oksit (NO <sub>x</sub> ) oluşumu .....	28
1.10.3. Partikül Maddelerin Ortaya Çıkma Süreci .....	29
1.11. Dizel Motorlarda Egzoz Emisyonu Ölçüm Yöntemi .....	32
1.11.1. CO ve CO <sub>2</sub> Ölçümü .....	32
1.11.2.NO <sub>x</sub> Ölçüm Yöntemi .....	33
1.11.3. HC Ölçüm Yöntemi.....	34
1.11.4.PM Ölçüm Yöntemleri .....	34
1.12. Dizel Motorlarda Atık Yağ Kullanımı .....	36
1.12.1. Bitkisel Yağlar ve Özellikleri.....	36
1.12.1.1. Seyreltme yöntemi.....	37
1.12.1.2. Piroлиз (ayırıştırma) yöntemi .....	37
1.12.1.3.Mikro emülsiyon oluşturma yöntemi .....	38
1.12.1.4.Transesterifikasyon (Yeniden Esterleşme) yöntemi.....	38
1.12.2.Atık Bitkisel Yağlar ve Ülkemizdeki Durumu.....	42
1.12.2.1.Atık Yağların Çevresel Etkileri .....	44
1.12.3.Bitkisel Atık Yağların Doğrudan Alternatif Motor Yakıtı Olarak Kullanılması .....	45
1.12.3.1.Hammadde olarak atık bitkisel yağlar.....	45
1.12.3.2.Bitkisel Yağ Asitleri.....	46
1.12.4. Bitkisel Yağların Dizel Motorlarda Kullanılabilirliğini İyileştirme Yöntemleri.....	46
1.12.4.1.Püskürtme basıncı ve püskürtme avansı değişimi.....	46
1.12.4.2.İnceltme (seyreltme).....	47
1.12.4.3.Mikro emülsiyon .....	47
1.12.4.4.Proliz .....	47
1.12.4.5.Transesterifikasyon .....	47
1.12.5. Standartlara Uymayan Biyodizelin Dizel Motorlara Etkileri.....	49
1.12.6.Uluslararası Biyodizel Standartları .....	50
1.12.6.1.Dünyada Biyodizel .....	50
1.12.7.Biyodizel Özellikleri .....	50
1.12.7.1.Biyolojik olarak bozunabilirlik .....	50
1.12.7.2.Toksik etki.....	50
1.12.7.3.Depolama.....	51
1.12.7.4.Soğukta akış özellikleri .....	51
1.12.7.5.Motor yakıtı özellikleri.....	51
1.12.8.Dizel Motorlarında Kullanılan Alternatif Yakıtlar Ve Etkileri .....	52
1.12.8.1.Hidrojen.....	52
1.12.8.2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı .....	53
1.12.8.3. Biyogaz.....	53
1.12.8.4. Alkoller.....	54
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>55</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>60</b>
3.1. Atık Kızartma Yağının İşlenmesi.....	60
3.2. Diethylene Glycol Butyl Ether .....	60
3.3. Deney Yakıtlarının Oluşturulması.....	61
3.4. Motor Deney Düzenegi .....	62

3.5. Yakıt Tüketim Değerinin Belirlenmesi .....	64
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....</b>	<b>66</b>
4.1 Özgül Yakıt Tüketim Değer (ÖYT) .....	66
4.2. Egzoz Gaz Sıcaklığı Değerinin Değişimi.....	67
4.2. Azot Oksit (NOx) Emisyonlarının Değişimi.....	68
4.3. Karbonmonoksit (CO) Emisyonlarının Değişimi.....	69
4.4. Karbondioksit CO <sub>2</sub> Emisyonlarının Değişimi .....	70
4.5. Hidrokarbon (HC) Emisyonlarının Değişimi .....	71
4.6. İş Emisyonlarındaki Değişim .....	72
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>74</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>77</b>



## SİMGELER ve KISALTMALAR

### Simgeler

% : Yüzde  
°C : Santigrad Derece

### Kısaltmalar

CO : Karbonmonoksit  
CO<sub>2</sub> : Karbondioksti  
HC : Hidrokarbonlar  
NO<sub>x</sub> : Azot oksitler  
H<sub>2</sub>O : Su



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dizel motorun yanmasının görüntülenmesi .....	5
Şekil 1.2. Dizel motorlarda yanma aşamaları .....	6
Şekil 1.3. Dizel yanma aşamaları .....	8
Şekil 1.4. Dizel yanma aşamaları .....	9
Şekil 1.5. Dizel egzoz gazı bileşimleri .....	10
Şekil 1.6. Atık yağın kaynaklara göre dağılımı .....	18
Şekil 1.7. Piroliz Döngüsü .....	21
Şekil 1.8. Dizel motorun kullanıldığı araçlar .....	22
Şekil 1.9. Emme Zamanı .....	24
Şekil 1.10. Sıkıştırma zamanı .....	24
Şekil 1.11. Dört Zamanlı Motorun Çalışma Aşamaları .....	25
Şekil 1.12. Partikül madde oluşumu .....	30
Şekil 1.13. Dizel Partikül Maddelerin Bileşimi .....	30
Şekil 1.14. Partikül Sayısı Ve Kütle Karşılaştırılması .....	31
Şekil 1.15. Atmosferik Seyreltme .....	32
Şekil 1.16. Dizel Partikül Sayıları Emisyonunun Seyreltme Şartlarına Duyarlılığı- Zaman ve Sıcaklık Etkisi(ağır ticari araç yük ve hız birincil seyreltme oranı) .....	32
Şekil 1.17. Atık yağlardan dolayı tıkanan kanalizasyon .....	44
Şekil 1.18. Bitkisel ve hayvansal atık yağlardan dolayı tıkanan kanal sistemleri görüntüleri .....	45
Şekil 1.19. Bitkisel yağın genel transesterifikasyon denklemi .....	48
Şekil 1.20. Sabun oluşumu .....	48
Şekil 1.21. Ön iyileşme reaksiyonu .....	49
Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik hali .....	62
Şekil 3.2. Egzoz gaz emisyon cihazının resmi .....	64
Şekil 3.3. Hassas terazi .....	65
Şekil 4.1. Özgül yakıt tüketimi değişiminin etkisi .....	66
Şekil 4.2. Özgül yakıt tüketimi değişiminin etkisi .....	67
Şekil 4.3. Azot oksit emisyonlarının değişimi .....	68
Şekil 4.4. Karbonmonoksit emisyonlarının değişimi .....	69
Şekil 4.5. Karbondioksit CO <sub>2</sub> emisyonlarının değişimi .....	70
Şekil 4.6. Hidrokarbon emisyonlarının değişimi .....	71
Şekil 4.7. İS emisyonlarının değişimi .....	73

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Partikül sayı, yüzey ve kütle ilişkisi.....	31
Çizelge 1.2. Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Kullanılabilirlik Yöntemleri.....	37
Çizelge 1.3. Ülkemizde yetiştirilen bitkisel yağlar.....	41
Çizelge 1.4. Yakıt özelliği açısından bitkisel yağlar .....	41
Çizelge 1.5. Ülkemiz yağ Üretim, tüketim ve ithalatı .....	42
Çizelge 1.6. Bitkisel yağ üretimi ile ilgili problemler .....	42
Çizelge 1.7. Bazı Ülkelerde Kişi Başına Yıllık Yağ Tüketimleri .....	43
Çizelge 3.1. Diethylene Glycol Butyl Etherin özellikleri.....	60
Çizelge 3.2. Deney yakıtları .....	61
Çizelge 3.3. Deney yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	62
Çizelge 3.4. Deney motorunun özellikleri.....	63
Çizelge 3.5. Egzoz emisyon cihazı teknik özellikleri.....	63



## 1. GİRİŞ

İnsanlığın var oluşundan beri süregelen en temel ihtiyacı beslenmedir. Gerek biyolojik gerekse mental olarak yaşamın devamı için gerekli bir seviyede beslenme en temel ihtiyacımızdır. Temelde karbonhidratlar, proteinler ve yağlar olmak üzere üç ana başlıkta beslenme çeşitliği vardır. Canlıların yapıtaşı olarak protein, çok çabuk enerjiye çevrilebilen karbonhidratlar ve vücutta depolanabilirliği en yüksek olan yağlardır. Bu üç temel içinde yer alan yağlar hayvansal ve bitkisel kaynaklı olmak üzere iki çeşittir. Hayvansal yağlar, avcı toplulukların kullandığı ve avlanılan hayvanların tüketilmesiyle birlikte vücuda geçen yağ kaynağıdır. Tarihsel olarak bakıldığında insanoğlu önceleri avcıl bir toplum oldukları düşünüldüğünde, ihtiyacı olan yağı hayvanlardan temin ettiği düşünülebilir. Bitkisel yağlar ise özünde yüksek miktarda yağ bulunduran bitkilerin tüketimi ile vücuda geçmektedir. Bir diğer adı da Neolitik Devrim olan Tarım Devrimi ile birlikte toplayıcılığa başlayan insanoğlu, hayvansal yağlar yerine bitkisel yağlarla farkında olmadan tanışmıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte ise bitkisel yağların eldesinin kolaylaşması, hayvansal yağ tüketimi üzerinde ciddi baskı oluşturmuştur. Nüfusun artmasıyla birlikte temel ihtiyaçlardan olan beslenme de daha ucuza ve daha etkili bir şekilde karşılanması gereksinimini doğurmuştur.

Günümüz dünyasında ise ülkelerin büyüme isteği, nüfus artışı, beslenme ve enerji talebini arttırmıştır. Bu etkenler ekonomik olarak kendi kendine yetebilme isteğini doğurmuş özellikle dışa bağımlılığı azaltma anlamında devletler alternatif enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Bunun yanı sıra fosil yakıtların hızla tükenmesi, bu yakıtların dünyamızı aşırı şekilde kirletmesi, enerji hatlarının ve koridorlarının bazı ülkelerin kontrolünde olması, bu bağlamda gelişmek ve büyümek isteyen ülkelerin bu durumdan kurtulma isteği, tüm ülkeleri alternatif enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmıştır. Öyle ki enerji tüketimi bir ülkenin gelişmişlik düzeyini ortaya koymaktadır. Ülkelerin ve toplumların kalkınma düzeyleri ile doğrusal bir ilişkiye sahip olan enerji tüketimi, toplumların refah düzeyleri ve ekonomik büyümelerine bağlı olarak artış gösterebilmektedir (Koç ve Şenel, 2013).

Dünyada günden güne artan nüfus beslenme ihtiyacını artmakta, buna paralel bir şekilde de çevre kirliliği gibi sorunlar insanlığın yüz yüze kaldığı bir problem haline gelmektedir. Protein ve karbonhidratların doğada çözünebilirliği yağlar ile kıyaslandığında çok daha iyi olduğu bir gerçektir, ancak yağ tüketiminin de insanlığın

temel ihtiyacı olduğu gerçeği yok sayılamamaktadır. Üretilmiş yağların kullanıldıktan sonra doğaya olduğu gibi bırakılması gerek toprak gerekse su kirliliği açısından farklı boyutlarda çevre kirliliğine sebebiyet vermektedir. Bu durumun bizden sonra gelecek olan nesil için sürdürülebilirliği de yoktur.

Çevre kirliliğinin insanlığın geleceğini önemli ölçüde etkilememesi hatta bu konunun dünya gündeminden düşürülebilmesi için en etkili yol yağa olan talebin sıfırlanması değil, eldeki kullanılmış yağların yine insanlığın faydasına tekrar farklı bir alanda da olsa kullanılabilir hale getirilmesinden geçmektedir. Yağların içerisinde barındırdığı enerjiden yararlanarak hem insanlığa alternatif bir enerji kaynağı hem de çevre kirliliğinin azaltılması adına kullanılmış yağların yakıt olarak tekrar kullanılması günümüzde popüler bir hale gelmiştir.

Kullanılmış ve atıl hale gelmiş yağların farklı kimyasal süreçlerden geçirilerek alternatif bir yakıt kaynağı olarak kullanılması günümüz teknolojisinde mümkün bir hale gelmiş ve elde edilen ürünün adına “Biyodizel” denilmektedir. Teknik olarak Dizge ve arkadaşları (2005) kanola, ayçiçeği, pamuk, soya fasulyesi, mısır ve safran gibi yağlı tohumlardan üretilen bitkisel ve hayvansal yağların ham ya da rafine hallerinin katalizör (asidik, bazik) vasıtasıyla alkol (metanol ya da etanol) ile reaksiyona girmesiyle elde edilir. 1898’de dizel motorun mucidi alman Rudolph DIESEL yer fıstığı yağını yakıt olarak kullan motorunu Paris Dünya Fuarı’nda sergilemiştir. Bu önemli girişim, ilerleyen zamanlarda bitkisel yağların petrol kadar önemli hale geleceğinin bir göstergesi olarak düşünülebilir.

Enerjide dışa bağımlı olan ülkeler, gelirlerinin büyük kısmını da enerji ihtiyacını kapatabilmek adına ithalat yoluyla dışarıya vermektedir. Hükümetlerin bu açığı giderebilmek adına yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgileri her geçen gün artmaktadır. Bu durum hem enerji kaynaklarını çeşitlendirmede, hem de yenilenebilir kaynaklar üzerinde yoğunlaşmada önemli nedendir (Elmas, 2005). Biyodizel gibi tarıma dayalı enerji kaynakları hem tarım sektörünü hem de enerji sektörün de önemli bir istihdam kaynağı olarak görülebilir (Enerji Kaynakları, 2000).

Bugün, dünya enerjisinin yaklaşık yüzde 20’si yenilenebilir kaynaklardan üretiliyor. Halihazırda fosil yakıtlara bağımlılık yüksektir, ancak yenilenebilir enerji tüketim düzeyi her geçen yıl giderek artmaktadır (Karagöl ve Kavaz, 2017). Böyle dahi

olsa insanların bu konuya bakış açısı, ülkelerin gerekli ciddiyeti ve yatırımlara destek vermemesi yeni tesislerin kurulmasına engel oluşturmaktadır.

Ülkemiz gibi gelişmekte olan ve enerji kaynağı açısından fakir sayılan devletlerin gelişme yolundaki en büyük harcaması haliyle enerji harcamalarıdır. Bu kalemde yapılabilecek tasarrufla farklı sektörler desteklenebilir, farklı yatırımların önü açılabilir. Gelişmekte olan ülkelerin günümüzde mali açıdan yaşadığı sıkıntıların yanına fosil kaynaklı yakıtların kullanımı ile birlikte ileride meydana gelebilecek çevresel sorunlar da öngörülen olumsuzluklardan biridir. Bu bağlamda bu iki olumsuz ana başlığı birbiri ile bertaraf edebilecek çözümlerden birisi atık malzemelerin kullanılması ile elde edilen enerji kaynağıdır.

Konumuz yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde değerlendirileceği için bu enerji kaynakları şöyle sıralanmıştır: Güneş enerjisi, hidrolik, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, dalga gel-git, hidrojen ve biyokütle enerjisi olarak tesbit edilmiştir. Bu enerji kaynakları içerisinde biyokütle enerji kaynaklarından elde edilen biyoyakıtlar önem kazanmaktadır. (Koç ve Şenel, 2013).

## **1.1 Dizel Yakıtlar**

Bu çalışmanın temelini oluşturan dizel yakıtları daha iyi anlamak çalışmayı anlamaya katkı sağlayacaktır. Dizel yakıtların özellikleri hakkında bilginin bilime dayandırılması gerekmektedir. Bu literatür incelemesi, daha önce aşağıdaki konularda denenmiş kapsamlı araştırmaların bazılarını kapsayacaktır. Bunlar; dizel yakıtı özellikleri, dizel motorlarda yanma ve dizel motorlardan kaynaklanan egzoz kirleticileridir.

### **1.1.1 Dizel yakıtın özellikleri**

Dizel yakıt No. 1 esas olarak bileşimi ve özellikleri jet yakıtı ve yakıt yağları üzerindeki monograflarda tartışılan kerosene eşdeğerdir. Normal ve dallı zincirli alkanlar (parafinler), sikloalkanlar (naftenler), aromatikler ve karışık aromatik sikloalkanlar içerir. Normal alkanlar genellikle baskındır ve nispeten yüksek setan sayısına sahip temiz yanan bir dizel yakıt elde edilmesini sağlamaktadır. Setan (n-hekzadekan) dizel motorlarda mükemmel performans sağlar ve setan sayı ölçeğinde keyfi olarak 100 değeri atanmıştır. a- metilnaftalin düşük dizel motor performansı verir ve sıfır değeri atanmıştır (Lane, 1980).

1 numaralı dizel yakıtın kaynama aralığı, büyük ölçüde benzen ve polisiklik aromatik hidrokarbonların varlığını hariç tutar. Çalışma Grubu için konsantrasyonlar hakkında doğrudan veri bulunmamakla birlikte, dizel yakıt No. 1'e yaklaşık olarak eşdeğer olan kerosen normalde % 0.02'den daha az benzen (Conca We, 1985) ve çok düşük seviyelerde üç yedi halkalı polisiklik aromatik hidrokarbonlara (Dukek, 1978).

Kimyasal bileşimin benzerliğinden dolayı, genellikle 2 numaralı dizel yakıt Avrupa otomotiv dizel yakıtları için de geçerlidir. Normal ve dallı zincirli alkanlar (parafinler), sikloalkanlar (naftenler), aromatikler ve karışık aromatik sikloalkanlar içerir. Karışım akışlarının biri veya daha fazlası olarak çatlamış stoklar içermesi muhtemel olduğundan, olefinler ve stirenler gibi karışık aromatik olefin türleri de içerir.

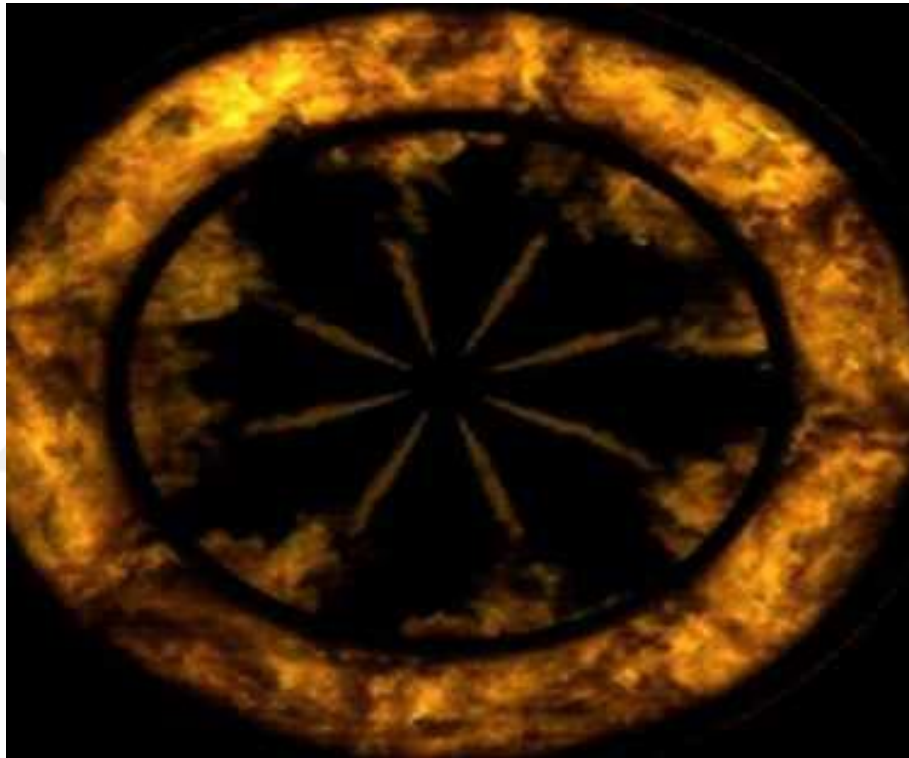
2 numaralı dizel yakıt, ağırlıklı olarak atmosferik damıtma akımlarından oluştuğunda, muhtemelen üç ila yedi üyeli, yoğunlaştırılmış halka aromatik hidrokarbonların % 5'inden azını içerir (Petrol Enstitüsü'nün dimetil sülfoksit ekstraksiyon yöntemi ile ölçülür). Yüksek oranda ağır atmosferik, vakum ve hafif çatlak damıtıkları içeren yakıtlarda, seviye % 10'a kadar çıkabilir (Conca We, 1985). Sorne deniz dizel yakıtları % 10'dan fazla polisiklik aromatik hidrokarbon içerebilir (Conca We, 1985). Dizel yakıtlar ayrıca n-heksan (% 0,1'in altında), benzen (% 0,02'nin altında), toluen, ksilenler ve etil benzen (% 0,25-0,5) gibi az miktarda bileşen içerebilir.

Rafineriler normalde kolay çalıştırma ve sorunsuz motor performansı sağlamak için karışım stoklarını seçer. Bu akışlarda kükürt, azot ve oksijen bileşikleri safsızlıklar olarak bulunur. Ancak bunların varlığı hidro-işlem ve diğer işlemlerle sınırlandırılabilir. 2 numaralı dizel yakıt ve özellikle Avrupa otomotiv dizel yakıtları normalde az miktarda olefin içerdiğinden, ürünün depolamadaki stabilitesi endişe vericidir. Uzun süreli depolama sırasında oluşan yakıt bozunma ürünleri, kirlenmeye yol açabilir. Yüksek sıcaklıklar ve yağda çözünür metal bileşikleri (özellikle bakır içerenler) bozulmayı hızlandırabilir. Suyun varlığında depolanması, çamurla sonuçlanabilecek bakteri üremesini destekler. Rafineriler genellikle kalitesini artırabilir ve koruyabilmesine rağmen dizel yakıtta katkı maddesi kullanmamayı tercih ederler.

Ürünün tutuşma kalitesini artırmak için organik nitratlar gibi setan geliştiriciler ilave edilebilir. Ürünün bozulmasını önlemek için oksidasyon inhibitörleri eklenir; korozyon inhibitörleri ve metal deaktivatörler gerektiği gibi ilave edilebilir. Biyositler bazen depolamadaki bakteri üremesi bir sorun olabileceği zaman kullanılır ve özellikle depolama tesislerinde korozyonu en aza indirmek için pas önleyiciler eklenebilir.

## 1.2 Dizel Motorlarda Yanma

Bir dizel motorda gaz şarjı yakıt enjeksiyonundan önce sıkıştırılır. Sıkıştırma ile elde edilen basınç ve sıcaklık, yakıt enjekte edildiğinde, genellikle Turbo Diesel Common (TDC)'ye yakın olarak otomatik ateşleme yapmaktadır. Ateşleme gerçekleşmeden önce belirli bir gecikme olduğu için bir miktar yakıt veya hava ön karışımı devam etmektedir. Önceden karıştırılmış karışım yanmadan sonra yakıt difüzyon alevlerinde yanar. Şekil 1'de yüksek yükte bir yanma durumunda tamamen geliştirilmiş dizel difüzyon alevlerini göstermektedir.

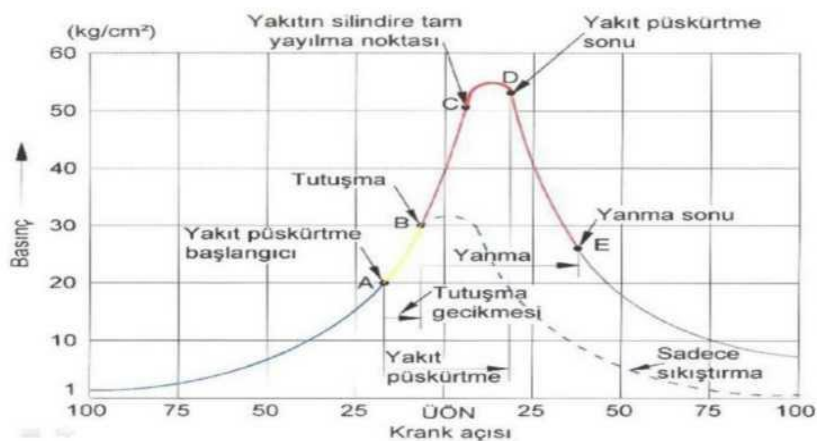


Şekil 1.1. Dizel motorun yanmasının görüntülenmesi

Dizel motor haline gelen şeyin orijinal vizyonu, bir hava yükünün 250 atmosfere sıkıştırılması gerektiği idi. Yakıt daha sonra genişleme stroku sırasında temelde tüm ısının hacimdeki artışla emileceği bir oranda sokulacaktır. Bu nedenle duvarlara ısı transferinin önemsiz olması bekleniyordu. Soğutmaya gerek kalmayacaktı ve çok yüksek bir verimlilik bekleniyordu. Teorik motor çevrimleri sıkça pratikte uygulanan birçok faktör, beklenen performansı oldukça ciddi şekilde bozmuştur (Cummins, 1989; Sass, 1962). Rudolf Diesel, çok iddialı araştırma ve geliştirme çabalarını takiben, pratik olarak ilk kullanışlı motorunu 1893'te inşa ettiğinde, o sırada mevcut olan ortalama ısı motorunun verimliliğinin iki katından daha fazla bir verime sahiptir (Glikin, 1985).

Rudolf Diesel, sıvıya doğrudan kuvvet uygulayarak ve ilk motorundaki bir enjektörle, yani sonraki dizel motorlarda kullanılan yöntemle püskürterek yakıt enjeksiyonu ile deneyler yapmıştır. O sırada mevcut olan donanımda bunun zor olduğu ortaya çıkmış ve ilk dizel motorlar, yakma odasına, yani hava püskürtme enjeksiyon yöntemi olarak yakıt enjekte etmek için basınçlı havaya güvenmek zorunda kalmıştır. Hava basıncı, krank mili tarafından beslenen bir pistonlu kompresör tarafından sağlanmıştır. Bu yöntem için gerekli olan donanım hantal ve pahalıdır. Havanın sıkıştırılabilirliği ve akış kayıpları nedeniyle, bu yaklaşımın enerji verimliliği, bazen katı enjeksiyon olarak adlandırılan doğrudan etkili sistemlerden daha düşüktür. Ancak hava üfleli enjeksiyon yöntemi 1930'lara kadar büyük motorlarda kullanılmıştır (Lindström, 2011).

Geçen yüzyılın başında, katı enjeksiyon kullanılan sistemler ticari olarak kullanılmak üzere yeterince geliştirildi. İlk sistemler pislik pompaları idi. Bu pompalar, helisel kesimli bir manşonun içinde çalışan kamla çalışan bir pompa pistonuna sahiptir. Manşon döndürülerek, pompalama hareketinin etkili uzunluğu değiştirilebilir. Enjekte edilen yakıt kütlelerini ayarlamak için bu sistem, 1990'lı yıllarda elektrikle kontrol edilen birim enjektörlerin gelmesine kadar ağır araç dizel motorları için ana enjeksiyon ekipmanı olan daha sonraki sıralı pompalarda kullanıldı. Daha küçük motorlar için yaygın olarak dağıtıcı pompalar kullanılmıştır (Tonini ve ark., 2006).



**Şekil 1.2.** Dizel motorlarda yanma aşamaları

**Kaynak:** (Charlton, 2007)

Geliştirilmiş kontrol kabiliyetlerine yönelik talepler arttıkça ve enjeksiyon zamanlamasının ayarlanmasına izin veren mekanizmalar tanıtıldığında sıralı pompalar gittikçe daha gelişmiş hale gelmiştir. Turbo şarjlı motorların şarj basıncı birikmesini

beklemelerini sağlamak için enjekte edilen kütleyi artıran duman sınırlayıcılar kullanılabilir hale gelmiştir. Daha sonra yakıt enjeksiyon sistemlerindeki gelişmeler enjeksiyon basıncını arttırmaya ve kontrol kapasitesini geliştirmeye yönelik olmuştur. Daha yeni gelişmeler arasında elektronik kontrollü birim enjektör ve TDCI sistemleri bulunmaktadır. Yakıt enjeksiyon sistemlerinin geliştirilmesi dizel motor performansının gelişiminin önemli bir parçası olmuştur. Yakıt enjeksiyon sistemlerinin performansı bu nedenle yanma sisteminin diğer yönlerinin gelişimi ve kullanılan stratejiler üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

### 1.2.1 Tutuşma gecikmesi

Yanma odasındaki, yakıt enjeksiyonunun başlaması ile yanmanın başlaması arasındaki süre, ateşleme gecikme süresi olarak adlandırılır.

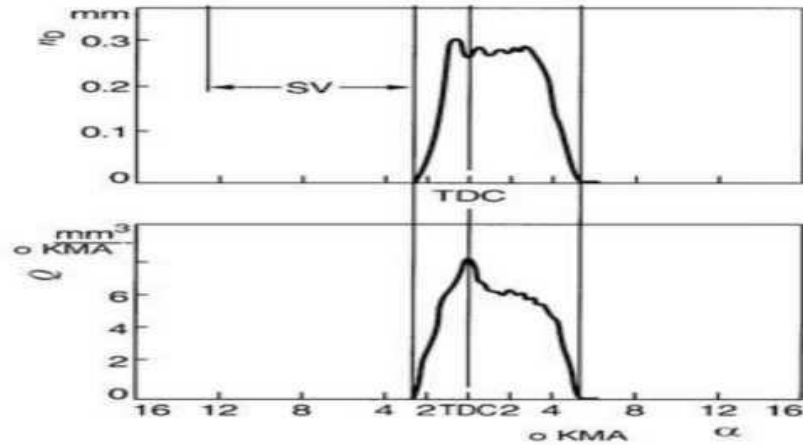
Yanmanın başlaması,  $p$  diyagramındaki eğimdeki değişiklikten veya  $p$  (a) verilerinin ısı salım analizinden veya deneysel koşullarda parlaklık detektöründen belirlenir. Enjeksiyon başlangıcı, enjektör iğnesinin yuvasından kalktığı zamanı kaydetmek için bir iğne kaldırma göstergesi ile belirlenebilir. Yanmanın başlangıcını kesin olarak belirlemek daha zordur. En iyisi, silindir basınç verilerinden belirlenen ısı salınım oranının eğimindeki değişiklikten tanımlanır (Charlton, 2007).

Direk Enjeksiyon (DI) motorlarında ateşleme iyi tanımlanmıştır, İndirek Enjeksiyon (IDI) motorlarında ateşleme noktasının belirlenmesi daha zordur.

Enjekte edilen sıvı yakıtın kimyasal enerjisinin önemli bir kısmı açığa çıkmadan önce hem fiziksel hem de kimyasal süreçler gerçekleştirilmelidir. Fiziksel süreçler; sıvı yakıt jetinin atomizasyonu, yakıt damlacıklarının buharlaştırılması, yakıt buharının hava ile karıştırılmasıdır. Kimyasal işlemler yakıt, hava ve artık gaz karışımının kendiliğinden tutuşmaya yol açan ön reaksiyonlarıdır. Kimyasal gecikme ateşleme gecikme süresi boyunca daha etkilidir (Pickett ve Siebers, 2004a).

Ateşleme gecikme süresi;

- 0,6 ila 3 ms düşük sıkıştırma oranı DI dizel motorlar için,
- 0,4 ile 1 ms yüksek sıkıştırma oranı turboşarjlı DI dizel motorlar için,
- 0,6 ila 1,5 ms IDI dizel motorlar için çok çeşitli çalışma koşullarında gerçekleştirilebilir.



**Şekil 1.3.** Dizel yanma aşamaları  
**Kaynak:** (Pickett ve Siebers, 2006)

### 1.2.1.1 Ani yanma (kontROLSÜZ yanma) safhası

Ateşleme gecikme süresi boyunca yanıcılık sınırları içinde hava ile karışan yakıtın yanması, birkaç krank açısı derecesinde hızlı bir şekilde gerçekleşir - bu aşamada yüksek ısı salınım özellikleri bulunmaktadır.

Ateşleme gecikmesi sırasında yanma odasında toplanan yakıt miktarı çok fazlaysa - yüksek ısı tahliye oranı, dizel vuruşuna neden olan hızlı bir basınç artışıyla sonuçlanır (Pickett ve Siebers, 2004b).

Düşük setan sayısı olan yakıtlar için, uzun ateşleme gecikmesi olan ateşleme, genişleme strokunun sonunda gerçekleşir - eksik yanma, düşük güç çıkışı, zayıf yakıt dönüşüm verimliliği oluşur (Pickett ve Siebers, 2006).

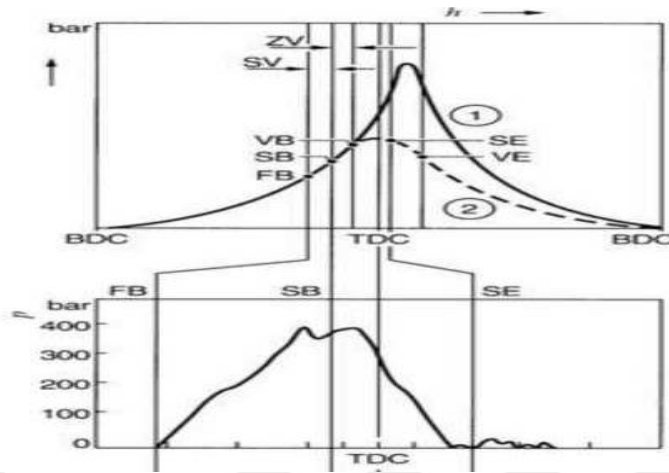
Basınç eğimi 0,4 - 0,5 MPa /°CA aralığındaysa, motor çalışması düzgün değildir ve dizel vuruşu başlamaktadır. Düzgün çalışma için bu değer 0,2 ila 0,3 MPa /°CA arasında olmalıdır (izin verilen maksimum değer 1,0 MPa /°CA'dır).

### 1.2.2 Kontrollü yanma

Ateşleme gecikmesi sırasında önceden karıştırılan yakıt ve hava tüketildikten sonra, yanma oranı (ısı salınım oranı), karışımın yanmaya hazır hale gelme hızı ile kontrol edilir. Bu aşamadaki yanma oranı esas olarak yakıt buharı ve havanın karıştırma işlemi ile kontrol edilir. Sıvı yakıt atomizasyonu, buharlaşma, preflame kimyasal reaksiyonlar da ısı salınım hızını etkiler.

Isı yayılma oranı bazen ikinci bir zirveye ulaşır (büyüklükte daha düşüktür) ve daha sonra faz ilerledikçe azalır. Genellikle düşük partikül (kurum) emisyonları ve

yüksek performans (ve verimlilik) için yanma işleminin TDC yakınında olması arzu edilir.



Şekil 1.4. Dizel yanma aşamaları

Kaynak: (Bosch 2005)

### 1.2.2.1 Art yanma

Isı yayılma oranı genişleme strokuna daha düşük bir oranda devam eder. Bunun birkaç nedeni vardır. Bunlar; yakıtın küçük bir kısmı henüz yanmamış olabilir, enerjinin bir kısmı kurum ve yakıt açısından zengin yanma ürünlerinde bulunur ve serbest bırakılabilir.

Silindir yükü düzgün değildir ve bu aşamada karıştırma daha tam yanmayı ve daha az ayrışan ürün gazlarını teşvik eder. Kinetik daha yavaştır.

## 1.3 Dizel Motorlardan Kaynaklanan Egzoz Kirleticileri

Dizel motor, motor içerisindeki hava ile yakıtın karışmış olduğu otomatik ateşlemeli bir motordur. Yanma adına gerekli olan hava, yanma odası içerisindeki yüksek miktarda sıkıştırılmaktadır. Bu durum, dizel yakıtın silindir içerisine enjekte edilmesinde kendi kendisine tutuşması adına yeterli miktarda yüksek sıcaklıklar üretmektedir. Bu şekilde dizel motor, dizel yakıtta bulunmakta olan kimyasal enerjiyi özgür bırakmak ve de onu mekanik bir kuvvete dönüştürmek adına ısı kullanmaktadır (Bosch 2005).

Karbon ve hidrojen, çoğu fosil yakıt gibi dizel yakıtın kökenini oluşturur. İdeal termodinamik denge için, dizel yakıtın tam yanması sadece motorun yanma odalarında CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O üretecektir (Prasad ve Bella 2010). Bununla birlikte, birçok neden (hava-yakıt oranı, ateşleme zamanlaması, yanma odasındaki türbülans, yanma formu, hava-

yakıt konsantrasyonu, yanma sıcaklığı, vb.) bunu söz konusu yapmaktan çıkarır ve yanma sırasında bir dizi zararlı ürün üretilir. En önemli zararlı ürünler hidrokarbonlar (HC), karbonmonoksit (CO), partikül madde (PM) ve azotoksitler (NOx)'dir.



**Şekil 1.5.** Dizel egzoz gazı bileşimleri  
**Kaynak:** (Khair ve Majewski 2006)

Şekil 1.5, dizel egzoz gazının yaklaşık bileşimini göstermektedir (Khair ve Majewski 2006). Kirletici emisyonları, dizel egzoz gazında % 1'den daha düşük bir orana sahiptir. NOx, %50'den fazla bir oranda en yüksek dizel kirletici emisyon oranına sahiptir. NOx emisyonlarından sonra PM, kirletici emisyonlarında ikinci en yüksek orana sahiptir. Çünkü dizel motorlar yalın yanmalı motorlardır ve CO ve HC konsantrasyonu minimumdur. Ayrıca, kirletici emisyonları yakıtın özelliklerine ve kalitesine bağlı olarak bir SO<sub>2</sub> modu mumunu içerir. Dizel yakıtta bulunan sülfatlar tarafından üretilir. Şimdilik, SO<sub>2</sub>'yi ortadan kaldırmak için katalitik konvertör gibi herhangi bir son işlem sistemi yoktur. Günümüzde, petrol distribütörlerinin ve müşterilerin çoğu SO<sub>2</sub>'nin zararlı etkisini önlemek için dizel motorlar için ultra düşük kükürlü dizel (ULSD) tercih etmektedir (Reşitoğlu ve ark., 2015).

Bu bölümde dizel motordan kaynaklanan dört ana kirletici emisyonu (CO, HC, PM ve NOx) açıklanmaktadır. Her bir emisyon türü ayrı ayrı incelenmekte ve her bir emisyonun çevre ve sağlık sorunları üzerindeki etkileri de ortaya çıkmaktadır.

### 1.3.1 Karbon monoksit (CO)

Karbon monoksit, oksidasyon işleminin tamamen gerçekleşmediği eksik yanmadan kaynaklanır. Bu konsantrasyon büyük ölçüde hava veya yakıt karışımına bağlıdır ve aşırı hava faktörünün (X) zengin karışım olarak sınıflandırılan 1,0'dan düşük olduğu yerlerde en yüksektir (Wu ve ark. 2004). Özellikle zengin karışımların gerekli olduğu motorun başlatılması ve ani hızlanması sırasında ortaya çıkabilir. Zengin karışımlarda, hava eksikliği ve reaktan konsantrasyonu nedeniyle, tüm karbon CO<sub>2</sub>'ye dönüşmemekte ve CO konsantrasyonu oluşturmamaktadır. Zengin karışımlarda operasyon sırasında CO üretilmesine rağmen, kimyasal kinetik etkiler nedeniyle az miktarda CO'da zayıf koşullar altında yayılır (Faiz ve ark. 1996).

Hava/yakıt ( $X > 1$ ) oranı sürekli olarak yüksek olan dizel motorlar, yalın yanmalı motorlardır. Bu durum CO oluşumunun dizel motorlarda minimal düzeyde kalmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, bir dizel motordaki damlacıklar çok büyükse veya yanma odasında yetersiz türbülans veya girdap oluşursa CO üretilir (Demers ve Walters 1999).

Karbon monoksit kokusuz ve renksiz bir gazdır. İnsanlarda, havadaki CO akciğerler tarafından solunur ve kan dolaşımına iletilir. Hemoglobine bağlanır ve oksijen aktarma kapasitesini engeller. Havadaki CO konsantrasyonuna bağlı olarak, boğulmaya yol açtığı için, bu durum farklı organların işlevini etkileyerek konsantrasyon, yavaş refleksler ve karışıklığa neden olabilir (Kampa ve Castanas 2008; Walsh 2011).

### 1.3.2 Azot oksit (NO<sub>x</sub>)

Dizel motorlar yakıtı ateşlemek için yüksek basınçlı sıcak hava kullanır. Esas olarak oksijen ve azottan oluşan hava başlangıçta yanma odasına çekilir. Daha sonra sıkıştırılır ve yakıt, yanma odasındaki sıkıştırma strokunun üst kısmına doğrudan bu basınçlı havaya enjekte edilir. Yakıt yanar ve ısı açığa çıkar. Normalde bu işlemde, havadaki azot yanma odasındaki oksijenle reaksiyona girmemekte ve motordan aynı şekilde yayılır. Bununla birlikte, silindirlerde sıcaklıkların 1600°C'nin üzerine çıkmasıyla birlikte azot oksijenle reaksiyona girer ve NO<sub>x</sub> emisyonları ortaya çıkar. Bu bağlamda, NO<sub>x</sub> oluşumunun temel sebebinin yanmada sürecindeki oksijen sıcaklığı ve konsantrasyonu olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır.

Üretilen NO<sub>x</sub> miktarı, silindirdeki maksimum sıcaklığın, oksijen konsantrasyonlarının ve kalma süresinin bir fonksiyonudur. Yayılan NO<sub>x</sub>'in çoğu, piston hala inme üst kısmına yakın olduğunda yanma işleminin erken aşamalarında oluşur. Bu alev sıcaklığı en yüksek olduğu zamandır. Yanma sıcaklığının artırılması, her 100°C artış için NO<sub>x</sub> miktarını üç kat artırır (Bosch 2005; Lee ve ark. 2013).

Azot oksitler, azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO<sub>2</sub>) olarak adlandırılır. NO, Nox'un % 85-95'ini oluşturur. Atmosferik havada kademeli olarak NO<sub>2</sub>'ye dönüştürülür. NO ve NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> şeklinde ortaya çıkan, kirleticiler arasında birtakım bariz farklılıklar bulunmaktadır. NO renksiz ve kokusuz bir gazdır, NO<sub>2</sub> keskin kokulu kırmızımsı kahverengi bir gazdır (Chong ve ark. 2010; Hoekman ve Robbins 2012).

Karayolu taşımacılığı, NO<sub>x</sub>'un % 40-70'ine katkıda bulunan dünya çapındaki kentsel NO<sub>x</sub> emisyonlarının en önemli nedenidir. Çeşitli araç türleri arasında, NO<sub>x</sub> emisyonlarına en önemli katkıda bulunan dizel araçlardır. Benzinli motorlarla karşılaştırıldığında, sıkıştırma ateşlemeli motorlar oldukları için daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyarlar. Dizel motorlar, başta NO şeklinde olmak üzere mobil kaynaklardan kaynaklanan tüm NO<sub>x</sub> emisyonlarının yaklaşık% 85'inden sorumludur (Lee ve ark.2013; Wang ve ark.2012).

Araçlardan kaynaklanan azot oksit emisyonları büyük miktarda çevresel ve sağlık tehlikesinden sorumludur. NO<sub>x</sub> emisyonları, dünya çapında birçok kalabalık nüfusa sahip kentlerde ozon oluşumu, asitleşme, besin zenginleşmesi ve duman oluşumu gibi önemli sorunların ortaya çıkmasına katkıda bulunmaktadır (Grewe ve ark.2012). NO<sub>x</sub> emisyonları, diğer kirleticilerle kimyasal tepkimeye girerek atmosferde troposferik ozon (fotokimyasal dumanın birincil bileşeni) ve diğer toksik kirleticileri oluşturmaktadır.

NO ve NO<sub>2</sub> toksik maddeler olarak nitelendirilmesine rağmen NO<sub>2</sub>, toksisite açısından NO'dan yaklaşık beş kat daha etkilidir ve insanlarda akciğer hastalıklarının ortaya çıkmasında doğrudan etkili olabilmektedir. Azot dioksit akciğerleri tahriş edebilir ve solunum yolu enfeksiyonuna (grip gibi) karşı daha düşük direnç gösterebilir. NO<sub>x</sub> emisyonları, hem karasal hem de su ekosistemlerini etkileyebilecek asit yağmuru için önemli öncülerdir. Azot dioksit ve havadaki nitrat da görünürlüğü bozan kirletici bulanıklığa katkıda bulunur (Kagawa 2002; Hoefl ve ark.2012).

### 1.3.3 Hidrokarbonlar (HC)

Dizel motorların silindir duvarlarına yakın bölgelerde, sıcaklığın yeterli düzeye ulaşmamasına bağlı olarak yanmamış yakıtlar hidrokarbonların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu noktada, hava-yakıt karışım sıcaklığı silindirin merkezinden önemli ölçüde daha düşüktür (Demers ve Walters 1999; Correa ve Arbilla 2008). Hidrokarbonlar alkanlar, alkenler ve aromatikler gibi binlerce türden oluşur. Normal olarak eşdeğer CH<sub>4</sub> içeriği cinsinden ifade edilirler (Hiroyuki ve ark. 2011).

Dizel motorlar normal olarak düşük seviyelerde hidrokarbon yaymaktadır. Dizel hidrokarbon emisyonları esas olarak hafif yüklerde meydana gelmektedir. Hafif yük hidrokarbon emisyonlarının ana kaynağı zayıf hava-yakıt karışımıdır. Yağsız karışımlarda alev hızları, güç darbesi sırasında yanmanın tamamlanması için çok düşük olabilir veya yanma meydana gelmeyebilir ve bu koşullar yüksek hidrokarbon emisyonlarına neden olmaktadır (Zheng ve ark. 2008).

Dizel motorlarda yakıt tipi, motor ayarı ve tasarımı hidrokarbonların içeriğini etkiler. Ayrıca, egzoz gazındaki HC emisyonları düzensiz çalışma koşullarına bağlıdır. Motor devri, düzensiz enjeksiyon, aşırı meme boşluğu hacimleri ve enjektör iğnesi sıçramasında yüksek seviyelerde ani değişiklik, egzoz içine önemli miktarlarda yanmamış yakıtın geçmesine neden olabilir (Payri ve ark. 2009).

Sıcaklık 600°C'nin üzerindeyse ve oksijen mevcutsa yanmamış hidrokarbonlar egzozda reaksiyona girmeye devam eder, bu nedenle egzoz borusundan gelen hidrokarbon emisyonları silindiri terk eden hidrokarbonlardan önemli ölçüde daha düşük olabilir (Faiz ve ark. 1996).

Hidrokarbon emisyonları sadece araç egzozunda değil, aynı zamanda motor karterinde, yakıt sisteminde ve yakıt dağıtımı ve dağıtımı sırasında buharların atmosferik havalandırmasından kaynaklanır (Faiz ve ark., 1996). Karter hidrokarbon emisyonları ve hidrokarbon emisyonlarının buharlaşma kayıpları sırasıyla% 20-35 ve % 15-25, egzoz borusu hidrokarbon emisyonları toplam hidrokarbon emisyonlarının % 50-60'ına sahiptir (Dhariwal 1997).

Hidrokarbonların çevre ve insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri vardır. Diğer kirlenici emisyonları ile, yer seviyesindeki ozon oluşumunda önemli bir rol oynarlar. Araçlar, ozon oluşturan emisyonların yaklaşık % 50'sinden sorumludur. Hidrokarbonlar solunum yolu tahrişi potansiyeli ile toksiktir ve kansere neden olur (Diaz-Sanchez 1997; Krzyzanowski ve ark., 2005).

### 1.3.4 İis

Egzoz gazlarının içeriğinde bulunan partikül maddelerin yanması sonucunda is emisyonları ortaya çıkmaktadır. Bunlar, kısmen yanmış yakıt, kısmen yanmış madeni yağ, akaryakıtın kül içeriği ve silindir madeni yağ veya sülfatlar ve sudan oluşan çok küçük parçacıkların birikmesinden kaynaklanabilir (Demers ve Walters 1999; Maricq 2007). Çoğu partikül madde yakıt ve madeni yağdaki hidrokarbonların tam olarak yanmamasından kaynaklanmaktadır. Deneysel çalışmalar, ağır hizmet dizel motorlarının tipik parçacık bileşimini %41 karbon, %7 yanmamış yakıt, %25 yanmamış yağ, %14 sülfat ve su ve %13 kül ve diğer bileşenler olarak sınıflandırmıştır (Kittelson 1998). Başka bir çalışmada, PM ortak karbon (= %31), sülfat ve nem (= %14), yanmamış yakıt (= %7), yanmamış yağlama yağı (= %40), artık metaller ve diğer maddeleri tespit etmiştir (Agarwal 2007).

Dizel partikül maddeleri tipik olarak yaklaşık 15-40 nm çapında kürelerdir ve PM'nin yaklaşık % 90'ından fazlası çapı 1 um'den küçüktür. PM emisyonlarının oluşum süreci, yanma ve genleşme süreci, yakıt kalitesi (kükürt ve kül içeriği), yağlama yağı kalitesi ve tüketimi, yanma sıcaklığı, egzoz gazı soğutması gibi birçok faktöre bağlıdır (Burtscher 2005).

Dizel motorlardan gelen partikül madde emisyonları, benzinli motorlardan önemli ölçüde daha yüksektir (altı ila on kat). Dizel partikül emisyonları üç ana bileşene ayrılabilir. Bunlar; kurum, çözünür organik fraksiyon (SOF) ve inorganik fraksiyon (IF). Toplam PM emisyonlarının % 50'sinden fazlası siyah duman olarak görülen kurumdur. SOF, kurum üzerinde adsorbe edilen veya yoğunlaştırılan ağır hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Kısmen yağlama yağından, kısmen yanmamış yakıttan ve kısmen de yanma sırasında oluşan bileşiklerden elde edilir. Egzoz sıcaklıkları düşük olduğunda hafif motor yüklerinde SOF değerleri çok yüksektir (Sarvi ve ark., 2011; Tighe ve ark., 2012).

PM emisyonlarının çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkisini tespit etmek için birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda, bu partiküllerin solunmasının erken ölüm, astım, akciğer kanseri ve diğer kardiyovasküler sorunlar gibi önemli sağlık sorunlarına neden olabileceği belgelenmiştir. Bu emisyonlar hava, su ve toprak kirliliğine katkıda bulunur; binaların kirlenmesi; görünürlükte azalma; tarım verimliliğini etkilemek; küresel iklim değişikliği (Englert 2004; OECD 2002; Michael ve Kleinman 2000).

#### 1.4 Dizel Motorlarda Yağlar ve Atık Yağlar

Atık yağların insan sağlığına ve ekosisteme zarar vermeden depolanması, imha edilmesi ve taşınması gibi atık yağların yönetimine yönelik idari ve teknik standartların belirlenmesinin, ayrıca atık yağların geri dönüşümünün sağlanacağı tesislerin kurulmasının ve politika programlarının oluşturulmasında bu durumun dikkate alınarak teknik ve hukuki boyutlarının düzenlenmesinin atık yağların çevresel zararlarının minimum düzeye düşürülmesinde etkili olabileceği söylenebilir.

Taşıtların belli süre ve mesafeler boyunca kullandıkları şanzıman, diferansiyel transmisyon, dizel ve benzinli motor, gres iki zamanlı motor, hidrolik, fren gibi parçalarında kullanılan yağlar; sistem, açık/kapalı dişli, türbin ile kompresör, sirkülasyon, metal çekme, metal işleme ve kesme, hidrolik kızak, tekstil, ısı transfer, pas ve korozyon, koruyucu ve izolasyon, trafo, ısıl işlem, kalıp, genel amaçlı kağıt makinesi, pnömomatik buhar silindir, endüstriyel ve yatak gresleri ve diğer birtakım özel endüstriyel yağlar ve kalınlaştırıcı, temizleyici koruyucu gibi kontamine yağlar atık yağ olarak nitelendirilmektedir (Englert 2004).

Atık yağlar, Çevre ile Orman Bakanlığı tarafından yayınlanan yönetmelikte üç kategori içinde sınıflandırılmıştır.

- Kategori Atık Yağ: Bu sınıfta yer alan atık yağların içerdiği PCB, toplam ağır metal ve halojen gibi kirleticiler sınır değerlerden daha düşüktür. Bu kategoride bulunan atık yağlardaki PCB, toplam halojen ile ağır metal vs. gibi kirleticiler sınır değerlerin altında bulunmaktadır. Bu kategoride bulunan atık yağların öncelikle rejenerasyon ile rafinasyon yoluyla geri kazanımlarının sağlanması gereklidir. Bu kategorideki yağlar, yönetmeliğin alakalı maddesinde bahsedilen hususlara bağlı olarak enerji geri kazanım niyetiyle kullanılabilir.
- Kategori Atık Yağ: Bakanlık onaylı geri dönüşüm tesislerinde enerji dönüşümü kapsamında kullanıma uygun olan atık yağlar, bu gruptaki yağları oluşturmaktadır. Bu grupta yer alan yağların geri dönüşümde kullanılabilmesi için klorür, toplam 50 ppm PCB ve 2000 ppm halojen değerlerinin altındaki parametrelere sahip olması gerekmektedir.
- Kategori Atık Yağ: Sınır değerinin üzerinde ağır metallere sahip olan bu sınıftaki atık yağlar, klorürle toplam PCB 50 ppm ve halojenler ise 20000 ppm'in üzerinde seyretmektedir. Bu grupta yer alan yağların rafinasyon ve

rejenerasyonla dönüşümü mümkün olmayıp, yakıt olarak kullanılması çevre ve insan sağlığı açısından risk oluşturmaktadır. Bu sınıftaki yağlar lisanslı tehlikeli atık yakma merkezlerinde yakılarak zararsız hale getirilmelidir. Geri dönüşüme uygun olmayan yağ gruplarını oluştururlar.

#### **1.4.1 Atık madeni yağ (şanzıman yağı) oluşumu zararları ve dikkat edilecek hususlar**

Herhangi bir madeni yağ yahut herhangi sentetik yağ sanayisi içinde ya da yağlama amacıyla sanayi harici alanlarda kullanılan yağlar belli bir süre sonra fiziksel ve kimyasal olarak kirlenir ve orijinalliğini kaybeder. Yağ, içinde bulunan katkı maddelerinin kırılması, normal kullanım sürecinde metal aşınmaları, kir, kimyasallar veya suyun karışmasıyla kirlenir ve rengi koyulaştığı için kullanılamaz hale gelir. Yağ zaman içinde uzun kullanım yüzünden performans düzeyi düşer. Motor performansının ve verimliliğinin artırılması amacıyla belli bir süre ya da mesafe kullan yağ, yeni yağ ile değiştirilir.

Teknik önlemler, alınmadığı surette uzun zaman boyunca atık madeni yağ ile haşır neşir olanlarda bu belirtiler ortaya çıkmıştır; ciltte kanser, nefes darlığı, egzamatik sorunlar, cilt renginde bozulmalar, yağ bezleri ve deride çürümeler, baş ağrısı, sinir sistemi hasarlarına bağlı olarak titreme, uzun yıllar (5-35 yıl) benzinle çalışan bireylerin akciğerlerinde ve bronşlarında meydana gelen tahribat sonucunda dinlenmeyi engellen olumsuzluklar, ağır metaller yüzünden oluşan görme bozukluğu, kanserojen etki, unutkanlık, anemi, ayak tabanında siğiller, solunum yollarında tahriş ve gözde tahriş yapar (Aşır, 2009).Çalışma ortamı içinde yağ emisyonu limiti 5 mg/m<sup>3</sup> geçmemelidir.

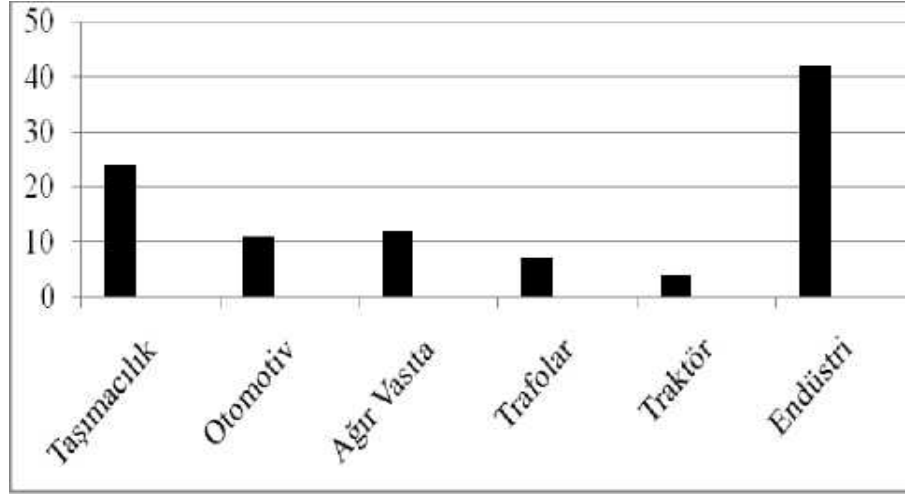
Atık yağların ekotoksik özelliği mevcuttur. Bulunmakta olduğu ortamı kirletir. Ortam içinde yaşayan tüm canlılara zarar verir. Bu sebeple toprakla suya atılmamalıdır. Soba veya küçük fırın vs. gibi yerlerde imha edilmesi yasaktır. Bunun sebebi atık yağ içinde bulunan ağır metal ile klor bileşimleri atık havayla beraber atmosfere salınarak havayı kirletmesi ve insan sağlığına zarar vermesidir. Bir litre yağ, 1000 ton suyu kullanılamaz, 5000 ton suyu içilemez duruma getirir. Bir litre kullanılmış olan motor yağıysa 800.000 ton içme suyunu kullanılamaz duruma getirir. Atık yağlarla ilgili uyarılar;

Yağlar kullanım ömürlerinin tamamlanmasının ardından atık yağlara dönüşür ve ardından çevre ve insan sağlığının korunabilmesi amacıyla yakın çevrede bulunan geçici atık yağ depolama, geri dönüşüm ya da imha tesislerine götürülerek gerekli

birtakım işlemlere tabi tutulur. Atık yağların bu işlemlere tabi tutulabilmesi için temiz ve boş bir kaba konularak ağzı sıkıca kapatılır ya da sızdırmaz, ağzı dar ve yere dökülmesini engelleyecek orijinal kabına geri konulur. Atık yağa muhakkak, deterjan, boya, çözücü, benzin, fuel oil antifriz ya da mazot vs. gibi başka bir sıvı karıştırılmamalıdır, muhakkak kanalizasyon sistemine, çöp konteynerine toprağa, suya, v.b. ortamına dökülmemelidir, soba ile kazanlarda yakılmamalıdır. Yağ filtresi yırtık olmayan, plastik ve yırtılma ile delinmeye dayanak olan polietilen plastik bir torbaya koyulmalıdır. Atık yağı ile yağ filtresi ulu orta herhangi bir yere bırakılmalıdır, bu kaplar, çocuklardan uzak tutulmalıdır ve 24 saatte en yakın atık yağ geçici depolama, geri kazanım yahut nihai bertaraf tesisi içinde sorumlu operatöre ücretsiz şekilde verilmelidir. Çocuklardan uzak tutulmalıdır.

#### **1.4.2 Atık madeni yağların (şanzıman yağının) geri kazanımı ile bertarafı**

Kullanım alanlarına ve amaçlarına göre çeşitli katkı maddeleri ilave edilerek kullanıma sunulan madeni yağlar, kullanım sürecinde gerek katkı maddeleri gerekse de yüksek ısıya bağlı olarak saflığını kaybedebilirler. Atık yağların geri dönüşüme kazandırılması için saflıklarını bozan bu atık maddelerden arındırılması ve yeniden saf hale getirilmesi gerekmektedir. Genel manada yağlarda kullanılan katkı maddeleri homejenizasyon (dispersing), yükseltgenme engelleyici (antioksidant) aşınma önleyici (antiwear), köpük kesici ve yüksek basınç (extreme pressure) mukavemetlerini artırmaya yönelik süksinimidler, pas önleyici (antirust), poliüre, deterjents aminler, fosfatlar, silfonatlar ve naftenatlar gibi çeşitli kükürt, fosfonatlar, kurşun, çinko, sodium, silisyum vb. gibi organometalik bileşiklerden meydana gelmektedir. Atık madeni yağlar, genel anlamıyla otomotiv, tekstil endüstrisi, tarım endüstrisi, makina sanayi ile enerji dağıtım ağından oluşmaktadır. Gelişmiş ülkelerdeki atık yağ kaynakları aşağıda grafiksel olarak verilmiştir.



**Şekil 1.6.** Atık yağın kaynaklara göre dağılımı  
**Kaynak:** (Abnisa ve Wan Daud, 2014)

### 1.5 Atık Dönüşüm Prosesleri

Günümüzde kullanılan yakıtlar ısıtma ve diğer enerji ihtiyaçları için kullanılmaktadır. Bu nedenle, fosil yakıtlara dayalı enerji üretimi çevre kirliliğinin ana nedenidir. Baca gazları, egzoz gazları, sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), hidrokarbonlar ve endüstriyel tesislerden gelen parçacıklar en yaygın kirleticilerdir. Bu kirleticiler 2-7 gün boyunca havada asılı kalmaktadır. Nem ve yağmur suyuyla birleştikten sonra aside dönüşerek asit yağmuru sonucu toprak kirliliğine neden olmaktadır. Aynı şekilde, ağır metaller (Hg, Cd, Al) gibi zehirli endüstriyel atıklar, gıda zinciri ve içme suyu yoluyla bitkiler, hayvanlar ve insanlar üzerinde toksik etkilere neden olarak nem ve asit yağmuru ile reaksiyona girebilirler (Abnisa ve Wan Daud, 2014). Çevre sorunları su, hava ve toprak kirliliği nedeniyle insanlığın geleceğini tehdit etmektedir. Çevresel sorunların en büyük nedeni endüstriyel faaliyetlerdir, özellikle küresel ısınma üzerindeki etkinin % 49'unu oluşturan fosil yakıtlara dayalı enerji tüketimidir (Krasulina ve ark., 2012). Politikacılar Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli tarafından iklim değişikliği felaketi tehlikesine karşı bilgilendirilmiştir. Aralık 2015'te Paris'te imzalanmış anlaşma, küresel sıcaklık artışını 1,5 °C ile sınırlamaya çalışmak için küresel bir taahhütte bulunmuştur. Sözleşme uyarınca, her ülke beş yılda bir değerlendirilecek olan bireysel iklim performansı programını uygulayacaktır. Ancak Türkiye halen anlaşmayı imzalamayı reddeden ülkeler arasındadır. 2019 verilerine göre, Türkiye yılda 290,4 milyar kWh elektrik tüketmekte, bu nedenle dünyanın en çok enerji tüketen 20 ülkesi arasındadır. Emisyon seviyeleri 1980'de 75 milyon metrik ton karbondioksitten 2019 yılında 350 milyon metrik ton karbondioksit'e yükseltilmiştir.

Oranlardan da anlaşılacağı üzere Türkiye sürdürülebilir bir ekonomi ve çevre için gerekli önlemleri almalı ve planlama yapılmalıdır.

### 1.5.1 Doğrudan yakma

Doğrudan yakma, atık maddelerin yakılmasını içeren bir bertaraf yöntemidir (Kan, 2009). Yakma ve diğer yüksek sıcaklıkta atık işleme sistemleri bazen "ısı işlem" olarak tanımlanmaktadır.

Yang ve ark. (2007) tarafından belirtildiği gibi, katı atık yakma fırını, belirli tasarım koşullarında tasarlanan, inşa edilen ve işletilen bir tesis türüdür. Tipik bir yakma fırını, girdi malzemesi olarak toplanan atıkları işlemekte ve amacına ulaşmaktadır. Yani atık malzemenin işlenmesi ve ikincil fayda olarak yanma sürecinden ısı enerjisini geri kazanmaktadır.

Atık yağlar küçük ve büyük çaplı işletmelerde ya da ev kullanıcıları tarafından katı, sıvı ve gaz formundaki atıkları imhası gibi çeşitli birtakım amaçlar doğrultusunda yakılabilmektedir. Belirli tehlikeli atık malzemelerin (biyolojik tıbbi atık gibi) atılması için pratik bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Yakma, gazlı kirletici maddelerin emisyonu gibi sorunlar nedeniyle tartışmalı bir atık bertaraf yöntemidir. Katı atık yakma, dip külü ve hava kirliliği kontrol atıkları gibi katı atıklar üretir. İnorganik bileşiklerin yüksek içeriğinin yanı sıra, yakma kalıntıları ayrıca, tamamlanmamış yanmadan kaynaklanan bol miktarda karbon bileşikleri, yanmamış organik maddeler ve yakma işlemi sırasında oluşan karbon bileşikleri içerir (Ecke ve Svensson, 2008). Ek olarak, fosil karbonun yakılması küçük CO<sub>2</sub> emisyonlarına neden olmaktadır.

### 1.5.2 Gazlaştırma

Gazlaştırma, kömür, petrol kok ve biyokütle gibi hidrokarbonları kimyasallar, gübre, sıvı yakıtlar, hidrojen ve elektrik üretmek için daha fazla işlenebilen bir sentez gazına dönüştüren ticari olarak kanıtlanmış bir üretim sürecidir

Bir gazlaştırma tesisinde, hidrokarbon besleme stoğu, yüksek sıcaklıklı, basınçlı bir reaktöre, hammaddenin kimyasal bağları kopana kadar hava, oksijen ve buharla enjekte edilir. Ortaya çıkan reaksiyon sentez gazı üretir. Sentez gazı daha sonra kükürt, cıva, partiküller ve eser mineraller gibi safsızlıkları gidermek için temizlenir.

Sentez gazı yanmadan önce temizlendiğinden, gazlaştırma tesisleri, nitrojen oksitler ve sülfür dioksit gibi bu tür kriter hava kirleticilerinden önemli ölçüde daha az miktarlarda üretirler. Öncelikle karbon monoksit ve hidrojenden oluşan temizlenmiş

sentez gazı, buhar veya elektrik üretmek için kullanılabilir. Ayrıca ek bir kimyasal işlemle metanol, etanol, diğer yakıt sıvıları ve kimyasalları üretmek için de kullanılabilir(Kan, 2009).

Atık gazlaştırma teknolojileri bir dizi önemli yolla farklılık gösterir:

Hammadde hazırlama; bazı gazlaştırma teknolojileri, atığın boyut küçültme veya malzemelerin uzaklaştırılması için işlenmesini gerektirirken, diğerleri atıkları alındığı şekilde işler.

Fırın tipi; gazlaştırma fırınları, sabit ve akışkan yataklı reaktörleri içerir. Ek olarak, bazı teknolojiler, atığın gazlaştırılması için plazma arklı ısıtma ünitelerine dayanır.

Ek yakıtlar; bazı teknolojiler, kok kömürü gibi ek yakıtların fırına enjekte edilmesini gerektirir.

Enerji ürünleri; bazı gazlaştırma teknolojileri, yanma için veya etanol, metanol gibi sıvı yakıtlara dönüştürmek için temizlenmiş bir sentez gazı üretmek için tasarlanırken, diğerleri yalnızca sentez gazı yanması için tasarlanmıştır.

### 1.5.3 Sıvılaştırma

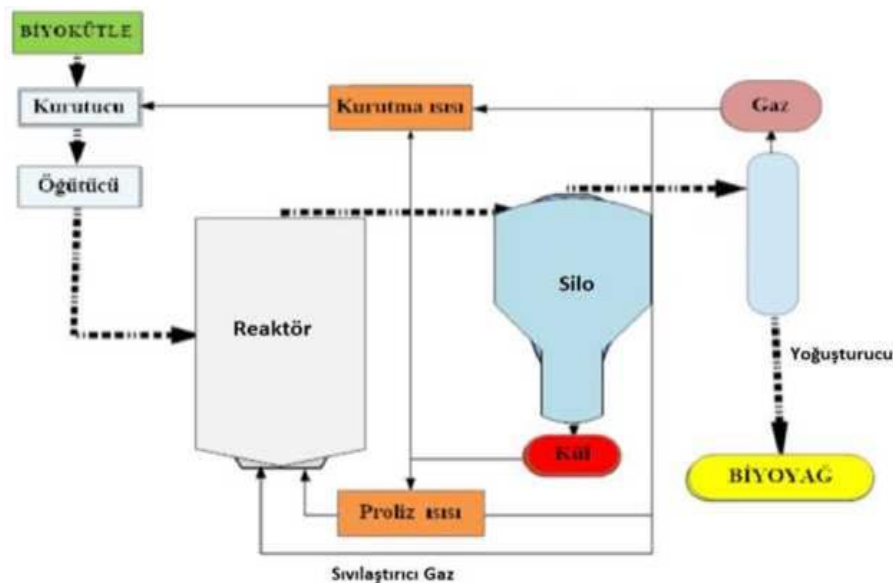
Linyoselülozik kalıntıların sıvılaştırılması, yüksek sıcaklıklarda depolimerizasyon yoluyla biyokütleyi poliollere dönüştüren, sıvı bir çözelti üretmek için en yaygın işlemlerden biridir. Odun, mantar ve tarımsal atık gibi farklı türlerde linyoselülozik biyokütleler kullanılabilir. Bu bol malzemeler, poliüretan köpüklerin üretiminde kullanılan hidroksil grupları içeren sıvılaştırılmış ürünler üretmek için alternatif bir kaynaktır. Biyokütle, yeni malzemelere dönüştürülebilir, değerini artıran ve çevrenin korunmasına katkıda bulunan endüstriyel atıklardan kaynaklanabilir (Stevens, 2000). Çözücü sıvılaştırma sırasında önemli bir rol oynar ve optimize edilmiş koşullar altında doğru kullanımı çeşitli ürünler üretir. Çözücü, atmosferik basınçta yüksek sıcaklıkların (150°C- 250°C) uygulanmasıyla biyokütleyi düşük moleküler ağırlıklı moleküller halinde parçalamak için kullanılır. Ek olarak, işlem bir asit veya bazik katalizör (organik veya inorganik) içerir. Biyokütlenin kimyasal bileşimi, reaksiyonun nihai veriminde belirleyici bir faktördür. Linyoselüloz, hidroksil grupları bakımından zengin selüloz, hemiselüloz ve linyin olan birincil bileşenlerin C-O ve C-C bağlarının çapraz bağlarından oluşan makromoleküler bir polimerdir. Sıvılaştırma sırasında kimyasal bileşikler, farklı yapıları nedeniyle farklı aşamalarda sıvılaştırılacaktır. Düzenli olarak ilk bileşikler, selüloz, hemiselüloz ve linyin gibi

düzensiz bir yapıya sahip olanlar sıvılaştırılır. Çözücünün yüksek dönüşüm oranı nedeniyle bu bileşikler hızla sıvılaştırmıştır (Stevens, 2000; Huang ve Yuan, 2015).

#### 1.5.4 Piroliz

Piroliz, oksijen veya başka bir reaktifin yokluğunda ısının neden olduğu organik maddenin termokimyasal ayrışmasıdır. Piroliz işlemi sırasında, büyük karmaşık hidrokarbon molekülleri farklı daha küçük gaz, sıvı ve kömür moleküllerine dönüştürülür. Bu nedenle, bu işlemin amacı, bu molekülleri maksimum verim değerinde üretmek için, maksimum sıcaklıkta oksijen yokluğunda besleme stoğunu ısıtan yoğunlaşmayan gazlar, katı kömür ve sıvı ürün elde etmektir.

Bu süreç farklı adımlardan oluşmaktadır. Her şeyden önce, hammadde, parçalanmanın başlayacağı piroliz sıcaklığına (maksimum sıcaklık) kadar ısıtıldığı reaktöre verilmektedir. Bundan sonra, besleme stoğundan serbest bırakılan hem yoğunlaşabilir en hem de yoğunlaşmayan buharlar bölmeyi terk etmektedir. Üretilen katı kömür haznede kalır ama aynı zamanda kısmen gazın içinde kalmaktadır. Dolayısıyla, bir sonraki adım, gazı kömürden ayırmak ve reaktörün aşağı akışını soğutmaktan ibarettir. Son olarak, yoğunlaşabilir buhar piroliz yağı olarak yoğunlaşır, yoğunlaşmayan gazlar reaktörden bir ürün gazı olarak ayrılır ve katı kömür ticari bir ürün olarak toplanır veya piroliz için gerekli ısıyı üretmek için yanıcı olarak kullanılır (Basu, 2013).



Şekil 1.7. Piroliz Döngüsü

**Kaynak:** (Abnisa ve Wan Daud, 2014)

## 1.6 Dizel Motorların Kullanım Alanları ve Önemi

Dizel motorlar, küçük boyutlu binek ve ticari araçlardan devasa boyutlu iş makineleri ve gemilere kadar farklı boyutlardaki araçlarda ve çeşitli endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca teknoloji ilerledikçe daha sessiz ve daha verimli dizel motorlar geliştirilmekte ve araçlarda kullanılmaktadır (Keskin, 2010). Dizel motorlar;

- Otomobil, minibüs, otobüs, kamyonet, kamyon, traktör ve iş makinelerinde,
- Vapur, gemi, yat, vb. gibi tüm deniz araçlarında
- Lokomotiflerde,
- Jeneratörlerde
- Sabit güç üretmek amacıyla kullanılan makinelerde kullanılmaktadır.

Dizel araçların bazılarına ilişkin görsellere Şekil 1.8’de yer verilmiştir.



Şekil 1.8. Dizel motorun kullanıldığı araçlar

## 1.7 Dizel Motorların Olumlu ve Olumsuz Özellikleri

*Dizel motorların sahip oldukları avantajlardan bazıları ve diğer motor türlerine göre üstün olduğu özellikleri şu şekilde sıralanabilir:*

- Dizel motorlarda yakıt olarak kullanılan motorinin ekonomik açıdan benzine oranla daha uygun olması,
- Aynı hacimli benzinli motorlara göre dizel motorların yakıt sarfiyatının %30 oranında daha az olması,
- Tutuşma sıcaklığının benzine oranla daha yüksek olmasına bağlı olarak motorinde yangın tehlikesinin daha düşük olması,

- Benzinli motorların verimliliği %26-30 oranında iken, dizel motorların verimliliğinin %40 düzeyinde olması,
- Dizel motorlarda yanma olayı sonucunda ortaya çıkan egzoz gazlarının, benzinli motorlar tarafından üretilen egzoz gazlarına oranla çevreyi daha az kirletmesi

*Dizel motorların sahip oldukları dezavantajlar ise şunlardır:*

- Benzinli motorlara oranla dizel motorların satış ve bakım maliyetleri daha yüksektir.
- Benzinli motorlara göre daha hassas bir yakıt sistemine sahiptir.
- Teknolojik gelişmelerle birlikte günümüzde sessiz dizel motorlar üretilmesine rağmen, motor ısınmaya kadar benzinli motorlara oranla daha gürültülü çalışmaktadırlar.

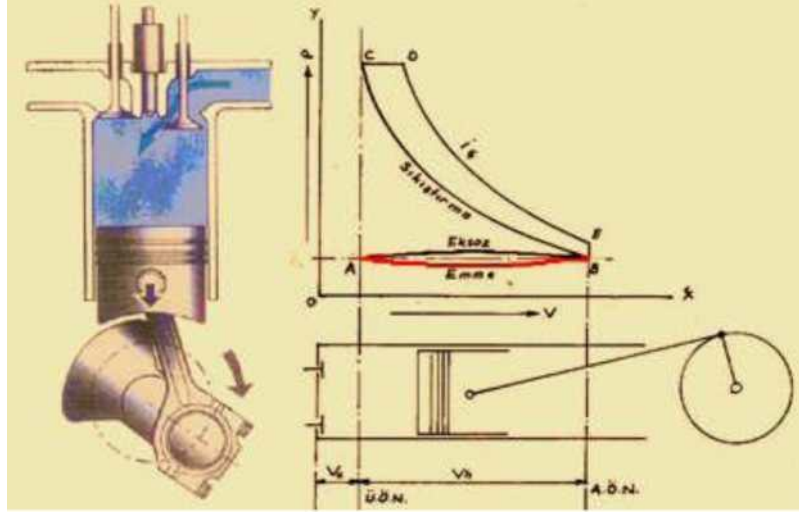
## **1.8 Çalışma Sistemleri Açısından Dizel Motorlar**

Araştırmanın bu bölümünde dört zamanlı bir dizel motorun çalışma sistemi ele alınarak incelenmiştir (Micheal, 2004).

### **1.8.1 Emme zamanı**

Bu aşamada giriş valfi açıldığında piston hava ile dolar. Bu durumda piston aşağı doğru hareket eder. Piston üst ölü merkezden alt ölü merkeze hareket ettikçe, silindir içindeki hacmin artmasıyla açılan giriş valfinden atmosferik basınçlı hava silindire çekilmeye başlar ve bunun sonucunda oluşan vakum hareketi oluşur. Emme işlemi, pistonun alt ölü merkezi hafifçe geçene kadar devam eder. Bir silindire hava emme işlemine emme süresi denir.

Piston üst ölü noktadan (U.N.) alt ölü noktaya (A.Ö.N) hareket ettiğinde giriş valfi açılır. Pistonlar A.Ö.N. Piston basıncı ne kadar düşük olursa, silindir hacmi o kadar yüksek olur. 1 bar açık hava basıncında, hava silindiri bir emme manifoldu ve bir emme valfi ile doldurur. Giriş strokunun sonunda, silindir içindeki basınç 0,7 - 0,9 bar, sıcaklık 80 -120 ° C olduğunda emme valfi kapanır ve piston alt ölü noktaya iner. Dizel motorda silindire sadece hava girer. Bu nedenle, absorpsiyon süresi ilk kez sona erer. Şekil 9 emme strokunda pistonun durumunu ve P-V (basınç-hacim) diyagramını göstermektedir.

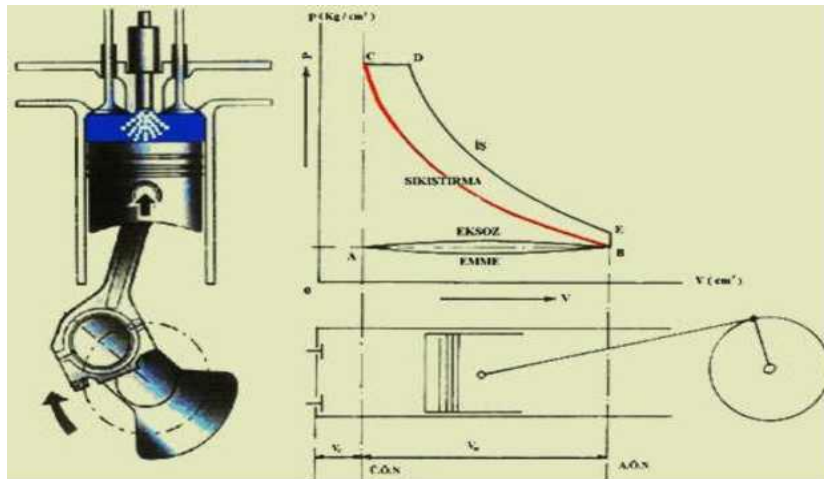


Şekil 1.9. Emme Zamanı

### 1.8.2 Sıkıştırma zamanı

Bu aşamada piston yukarı doğru hareket etmeye başlar. Bu şekilde hava yüksek hızda pompalanır. Bu sıkıştırmanın yarattığı yüksek basınç, hava sıcaklığını 500 santigrat dereceye yükseltir. Bu noktada piston alt ölü noktaya hareket eder ve üst ölü noktaya hareket eder. Hem giriş hem de çıkış valfleri kapalı olduğundan, basıncın etkisiyle piston içindeki basınç artmaya başlar. Bu sıkıştırma işlemine sıkıştırma zamanı denir (Krawczyk, 1996).

Piston alt ölüm noktasından üst ölüm noktasına hareket ederken, emme valfi kapanır ve pistonun önüne hava pompalamaya başlar. Hava sıkıştırıldıkça basınç ve sıcaklık artar. Sıkıştırma periyodu sonunda silindir içindeki hava basıncı 30-45 bar'a yükselir ve sıcaklık 600-900 °C'ye yükselir.



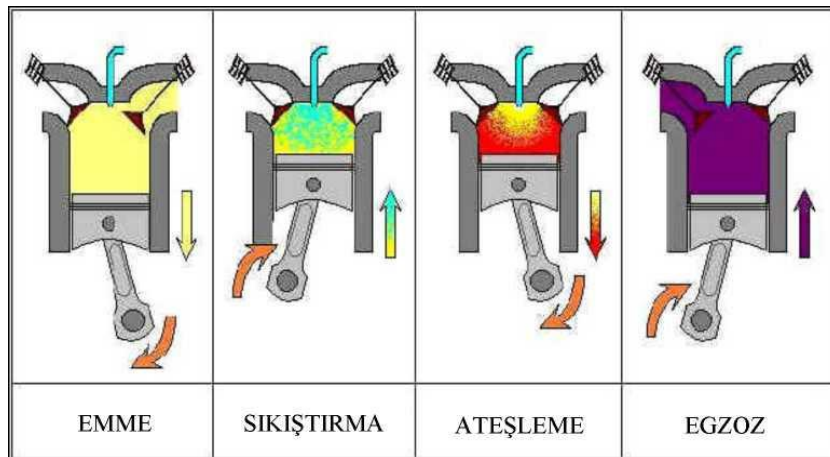
Şekil 1.10. Sıkıştırma zamanı

### 1.8.3 Yanma ve genişleme zamanı

Bu aşamada aşırı ısınan hava üzerinde ateşlenen yakıt (dizel yakıt) tutuşur. Bu patlamadan açığa çıkan enerji pistondan aşağı doğru itilir. Bu aşamada kuvvet ve dönme hareketi meydana gelir. Sıkıştırma periyodunun sonunda yakıt havaya salınır, burada küçük parçacıklar ve sıkıştırma nedeniyle basınç ve sıcaklık artar. Silindire püskürtülen yakıt belirli bir gecikme ile tutuşur ve yanar. Püskürtme işlemi pistonun üst ölü noktasından geçerken devam eder (Altun, 2010). Dolayısıyla bu yanma artan oranlarda gerçekleşir. Yanma nedeniyle sıcaklık ve basınç arttıkça, gaz pistonun alt kalıp noktasına doğru genişlemeye zorlanır. Aynı zamanda silindirdeki hacim de artar. Artan bu hacim nedeniyle, genişleme sonunda çalışma gazı basıncı düşer. Bu yanma ve genişleme periyoduna yanma ve genişleme periyodu denir.

### 1.8.4 Egzoz zamanı

Bu aşamada piston artık yukarı konumdadır. İçeride oluşan yanma gazı, egzoz valfi açılarak pistondan salınır. Silindir 1 artık çevrimini tamamlamıştır. Genleşme süresinin sonunda egzoz supabı açılır ve silindirde basınç altındaki egzoz gazı egzoz supabı vasıtasıyla silindirden çıkar. Bu olaya Serbest egzoz denir (Altun, 2010). Aynı zamanda, piston egzoz gazını silindirden süpürür ve egzoz valfinden boşaltır. Bu fenomene zorunlu baca denir. Bir silindirden gaz yayma işlemine genellikle egzoz periyodu denir.



Şekil 1.11. Dört Zamanlı Motorun Çalışma Aşamaları

## 1.9 Dizel Motorlarında Yanma Olayı

Yanma; yakıtın oksijenle birleşerek su ve karbondioksit meydana getirmesidir. Bu reaksiyon sırasında ısı ve enerji açığa çıkar. Bir içten yanmalı motor, kimyasal reaksiyondan salınan enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürür. Dizel motorlarda yanma; Sıkıştırma periyodu sonunda silindire giren havanın sıcaklığı yaklaşık 600-900 C artar ve yakıt bir enjektör vasıtasıyla artan sıcaklık ve basınçla havaya püskürtülür. (Avrupa standartlarına göre araba motorları yanma sonundaki emisyonları kontrol etmek için kullanılmaktadır. Standartlara uygun olarak imal edilmelidirler (Altun, 2014). Yanma olayı

- Uzun tutuşma süresi
- Yüksek hızlı yanma (kontROLSÜZ yanma)
- Kontrollü yanma
- Gecikmiş yanma şeklinde dört basamaktan meydana gelmektedir.

### 1.9.1 Uzun tutuşma süresi

Sıkıştırma sonunda silindire püskürtülen yakıt hemen tutuşmaz. Yakıtın silindire püskürtülmesinden yangının çekirdeğinin oluşumuna kadar geçen süreye tutuşma gecikmesi denir, çünkü tutuşabilmesi için oksijenle karışması ve sıcaklığın artması gerekir.

### 1.9.2 Yüksek hızlı yanma (kontROLSÜZ yanma)

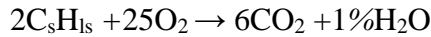
Ateşleme gecikmesi sırasında silindire enjekte edilen yakıt ısıtılır, oksijenle karıştırılır ve buharlaştırılır. Yangının ilk çekirdeği ortaya çıktığı anda, tüm yakıt yanma sürecine katılarak hızlı yanmaya neden olur. Hızlı yanma, basınçta ani bir artışa ve motor parçaları arasındaki boşluğun aniden ortadan kalkmasına neden olur, bu nedenle motor pürüzlü ve pürüzlü çalışır. Bu vuruntuya dizel vuruntusu denir. Halihazırda, bu şoku azaltarak başlangıçta pompalanan yakıt miktarını azaltmak için kademeli bir enjeksiyon yöntemi geliştirilmektedir (İlkılıç, 2009).

### 1.9.3 Kontrollü yanma

KontROLSÜZ yanma sonunda silindirdeki basınç ve sıcaklık, enjektörlerden enjekte edilen yakıtı doğrudan yakabilecek bir değere ulaşır, böylece enjekte edilen yakıt gecikmeden sürekli yanar. Basınç maksimuma ulaşana kadar artar. . Kalan patlama ve yanma sırasında basınç sabit kalır. C-D arasındaki şekilde gösterilmiştir.

### 1.9.4 Gecikmiş yanma

Yakıtın silindire enjeksiyonu tamamlanır ve piston indirilir. Daha önce püskürtülen ve yanmayan yakıtlar genişleme sırasında oksijen buldukları için yanarlar. Bu yanmaya gecikmeli yanma denir. Bu, şekilde D-E arasında gösterilmiştir. Benzin ve dizel yakıtın yanması için kimyasal denklemin denge katsayıları aşağıdaki gibidir;



### 1.10 Dizel Motorlarda Emisyon Üretimi

Yakıt püskürtme Teorisi; püskürtülen yakıt, hava dağılımına ve yanma mekanizmasına bağlı olarak farklı bölgelere ayrılabilir. Püskürtülmenin eşdeğer oranda üç bölgeye ayrıldığı bu modelde birinci bölge, bir alev oluşturmak için yeterince atomize edilmemiş büyük yakıt damlacıkları oluşturmak üzere hava ile karışan püskürtme çekirdeğidir. Üçüncü bölge, yanamayacak kadar zayıf olan küçük yakıt damlacıkları içerir. İkinci bölge, yakıt damlacıkları ve buharlaştırılmış hava karışımı içeren diğer iki bölge arasında bulunur (Ayhan, 2006).

Birinci bölgede yakıt buharlaşarak hava ile karışırken, ikinci bölgede yanma başlar. Ön kenar ile püskürtme mili arasındaki havadaki buhar konsantrasyonu eşit değildir ve yerel yakıt-hava oranı sıfırdan sonsuza kadar değişir. Yanma çekirdeğinin kendisi, karışımın ateşleme için daha uygun olan çeşitli yerlerinde oluşur.

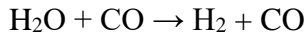
İkinci bölgede alev, ateşleme ve yanma sırasında püskürtme konisine yayılır. İkinci bölge ile nehir arasındaki sınırda daha fazla yakıt damlası var. Bu damlacıklar, yanan alevden radyasyon yoluyla ısı alır ve daha hızlı buharlaşır. Sıcaklıktaki bir artış buharlaşma dağılımını artırır. Bu damlacıklar tamamen veya kısmen buharlaşır. Tam olarak buharlaşmamış damlacıklar bir difüzyon alevi ile çevrilidir ve bu damlacıkların yanma hızı, buharlaşma hızı ve oksijen alevine difüzyon hızı gibi birçok faktörden etkilenir.

Birinci bölge en yüksek eşdeğer orana sahiptir ve en uzun yanma burada gerçekleşir. Bu bölge, katı karbon parçacıkları ve NOx emisyonları kaynağıdır. İkinci bölge, ilk ateşlemenin meydana geldiği ve önemli emisyon üretmediği önceden karıştırılmış bölgedir. Üçüncü bölgede denklik düzeyi düşüktür ve yanma durumu iyi değildir. Bu nedenle, bu bölgede HC emisyonları meydana gelebilir.

### 1.10.1 Karbonmonoksit üretimi (CO)

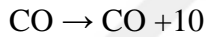
Yanma ürünlerindeki CO içeriğinin ana nedeni oksijen eksikliğidir. Yanma odası bir bütün olarak yeterince oksijenlenmemişse veya karışım tamamen homojen değilse, yanma odası belirli bir yerde yerel olarak yetersiz olabilir. Temel olarak, CO oluşumu, fazla hava katsayısının güçlü işlevine göre değişir (Ishida, 1997).

CO emisyonu, yanma sürecinde su gazı dengesi adı verilen



denklemleri ile tanımlanır. Alev sıcaklıklarının yüksek olduğu durumlarda, bu denge reaksiyonu, CO<sub>2</sub> miktarından daha fazla CO üretir. Ancak sıcaklık düştükçe CO oksidasyonu CO<sub>2</sub> şeklinde gerçekleşir. Bu bakımdan kötü karıştırıldığında baca gazındaki CO miktarı düşüktür ve hatta soğuk baca gazında bile O<sub>2</sub> eksikliğinden dolayı karışım CO bakımından zengindir.

Yanma sırasında, alev cephesinde ulaşılan yüksek sıcaklık bölgesinde büyük miktarlarda CO oluşur. Ancak gazların geç genleşmesi ve soğuması sırasında CO<sub>2</sub> oksidasyon sonucu CO<sub>2</sub>'ye dönüşür.



Çoğunlukla fakir karışım ile çalışan dizel motorlarda, bu durum CO emisyonunun düşük olmasını sağlamaktadır (Ishida, 1997).

Özetle, CO'yu CO<sub>2</sub>'ye dönüştürebilen rekombinasyon reaksiyonları, yanmanın sonunda meydana gelir. Oksijen eksikliği, düşük gaz sıcaklığı ve kısa kalma süresi gibi faktörler nedeniyle bu rekombinasyon reaksiyonları tamamlanmadan egzoz valfi açılırsa, baca gazından kaynaklanan CO emisyonları artacaktır. Püskürtmeli yanmanın ilk aşamasında, Bölge 2 ve Bölge 3 sınırları arasında CO oluştuğuna inanılır, ancak yerel sıcaklık yeterince yüksek olmadığı için oksidasyon ve CO<sub>2</sub> yetersiz ve düşüktür. Daha sonra yanma sırasında yerel sıcaklık artar ve reaksiyonları artar.

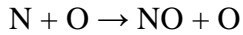
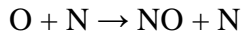
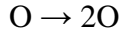
Uygun oksijen konsantrasyonu ve gaz sıcaklığı nedeniyle ikinci bölgede oluşan CO hemen oksitlenir. Püskürtme milinin ve duvarların kenarlarında yüksek seviyelerde CO üretilir. Oluşum hızı, yerel oksijen konsantrasyonuna, yerel gaz sıcaklığına ve yeterli oksidasyon süresinin mevcudiyetine bağlıdır.

### 1.10.2 Azot oksit (NOx) oluşumu

Nitrik oksit, havadaki nitrojen ile oksijenin yüksek sıcaklıklarda birleşerek yanmaya neden olmasıyla oluşur. NOx, temel bir element olan nitrojen içerir. Baca gazı

atmosfere salınırken, NO'nun bir kısmı oksijenle reaksiyona girerek NO<sub>2</sub> ve diğer NO<sub>x</sub>'leri oluşturur. Bu bağlamda NO<sub>x</sub> oluşumunu etkileyen iki önemli parametre yanma odasının sıcaklığı ve hava/yakıt oranıdır. Ayrıca kimyasal reaksiyonun hızı da etkilidir. Ancak bu hızlar sıcaklığa bağlıdır (Parash, 2013).

Yanma sisteminde nitrojen oksit oluşumunun birçok mekanizması göz önünde bulundurulur. NO oluşumu için en yaygın kabul gören model Zeldovich mekanizmasıdır.

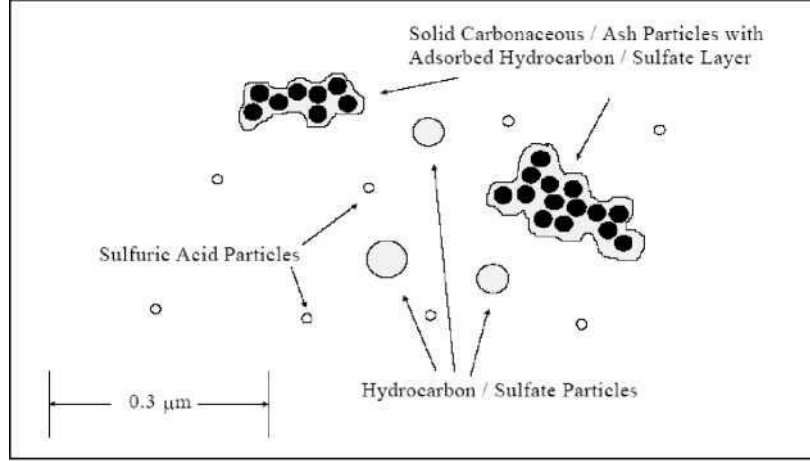


Zincirleme reaksiyon, oksijen moleküllerinin yüksek sıcaklıklarda parçalanmasıyla oluşan atomik oksijen ile başlar. Bu mekanizmaya göre, dizel yakıtın yanmasından kaynaklanan spreylerde bölgesel NO oluşumu, bölgesel oksijen atom içeriği ile ilgiliyken, bölgesel oksijen atom konsantrasyonu, oksijen moleküllerinin yerel konsantrasyonu ve alev sıcaklığı ile ilgilidir.

Yukarıda gösterilen denge reaksiyonları göz önünde bulundurulduğunda, NO'dan O<sub>2</sub> gazı üretiminin mümkün olduğu görülmektedir. N<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub>'nin oluşma süreci NO'ya oranla daha düşüktür. Pistonun, üst ölü noktanın altına düştüğü sırada NO'ların yeniden N<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub>'ye ayrılması beklenir fakat reaksiyon hızının düşük sıcaklıklarda oldukça düşük olması nedeniyle reaksiyonlar daha yavaş gerçekleşir. Bu nedenle NO miktarı azalmaktadır (Anonymous, 2008).

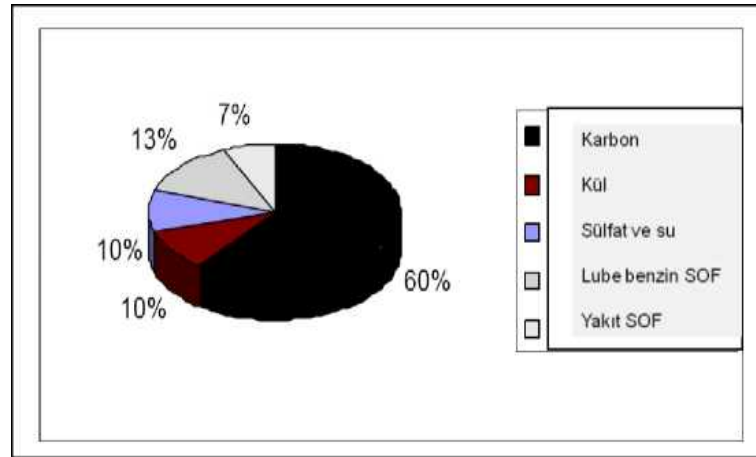
### 1.10.3 Partikül Maddelerin Ortaya Çıkma Süreci

Duman, is ya da katı parçacıklar olarak adlandırılan partikül maddeler, dizel motorlarda yanma olayı sonucunda karışık ve yakıt tipi partiküllerin oluşmasına neden olur. Düşük oksijenli ortamlarda, özellikle Hs kolayca oksitlendiğinde ve Cs oksidasyon olmadan ortamda çoğaldığında, yakıt moleküllerinin termal bozunması partiküller oluşturur (Lin, 2004).



**Şekil 1.12.** Partikül madde oluşumu  
**Kaynak:** Hışır, 2010

Kurum, bu durumda oluşan katı bir karbon parçacıdır. Fazla hava oranına bağlı olarak iş miktarı değiştiğinden, bu motor gücü için sınırlayıcı bir faktördür. Genel olarak kurum oluşumu dizel yakıtın yanma aşamasıdır. Bu nedenle, orijinal karbonun çoğu yeniden yakılır. Ancak kapasiteyi artırmak için yanma odasına büyük hacimlerde yakıt gönderildiğinde, oksijen eksikliğinden dolayı baca gazında az miktarda kurum bulunur. Kurum oluşumu silindirin aşınmasına yol açar ve halka yuvası karbonla dolar ve hasar görür. Yanma odasında yeterli sıcaklık, oksijen ve zaman yoksa partiküller bacadan dışarı çıkacaktır.



**Şekil 1.13.** Dizel Partikül Maddelerin Bileşimi  
**Kaynak:** Hışır, 2010

Parçacık çapı açısından tehlike kategorisine girerler. Başka bir deyişle, partikül çapı ne kadar küçükse, çevre ve sağlık için tehdit o kadar büyük olur. Dizel motorlar, düşük kükürtlü yakıtlar kullanabilir ve trafik tozunu önlemek için yakıt pompasını

uygun şekilde ayarlayabilir. Solunduğunda akciğerlerde birikebilen bu maddeler soluk borusunu tahriş ettikleri için insan sağlığına zararlıdır. Dizel motorlara ek olarak, fren balataları ve lastik sürtünmesi sonucu PM oluşur (Lloyd's, 2002).

Partikül sayısı, yüzeyi ve kütlesi arasındaki ilişki aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

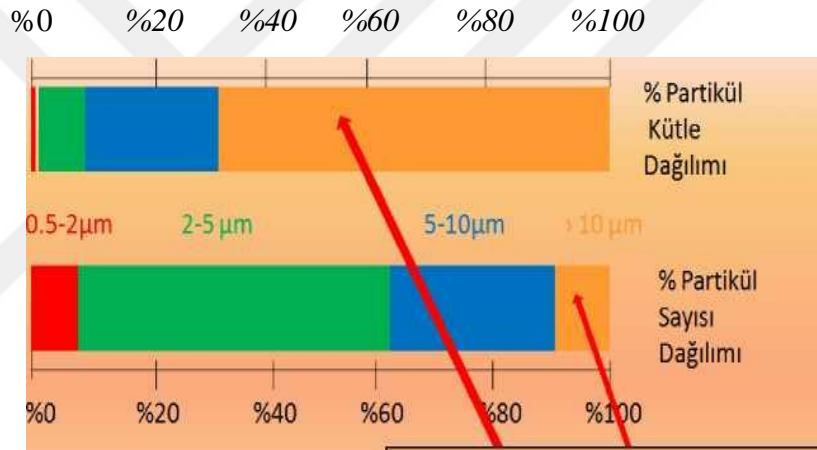
**Çizelge 1.1.** Partikül sayı, yüzey ve kütle ilişkisi

1 pm çapındaki bir partikül ile 10nm çapındaki 1.000.000 partikülün kütlesi birbirine eşittir.

Partikül Çapı	O.Olpm	O.lpm	lpm
Partikül Numarası	1	1	1
Partikül Yüzeyi	1	100	10 000
Partikül Kütlesi	1	1000	1 000 000

**Kaynak:** Soylu, 2009

Şekil 14'te partikül maddelerin sayı ve kütle açısından karşılaştırılmıştır.

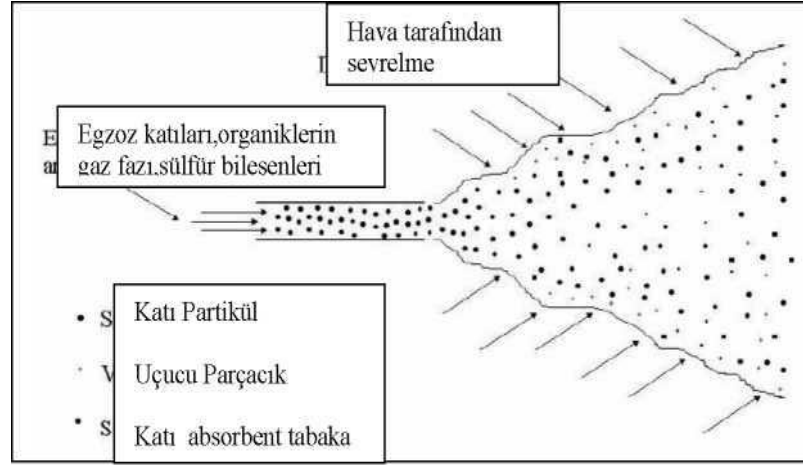


**Şekil 1.14.** Partikül Sayısı Ve Kütle Karşılaştırılması

**Kaynak:** Soylu, 2009.

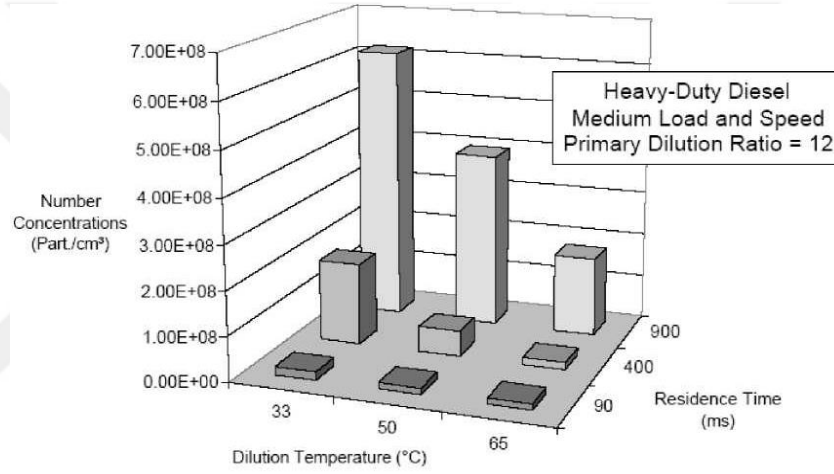
Baca gazı sıvılaştırması sırasında (örneğin sülfürik asit, yakıt, yağ kalıntıları), baca borusundaki buhar fazındaki malzemeden büyük partiküller (hacimce %90 ve kütlece %30) oluşur. Yeni parçacıklar çekirdeklenme ile oluşur. Egzoz sisteminin çoğu ultra ince ve nanoparçacıkların (ve parçacık sayısının) kaynağı olması muhtemeldir (Lloyd's, 2002).

Uçucu partiküllerin birçoğu nanopartikül boyutlarına sahiptir. Buji ateşlemeli motorlar genellikle dizel motorlardan daha az parçacık yayar ve önemli bir ince parçacık ve nanoparçacık kaynağıdır.



Şekil 1.15. Atmosferik Seyreltme

Kaynak: Soylu, 2009



Şekil 1.16. Dizel Partikül Sayıları Emisyonunun Seyreltme Şartlarına Duyarlılığı-Zaman ve Sıcaklık Etkisi(ağır ticari araç yük ve hız birincil seyreltme oranı)

## 1.11 Dizel Motorlarda Egzoz Emisyonu Ölçüm Yöntemi

### 1.11.1 CO ve CO<sub>2</sub> Ölçümü

Egzoz gazları içerisindeki CO ve CO<sub>2</sub> miktarının belirlenmesi için kullanılan AIA analizörü, Dağılmayan Kıızıl Ötesi Işınlı gaz analizörüdür. Bu sistem, kızılötesi ışık ölçülecek numune gazından geçirildiğinde farklı bileşenlerin farklı hızlarda radyan enerjiyi emmesi ilkesini kullanır (Candan, 2012). Kızılötesi kaynaktan gelen ışık ikiye bölünerek referans hücreye ait bir hücre ve numune gazları aracılığıyla dedektöre ulaşır (Şekil 17). Ölçülen kimyasal bileşenlere dahil olmayan bir referans gaz tarafından emilen enerji miktarının belirlenmesine ek olarak, diğer hücrenin CO ve CO<sub>2</sub> bileşenleri, farklı dalga boylarındaki kızılötesi ışınlardan enerji emer. Dedektördeki

referans ve ölçüm hücrelerinden gelen enerji farkını elektrik akımına dönüştürmek, ayarlamak ve bileşenlerin konsantrasyonunu ölçmek için kullanılır.

Diğer emici kaynakların etkilerini önlemek için, kaynaktan yayılan ışık, gerekli dalga boyunda çalışacak şekilde filtrelendir. Ayrıca, ışık kaynağını periyodik olarak kesin ve devre kesiciyi saniyede yaklaşık 10 kez kesilip açılmaktadır.

Bu durumda birim zamandaki miktarı belirlemek için periyodik olarak enerji emilimi sağlanır ve sonuç olarak bu miktar ölçülür.

Gaz filtresi korelasyon sistemi aracılığıyla, kızılötesi kaynaktan gelen radyasyon, CO ile doldurulmuş radyasyon ve boş hücre arasında değişir. Ölçüm hücresi daha sonra bir optik filtreden geçirilir. Kızılötesi radyasyon, hücreden geçerken CO'yu emer ve ardından radyasyon bir referans görevi görür.

### 1.11.2 NO<sub>x</sub> Ölçüm Yöntemi

NO<sub>x</sub> ölçümünde CLA analizörü kullanılmaktadır. Bu yöntem kimyasal radyasyonun bir ölçüsüdür. Bu yöntemin ana prensibi, NO'nun ozon (O<sub>3</sub>) ile reaksiyonu ile uyarılmış NO<sub>2</sub>'nin inert indüklenmiş NO<sub>2</sub>'ye dönüştürülmesi sırasında açığa çıkan foton enerjisinin miktarını ölçmektir. Bu enerji miktarı ölçülerek karşılık gelen NO<sub>2</sub> miktarı belirlenir. Bu nedenle orijinal NO miktarı belirlenir (Hashimoğlu, 2002). Numune gazında bulunan NO<sub>2</sub> miktarını ölçmek için gazlar ısıtılır ve NO<sub>2</sub>/NO dengesi NO yönünde tersine çevrilir. Yaklaşık 315 °C'de %90 değişim sağlar. NO ve NO<sub>2</sub> içeren baca gazları için öncelikle transdüserden geçen gazdaki NO miktarı ayrı ölçümler istenerek belirlenecektir. Böylece iki ölçüm arasındaki farktan NO<sub>2</sub> miktarı bulunur.

Elektrokimyasal Hücre Ölçüm Yöntemiyle; Hassas bir elektrot üzerinde seçilen bir gaz bileşeninin elektrokimyasal reaksiyonu ile üretilen elektrik akımını ölçmek için bir elektrokimyasal pil kullanılır. Tanımlanabilir gaz bileşeni, pile yarı geçirgen bir zar yoluyla ulaşır. Reaksiyon hızı, gaz bileşeninin konsantrasyonu ile orantılıdır. Oksitleyici bir elektrot kullanıldığında, bir elektrokimyasal reaksiyonla hassas elektrot üzerinde elektronlar serbest bırakılır. Bu elektrotta gaz bileşeninin konsantrasyonu ile orantılı elektronların oluşması karşı elektrotla aynı hızda negatif potansiyel farkı yaratır, böylece elde edilen elektron akımı uygun bir elektronik cihazla ölçülür. Pilin seçiciliği yarı geçirgen zar, elektrolit, elektrot malzemesi ve tutma kapasitesi ile belirlenir (Jimenez-Espadafor, 2012).

Termogravimetrik Analiz ve FTIR Spektrometre Sistemi ile; TGA ve FTIR'ı birleştirerek, termal ayrıştırma işleminin hem niteliksel hem de niceliksel özelliklerini

elde etmek mümkündür. TG-IR arayüzü, gaz transferini optimize etmek için numunedeki seramik memenin konumunu ölçer. Ayrıca sistem sadece kirleticileri gidermekle kalmaz, aynı zamanda tüm gaz yolunu ısıtarak soğuk noktadan numuneye geçişi de ortadan kaldırır.

### 1.11.3 HC Ölçüm Yöntemi

FIA, HC'yi ölçmek için kullanılan bir analizördür ve alev iyonizasyonu prensibi ile çalışır. Bu sistem prensipte H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> alevlerinden oluşmaktadır. İşte H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve soy gazın bir karışımı (Horiban analizöründe kullanılan soy gaz He'dir); iyonlar olmadan. Bu aleve HC eklendiğinde, eklenen miktarla orantılı olarak iyon akışı artar. Bir alevdeki bu iyonlaşma miktarının ölçümleri, HC konsantrasyonunu belirler. Bir yangın iyonizasyon dedektörü, esas olarak H<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub>'den oluşan bir difüzyon alevidir. Sisteme uygulanan polarizasyon akımı nedeniyle elektrostatik alan içerisine HC eklenmesi, pozitif iyonların kollektöre, negatif iyonların ise aleve hareket etmesine neden olarak iki elektrot arasında bir iyonizasyon akımı oluşturur. Bu akım alevdeki HC miktarı ile doğru orantılıdır. Bir DC yükseltici aracılığıyla HC konsantrasyonu için ayarlanmış bir çıkış sağlar (Yang 1998).

Alev sıcaklığını azaltmak için genellikle saf hidrojen yerine inert bir gazla karıştırılmış hidrojen kullanılır. Hava ve yakıt akışının hızına bağlı olarak ölçümler daha hassas hale gelir. Tipik olarak numune gaz akış hızı 3-5 ml/dk, hidrojen-gaz karışımı akış hızı 75 ml/dk ve hava akış hızı 200 ml/dk'dır. Bu sistem su buharından etkilenmez, bu nedenle numune gazının kurutulması gerekmez. Ancak delikleri veya küçük çaplı boruları korumak için sıvıların veya partiküllerin cihaza girmesine izin verilmemelidir. FIA serisi ölçü aletlerinin özellikleri ve parametreleri Ek 3'te verilmiştir.

### 1.11.4 PM Ölçüm Yöntemleri

#### *Analitik Teraziler Kullanılarak Gravimetri;*

Bu bir toplu işlemdir ve hava kalitesi kriterleri doğrudan gravimetrik parametrelerle verilir. Toplanan partiküllere dayalı olarak, filtrenin net ağırlığını belirlemek için filtre, numune almadan önce ve sonra analitik bir terazide tartılır. Boş ve partikül yüklü filtreler; Tartmadan önce sıcaklık ve nem sabitlenene kadar bir kurutucuda saklayın. Ortam havasındaki kütle konsantrasyonu; Filtrede toplanan ek kütle, hacmin standart sıcaklık ve basınç düzeltilmesine bölünmesiyle hesaplanır. Manuel

gravimetrik sistemler emek yoğundur. Günlük örnekleme planlanıyorsa, otomatik bir sistem kullanılmalıdır (Uyumaz, 2017).

*TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) Teknikleri Kullanılarak Gravimetri;*

Parçacıkla doldurulmuş hava, paketlenmiş içi boş konik bir tüp üzerine kaplanmış bir filtre kutusundan geçirilir. Filtrede toplanan kütle arttıkça tüpün doğal salınımlarının frekansı (yüzlerce Hz) azalır. Kütle konsantrasyonu, parçacığın kimyasal bileşiminden bağımsız olarak kütle ve frekans arasındaki doğrudan ilişki ile ölçülür. TEOM ilginç bir versiyon. Bu, sürekli, hızlı ve otomatik ölçümlere izin verir. Dezavantajları: Yüksek ilk yatırım, toplama filtrelerinin sık değiştirilmesi (yüksek konsantrasyonlarda haftalık), sıcaklık kontrol kabini. Bu tür cihazlar, saatlik ve günlük ölçümler için düşünülebilir, ancak rutin izleme için kullanımları için genel önerilerde bulunulmadan önce daha fazla saha deneyimi gereklidir.

*Reflektometri / Siyah Duman;*

Partikülle doldurulmuş filtrelerin gözlenen koyuluğu, ortam havası aerosolünün toplam grafit karbon içeriğinin bir ölçüsü olarak yorumlanır. Karanlık, boş bir alandan (R0) geçen beyaz ışığın yansıması ile partikül yük filtresi (R) karşılaştırılarak belirlenir. Yansıyan radyasyon, filtre yüzeyindeki parçacıkların üzerinden iki kez geçer;  $Ln(R/R0) = 2 Ln(I/I0)$ . Burada I0 beyaz ışığın yoğunluğudur ve I parçacık katmanından geçen radyasyonun yoğunluğudur. Pratikte partiküller, filtre tipine ve yüzey hızına bağlı olarak filtre ortamına girer. Bu, yansımayı artırır ve iletimi azaltır.

Bu nedenle OECD kalibrasyonu sadece Whatman №1 filtre kağıdı ve/veya fiberglas filtreler için verilmiştir (OECD klasik yönteminde önerildiği gibi). Sadece bu durumda OECD kalibrasyon eğrisini standart  $gg/m^3$  siyah duman eşdeğeri olarak siyaha dönüştürmek mantıklıdır.

Siyah duman yöntemi, yalnızca evsel ısıtma amacıyla kömür yakarken tamamen yakılmayan karbon parçacıkları için önemlidir. Siyah duman yöntemi, düşük maliyeti ve kolay işletme koşulları nedeniyle halen kullanılmaktadır. Bu nedenle siyah duman ölçümü yapılarak oldukça geniş bir epidemiyolojik veri seti oluşturulmuştur. Veri setinin sürekliliğini sağlamak için, siyah duman ölçümlerinin uygun gravimetrik yöntemlerle değiştirilmesi dikkate alınarak, en az bir yıl boyunca seçilen yeni kütle ölçüm yöntemine paralel olarak çalışmak gerekmektedir.

## 1.12 Dizel Motorlarda Atık Yağ Kullanımı

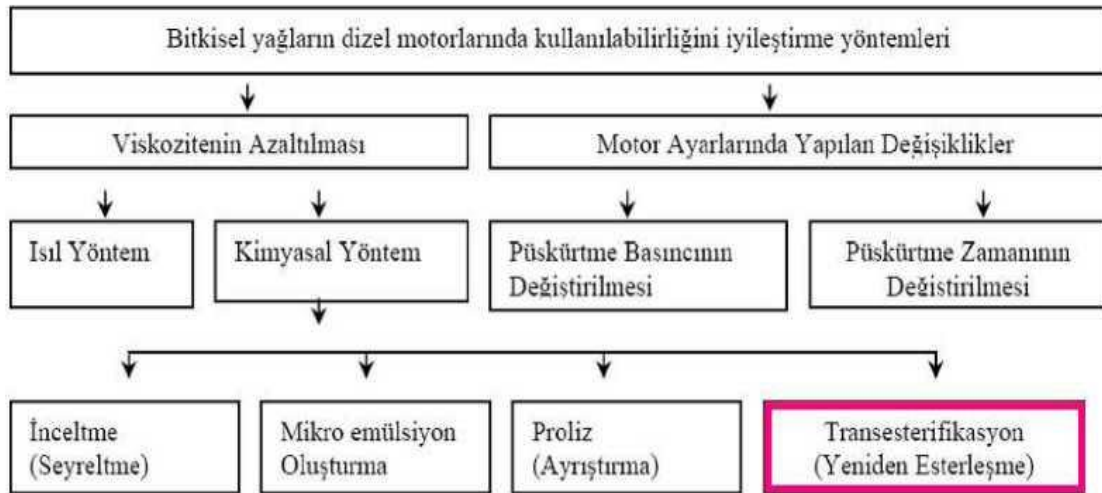
### 1.12.1 Bitkisel Yağlar ve Özellikleri

Bitkisel yağlar, bazı tarımsal ürünlerin meyve, çekirdek ve tohumlarının işlenmesi sonucu elde edilir. Petrol esaslı yağlardan farklı bir kimyasal yapıya sahiptir. Yağ asitlerinin (R - COOH) gliserinle yapmış olduğu esterlerdir. Başka bir deyişle, buna trigliseritler denir. Yağ asitlerinin gliserin ile esterleştirilmesi için kimyasal denklemler Şekil 3.1 ve 3.2’de gösterilmiştir (Erdoğan ve Muhammed, 1997). Bitkisel ve hayvansal yağların yakıt olarak kullanılması için iki alanda araştırmalar yapılmıştır. Birincisi bitkisel ve hayvansal yağların yakıt özelliklerini iyileştirmek, ikincisi ise motorda değişiklik yapmak. Motor bakım maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle petrol benzeri bitkisel yağların özelliklerinin iyileştirilmesi bir öncelik haline gelmiştir. Hayvansal ve bitkisel yağların yanma özelliklerini iyileştirmeye yönelik çalışmaların viskoziteyi ve akma noktasını azalttığı gösterilmiştir. Bu koşulların her ikisi de motorda bitkisel yağların doğrudan kullanılmasını engeller ve viskoziteyi azaltmak için hem kimyasal hem de termal yöntemler kullanır. Termal yöntemin amacı, mobil motorlarda kullanımı zor olan yağı önceden ısıtarak viskoziteyi azaltmaktır. Bu nedenle bitkisel yakıtların özelliklerini iyileştirmek için kimyasal yöntemler tercih edilmektedir (Gündüz, 2017; Özdemir ve Mutlubaş, 2016). Bu yöntemlerden en önemlileri aşağıdaki gibidir.

- Seyreltme
- Piroliz
- Mikro Emülsiyon Oluşturma
- Transesterifikasyon

Yağlı tohumlardan yakıt üretme maliyetinin en büyük payını tohumlar oluşturmakta ve bu da geleceğin yakıtı olan biyodizel üretim maliyetini artırmaktadır. Atık yağları hammadde olarak kullanan firmaların üretim maliyetleri nispeten düşüktür ancak atık yağların neden olduğu çevre kirliliğinin önüne geçerler. Atık toplama tesislerinden ve büyük fabrikalardan çıkan atık yağlardan biyodizel üretimi her geçen gün artmaktadır. Ayrıca sabun, kozmetik ve ilaç endüstrilerinde biyodizel üretiminden elde edilen yan ürünler (gliserin gibi) değerlendirilir ve üretim maliyetleri düşürülür (Budak ve ark., 2009).

**Çizelge 1.2.** Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Kullanılabilirlik Yöntemleri



### 1.12.1.1 Seyreltme yöntemi

Bitkisel yağa belirli bir miktar mazot veya çeşitli organik katkı maddelerinin eklenmesi, yağın viskozitesini düşürür. Bu uygulama tekniğinin viskozitesini azaltmak için dizel yakıtı ek olarak belirli miktarda yağ, aseton, etanol ve bütanol karıştırılır. Bu uygulama tekniği çok basittir ancak işlem sonunda yağ ve motorin karışımının depolanmasında herhangi bir sorun yaşanmaz ve faz ayrımı olmamaktadır (Gündüz, 2017).

### 1.12.1.2 Piroлиз (ayrıştırma) yöntemi

Piroлиз, katı, sıvı ve gaz halindeki ürünleri tespit etmek için oksijensiz bir ortamda organik maddeleri kullanan termokimyasal bir işlemdir ve üretilen ürün miktarı kullanılan yöntem ve reaksiyon değişkenine bağlıdır. Bu yöntemin temeli, bitkisel yağların kimyasal bağlarını kırarak ince taneli yapıların oluşturulmasına dayanmaktadır. Ayrıca piroliz yöntemi, düşük sıcaklıklarda yavaş reaksiyona giren ve kömür verimini artıran kok üretmek için uzun yıllardır kullanılmaktadır. Katı bir ürün elde etmek için düşük sıcaklıklarda yavaş bir reaksiyon kullanılırken, sıvı bir ürün elde etmek için flaş veya hızlı piroliz yöntemi kullanılır. Sıvı piroliz verimi reaksiyon hızına bağlı olarak değişir ve sıvı piroliz ürünlerinin verimi 450-150 °C sıcaklıkta ve 1000-10000 °C/s ısıtma hızında yüksektir. Sıvı ürünlerin gaz halindeki ürünlere dönüşmesi engellenerek yüksek sıvı ürün verimi elde edilir. Bitkisel yağların bozunma ürünlerini elde etmek için iki yöntem kullanılmaktadır. Birinci yöntemde yağ, ısı etkisi altında kapalı bir kapta çözülür. İkinci yöntemde ise yağ, Amerikan Standart Test ve Malzemeler Enstitüsü

(ASTM) tarafından damıtılarak termal kraking işlemine tabi tutulur ve ortaya çıkan fosil yakıtların dizel ile aynı özelliklere sahip olduğu gösterilmiştir (Mutlubaş, 2016; Gündüz, 2017).

### 1.12.1.3 Mikro emülsiyon oluşturma yöntemi

Mikro emülsiyonlar, birbiriyle karıştırılması zor olan iki sıvı ve bir veya daha fazla amfifilin birleştirilmesiyle oluşturulur ve bu teknik, bitkisel yağların yüksek viskozitesini azaltır. Bu yöntem metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkoller kullanır. Hazırlanan yakıtın viskozitesi düşürülür ve alkol içeriğinden dolayı kalorisi düşüktür. Bu nedenle, motor kapasitesi biraz azalır. Ayrıca bu yöntem, petrol türevleri içermeyen alternatif dizel yakıtlar oluşturmak için kullanılabilir (Mutlubaş, 2016; Gündüz, 2017).

### 1.12.1.4 Transesterifikasyon (Yeniden Esterleşme) yöntemi

Trigliserit moleküllerinin (yağ asitleri) alkoller ve bazlar (etanol veya metanol) ile reaksiyonu, yağ esterleri ve gliserin oluşturmak için bir transesterifikasyon yöntemi olarak tanımlanmıştır (Özdemir ve Mutlubaş, 2016). Diğer bir deyişle, bitkisel ve hayvansal yağların etanol ve metanol gibi alkollerle NaOH gibi bazik katalizör olarak esterleştirilmesi işlemine transfer denir ve bitkisel yağlardan dizel yakıt elde edilmesinde en yaygın kullanılan yöntemdir.

Bitkisel yağların;

- Çevreye daha az zarar vermesi,
- Tarımsal faaliyetlerle üretilmesine bağlı olarak yenilenebilir olması,
- Doğaya atıldığında biyolojik olarak doğal bir şekilde ayrışabilmesi/parçalanabilmesi gibi özellikleri alternatif yakıt olarak kullanılmasında etkili olmuştur (Oğuz ve Ögüt, 2002)

Dengeleme reaksiyonu olarak kabul edilen bu süreçte fazla alkolün ürün üzerinde faydalı bir etkisi vardır (Özdemir ve Mutlubaş, 2016). Alkali katalizörler, asit katalizörler veya enzim katalizörleri, NaOH, KOH, sodyum metaoksit ve sodyum etil oksit, aktarım işlemi hızlandırmak için örnek katalizörler olarak kullanılabilir, ancak NaOH en ekonomik, alkali katalizördür. birleştirmek diğerlerinden daha kolaydır. Alkali katalizörler, daha hızlı bir reaksiyon süreci sağladıkları için daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, reaksiyondaki su sabunlaşmaya neden olduğundan, potansiyel sabun eter ürününün miktarını azaltacağından ve gliserin salınımını önleyeceğinden, alkali katalizör kullanan reaksiyonun alkol veya gliserinli su

içermemesi önemlidir. (Van Kasteren ve Nisworo, 2007; Dorado ve diğerleri, 2002). HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve fosforik asit, alkolizasyon işleminde asit katalizörleri olarak kullanılabilir ve lipazlar, enzim katalizörlerinin örnekleridir. Lipaz kullanan enzimatik reaksiyonlarda, enzimin tam olarak çalışabilmesi için reaksiyonun dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi gerekir (Meher ve diğerleri, 2006). Metanol ve etanol en yaygın alkol türleridir ve trigliseritteki serbest yağ asidi düşükse, bir alkali katalizör ile reaksiyona girmek en iyisidir. Ancak trigliseritlerdeki yağ asitleri ve su yüksek ise asit katalitik alkol kullanılır. Burada yapılan işlemin süresi daha uzundur (Dorado ve ark. 2002, Meher ve ark. 2006). Farklı alkollerin kullanılması reaksiyon koşullarını ve verimi değiştirerek biyodizel üretimini zorlaştırmaktadır. Baz, aktarılabılır reaksiyonun reaksiyon hızını arttırmak için kullanılır ve ana katalizörü kullanan işlemler daha verimli ve ekonomiktir. İşlem düşük basınç ve sıcaklıkta gerçekleştirilir, reaksiyon süresi kısadır, ortalama %98 verimle ve farklı ara aşamalar olmaksızın metil etere doğrudan dönüşüm, ana katalizörün kullanılmasının nedenlerinden biridir (Özdemir ve Mutlubaş, 2016; Gündüz, 2017).

**Baz ve Alkolün Karıştırılması:** Katalizör alkol içinde çözündürülür. Katalizör olarak da NaOH veya KOH kullanılır.

**Transesterfikasyon İşlemi:** Bitkisel ve hayvansal yağları 55 °C veya 60 °C'de manyetik bir ısıtıcıda ısıttıktan sonra alkol bazlı bir solüsyon (MeOH-NaOH / KOH) ekleyin. Kullanılmış kaplar atmosfere kapatılır ve alkol buharlaşmaz. Yaklaşık 80 saat sonra biyodizel-gliserin formunda iki fazlı bir karışımın oluştuğu aktarılabılır reaksiyonun tamamlanması beklenir (Özdemir ve Mutlubaş, 2016).

**Ayırma İşlemi:** Reaksiyon sonucu oluşan biyodizel ve gliserin ürünleri birbirinden ayrılmalıdır. Her iki ürün de metanol kalıntıları içerir. Gliserin yoğunluğu biyodizelin yoğunluğundan daha yüksek olduğu için, yoğunluk farkı beklenecek veya santrifüj edilerek ayırma işlemi gerçekleştirilir. Yüksek yoğunluklu gliserin çöker ve ayırma işlemi kolaylıkla yapılabilir (Dorado ve ark., 2002).

**Alkolün Uzaklaştırılması:** İzole gliserin ve biyodizeldeki fazla alkol, buharlaştırma veya damıtma yoluyla uzaklaştırılır. Reaksiyon karışımını nötralize edin ve gliserin ve eter formlarını ayrılmış olmaktadır (Dorado ve ark., 2002).

**Gliserinin Nötralizasyonu:** Reaksiyon sonucunda yan ürün olarak gliserin elde edilir. Gliserin içinde asitler, katalizörler ve nötralize sabunlar içerir. %80-88 saflıkta gliserin elde etmek için üründen suyu ve alkolü çıkarın. Elde edilen saf gliserin kozmetik ve ilaç endüstrilerinde kullanılmaktadır (Dorado ve ark., 2002).

Metil Esteri Yıkama İşlemi: Gliserin ve biyodizel karışımını çıkardıktan sonra biyodizel içindeki az miktarda sabun ve baz kalıntısını damıtılmış suyla yıkayın. Karışım, açık sarı dizelinkine benzer bir viskoziteye sahip biyodizel üretmek için nötralize edilir (Özdemir ve Mutlubaş, 2016).

İşlem basamakları sonucunda elde edilen biyodizel yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri petrodizel yakıtına benzer olup dizel yakıtına göre avantaj ve dezavantajları da aşağıdaki gibidir.

Biyodizelin önemli avantajları;

- Kükürt, aromatik hidrokarbonlar, metaller ve ham petrol artıklarını bünyesinde bulundurmadığından yanma verimi ve emisyon üzerinde negatif etkileri yoktur.
- Yoğunluk, ısı değer ve viskozite değerleri normal dizel yakıtına yakındır.
- Daha düşük CO<sub>2</sub>, CO, HC çıktıları olmaktadır.
- Moleküler yapısında %10-12 civarında oksijen içerir.
- Yerel olarak üretilmesi ve basit teknolojiyle elde edilmesi münasebetiyle dışa olan bağımlılığı azaltır.
- Dizel yakıtına yakın güç ve moment üretimi ve özgül yakıt tüketimi değerlerine sahiptir.
- Biyolojik olarak daha az toksit madde içermektedir.
- Alev alma noktasının yüksek olması sebebiyle taşınması ve depolanması kolay bir yakıttır.

Biyodizelin bazı dezavantajları aşağıdaki gibidir:

NO<sub>x</sub> emisyonları dizelden ortalama %10 daha yüksektir ve katalizörler yardımıyla azaltılabilen kükürt içermez.

Biyodizelin viskozite ve soğuk akış özellikleri dizele göre daha yüksek olduğu için enjektörlerde ve yakıt sisteminde tıkanmalara neden olarak soğuk havada ilk çalıştırmayı zorlaştırabilir (Reşitoğlu, 2010).

Çizelge 1.3'te gösterildiği gibi, Moğolistan'ın bol biyokütle kaynaklarına sahip bir tarım ülkesi olduğu göz önüne alındığında, diğer motor yakıtı üretimi türleri için yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi önemlidir. Bitkisel yağın motor yakıtı olarak kullanılması, herhangi bir zamanda petrol rafinerisi üretimini artırabilir. Günümüzde bitkisel yağ fiyatı motorin fiyatından daha yüksek olmasına rağmen, tüketim artarsa fiyat daha da düşecektir. Ayrıca herkes çevrenin korunmasına dikkat

etmelidir. Bitkisel yağlar organik kökenli olduğu için çevreyi kirletmeden toprak tarafından emilir (Oğuz ve Öğüt, 2002).

**Çizelge 1.3.** Ülkemizde yetiştirilen bitkisel yağlar

Yağ Adı	Bitkisinin	Ekiliş Alanı (ha)	Yağ Oranı (%)	Üretim Verimi (kg/ha)	Üretim Miktarı (ton)
Yer Fıstığı		32000	35 - 55	2563	82000
Soya		31000	13 - 25	2419	75000
Kolza		10	10 - 45	1000	10
Aspir		74	9 - 28	878	65
Ayçiçeği		560000	40 - 50	1607	900000
Susam		68000	45 - 59	412	28000
Haşhaş		29681	44 - 50	369	10948
Pamuk Toh.		721712	16 - 24	1653	1193286
Mısır		515000	17 - 18	3689	1900000
Türkiye Toplamı		1959738	-	-	4189929

**Kaynak:** (Kerscnbaum, ve Rinke, 2003)

Dizel ve bitkisel yağ yakıtlarının özellikleri Çizelge 1.4'te gösterilmiştir. Bu değerlere göre bitkisel yağın viskozitesi motorininkinden yaklaşık 9-12 kat daha fazladır. Yüksek viskozite, yakıtın pompalanmasını ve enjektörlerden enjekte edilmesini zorlaştırır, bu da pompalama sırasında atomizasyonu bozar ve yanmayı kötüleştirir. Bitkisel yağlar setan sayısı bakımından motorine yakındır ve kalorifik değeri motorinden çok farklı değildir.

Yüksek parlama noktası, depolama güvenliği sağlar ve ateşlemede sorun yaratır. Yüksek dökme ve donma noktaları, bitkisel yağların doğrudan uygulanması için bir sorun olabilir (Oğuz ve Öğüt, 2002; Özseven ve ark., 2006).

**Çizelge 1.4.** Yakıt özelliği açısından bitkisel yağlar

Bitkisel Yağ	Ö. Kütle (g/ml)	Viskozite	Isıl Değer (kJ/kg)	Setan S. (ASTM D613)	TG K.M.A (°)	Donma Noktası (°C)	Akma Noktası (°C)	Oksitlenme Süre. (h)
Ayçiçek	0.92	34.9	39644	33	23.8	7.2	-15	5.5
Soya yağı	0.92	36.4	39390	39	19.6	-3.9	-12.2	8
Pamuk	0.91	37.4	37420	51	21.4	1.7	-15	7.5
Yer fıstığı	0.91	37.2	37160	39	19.6	12.8	-6.7	6.7
Kolza	0.92	39.0	39913	37.6	21.9	-3.9	-31.7	10.5
Keten	-	27.2	39300	34.6	-	1.7	-15	0.5
Susam	-	35.5	39350	40.2	-	-3.9	-9.4	8.5
Motorin	0.86	2.9	42450	50.8	12.5	-15	-33	150
Karbon	Bitkisel yağların tamamında %0.22-0.30 (ASTM sınır değeri %0.35)							
Kükürt	Bitkisel yağların tamamında %0,01 (ASTM sınır değeri %0.5)							
Kül oranı	Bitkisel yağların tamamında %0.005-0.01 (ASTM sınır değeri %0.01)							
Su ve tortu	Bitkisel yağların tamamında %0.Q5 (ASTM sınır değeri %0.Q5)							

**Kaynak:** (Kerscnbaum, ve Rinke, 2003)

### 1.12.2 Atık Bitkisel Yağlar ve Ülkemizdeki Durumu

Biyodizel üretiminin önemi dünya genelinde değişen enerji dengesine paralel olarak artmakta ve Moğolistan'ın enerji ihtiyacının değişmesiyle biyodizel üretim tesisleri hızla büyümektedir. Bu konuda atık yağ üretimi başı çekmektedir. Türkiye, gıda için yılda 1.500.000 ton bitkisel yağ kullanıyor. Bu yağların yaklaşık 350.000 tonu atık yağlardır. Özellikle büyük şehirlerde binlerce restoranın yanı sıra onlarca fast food restoranı ve dört-beş yıldızlı oteller var. Özellikle tavuk, hindi, balık vb. Kızartma sırasında çok miktarda hayvansal atık yağ oluşur.

Ülkemizde son zamanlarda patates kızartması ve diğer gıda ürünlerinin tüketimi artmaktadır. Sonuç olarak, kullanılan bitkisel yağ miktarı artmıştır (Oğuz ve Ögüt, 2008).

**Çizelge 1.5.** Ülkemiz yağ Üretim, tüketim ve ithalatı

Ülkemizde	Miktar (Ton)
Bitkisel yağ üretimi	600.000 - 700.000
Tüketim	1.400.000 - 1.600.000
Yağ açığımız	800.000 - 900.000

**Kaynak:** (Velioğlu, 2005)

Ülkemiz yağlı tohum ve bitkisel yağ ithalatına yılda yaklaşık 1 milyar dolar ödüyor. Bu yağların kullanıldıktan sonra yeniden değerlendirilmesi ülke ekonomisine önemli faydalar sağlayacaktır. Ülkemizde ekilen yağlı tohumların üretiminin tüketimi karşılamaması, Moğolistan'ın dünyanın sayılı yağlı tohum ve ham petrol ithalatçılarından biri olduğunu göstermektedir (Oğuz ve Ögüt, 2008).

**Çizelge 1.6.** Bitkisel yağ üretimi ile ilgili problemler

Üretimle İlgili Problemler	
Bitki	Kısıtlayıcı Faktörler
Ayçiçeği	Coğrafik ve iklimsel şartlar, maliyet
Pamuk	Maliyet
Soya Fasulyesi	Maliyet, pazarlama ve işleme tesisi
Kanola	Maliyet ve pazarlama
Susam - Yerfıstığı	Mekanizasyon
Aspir	Pazarlama

**Kaynak:** (Oğuz ve Ögüt, 2008)

Türkiye'de yağlı tohum üretimini artırmak için daha fazla ürüne ihtiyaç var. Ancak üreticiler bu üretimi karlılıkla orantılı olan ekime tercih etmektedirler.

Üreticilerin yağlı tohumlara, özellikle yüksek performanslı yağlı tohumlara odaklanması gerekmektedir.

**Çizelge 1.7.** Bazı Ülkelerde Kişi Başına Yıllık Yağ Tüketimleri

Ülke	Toplam Yağ Tüketimi	Ayçiçek Yağı (Kg)	Soya Yağı (Kg)	Kolza Yağı (Kg)	Palm Yağı (Kg)	Pamuk Yağı (Kg)	Mısırözü Yağı (Kg)	Zeytin Yağı (kg)
AB	50,5	5,5	5,6	8,8	9,1	0,3	0,56	5,3
ABD	50,9	0,5	26,8	2,2	0,6	1,1	2,3	0,8
Rusya	20,1	9,3	3,0	0,4	2,3	0,01	0,01	0,03
<b>Türkiye</b>	<b>26,4</b>	<b>6,4</b>	<b>4,01</b>	<b>0,1</b>	<b>4,3</b>	<b>3,1</b>	<b>2,2</b>	<b>1,2</b>
Çin	16,4	0,2	4,2	3,0	2,2	1,0	0,04	0,001
Mısır	18,4	1,9	4,4	0,003	8,1	1,03	0,4	0,01
Ukrayna	16,2	8,9	0,4	0,5	2,2	-	0,3	0,002
Romanya	19,3	11,3	1,7	1,02	0,6	-	-	0,01

**Kaynak:** [http://www.worldoil.com/InfoCenter/Infocenter\\_Main.asp](http://www.worldoil.com/InfoCenter/Infocenter_Main.asp) (18.03.2022)

AB ve Amerika Birleşik Devletleri'nde hayvansal yağlar da dahil olmak üzere kişi başına düşen yağ tüketimi yılda 50 kg'ı aşarken, Türkiye'de 26 kg civarındadır. Ayrıca, AB kolza tohumu ve Amerika Birleşik Devletleri soya fasulyesi yağı kullanır, Rusya ve Ukrayna en büyük ayçiçek yağı tüketicisidir ve Moğolistan en büyük ayçiçek yağı tüketicisidir.

Doğa, Çevre ve Orman Bakanlığı'na göre, çevreye zararlı atık olarak kabul edilen ve en az 150.000 ton, en fazla 350.000 ton olması gereken kullanılmış yağların sadece yüzde 1'i depolanıyor. 2007 yılında Sakarya belediyesi 14 ton atık yağ topladı. Sonuç olarak, atık yağların %99'u gıda, yem, kozmetik, atık su ve toprak endüstrilerine geri dönmektedir.

Evsel ve restoran atık yağlarından yağ asidi esterlerinin üretimi, diğer yakıtların kullanımına farklı bir yaklaşım getirmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Standarda göre, bir litre biyodizel 0,5 dolara mal oluyor. Bu maliyetin çoğu orijinal yağın fiyatıdır. Biyodizel gerçek yağ yerine atık yağdan üretildiğinde üretim maliyetleri yarı yarıya düşüyor. Ülkemizde yılda 350.000 ton biyodizel, 35.000 ton gliserin ve 3.5 bin ton sabun üretilmekte olup, yaklaşık 350.000 ton kullanılmış bitki ve hayvansal atık yağ geri dönüştürülerek kanalizasyona verilmemektedir. Kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağların geri dönüştürülmesiyle evsel atık su yüzde 25 oranında azaltılıyor. Vergi muafiyeti biyodizelin Avrupa'daki pazar payını artırmaktadır.

Mutfak atık yağı, serbest yağ asitleri ve su bakımından yüksektir. Rafine bitkisel yağlar ayrıca çok az miktarda serbest yağ asidi ve su içerir. Bu atık kaynağının aktif hale getirilmesi hem alternatif yakıt kaynakları hem de çevre için önemlidir. Bu nedenle, mutfak atıklarından elde edilen biyodizel, dizele alternatif olarak Avrupa ve

Amerika Birleşik Devletleri'ndeki benzin istasyonlarına satılmaktadır (Çanakçı ve Yaman, 2003; Alptekin ve Çanakçı, 2003).

### 1.12.2.1 Atık Yağların Çevresel Etkileri

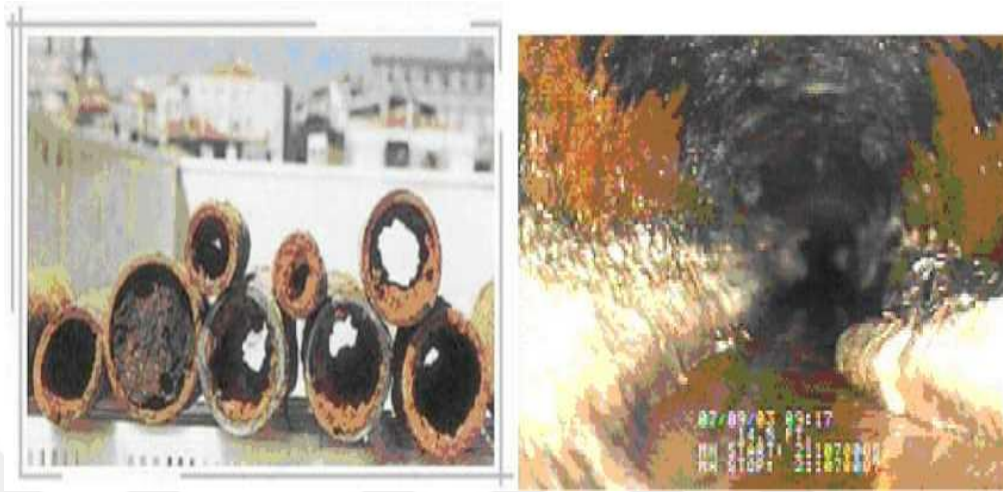
Bitkisel ve hayvansal yağ atıkları kalorilerde çok yüksektir. Bu atık yağlar su ve kanalizasyon hatlarına deşarj edildiğinde suyun yüzeyini kaplar, su sistemine zarar verir, havadaki oksijenin suya geçişini engeller, zamanla suda ayrışır ve oksijenin tükenmesini hızlandırır. Kullanılmış yağ lavaboya döküldüğünde drenaj sistemi sıvanır, lağımdaki pislikler yapışır ve boru zamanla daralır. Kanalizasyona dökülen atık yağ, mıknatıslar gibi diğer kalıntıları toplayarak kanalizasyon sistemini kullanılamaz hale getirir. Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir araştırmaya göre kanalizasyon sistemlerinin %40'ı atık yağ ve gresin neden olduğu tıkanmalar nedeniyle bağlı olarak tıkanmalar meydana gelmektedir.



**Şekil 1.17.** Atık yağlardan dolayı tıkanan kanalizasyon  
**Kaynak:** (Öztürk, 2008)

Biyolojik arıtmada yer alan bakteriler ayrıca, aktivitelerini engelleyen yağlar ve greslerde tutulur. Atık bitkisel ve hayvansal yağlar atıksu kirliliğinin %25'ini oluşturmaktadır. Restoran atık sularındaki yağ-yağ içeriği 100-300 mg/l arasında değişmektedir. Hayvansal ve bitkisel yağlar ekstrakte edildiğinde restoran atıksularındaki yağ-yağ içeriği 24-144 mg/l'dir. Arıtılmamış atık sulardan gelen bitki ve hayvan atıkları okyanuslara, göllere ve akarsulara boşaltıldığında, su kirlenir ve suyun oksijen içeriği azalır. Balık başta olmak üzere diğer canlılar için çok zararlıdır. Bu konudaki mevzuat, bitkisel ve hayvansal atık yağların yönetimine ilişkin esaslar (Madde 5) ve atık yağlardan biyodizel üretiminde dikkate alınan esaslar (Madde 18) Bitkisel ve

hayvansal atık yağların kontrolüne ilişkin Yönetmelikte yansıtılmaktadır (Çanakçı ve Yaman, 2003; Alptekin ve Çanakçı, 2003; Tomasevic ve Marinkovic, 2003).



**Şekil 1.18.** Bitkisel ve hayvansal atık yağlardan dolayı tıkanan kanal sistemleri görüntüleri  
**Kaynak:** (Öztürk,2008)

### **1.12.3 Bitkisel Atık Yağların Doğrudan Alternatif Motor Yakıtı Olarak Kullanılması**

Bitkisel yağ doğrudan başka bir yakıt olarak kullanılabilir, ancak deneyler dizel motorlar için birçok soruna neden olabileceğini göstermiştir. Bu çalışmalar kısa vadede olumlu sonuçlar verse de test süresi uzadığında bazı motor sorunlar yaşanmaktadır. Bitkisel atık yağın saf halde veya PKDY ile çeşitli oranlarda karıştırılarak dizel motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilmesi için yağın içerdiği su ve yabancı maddelerin ayrıştırılması gerekmektedir (Alptekin ve Çanakçı, 2003).

#### **1.12.3.1 Hammadde olarak atık bitkisel yağlar**

Bitkisel yağ dizel motorlarda kullanılmayacak kadar pahalıdır. Bu durum alternatif yakıt olarak kullanılması dezavantajına sahiptir. Genellikle acil ihtiyaçlarda, yağın olmadığı veya yetersiz olduğu durumlarda kullanılır. Bu durumda atık yağ kullanımının maliyet üzerinde önemli bir etkisi vardır.

Bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri kullanımdan sonra değişebilir. Bu nedenle atık bitkisel yağların özellikleri, kullanılmayan bitkisel yağlardan farklıdır. Bu durumda yoğunluk, viskozite, sabunlaşma ve serbest yağ asidi içeriği artar, ancak iyot içeriği azalır. Sabun oluşumu, yüksek miktarda serbest yağ asidi içeren bir yağın bir alkali katalizör ile reaksiyonundan kaynaklanır. Serbest yağ asitleri eterlerin

dönüşümünü azaltırken, reaksiyon sırasında oluşan sabunlar reaksiyon sonunda eter, gliserin ve çamaşır suyunun bozunmasını engeller. Bu yağ türündeki yüksek serbest yağ asidi içeriği, üretim sırasında büyük bir sorundur. Bu nedenle atık bitkisel yağın ön dönüşüm reaksiyonu, yağdaki serbest yağ asitlerinin miktarını belirlemektir (Alptekin ve Çanakçı, 2003; Tomasevic ve Marinkovic, 2003).

### **1.12.3.2 Bitkisel Yağ Asitleri**

Yağlar, yağ asitlerinin gliserol ile esterleşmesiyle oluşur. Karbon (C) ve hidrojen (H) gibi yanıcı elementler ve oksijen (O) gibi yanıcı elementler içerirler. Bunlardan O miktarı, C ve H atomlarınınkinden çok daha küçüktür.

Yağların enerji değerini birçok faktör etkiler. Bunları kısaca yapıdaki serbest yağ asitlerinin düzeyi, yağ asidi zincirinin uzunluğu ve çift bağ sayısı olarak sıralayabiliriz. Bunlar yağlar, kloroform, eterler ve benzen gibi organik çözücülerde çözünür, ancak suda çözünmezler ve içerdikleri yağ asitlerinin türüne ve düzeyine göre değişir.

### **1.12.4 Bitkisel Yağların Dizel Motorlarda Kullanılabilirliğini İyileştirme Yöntemleri**

Bitkisel atık yağların herhangi bir modifikasyon yapılmadan dizel motorlarda kullanılabilmesi için dizel yakıtın kimyasal özelliklerine sahip petrol türevi motorine dönüştürülmesi gerekmektedir.

#### **1.12.4.1 Püskürtme basıncı ve püskürtme avansı değişimi**

Aynı çaptaki enjektör deliklerinden yüksek basınçlı yakıt enjeksiyonu öğütücü partikülleri azalttığından ve yüksek viskozite nedeniyle zayıf enjeksiyon özelliklerini kısmen iyileştirdiğinden, motorun standart enjeksiyon basıncının artırılması performans ve emisyon değerlerini iyileştirir. Enjeksiyon hızı artırıldığında, yakıt pompalandığında silindirdeki sıcaklık ve basınç daha düşük olduğundan ateşleme gecikme süresi artar. Azalır, yakıt pompalanmaya başladığında silindirdeki sıcaklık ve basınç daha yüksek olacaktır. Bu nedenle ateşleme süresi kısalmıştır. Bitkisel yağın doğası göz önüne alındığında, motor çalışma koşullarına göre enjeksiyon hızının düşürülmesinin bitkisel yağın yanma verimini artıracığı söylenebilir (Altun ve Gür, 2005).

#### **1.12.4.2 İnceltme (seyreltme)**

Bu, uygun seyreltici ile bitkisel yağların viskozitesini azaltmanın bir yoludur. Bitkisel yağa belirli bir oranda dizel yakıt ve organik içerik eklemek, yağın viskozitesini azaltır. Ayçiçek yağının dizel yağı dışında bir seyreltici olarak viskozitesini azaltmak için yağ, farklı hacimlerde normal bütanol, aseton ve etanol-metanol ile karıştırılmıştır (Altun ve Gür, 2005).

#### **1.12.4.3 Mikro emülsiyon**

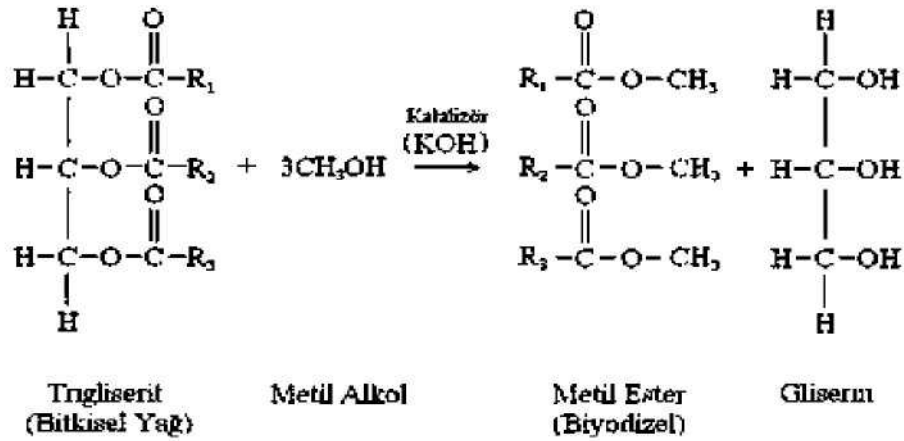
Bitkisel yağların viskozitesini azaltmak için metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyonlar oluşturulur. Bu nedenle viskozite azalır (Altun ve Gür, 2005).

#### **1.12.4.4 Proliz**

Proliz, organik maddenin oksijensiz bir ortamda termal olarak parçalanması, kimyasal bağların kırılması ve gazlar, sıvılar ve katılar üretmek için küçük moleküller oluşturma işlemidir. Bitkisel yağ proliferasyon ürünleri elde etmenin iki yolu vardır. Biri bitkisel yağı ısı etkisi altında kapalı bir kaptaki ayrıştırmak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu altında termal parçalama etkisi altında tutmaktır (Acaroğlu ve Uçar, 2006).

#### **1.12.4.5 Transesterifikasyon**

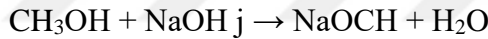
Bitkisel yağı dizel yakıtı uyarılmanın en önemli kimyasal yöntemi transfer veya alkol ayrışma reaksiyonudur. Aktarma, bitkisel yağların düşük moleküler ağırlıklı alkollerle katalize ederek gliserol ve yağ asidi esterlerine tepkimesidir. Bir bitkisel yağ molekülü, bir gliserin molekülüne bağlı üç esterden oluşur. Bu nedenle bitkisel yağlar trigliseritler ve gliserin esterleri olarak adlandırılabilir, çünkü "tri" gliserol üç esterini ve gliserini temsil eder (Altun ve Gür, 2005).



Şekil 1.19. Bitkisel yağın genel transesterifikasyon denklemi  
Kaynak: (Karaosmanoğlu, 2002)

Bitkisel yağ moleküllerinin yaklaşık %20'si gliserindir. Gliserin ayrıca gliserol ve gliserit olarak da adlandırılır. Bitkisel yağlardaki gliserin, yağı kalın ve yapışkan hale getirir. Transfüzyon sırasında bitkisel yağlarda bulunan gliserin açığa çıkar ve yağ inceltir yani viskozitesi düşürülür. Katalizör olarak metanol veya etil alkol kullanılır (Çanakçı, 2004; Karaosmanoğlu, 2002).

Alkali katalizör kullanabilmek için, ortamda su bulunmamalı;



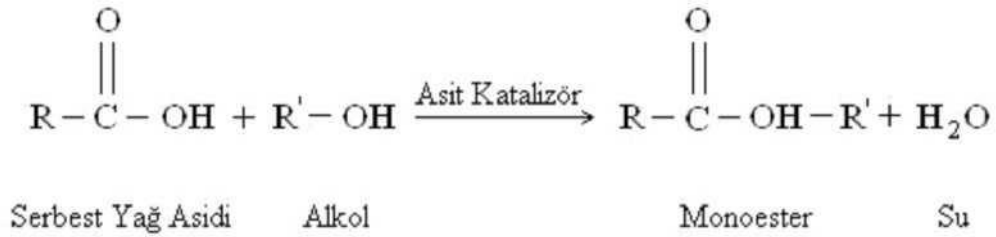
Yağın Serbest yağ asidi içeriği düşük olmalı (% 0.2 - 0.5)

Serbest yağ asitlerinin içeriği %0,5'ten fazlaysa, alkali katalizör yerine asit katalizörü kullanın. Böylece serbest yağ asitleri monoetere dönüştürülür. Buna ön iyileşme denir. Bu adım, yağdaki serbest yağ asitlerinin miktarını azaltır.



Şekil 1.20. Sabun oluşumu

SYA, katalizörü tüketen, eterlerin dönüşümünü azaltan ve eterlerin ve eterlerin, gliserin ve çamaşır suyunun ayrışmasını engelleyen bir sabun oluşturmak için ana katalizör ile reaksiyona girer. Birçok araştırmacı, yüksek FFA'lı atık yağlar üzerinde çalışmış ve temel bir katalizör kullanımının dönüşüm oranını azalttığı sonucuna varmıştır. Bu durumda yağ asidi oranını azaltmak için bir ön işlem reaksiyonu kullanılır. Bu reaksiyon bir eter değişimi değil, bir esterleşme reaksiyonudur. (Çanakçı, 2004; Karaosmanoğlu, 2002).



**Şekil 1.21.** Ön iyileşme reaksiyonu  
**Kaynak:** (Şanlı ve Çanakçı, 2004)

Ön işlem reaksiyonu için, alkol ve katalizör miktarı, yağdaki serbest yağ asitlerinin miktarı ile belirlenir. Serbest yağ asitleri miktarı istenilen düzeye indirildikten sonra transfer reaksiyonuna girer. Aktarılabılır reaksiyondaki alkol ve katalizör miktarı, reaksiyona girmemiş trigliseritlerin miktarı ile belirlenir. Asit katalizörler, bazik katalizörlerden çok daha yavaştır, ancak serbest yağ asitlerini esterlere dönüştürmek için yeterince hızlı kabul edilebilir. Serbest yağ asitlerinin miktarını azaltmak için asit katalizörleri kullanmanın bir diğer dezavantajı, reaksiyon sırasında su oluşumudur (Ferizardo ve Nevia, 2005; Shanli ve Chanakchi, 2004).

Artan reaksiyon süresi ile eter dönüşümü artar. Chanakchi ve Van Herpen, yüksek serbest yağ asitleri içeren yağların biyodizel yakıtlara dönüşümünü etkileyen faktörleri incelemek, oda sıcaklığında metil alkolde KOH (% 1) çözeltisi hazırlamak ve bir molar işlemi gerçekleştirmek için bir deney birimi kurdular. Oran 6:1 idi ve gliserol oranı 8 saat içinde belirlendi ve değişim gözlemlendi. Her 8 saatlik testte karışım numuneleri alındı ve zamanla öğütmedeki değişiklikler gözlemlendi. Sonuç olarak, eter dönüşümü arttıkça gliserol oranının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır (Çanakçı ve Özsezen, 2005).

### 1.12.5 Standartlara Uymayan Biyodizelin Dizel Motorlara Etkileri

Biyodizeldeki serbest metanol, alüminyum çinko korozyonu, düşük parlama noktası ve elastomerik şişme gibi etkilere neden olabilir, bu durumda özellikle EVET'te korozyon meydana gelir. Biyodizel işleme kimyasalları tarafından çökeltilmesi, organik asitlerin, tuzların (sabunlar) oluşumu ve serbest yağ asitlerinin, özellikle renkli malzemelerin korozyonu, hareketli motor elemanlarının yapışmasına, filtrelerin tıkanmasına ve EVET korozyonuna neden olabilir (Karahana, 2005).

### 1.12.6 Uluslararası Biyodizel Standartları

Biyodizelin çevreye ve ekonomiye katkısı ancak uluslararası standartlara uygun üretim ile sağlanabilir. Yetersiz üretim kalitesi, çıktı kaybı ve üretim sorunları üretkenliği ve ürün kalitesini düşürebilir. Benzer şekilde, kalitesiz ürünlerin kullanımı zor olabilir ve en önemlisi, onları tüketen motora doğrudan zarar verir.

#### 1.12.6.1 Dünyada Biyodizel

Biyodizel üretimi ve bu yakıtların dizel motorlarda kullanımına yönelik araştırmalar 28 ülkede tüm hızıyla devam ediyor. Batı Avrupa'da (İtalya'da 9'u), Doğu Avrupa'da 29'u (Çek Cumhuriyeti'nde 17) ve Kuzey Amerika'da 8'i bitkisel ve hayvansal yağlar (atık yağlar dahil) üreten 44 biyodizel tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin dağılımı ve kapasitesi tabloda gösterilmiştir (Karahan, 2005).

#### 1.12.7 Biyodizel Özellikleri

Biyodizel, orta uzunlukta C<sub>16</sub>-C<sub>18</sub> yağ asidi zincirleri içeren metil veya etil eter tipi bir yakıttır. Oksijenli zincirin yapısı biyodizeli petrol dizelinden ayırır. Biyodizel, dizele çok yakın bir kalorifik değere sahiptir ve dizelden daha yüksek bir tutuşma noktasına sahiptir. Bu özellik biyodizelin kullanımını, taşınmasını ve depolanmasını güvenli hale getirir (Ulusoy ve Alibaş, 2002; Karaosmanoğlu, 2002).

##### 1.12.7.1 Biyolojik olarak bozunabilirlik

Biyodizel yakıtını oluşturan metil esterler C<sub>16</sub>-C<sub>18</sub>, 10.000 mg/l'ye kadar doğada kolay ve hızlı bir şekilde ayrışır ve mikrobiyolojik etkileri yoktur. Biyodizelin %95'i ve dizel yakıtın %40'ı suda bırakıldığında 28 gün içinde bozular. Biyodizelin biyolojik bozunması dekstrozun (şeker)kine benzemektedir (Karaosmanoğlu, 2002).

##### 1.12.7.2 Toksik etki

Biyodizelin hiçbir yan etkisi yoktur. Ölümcül oral biyodizel dozu, vücut ağırlığının kg'ı başına 17,4 g biyodizeldir. Sofra tuzu durumunda bu rakam vücut ağırlığının 1,75 g/kg'ı kadardır ve tuz biyodizelden on kat daha öldürücüdür. Deneyler, biyodizelin cilt için %4 sabun çözeltisinden daha az toksik olduğunu göstermiştir. Sadece bir litre petrol, su kaynağına ulaştığında bir milyon litre içme suyunu kirletirken, biyodizel tüm su hayvanları için toksik olmayan bir yakıttır (Karaosmanoğlu, 2002).

### 1.12.7.3 Depolama

Dizel yakıtın depolanması için gerekli kurallar ve düzenlemeler biyodizel için de geçerlidir. Biyodizel aşırı ısınmayı önlemek için temiz, kuru ve karanlık bir yerde saklanmalıdır. Depolama malzemesi olarak yumuşak çelik ve paslanmaz çelik seçilebilir. Doğal ve bütül kauçuk, depolama, nakliye veya motor malzemeleri için uygun değildir; Bunun nedeni biyodizelin bu malzemeleri ayrıştırmasıdır (Karaosmanoğlu, 2002).

### 1.12.7.4 Soğukta akış özellikleri

Biyodizel ve biyodizel-dizel yakıt karışımları dizelden daha fazla saçılır ve bir bulutlanma noktasına sahiptir; Bu durum soğukta yakıt kullanımını zorlaştırmaktadır. Uygun katkı maddeleri (jel önleyici maddeler) kullanılarak dökülme ve bulutlanma noktaları en aza indirilebilir. Biyodizel-dizel karışımı 4 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda karıştırılarak hazırlanır. Soğuk karıştırma için dizel yakıtı, sıcak karıştırma için düşük karıştırma için daha fazla biyodizel eklenmesi önerilir (Ulusoy ve Alibaş, 2002; Karaosmanoğlu, 2002).

### 1.12.7.5 Motor yakıtı özellikleri

Biyodizel ile dizel arasındaki en önemli fark oksijen içermesidir. Biyodizel, ağırlıkça yaklaşık %10-12 oksijen içeriğine sahiptir. Bu oran, yakıt açısından zengin bölgede yanma sırasında oksijen ihtiyacını karşılamayı sağlar, partikül emisyonlarını azaltır ve karışımın ısı değerini artırır. Dizel kükürt en önemli yakıt sorunlarından biridir. Bacadaki kükürt oksitler, asit yağmuru oluşturan sülfürik asit oluşturmak için hidrojen ile reaksiyona girer. Biyodizel neredeyse hiç kükürt içermemektedir. Ayrıca düşük kalorifik değeri dizel yakıtı göre daha düşüktür. Setan, dizelden daha boldur ve daha yüksek viskoziteye sahiptir. Sonuç olarak biyodizelin motora alternatif yakıt olarak kullanılması motor gücü ve torkunda dizele göre bir miktar azalma, yakıt tüketiminde ve yakıt tüketiminde artışa neden olmaktadır (Karaosmanoğlu, 2002; Karabektaş, 2005). ; Haas ve diğerleri, 2001).

Atık yağdan elde edilen biyodizel, yüksek viskoziteye ve yüksek karbon kalıntısına sahiptir. Soğuk akışın doğası iyi değil.

Biyodizel, petrol türevi dizel ile her oranda kullanılabilir. Bu özellik, petrol türevi dizel yakıtın kalitesini artırır. Örneğin, yanma sonucu yayılan zararlı gazların miktarını azaltır, motor yağlama seviyesini artırır ve motor gücünü azaltan tortuları

çözer. Biyodizel yakıtının setan sayısı dizel yakıtından daha fazla olduğu için motor daha az vuruntuya sahiptir (Haas ve ark., 2001; Kerscnbaum, ve Rinke, 2003)

### 1.12.8 Dizel Motorlarında Kullanılan Alternatif Yakıtlar Ve Etkileri

Küresel enerji ihtiyacımızın büyük çoğunluğunun petrol rezervlerinden karşılanması ve petrol rezervlerinin sınırlı ve belirli bölgelerde yoğunlaşması nedeniyle artan tüketim sonucunda tüketimin hızla tükenmesi, diğer yakıtların araştırılmasına yol açmıştır. Petrole daha fazla önem vermek, insanlığın yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmamasıdır. Araştırma sonucunda motorlarda kullanılacak diğer yakıtların temel özellikleri şu şekilde sıralanabilir (Yıldırım, 2003; Akyaz, 2007; Özsezen ve Çanakçı, 2008).

Motorların verimleri yükseltilmeli ya da motor performansı fazla düşürülmemelidir,

- Motorlarda önemli yapısal bir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabilmesi,
- Motorlardan atmosfere yayılan kirletici eksoz emisyonları azaltılması,
- Maliyeti düşük ve üretimi kolay olmalıdır.

İçten yanmalı motorlarda kullanılması öngörülen başlıca alternatif yakıtlar şunlardır;

- Gaz Yakıtlar
- Hidrojen
- Doğal Gaz; Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (Liquefied Natural Gas (LNG)) veya Sıkıştırılmış Doğal Gaz (Compressed Natural Gas (CNG)),
- Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (Liquefied Petroleum Gas (LPG)),
- Biyogaz (Metan (CH<sub>4</sub>), CO<sub>2</sub> ve diğer gazların karışımı),
- Sıvı Yakıtlar
- Bitkisel yağlar
- Alkoller (Metil Alkol (Metanol (CH<sub>3</sub>OH)), Etil Alkol (Etanol (CH<sub>4</sub>OH)) (Bütanol (C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>OH)).

#### 1.12.8.1 Hidrojen

Hidrojen; Yenilenebilir (alternatif) enerji kaynaklarından veya güneş, rüzgar, su, dalga ve biyokütle enerjisi gibi fosil yakıtlardan farklı teknikler kullanılarak elde edilir. Hidrojen üretiminde elektroliz, radyoliz, buhar geri kazanımı, atık gaz işleme, fotoğraf

işlemi ve termokimyasal işlem gibi farklı üretim teknolojileri kullanılmaktadır. Hidrojen havadan daha hafif, renksiz ve kokusuz bir gazdır ve geleneksel yakıtın kütlesi başına en yüksek enerji kapasitesine sahiptir. Hidrojen kullanımındaki temel zorluklar, depolanmasının zor olması, mevcut teknolojinin onu pahalı üretim ve motor parçalarına karşı savunmasız hale getirmesi ve tam gelişmiş yakıt hücresi teknolojisinin olmamasının hidrojenin alternatif bir ticari yakıt olarak kullanılmasını engellemesidir. Hidrojen kullanımı emisyonları azaltır (Soroushbai ve Arslan, 1998; Akyaz, 2007).

Doğal gaz, doğal olarak elde edilen çok miktarda metan ( $\text{CH}_4$ ) içerir. Ayrıca az miktarda bütan ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), etan ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propan ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), pentan ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ), nitrojen ( $\text{N}_2$ ) ve karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) içerir. Oktan sayısı, motor oktan sayısı (MOS) için 105'e ve araştırma oktan sayısı (AOS) için 130'a kadardır. Aşındırıcı değildir. Ancak kalorifik değeri yüksek (maksimum kalorifik değeri 50,8 MJ/kg), düşük baca gazı emisyonu ve yakıt tasarrufu sağlar. Özellikleri, motor yakıtı olarak kullanılmasına izin verir (Kocagöz, 2009).

#### 1.12.8.2 Sıvılaştırılmış Petrol Gazı

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), ham petrolün rafinasyonu sonucunda üretilir. LPG; Bütan, propan gibi hidrokarbonlar ve bunların izomerlerinden veya farklı oranlarda karıştırılarak elde edilir. Yüksek basınç altında saklanabilir. Ülkemizde son yıllarda sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) araçlarının kullanımı yaygınlaşmıştır. LPG ayrıca dizel motorlarda emisyonları iyileştirmek için kullanılır (Ciniviz, 2001; Örs, 2007; Aydın ve Acaroğlu, 2009).

#### 1.12.8.3 Biyogaz

Biyogaz, havadan hafif, renksiz, kokusuz, karbondioksit (%20-45), metan (%50-84), hidrojen (%1-10) ve çok az miktarda nitrojen karışımı olup aşağıdaki şekilde elde edilir. . Organik atıkların oksijensiz ortamda biyolojik olarak parçalanması sonucu oluşan gaz karışımıdır. Biyogazın yanıcılığı, bileşiminde metandır ( $\text{CH}_4$ ). 1 m<sup>3</sup> biyogazdan açığa çıkan ısı miktarı (4700-5700) kcal/m<sup>3</sup>'tür. Tam yanmayı sağlamak için biyogazın hava ile yaklaşık 1/7 oranında karıştırılması gerekir. Dizel motorlar için biyogaz kullanıldığında dizel yakıtı (sprey) (sprey) gereklidir (%18-20) (Karabektaş ve Ergen, 2009).

Bitkisel (kanola, fasulye, kanola vb.) veya hayvansal yağların bir alkol (metanol, etanol vb.) katalizörü ile reaksiyona sokulmasıyla elde edilen bir yakıt türüdür.

Biyodizel, bir sıkıştırma motorunda saf halde veya motor yakıtına katılarak kullanılabilir. Biyodizelin yüksek setan içeriği, yüksek kalorifik değeri, dizel yakıtı eklendiğinde emisyonları azaltması, yeniden yapılandırma gerektirmemesi, üretimi kolay ve düşük maliyetli olması, motor yakıtı olarak kullanımını oldukça ilginç kılmaktadır (Altun ve Gür, 2005).

#### **1.12.8.4 Alkoller**

Archie; Kömürden yapay olarak veya nişasta, şeker gibi bitkisel kalıntıların fermantasyonu sonucu elde edilirler. Alkoller karbon (C) ve hidrojene (H) ek olarak oksijen (O<sub>2</sub>) içerir. Bu nedenle, yanma için hava talebi, yağdan elde edilen yağdan daha azdır. İçten yanmalı motorlar için en yaygın olarak kullanılan alkoller metanol ve etanoldür. Alkol saf halde, %100 veya belirli oranlarda tüketilebilir (Sayın vd., 2009; Jincheng vd., 2009).

Alkol, saf yanıcı yakıtlar grubuna aittir. Ayrıca yanma ürünlerindeki karbon monoksit (CO) ve nitrojen oksit (NO<sub>x</sub>) oranında da kullanımları yanma sıcaklığını düşürdüğü ve yanmayı iyileştirdiği için azalma olur. Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve Brezilya başta olmak üzere birçok ülkede motor yakıtlarının kullanımını yaygınlaştıracak yasal düzenlemeler bulunmaktadır (Karabektaş ve Hoşöz, 2009).

Alkoller karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan bileşiklerdir ve bu üç maddenin farklı formlardaki kombinasyonu, farklı özellik ve dokuya sahip alkoller üretir. Tüm alkoller akaryakıt, kir, leke çıkarıcı, çeşitli kimyasallar ve ilaçların imalatında hammadde olarak kullanılmaktadır (Solomons, 1996).

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çanakçı vd. (2003), araştırmalarında Kocaeli ilinde faaliyet gösteren lokanta ve restoranlarda bir yılda üretilen atık miktarlarını belirleyerek bu işletmelerin atık yağ potansiyellerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Araştırma kapsamında incelenen işletmelerde kullanılan yağların kimyasal tepkime öncesinde  $55.20 \text{ mm}^2/\text{s}$ 'lik kinematik viskoziteye ve  $3.9 \text{ mg-KOH/g}$ 'lık asit değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Asit değerinin transesterifikasyon tepkimesi açısından yüksek olması nedeniyle azaltılması için ön iyileştirme reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. İşletmelerden alınan yağ örneklerinin hemen hemen tümünde kinematik viskozite, asit değerleri, toplam ve serbest gliserin düzeyleri ve yoğunluklarının yakıt kalitesi açısından uygun olduğu belirlenmiş ve bu yağların dizel motorlarda yakıt olarak kullanılabilmesinin uygun olduğu ifade edilmiştir.

Tomasevic vd. (2003), kızartma yağları ile biyodizel ürettikleri araştırmalarında katalizör ve molar oranın ester dönüşümüne etkisini incelemeyi amaçlamışlardır. Araştırmada kütleli olarak %1.5, %1, %0.5 NaOH ve KOH katalizörleri kullanılırken; molar olarak 4.5:1, 6:1 ve 9:1 oranlarında 30 dakika boyunca  $25^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta ester dönüşümünü incelemişlerdir. Araştırma sonucunda ester dönüşümü üzerinde molar oranın, katalizöre oranla daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Çanakçı vd. (2005), atık bitkisel yağları kullandıkları araştırmalarında rafine ettikleri işlenmemiş yağlarda alkali katalizör kullanmışlardır. Araştırmada transesterifikasyon tepkimesinde atık mutfak yağlarının serbest yağ asidi düzeyinin yüksek olması ve su ihtiva etmesine bağlı olarak alkali katalizörle doğrudan tepkimeye girmesinin sabunlaşmaya yol açtığı, buna bağlı olarak asidik katalizörlerle atık mutfak yağlarının ön iyileştirme işlemi sonrasında alkali katalizörlerle transesterifikasyon tepkimesine girmesinin daha uygun olacağı belirlenmiştir. Araştırmada tepkimeye giren atık bitkisel yağların, tepkime sonrasındaki analizlerinde, kullanılmamış bitkisel yağlar ile benzer özelliklere sahip oldukları görülmüştür. Araştırmada katı parçacıkların filtrelenmesinin ve ısıtma işlemlerinin birçok durumda transesterifikasyon tepkimeleri için uygun olduğu belirlenmiştir.

Felizardo vd. (2005), transesterifikasyon yöntemi ile atık kızartma yağlarından metil ester üretiminde, optimum karışım oranlarını belirlemeyi amaçladıkları araştırmalarında yakıt kalitesini etkileyen parametreleri deneysel olarak belirlemiş ve

sonuçları grafiksel olarak ifade etmişlerdir. Yapılan deneylerde molar olarak methanol/atık yağ (MeOH/WFO) oranının 3.6-5.4 arasında; ağırlık olarak katalizör/atık yağ oranının (NaOH/WFO) ise 0.2-1.0 aralığında ve 0.42 asitlik değerine sahip atık yağlar kullanılmıştır. Araştırma sonucunda belirtilen parametre aralıklarında yüksek kaliteli EN14214 standartlarında üretilen metil ester için molar olarak MeOH/WFO oranının 4.8 ve kütleli olarak katalizör/atık yağ oranının %0.6 olduğu ve ayrıcasaf metil ester oranının ise %98 olduğu tespit edilmiştir.

Acaroğlu vd. Biyodizel yakıtların nem ve kalorifik özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için tarist programında istatistiksel bir ilişki yapılmıştır. Bu ilişkilerin korelasyon katsayıları ve bu korelasyonlar için hesaplanan değerler literatürden elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, regresyon denklemlerinden türetilen formüller kullanılarak biyodizel yakıtların istatistiksel doğruluğu zor, zaman alıcı ve maliyetlidir. Bu formüller kullanılırken biyodizel numune sayısı, tekrar ölçüm sayısı ve hata miktarı az olmalıdır. ME ve EE aynı formülle değerlendirilmemelidir. Alınan ilişkiyi kullanırken, sonuçlar önceki ölçümlerle tutarlı olmalıdır.

Özseven (2006) yaptığı çalışmada palm atık kızartma yağından elde edilen biyodizel yakıtı ön yanma odalı bir dizel motorda test etmiş ve yanma özelliklerini petrol dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. B100 biyodizel, her dönüşte dizelden daha erken tutuşma eğilimindedir. Bu eğilim, motor hızı arttıkça artan atomizasyon hızı ile şiddetlenir. Tam yük torkunun değeri, tüm hızlarda dizelden daha düşüktü. Seçilen üç devrin tümü (1000, 2000 ve 3000 rpm) için maksimum silindir basıncı, B100 kullanan bir dizel motorunkinden biraz daha yüksekti. Kontrollü yanma fazı, iki yakıtın tek tip bir eğilimini gösterdi. Ancak B100'ün daha büyük bir yanma alanına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Isı dağılım grafiklerine göre B100'ün yanma süresi dizel yakıtına göre daha uzundur ve ani soğuma eğilimi daha fazladır.

Ergen vd. (2006), transesterifikasyon yöntemiyle pamuk yağından ürettikleri pamuk yağı metil ester ile dizel yakıtlardan ürettikleri biyodizeli emisyon ve motor performansı açısından karşılaştırdıkları araştırmalarında, tek silindirli ve doğal emişli bir motorun tam yük altındaki performans ve emisyon ölçüm değerlerini karşılaştırmışlardır. Analiz, tüm motor devirlerinde dizel yakıttan elde edilen efektif güç ve motor torkunun biyodizel yakıtından daha yüksek olduğunu göstermiştir. Biyodizel yakıtın düşük ısısı, yüksek viskozitesi ve yoğunluğu yanma özelliklerini etkiler. Ücretsiz yakıt tüketimi için minimum değer 2600 rpm'dir. Düşük biyodizel ısıtma, yakıt tüketimini ve ücretsiz yakıt tüketimini yaklaşık %8 oranında artırır. Termal verimlilik

açısından, biyodizelin oksijen içeriği dizel yakıtı göre %8,74 artmıştır. Emisyon değerleri açısından biyodizel dizel göre CO ve kurum azalmış, NOx emisyonları artmıştır. Yakıt sonuçları ve deneysel sonuçlar, pamuk tohumu yağının metil esterinin dizel yağı ile ikame edilebileceğini göstermiştir.

Golden Sun (1998), ayçiçeği yağı ve metanol ile kimyasal reaksiyonlarla elde edilen ayçiçeği metil eter yakıtını dört aşamalı tek silindirli dizel yakıtla karşılaştırmıştır.

Test motorları tam yükte ve farklı hızlarda test edilerek elde edilen performans ve emisyon değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, metil eter yakıtının dizel yakıtına benzer özelliklere sahip olduğunu ve gelecekte başka bir yakıt olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

Childir vd. eter okudu. Ayçiçeği, kolza tohumu ve mısır yağından ekstrakte edilen metil esterlerin yüksek dökülme noktası sorununu ortadan kaldırdıktan sonra dizel yakıt olarak kullanılabilirliği gözlemlenmiştir. Keskin ve diğerleri (2006), dizel motorlara alternatif yakıt olarak mısır yağı biyodizelinin kullanılması olasılığını araştırmış ve elde edilen yakıtlar, tek silindirli direkt enjeksiyonlu 6LD 400 Lombardini dizel motorlarında 1800-3200 rpm arasında tam yükte test edilmiştir. Motor performansı ve emisyonları ölçülmüş ve dizel yakıtla ölçülenlerle karşılaştırılmıştır. Dizel yakıtla karşılaştırıldığında, mısır yağı biyodizel yakıtı daha düşük ısıtma ve daha yüksek viskoziteye sahiptir, bu da motor torkunu %7,5'e ve gücü %5,7'ye düşürür. Tork ve güç değerleri düşmüştür ancak genel olarak dizel yakıtla elde edilen değerlere çok yakındır. Özel yakıt tüketimi %9,24 düştü. Mısır yağı biyodizelinden kaynaklanan CO yağı emisyonlarının %51,4'e kadar, ışık absorpsiyon katsayılarının %64'e kadar ve NOx emisyonlarının %25,31'e kadar azaldığı tespit edilmiştir. SOx emisyonu gözlemlenmedi.

Ya-feng Lin ve diğerleri (2007), atık yağın dizel yakıtla farklı hızlarda karıştırılarak transfer edilmesiyle elde edilen biyodizelin dört silindirli su soğutmalı bir dizel motorunda yanma özelliklerini incelemiştir. B20 yakıt CO<sub>2</sub>'si tüm motor devirlerinde en düşüktü, ancak B50 yakıt CO<sub>2</sub>'si tüm devirlerde en yüksekti.

B20, 2.000 rpm'lik bir yakıt artışı gösterdi. B100 ve B80 yakıtlarının HC oranı diğer yakıtlara göre daha yüksek çıkmıştır. Genel olarak NOx'in tüm biyodizel ve karışımlarına oranı yüksek olmakla birlikte 1200 rpm'de B100 yakıtı ve B20 yakıtı için maksimum değerler gözlemlenmiştir. SO<sub>2</sub> oranı artan hız ile artar ve dizel yakıt için

maksimum değer ölçülür. Biyodizel ve karışımlarında PM yüzdesi genellikle yüksektir. Çalışmalar, en uygun değer karışımının B20 ve B50 olduğunu göstermiştir.

Zheng ve diğerleri (2004), asit katalizörleri kullanarak atık kıztartma yağından transesterleme yoluyla elde edilen yağ asitlerinin metil esterlerinin molar oranlarında (yağ, metanol, asit yüzdesi) gözlemlenen değişiklikleri incelemiş ve bir matematiksel model geliştirmiştir.

Elinch (2006), dizel motor performansının ve duman kontrolünün, yakıt olarak fındık yağı kullanma olasılığı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu amaçla, doğrudan enjeksiyonlu, nominal kapasitesi 5,5 kW olan 4 vitesli bir dizel motor kullanılmıştır. Araştırmanın iki ana bölüme ayrılması planlanmıştır. Birinci bölümde, fındık yağı ve motorin %10/90, %20/80, %30/70, %40/60 ve %50/50 karıştırılmış, ardından her karışım için ayrı ayrı emisyon ve motor testleri yapılmıştır.

İkinci bölümde, önceden hazırlanmış bir biyodizel üretim tesisinde yer fıstığı yağı etil ve metil esterleri ekstrakte edilmiş, elde edilen yakıtların kimyasal ve yakıt özellikleri incelenmiş, motor ve egzoz emisyonları test edilmiştir. Bunun için önce ceviz yağının yağ asidi bileşimi incelenmiş, ardından karışımın viskozitesi, özgül ağırlığı ve yakıt olarak kullanılan alkil esterleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, motor devrine bağlı olarak aynı devirde motor devrindeki değişimin 1750'de gözlemlendiğini ve karışıma eklenen her %10 fındık yağı için %5'lik bir tork gözlemlendiğini göstermektedir. Dizel yakıt devri/dak. Motor devrindeki artışla orantılı olarak yağın yakıt tüketimine oranı %10 arttığı için saatlik yakıt tüketimi %5 artmaktadır. Öte yandan, yer fıstığı yağı etanolünün dizele göre saatte %11 ve dizele göre %6 daha fazla yakıt tükettiği tespit edilmiştir. Serbest yakıt tüketimi açısından dizel, 2250 dev/dak'da 304 g/kWh ile en düşük özgül yakıt tüketimine sahiptir. Döngünün aynı değeri göz önüne alındığında, özgül yakıt tüketimi, yağ oranının her %10'u için yaklaşık %3 artar. Yakıt tüketimi tanımlanır. Bunun nedeni, yakıttaki yağın yağa oranı arttıkça karışımın ısıl değerinin azalmasıdır. Fıstık yağı etil ve metil esterlerinin toplam verimi dizel yakıttan daha düşüktür. Emisyon değerleri açısından, devir sayısı arttıkça CO değeri azalmaktadır. Bu beklenen bir sonuç olsa da karışımdaki yağ oranı arttıkça CO miktarı orantılı olarak azalmaktadır. NOx emisyonlarının ham petrole göre önemli ölçüde azaldığı ve yağ asitlerinin metil esterlerinin kullanılmasıyla NOx emisyonlarının kısmen arttığı tespit edildi.

Reed ve diğerleri (1992), kıztartma yağı, yağın ısıtılması sırasında açığa çıkan yağ asitleri ile birlikte büyük miktarlarda serbest yağ asitleri içerdiğinden, bu yağlardan

esterleri çıkarma yöntemini anlatmıştır. Bu yöntemin diğer reaksiyonlarından temel farkı, sabuna dönüştürülen serbest yağ asitlerinin reaksiyon öncesinde aşındırıcı maddeler ilave edilerek nötrale edilmesidir. Bu sabunlar son işlem için yıkanır ve biyodizelden ayrılır.

Encinar ve diğerleri (2001), sıcaklığın reaksiyon üzerindeki etkisini incelemiştir. Reaksiyon, %1 NaMeO ve %15 Metanol kullanılarak 25, 40, 55 ve 60°C'de gerçekleştirildi. Sonuç olarak, eter dönüşümü sırasıyla %86, 90, 93 ve %94 değişti. Sonuçlar alkolün kaynama noktası ile sınırlıydı, ancak alkolün kaynama noktası arttıkça dönüşüm oranının arttığı gözlemlenmiştir.



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1 Atık Kızartma Yağının İşlenmesi

Motor yakıtlarından dizel yakıtı yerel bir petrol satıcısından satın alınmıştır. Atık yağlar ise Muş Alparslan Üniversitesi yemekhanesinden alınmıştır. Alınan 10 litrelik atık yağ aşağıda sayılan bazı işlemlerden geçirilmiştir.

- **Süzme İşlemi** : Atık yağ kalın ve ince olmak üzere birkaç kez süzülerek içerisindeki partiküller temizlenmiştir.
- **Sudan Arındırma** : Bu işlem için süzme işlemine tabi tutulan atık kızartma yağları 105 °C sıcaklıkta iki saat boyunca her defasında 2 litre olacak şekilde yarım saat boyunca karıştırılarak ısıtılmıştır.
- **Filtreleme** : Sudan arındırılmış olan atık yağlar motor filtresinden yüksek basınçta geçirilerek filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle motor parçalarına uyumlu olması sağlanmıştır.

Filtreleme işleminden sonra elde edilen atık yağlar motor deneyleri boyunca kullanılmıştır.

#### 3.2 Diethylene Glycol Butyl Ether

Diethylene glycol butyl ether (CAS no. 112-34-5) Henan Haofei Chemical Co, Ltd. (Henan/Çin) firmasından temin edilmiş ve özelliği Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Diethylene glycol butyl etherin özellikleri

Özellik	Değerler
Kimyasal Formülü	$C_8H_{18}O_3$
Molar Kütle	$162.229 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
Dış Görünüş	Renksiz, berrak
Yoğunluk	$0.954 \text{ g/cm}^3$
Melting Point	$-68 \text{ }^\circ\text{C}$
Kaynama Noktası	$230 \text{ }^\circ\text{C}$
Parlama Noktası	$78 \text{ }^\circ\text{C}$

Organik bileşiklerden olan diethylen glycol butyl ether (2-(2-Butoksietoksi)etanol), glikol eter çözeltilerinden olan bir bileşiktir. Kaynama noktası yüksek, kokusu oldukça düşük ve renksiz bir sıvı olan diethylen glycol butyl ether

deterjan üretiminde, bira üretiminde tekstil boya ve verniklere yönelik çözücü olarak ve kimya endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır

Diethylen glycol butyl ether, etilen oksit ve n-bütanolün bir alkali katalizör ile reaksiyonu sonucunda üretilmektedir. Diethylen glycol butyl ether pestisitlerde, ürün topraktan çıkmadan önce etkisiz bir bileşen olarak stabilizatör ve daktivatör görevi görmektedir. Dietilen glikol dibütil eter ve piperonil asetat sentezinde çözücü görevi gören diethylen glycol butyl ether ayrıca organosollerin yapısında bulunan vinil klorür reçinelerine yönelik bir dağıtıcı, fren hidrolik sıvıları için seyreltici ve temizlik kimyasallarında yağ, sabun ve su damlacıkları için bir çözücü olarak da kullanılmaktadır. Tekstil endüstrisinde ürünlerin ıslatılmasında kullanılan diethylen glycol butyl ether aynı zamanda yağlar, nitroselülozlar, sabunlar, boyalar, zamlar ve polimerlere yönelik çözücü olarak da kullanılmaktadır. Diethylen glycol butyl ether sıvı deterjanlarda, tekstil ara ürünlerinde ve kesme sıvılarında birleştirme solventi olarak da kullanılabilir. Baskı mürekkeplerinde solvent olarak kullanılması ve boyalarda kullanılması diethylene glycol butyl ether'in baskı endüstrisinde kullanımına örnektir ([https://en.wikipedia.org/wiki/DEG\\_monobutyl\\_ether](https://en.wikipedia.org/wiki/DEG_monobutyl_ether)).

### 3.3 Deney Yakıtlarının Oluşturulması

Dizel yakıtlar ticari olarak satış yapan yerel bir firmadan temin edilmiştir. Diethylene glycol ether kimyasalı ise %99.6 üzerinde saflık derecesine sahiptir. Bu yakıt kimyasal ürünler satan bir firmadan temin edilmiştir. Tüm yakıtlar farklılıkların oluşması önlenmesi amacıyla bir kerede temin edilmişlerdir.

Deney yakıtları hacimsel olarak hazırlanmıştır. Bu amaçla dizel yakıtının içerisine %10 oranında atık kızartma yağı ve yine hacimce %5, %10 ve %20 oranında diethylene glycol butyl ether ilavesi ile yeni yakıtlar üretilmiştir. Oluşturulan deney yakıtlarının hacimsel olarak karışımları ve kısaltmaları Çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Deney yakıtları

	Dizel Yakıtı	Atık Kızartma Yağı	Dietilen Bütül Glikol Eter
<b>D</b>	100	0	0
<b>DAĞ</b>	90	10	0
<b>DAĞD5</b>	85	10	5
<b>DAĞD10</b>	80	10	10
<b>DAĞD20</b>	70	10	20

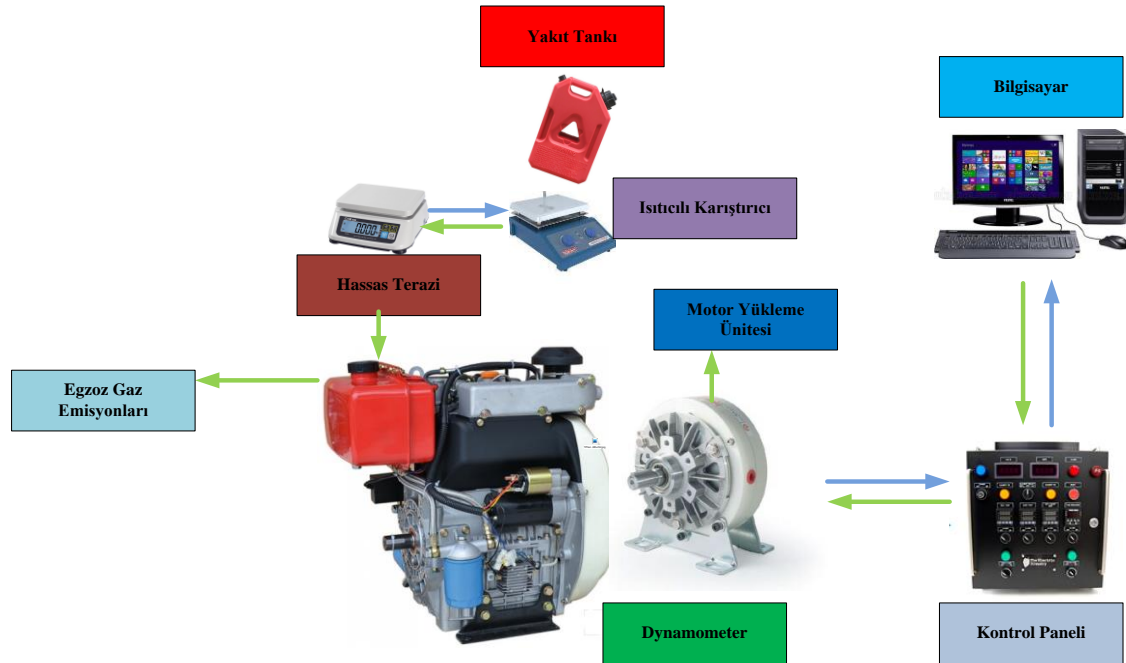
Elde edilen yakıt karışımlarının bazı fiziksel özellikleri İnönü Üniversitesinde test ettirilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 3.3’de verilmektedir.

Çizelge 3.3. Deney yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri

	Viskozite (mm <sup>2</sup> /s)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Isıl Değer (MJ/kg)	Parlama Noktası (°C)
<b>ATIK YAĞ</b>	8.96	936	37.45	89
<b>D</b>	3.13	859	42.1	65
<b>DAĞ</b>	6.19	889	41.3	79
<b>DAĞD5</b>	5.11	875	41.5	71
<b>DAĞD10</b>	4.67	869	41.8	70
<b>DAĞD20</b>	3.86	861	41.9	63

### 3.4 Motor Deney Düzeneği

Motor deneyleri Muş Alparslan Üniversitesi’nde var olan laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Motor test düzeneğinde yakıt tüketim değeri, egzoz gaz sıcaklık değeri ve egzoz gaz emisyon değerlerinin ölçülmesine imkan veren malzemeler bulunmaktadır. Deney düzeneğinin şematik hali Şekil 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik hali.

Motor deneylerinde kullanılan dizel motorun teknik özellikleri Çizelge 3.4’de verilmektedir. Dizel motor piyasada sıkça bulunan ve kullanılan bir motor türüdür.

**Çizelge 3.4.** Deney motorunun özellikleri

	<b>Model</b>	<b>186FAG</b>
<b>MOTOR</b>	Tip	Hava Soğutmalı-4 Zamanlı
	Silindir Hacmi	418 cm <sup>3</sup>
	Maksimum Çıkış gücü	7 kW
	Çalıştırma Şekli	Marşlı
<b>JENERATÖR</b>	Maksimum Çıkış Gücü	7 kVA
	Sürekli Çalıştırma Gücü	6 kVA
	Frekans	50 Hz

Egzoz emisyon ölçümleri Capelec CAP3201 marka emisyon cihazı ile yapılmıştır. Emisyon cihazının teknik özellikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir. Deneylere başlamadan önce emisyon cihazının filtreleri ve sensörleri temizlenmiştir. Egzoz probu motorun egzoz borusuna takıldıktan sonra benzin ve LPG yakıtı ayrı ayrı kullanılarak emisyon cihazının LCD ekranından CO, CO<sub>2</sub>, HC ve O<sub>2</sub> emisyon değerlerinin ölçümleri kayıt altına alınmıştır. Ayrıca test raporları emisyon cihazı üzerinde bulunan termal yazıcıdan da yazdırılabilir.

**Çizelge 3.5.** Egzoz emisyon cihazı teknik özellikleri

<b>Marka ve model</b>	<b>Capelec CAP 3201-4 GAZ</b>
Ön ısıtma süresi	Minimum 1 dak
Pompa kapasitesi	6 lt/dak
Çalışma sıcaklığı	-10 °C ile 55 °C
Nem	%30-%90
Depolama sıcaklığı	-32 °C ile +55 °C
HC (hassasiyet 1 ppm)	0-20000 ppm Hexan
CO (hassasiyet %0,001)	0-5 % vol.
CO <sub>2</sub> (hassasiyet (%0,1)	0-20 % vol.
O <sub>2</sub> (hassasiyet %0,01)	0-21,7 % vol.
NOx (hassasiyet 1 ppm)	30-10000 ppm
Yağ sıcaklığı	5 °C-150 °C
Lambda (hava/yakıt oranı katsayısı)	0,8-1,2
Opasite çözünürlüğü (hassasiyet %0,01)	0-9,99 m <sup>-1</sup>



Şekil 3.2. Egzoz gaz emisyon cihazının resmi

### 3.5 Yakıt Tüketim Değerinin Belirlenmesi

İçten yanmalı motorların performans testleri sürecinde, motorun çalışma şartlarına bağlı olarak yakıt tüketim değerlerinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Yakıt tüketim değerleri, birim hacim ya da kütleyle sahip yakıtın tükenme süresinin belirlenmesi ile hesaplanabilmektedir. Bu araştırmada da yakıt deposunun altına yerleştirilen hassas terazi yardımıyla kütlesi belirlenen 10 g yakıtın tükenme süresi kronometre ile belirlenmiştir. Ölçüm süreci sonunda ulaşılan veriler kullanılarak aracın saatlik yakıt tüketim değeri hesaplanmıştır. Araştırmada yakıt kütlesinin ölçümünde 0,01 gram hassasiyet değerine sahip RADWAG PS 6000, R2.H marka ve model hassas terazi kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan teraziye ilişkin görsel Şekil 3.3'de gösterilmektedir.



**Şekil 3.3.** Hassas terazi

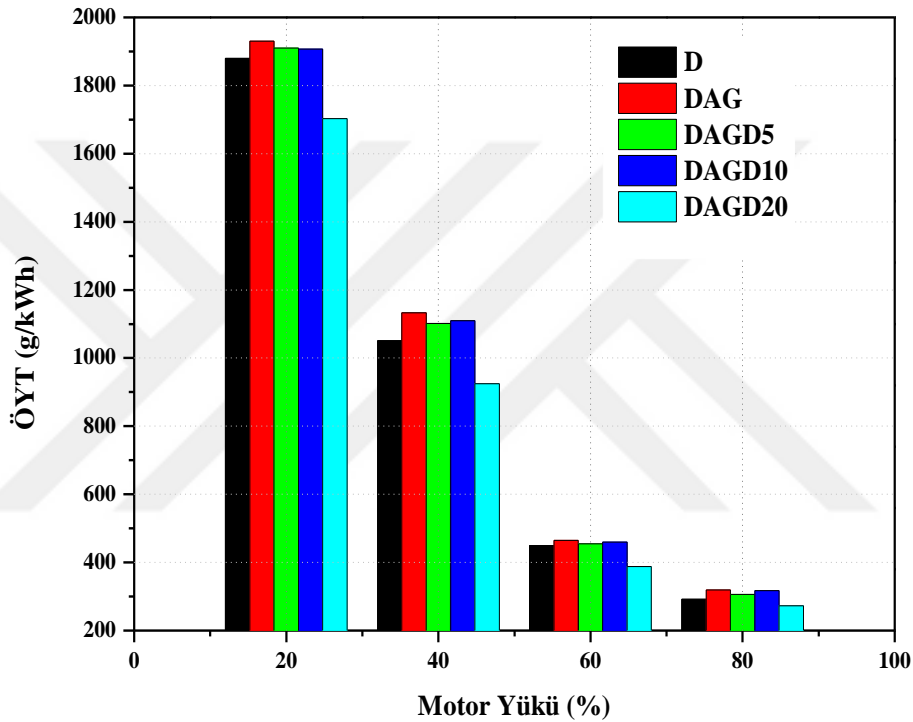
İçten yanmalı motorlarda performans testlerinin gerçekleştirilmesi işlemlerinde, çalışma koşullarına göre motorun yakıt deneyleri her bir yakıt karışımı ile 3000 d/dak sabit motor hızında motorun maksimum gücünün %20, %40, %60 ve %80'ine denk gelecek şekilde tekrarlanmıştır. Her deney öncesinde motorun dizel yakıtı ile çalışması sağlanmıştır. Motor deney sonuçlarının ölçümüne başlamadan önce motorun düzgün bir rejimde çalıştığı gözlemlenmiştir.

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde yapılan motor deneylerinden elde edilen bulgular grafik haline getirilerek tartışılmakta ve nedenleri araştırılmaktadır.

##### 4.1 Özgül Yakıt Tüketim Değer (ÖYT)

Stabil durumda çalışan motorun, her bir kWh'lik iş için tüketmesi gereken yakıtın gram cinsinden kütsel değerini ifade eden özgül yakıt tüketimine ilişkin sonuçlar Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



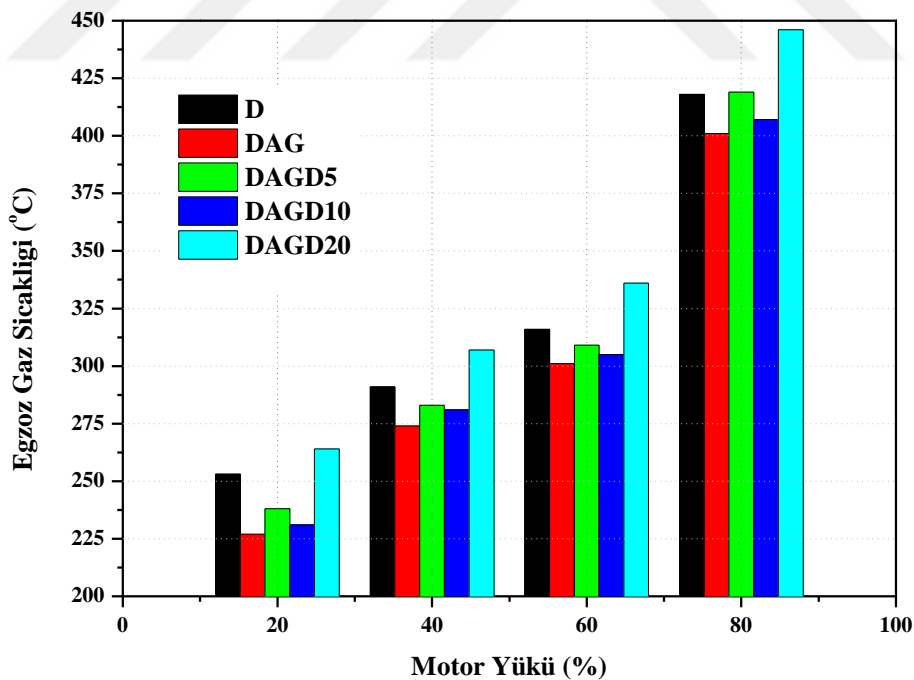
Şekil 4.1. Özgül yakıt tüketimi değişiminin etkisi

Şekil 4.1 incelendiğinde motor yükündeki artışa bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin düştüğü görülmektedir. Motor yükünün artması ile birlikte faydalı işe dönüşecek olan yakıt miktarının azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda dizel yakıtının içerisine atık bitkisel yağ ilavesi ile birlikte de ÖYT miktarında artış görülmektedir. Atık bitkisel yağın ısıl değerinin düşük, viskozite ve yoğunluk değerlerinin yüksek olmasının kısmen silindir içerisindeki yanmayı kötüleştirdiğı ve aynı gücün elde edilmesi için daha fazla yakıt yakılmak zorunda kaldığı görülmektedir. Atık bitkisel yağ dizel yakıtı karışımına diethylene glycol butyl ether ilavesi ile birlikteyse her bir motor yükünde ÖYT miktarında düşüş görülmektedir. Diethylene glycol butyl ether iyi bir çözücü olduğı için yakıt karışımlarında atık yağın viskozite ve yoğunluğunu

düşürmektedir. Bu durumda yanmayı kısmen iyileştirerek yakıt karışımlarının daha iyi yanmasını sağlamaktadır. %20 motor yükünde en yüksek yakıt tüketim değeri DAG yakıt karışımı ile 1930 g/kWh olarak ölçülmüşken, en düşük yakıt tüketim değeri de 1703 g/kWh olarak DAGD20 yakıtının kullanılması ile ölçülmüştür. Tüm motor yükleri baz alındığında ise en iyi ÖYT değeri DAGD20 yakıt karışımı ile 273 g/kWh olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.2 Egzoz Gaz Sıcaklığı Değişiminin Değişimi

Dizel motorlarında silindir içerisine alınan hava/yakıt karışımının yaması sonucunda silindir içerisinde bir sıcaklık oluşumu gerçekleşmektedir. Silindir içi sıcaklık değerleri yanma verimine göre de değişim gösterebilmektedir (Kozan vd., 2022: 311). Bunun yanında yakıt karışımlarının silindir içerisinde tam yanmaması sonucunda egzozda meydana gelen uzamış yanma ile de bazen egzoz gaz sıcaklık değerleri artış gösterebilmektedir. Şekil 4.2’de motor yüküne göre egzoz gaz sıcaklığının değişimi verilmektedir.



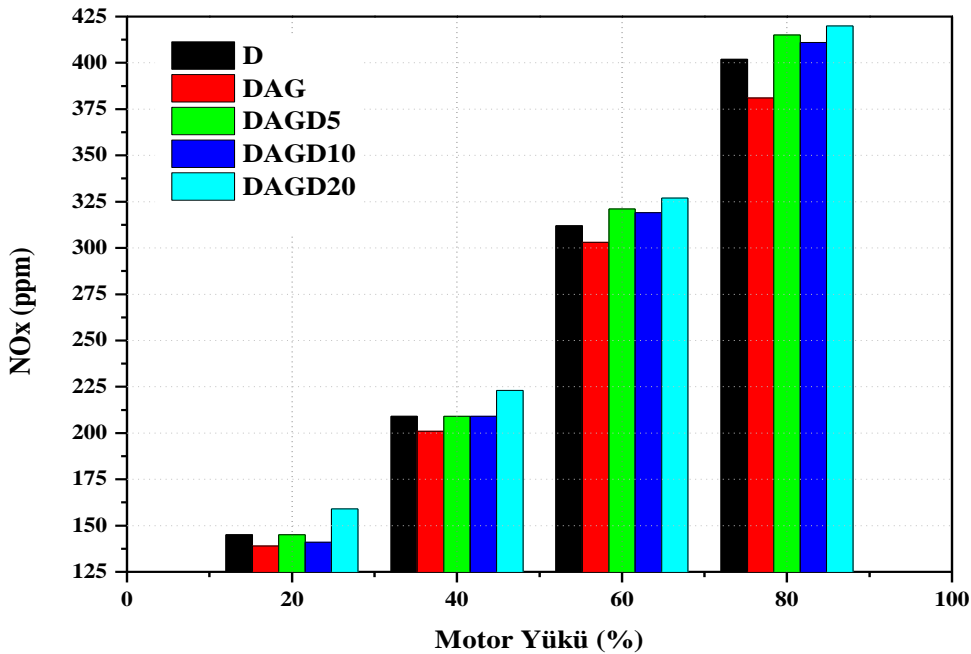
Şekil 4.2. Özgül yakıt tüketimi değişiminin etkisi

Motor yükünün artışı ile birlikte tüm yakıt karışımlarında egzoz gaz sıcaklık değerinde bir artış söz konusudur. Bilindiği gibi dizel motorlarında motor yükünün artışı silindir içerisine alınan yakıt miktarı ile ayarlanmaktadır. Bu nedenle silindir içerisinde artan

yakıt miktarının egzoz gaz sıcaklığını artıracakı düşünülmektedir. Tüm motor yüklerinde DAG yakıt karışımı ile D yakıtına göre egzoz gaz sıcaklığı düşüş gösterirken DAGD20 yakıt karışımında artış göstermektedir. DAGD20 yakıt karışımındaki uçucu nitelikteki kimyasalların bu artışa sebep verdiği ve yanma veriminin artması ile egzoz gaz sıcaklık değerinin arttığı düşünülmektedir. En yüksek egzoz gaz sıcaklığı %80 motor yükünde DAGD20 yakıt karışımı ile 446 °C sıcaklık ile elde edilirken en düşük egzoz gaz sıcaklığı ise DAG yakıt karışımı ile %20 motor yükünde 227 °C olarak kayda geçilmiştir.

#### 4.2 Azot Oksit (NOx) Emisyonlarının Değişimi

İçten yanmalı motorlarda silindir içerisine alınan yakıt hava ile karıştırılarak yanma sağlanmaktadır. Bilindiği gibi havanın içerisinde yüksek oranda azot gazı bulunmaktadır. Azot gazının yüksek sıcaklıklarda oksijen ile reaksiyona girerek NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> gibi gazları oluşturduğu bilinmektedir (Özer, 2021: 1309). Bu durumda yüksek sıcaklıklar ile reaksiyona giren silindirden azot oksit gazları çıkmaktadır. Bu gazların hepsine motorculukta NOx gazları denilmektedir. Şekil 4.2’de motor yüküne göre NOx emisyonlarının değişimi verilmektedir.



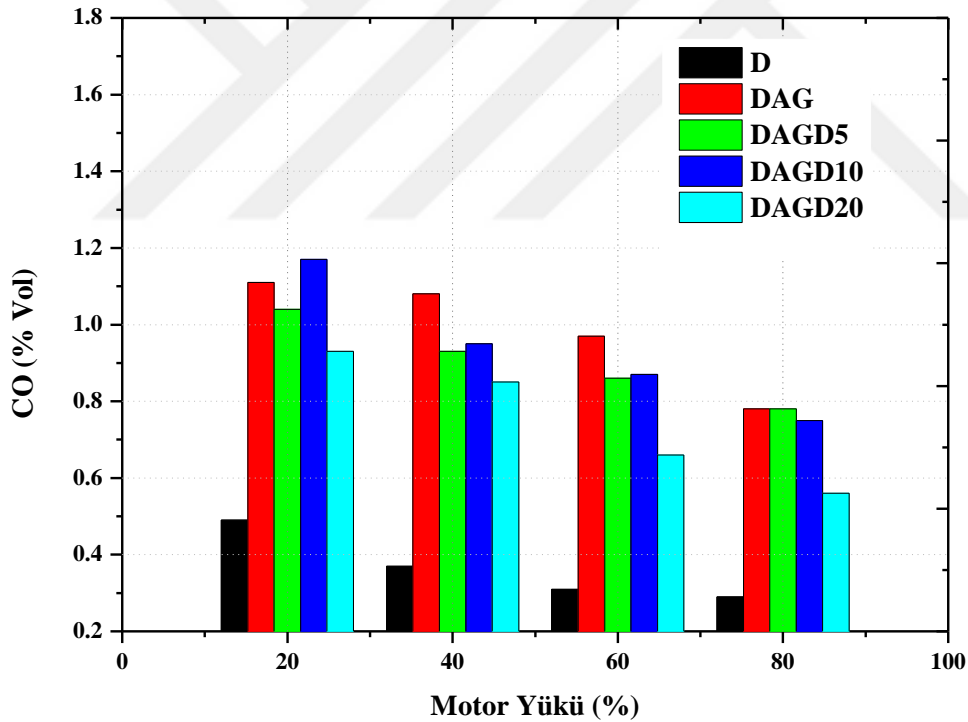
Şekil 4.3. Azot oksit emisyonlarının değişimi

Motor yükünün artması ile birlikte tüm yakıt karışımları ile NOx emisyonları artış göstermektedir. Bilindiği gibi motor yükünün artması ile birlikte silindir içerisine daha çok yakıt alınmaktadır. Bu durumda silindir içerisindeki yanma sonu sıcaklığı

artmaktadır. Böylelikle daha yüksek sıcaklık ile NO<sub>x</sub> emisyonlarında artma meydana gelmektedir. Tüm motor yüklerinde DAG yakıt karışımı ile NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma meydana gelirken DAGD20 yakıt karışımı ile artış meydana gelmiştir. Bu durum egzoz gaz sıcaklıkları ile paralellik göstermektedir. Artan egzoz gaz sıcaklık değeri aynı zamanda NO<sub>x</sub> emisyonlarını da artırmaktadır. Yapılan deneylerde en düşük NO<sub>x</sub> emisyonu 139 ppm ile DAG yakıt karışımında elde edilirken, en yüksek NO<sub>x</sub> emisyonu 420 ppm olarak DAGD20 yakıt karışımında elde edilmiştir.

#### 4.3 Karbonmonoksit (CO) Emisyonlarının Değişimi

İçten yanmalı motorlarda, yakıtların eksik yanması sonucunda ortaya çıkan bir emisyon olup, yakıtın tam olarak atomize olmaması ya da silindir içerisinde hava-yakıt karışımının tam olarak gerçekleşmemesi gibi durumlarda oluşmaktadır. Şekil 4.3'de CO emisyonlarının değişimi verilmektedir.



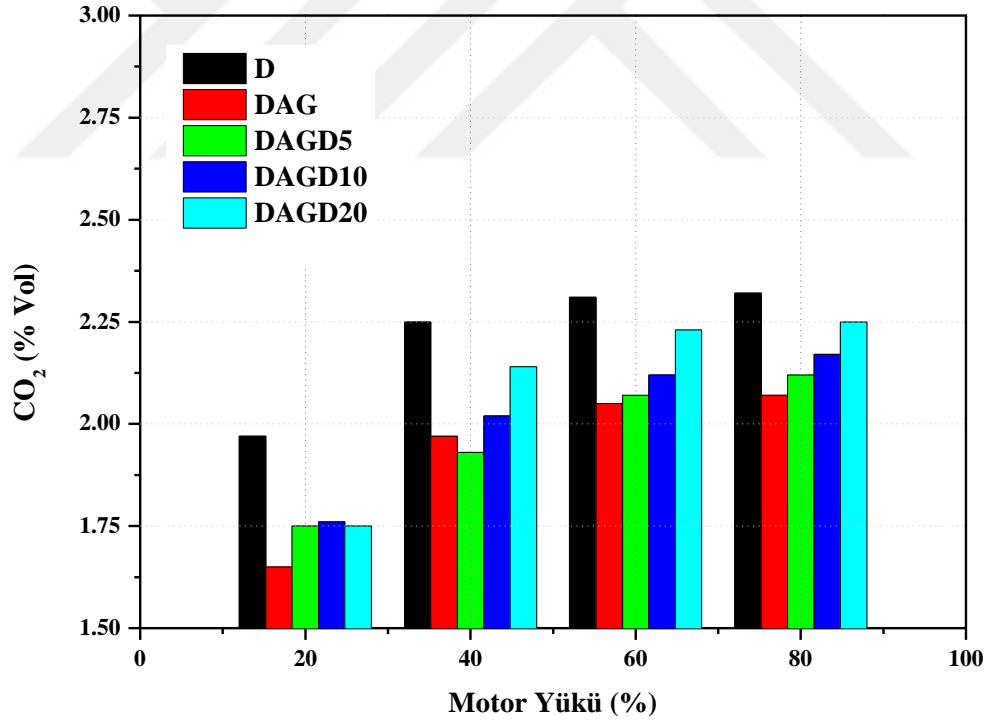
Şekil 4.4. Karbonmonoksit emisyonlarının değişimi

Dizel motorlarında motor yükünün artması ile birlikte silindir içerisine gönderilen yakıt miktarı artış göstermektedir. Bu durumda yanma sonu sıcaklığı artmaktadır. Böylelikle daha iyi bir yanma performansı sergilenerek CO emisyonlarında azalma meydana gelmektedir. Dizel yakıtına atık yağ ilavesi ile birlikte tüm motor yüklerinde CO emisyonlarında artış görülürken yakıt karışımına ilave edilen diethylene

glycol butyl ether ilavesi ile birlikte CO emisyonlarında azalma meydana gelmektedir. Bu durumu yakıt karışımlarının viskozite, yoğunluk ve ısıl değerlerinin artışı ile açıklamak mümkündür. Düşük viskozite ve yoğunluk yanında artan ısıl değer ile birlikte daha iyi ve verimli bir yanma ve bunun sonucunda da CO emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. En düşük CO emisyon değeri 0.29 ppm değeri ile %80 motor yükünde D yakıtı ile ölçülürken, en yüksek CO emisyon değeri 1.11 ppm değeri ile %20 motor yükünde DAG yakıt karışımının kullanılması ile ölçülmüştür.

#### 4.4 Karbondioksit CO<sub>2</sub> Emisyonlarının Değişimi

İçten yanmalı motorlarda silindir içerisine alınan hava/yakıt karışımlarının tam yanması sonucunda CO<sub>2</sub> emisyonları oluşmaktadır. Günümüzde toptan olarak CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılmasına yönelik faaliyetler artış göstermekte ve firmalar CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması için araçlara farklı teknolojiler ile desteklemektedir. Şekil 4.5’de CO<sub>2</sub> emisyonunun değişimi verilmektedir.



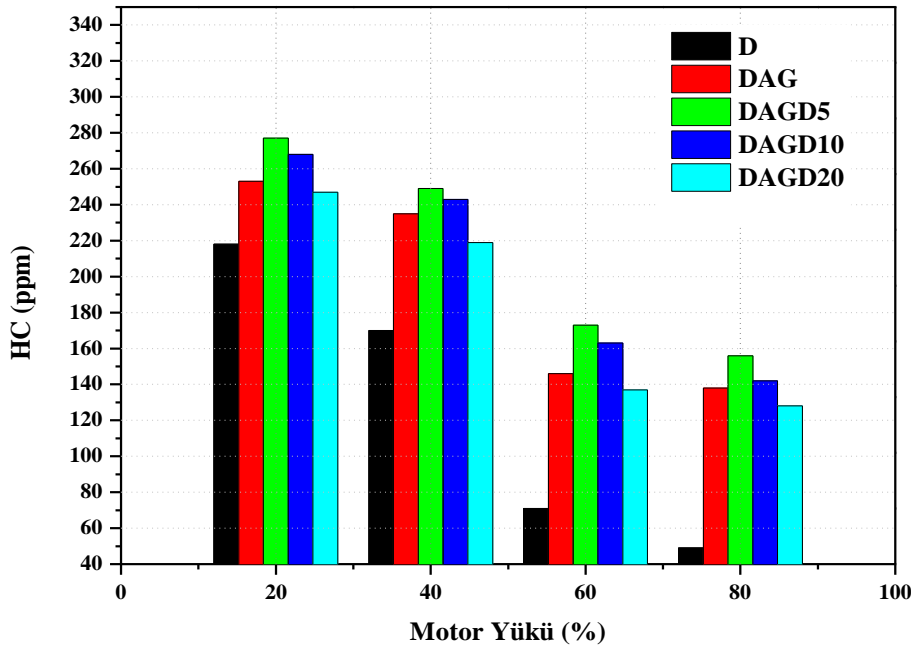
Şekil 4.5. Karbondioksit CO<sub>2</sub> emisyonlarının değişimi

Motor yükünün artmasına bağlı olarak her bir yakıt karışımında CO<sub>2</sub> emisyonlarında artış görülmektedir. Motor yükünün artışı ile birlikte silindir içerisine alınan yakıt/hava miktarı artış göstermektedir. Bu durum toplam emisyon miktarının artışına neden olmaktadır. Dizel yakıtının içerisine atık yağ ilavesi ile birlikteyse tüm

motor yüklerinde CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalma meydana gelmektedir. Atık yağ ilavesi ile birlikteyse yakıtın bazı fiziksel özelliklerinin değiştiği görülmektedir. Bu durumun ise yanmayı kısmen kötüleştirdiği ve bu durumda CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalmanın meydana geldiği düşünülmektedir. Dizel yakıtı/atık yağ yakıtı karışımının içerisine diethylene glycol butyl ether ilavesi ile birlikteyse CO<sub>2</sub> emisyonlarında kısmen bir miktar artış görülmektedir. Bu durumu kullanılan kimyasalın yakıt karışımlarının fiziksel özelliklerini iyileştirmesi ve yanma veriminin artması ile açıklamak mümkündür. CO<sub>2</sub> emisyonları açısından en düşük değer 1.65 olarak %20 motor yükünde DAG yakıt karışımının kullanılması ile ölçülürken en yüksek CO<sub>2</sub> emisyon değeri %80 motor yükünde 2.32 olarak D yakıt karışımının kullanılması ile ölçülmüştür.

#### 4.5 Hidrokarbon (HC) Emisyonlarının Değişimi

Şekil 4.6'da HC emisyonlarının değişimi verilmektedir. İçten yanmalı motorlarda HC emisyonları yanmamış yakıt zerrecikleri yada motorun yağlama yağının yanması ile oluşmaktadır. Bunun yanında HC emisyonları silindir içerisine alınan hava/yakıt karışım oranı, silindir içindeki sıcaklığın homojen dağılmaması ve yakıt karışımlarının viskozite ve yoğunluk değerlerinin istenilen aralıkta olmaması gibi nedenlerle de ortaya çıkmaktadır (Özer, 2015: 4)

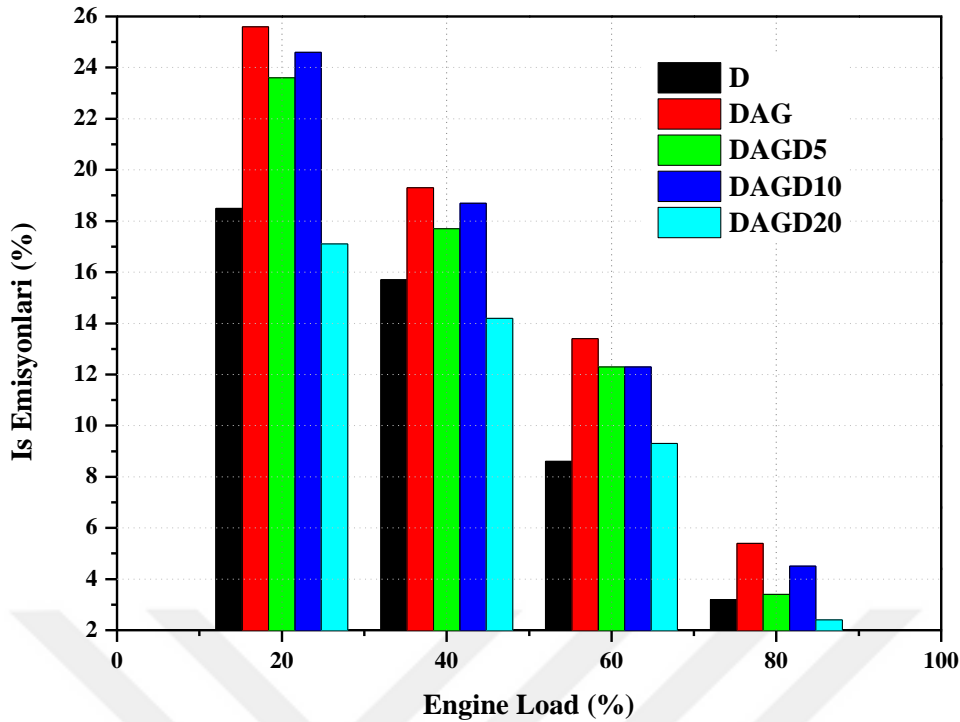


Şekil 4.6. Hidrokarbon emisyonlarının değişimi

Tüm yakıt karışımlarında motor yükünün artmasına bağlı olarak HC emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. Motor yüküne bağlı olarak yakıt miktarının artmasına rağmen yanma sonu sıcaklığı ve yanma sonu sıcaklık rejiminin düzenli olması ile birlikte yanma verimi artmış bu durumda HC emisyonlarının azalmasına neden olmuştur. Silindir duvarlarının ısınması püskürtme anında oluşabilecek sönmüş bölgelerin oluşumunun önüne geçmekte ve böylelikle motor yükü ile paralel şekilde HC emisyonları azalma eğilimi göstermektedir. Dizel yakıtına atık yağ ilavesi ile birlikte artan viskozite ve yoğunluk değeri ile birlikte HC emisyonlarının artış gösterdiği görülmektedir. Dizel yakıtına atık yağ ilavesi ile birlikte viskozite ve yoğunluk miktarı artış göstermektedir. Bu durum damlacık çapını büyütmüş ve enjektörden püskürtme rejimini değiştirmektedir. Böylelikle iyi bir karışım oluşturmadığı için yanma kısmen kötüleşmektedir. Bu durumda HC emisyonlarının artışına neden olacağı düşünülmektedir. Dizel yakıtı/atık yağ karışımına diethylene glycol butyl ether ilavesi ile birlikteyse HC emisyonlarında atık yağ karışımına göre bir miktar iyileşme görülmektedir. Diethylene glycol butyl ether ilavesi ile yakıt karışımlarının viskozite ve yoğunluk değerlerinde azalma meydana geldiği için HC emisyonlarında azalmaya neden olmuştur. Çalışmada en düşük HC değeri %80 motor yükünde D yakıtı ile 49 ppm olarak ölçülmüşken en yüksek HC değeri 277 ppm değeri ile DAGD5 olarak ölçülmüştür.

#### **1. 4.6 Is Emisyonlarındaki Değişim**

Dizel motorlarında egzoz emisyonları içerisinde en yüksek is oranlarından birisi de is emisyonlarıdır. Kısmen yanamayan yakıt zerreciklerinin oksitlenmesi ile is emisyonlarının oluştuğu bildirilmektedir (Vural ve Özer, 2014). Şekil 4.7’de is emisyonlarındaki değişim gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Is emisyonlarının değişimi

Motor yükünün artışı ile birlikte tüm yakıt karışımları ile birlikte is emisyonlarında azalma meydana gelmektedir. Motor yükünün artışı aynı zamanda yanma sonu sıcaklığının artması manasına gelmektedir. Bu durumda silindir içinde kısmen soğuk bölgeler oluşmamakta ve yanma verimi sürekli olarak artış göstermektedir. Bu nedenle motor yükünün artışı ile birlikte is emisyonlarında azalma meydana gelmektedir. Tüm motor yüklerinde dizel yakıtının içerisine atık yağ ilavesi ile oluşturulmuş olan DAG yakıt karışımında is emisyonlarında artış görülmektedir. Bilindiği gibi dizel yakıtının içerisine atık yağ ilavesinde yakıt karışımının ısıl değeri düşmekte, viskozite ve yoğunluk değerleri artış gösterirken parlama noktası düşüş göstermektedir. Fiziksel özellikleri bozulan yakıt karışımlarının kısmen yanmayı düzensizleştirerek is emisyonlarının artmasına neden olacağı düşünülmektedir. Bunun yanında dizel yakıtı /atık yağ karışımına Diethylene Glycol Butyl Ether ilavesi ile birlikte is emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. Motor deneylerinden elde edilen is emisyonları incelendiğinde en düşük emisyon değeri %2.4 rakamı ile DAGD20 yakıt karışımının kullanımında %80 motor yükünde elde edilirken en yüksek is emisyon değeri de %25.6 oranı ile %20 motor yükünde DAG yakıt karışımı ile ölçülmüştür.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışma atık bitkisel yağların dizel motorlarında doğrudan kullanılmasını amaçlamaktadır. Bu amaçla temine edilen atık kızartma yağları süzme ve sudan arındırma işlemlerinden geçirilmiştir. Sonrasında ise dizel yakıtının içerisine diethylene glycol butyl ether ilavesi ile karıştırılarak yeni yakıt karışımları elde edilmiştir. Elde edilen belli başlı sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Kimyasal ve fiziksel özellikleri test ettirilen atık bitkisel yağların ilk viskozite değeri  $8.69 \text{ mm}^2/\text{s}$  olarak ölçülmüştür. Atık yağların dizel yakıtı ile harmanlanması viskozite değeri  $6.19 \text{ mm}^2/\text{s}$  değerine kadar ancak düşürülmüştür. Fakat katılan kimyasal yakıt katkısı ile birlikte viskozite değeri %5 diethylene glycol butyl ether ile  $5.11 \text{ mm}^2/\text{s}$ , %10 diethylene glycol butyl ether ilavesi ile  $4.67 \text{ mm}^2/\text{s}$  ve % 20 diethylene glycol butyl ether ilavesi ile birlikteyse  $3.86 \text{ mm}^2/\text{s}$  değerine kadar düzeltilmiştir. Elde edilen son karışımdaki viskozite değeri bu aşamada dizel yakıtları açısından kabul edilebilir standartlardadır.
- Kimyasal ve fiziksel özellikleri test ettirilen atık bitkisel yağların ilk yoğunluk değeri  $936 \text{ mm}^2/\text{s}$  olarak ölçülmüştür. Atık yağların dizel yakıtı ile harmanlanması yoğunluk değeri  $889 \text{ g/cm}^3$  değerine kadar ancak düşürülmüştür. Fakat yakıt karışımlarına hacimce % 5, % 10 ve % 20 oranında katılan diethylene glycol butyl ether ilavesiyle birlikte  $875 \text{ mm}^2/\text{s}$ ,  $869 \text{ mm}^2/\text{s}$  ve  $861 \text{ mm}^2/\text{s}$  değerlerine kadar iyileştirilmiştir. Yoğunluk değeri dizel motorlarının yakıtları için kabul edilen sınırlar içerisinde.
- Dizel yakıtının ısı değeri  $42.1 \text{ MJ/kg}$ , atık bitkisel yağın ısı değeri ise  $37.45 \text{ MJ/kg}$  olarak ölçülmüştür. Dizel yakıtına ilave edilen atık yağ ile birlikte ısı değeri  $41.3 \text{ MJ/kg}$  değerine gerilerken ilave edilen %5 %10 ve %20 oranındaki diethylene glycol butyl ether ile birlikte ısı değeri  $41.5 \text{ MJ/kg}$ ,  $41.8 \text{ MJ/kg}$  ve  $41.9 \text{ MJ/kg}$  değerlerine çıkmıştır.
- Atık bitkisel yağın ısı değeri  $89 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Dizel yakıtının içerisine atık bitkisel yağ harmanlanması ile birlikte parlama noktası önce  $79 \text{ }^\circ\text{C}$  düşmüş, %5, %10 ve %20 diethylene glycol butyl ether ilavesiyle

birlikteyse parlama noktası daha da düşüş göstererek 71 °C, 70 °C ve 63 °C değerlerine ulaşmıştır.

- Dizel yakıtına atık bitkisel yağ ve diethylene glycol butyl ether ilavesi ile birlikteyse yakıt tüketim değerlerinde değişimler görülmüştür. % 20 motor yükünde en yüksek yakıt tüketim değeri DAG yakıt karışımı ile 1930 g/kWh olarak ölçülmüşken, en düşük yakıt tüketim değeri de 1703 g/kWh olarak DAGD20 yakıtının kullanılması ile ölçülmüştür. Tüm motor yükleri baz alındığında ise en iyi ÖYT değeri DAGD20 yakıt karışımı ile 273 g/kWh olduğu tespit edilmiştir.
- Tüm motor yüklerinde DAG yakıt karışımı ile D yakıtına göre egzoz gaz sıcaklığı düşüş gösterirken DAGD20 yakıt karışımında artış göstermektedir. DAGD20 yakıt karışımındaki uçucu nitelikteki kimyasalların bu artışa sebep verdiği ve yanma veriminin artması ile egzoz gaz sıcaklık değerinin arttığı düşünülmektedir. En yüksek egzoz gaz sıcaklığı % 80 motor yükünde DAGD20 yakıt karışımı ile 446 °C sıcaklık ile elde edilirken en düşük egzoz gaz sıcaklığı ise DAG yakıt karışımı ile %20 motor yükünde 227 °C olarak kayda geçilmiştir.
- Tüm motor yüklerinde DAG yakıt karışımı ile NOx emisyonlarında azalma meydana gelirken DAGD20 yakıt karışımı ile artış meydana gelmiştir. Bu durum egzoz gaz sıcaklıkları ile paralellik göstermektedir. Artan egzoz gaz sıcaklık değeri aynı zamanda NOx emisyonlarını da artırmaktadır. Yapılan deneylerde en düşük NOx emisyonu 139 ppm ile DAG yakıt karışımında elde edilirken, en yüksek NOx emisyonu 420 ppm olarak DAGD20 yakıt karışımında elde edilmiştir.
- En düşük CO emisyon değeri 0.29 ppm değeri ile %80 motor yükünde D yakıtı ile ölçülürken, en yüksek CO emisyon değeri 1.11 ppm değeri ile %20 motor yükünde DAG yakıt karışımının kullanılması ile ölçülmüştür.
- CO<sub>2</sub> emisyonları açısından en düşük değer 1.65 olarak %20 motor yükünde DAG yakıt karışımının kullanılması ile ölçülürken en yüksek CO<sub>2</sub> emisyon değeri %80 motor yükünde 2.32 olarak D yakıt karışımının kullanılması ile ölçülmüştür

- Çalışmada en düşük HC değeri %80 motor yükünde D yakıtı ile 49 ppm olarak ölçülmüşken en yüksek HC değeri 277 ppm değeri ile DAGD5 olarak ölçülmüştür.
- Motor deneylerinden elde edilen is emisyonları incelendiğinde en düşük emisyon değeri %2.4 rakamı ile DAGD20 yakıt karışımının kullanımında %80 motor yükünde elde edilirken en yüksek is emisyon değeri de %25.6 oranı ile %20 motor yükünde DAG yakıt karışımı ile ölçülmüştür.

Bu tez çalışması sırasında gerçekleştirilen deneyler sırasında karşılaşılan güçlükler ve ileriki çalışmalar için öneriler aşağıdaki verilmektedir.

- Motor deneylerinde motorun değişik parametrelerinin (enjektör püskürtme basıncı, enjektör püskürtme zamanlaması) motor gücüne ve emisyonlarına etkileri de incelenebilir. Elde edilen dizel yakıtı su soğutmalı ve dört silindirli dizel bir motorda denenerek motor performansı ve egzoz emisyonu değerleri araştırılabilir.
- Yanmanın daha detaylı incelenmesi için silindir içi basınç ölçümlerinin yanında yanma odasının hızlı resim çeken aparatlarla resmi çekilerek yanma analizi gerçekleştirilebilir ve oluşturan yakıt karışımlarının uzun süreli motor deneylerindeki motor malzemeleri üzerindeki etkileri incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- Abnisa, F., Daud, W.M.A. 2014. A review on co-pyrolysis of biomass: An optional technique to obtain a high-grade pyrolysis oil, *Energy Convers. Manag.*, 87, 71-85.
- Aboulkas, A., Makayssi, T., Bilali, L., El harfi, K., Nadifiyine, M., Benchanaa, M. 2012. Co-pyrolysis of oil shale and plastics: Influence of pyrolysis parameters on the product yields, *Fuel Process. Technol.*, 96, 209-213.
- Acaroğlu, M., Uçar, G. 2006. Biyodizel yakıtlarda yakıt özelliklerinin ısıl değere etkisinin belirlenmesi, *Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu*, İzmir.
- Agarwal, A.K. 2007. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Prog Energy Combust Sci*, 33, 233-271.
- Akyaz, S. 2007. "Benzin-Tersiyer Bütil Alkol Ve Benzin-Naftalin Karışımlarının Buji Ateşlemeli Motorun Performansına Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 140.
- Alasfour, F.N. 1997. Butanol a single cylinder engine study: availability analysis, *Applied Thermal Engineering*, 17 (6), 537-549.
- Al-Momany, M., Al-Hasan, M.İ. 2008. The effect of iso-butanol-diesel blends on engine performance, *Transport*, 23 (4), 306-310.
- Alptekin, E., Çanakçı, M. 2003. Biyodizel ve Türkiye'de ki durumu, *Mühendis ve Makine*, 47(561), 57-64.
- Altın, R., Balcı, M. 1998. Ayçiçek metil ester yakıtının dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması üzerine bir araştırma, *Teknoloji Dergisi*, Aralık sayısı, Zonguldak.
- Altun, Ş. 2010. Dizel motor performansı ve egzoz emisyonları üzerinde biyodizel yakıtların etkisi, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, 2, 9-19.
- Altun, Ş. 2014. Effect of the degree of unsaturation of biodiesel fuels on the exhaust emissions of a diesel power generator, *Fuel*, 117, 450-457
- Altun, Ş., Gür, A.M. 2005. Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılması, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(3), 35-42.
- Amoore, J.E., Hautala, E. 1983. Odor as an aid to chemical safety: odor thresholds compared with threshold limit values and volatilities for 214 industrial chemicals in air and water dilution, *Journal of Applied Toxicology*, 3, 272-290.
- Anonymous, 2008. NOx Reduction Techniques and Control Measures, <http://charmec.org/mecklenburg/county/LUESA/AirQuality/EducationandOutreach/Documents/NOxReductionhandoutFINAL.pdf> [Ziyaret Tarihi:18.03.2022].
- Aşır, M. 2009. Bazı Kaliksaren Türevlerinin Atık Madeni Yağların Geri Kazanımında Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Selçuk Üniversitesi, Konya, 81.
- Ayhan, V., Kapsız, M., Parlak, A. 2006. Buji ateşlemeli motorlarda termal bariyer kaplamanın motor performans ve emisyonlarına etkisi, 9. *Uluslararası Yanma Sempozyumu*, 16-17 Kasım 2006, Kırıkkale, Turkey.
- Basu, P. 2013. Biomass gasification, *Pyrolysis and Torrefaction*, Second Edi.

- Bosch, 2005. Emissions-control technology for diesel engines. *Robert Bosch GmbH*, Germany
- Budak, N., Bayındır, H., Yücel, H.,L., (2009). Dizel motorlarda biyodizel kullanımının performans ve egzoz emisyonları açısından değerlendirilmesi, *V Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 123-130.
- Burtscher, H. 2005. Physical characterization of particulate emissions from diesel engines: a review. *Aerosol Sci*, 36, 896-932.
- Candan, F. 2012. Dizel metanol ve katkı maddelerinin dizel motor performansı ve emisyonu etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Selçuk Üniversitesi, Konya, 118.
- Charlton S. J. 2007. US Perspective on engine development, *SAE Heavy-Duty Diesel Emissions Control Symposium*.
- Chen, B., Han, X., Mu, M., Jiang, X. 2017. Studies of the co-pyrolysis of oil shale and wheat straw, *Energy & Fuels*, 31(7), 6941-6950.
- Chong, J.J., Tsolakis, A., Gill, S.S., Theinnoi, K., Golunski, S.E. 2010. Enhancing the NO<sub>2</sub>/Nox ratio in compression ignition engines by hydrogen and reformate combustion, for improved after treatment performance, *Int J Hydrog Energy*, 35, 8723-8732.
- Ciniviz, M. 2001. “Dizel Motorlarında Dizel Yakıtı Ve Lpg Kullanımının Performans Ve Emisyonlara Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, 80.
- Conca, W.E. 1985. Health aspects of petroleum fuels, *Potential Hazards and Precautions for Individual Classes of Fuels* (Report No. 85/51), The Hague, pp. 23-29,47
- Correa, S.M., Arbilla, G. 2008. Carbonly emissions in diesel and biodiesel exhausts, *Atmos Environ*, 42, 769-775.
- Cummins, C.L. 1989. *Internal Fire*, Society of Automotive Engineers.
- Çanakçı, M. 2004. Atık hayvansal ve bitkisel yağlardan üretilen biyodizelin motor performans ve emisyonlarına etkisinin incelenmesi, *V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul.
- Çanakçı, M., Özsezen, N. 2005. Evaluating waste cooking oils as alternative diesel fuel, *G.U. Journal of Science*, 18(1), 81-91.
- Çanakçı, M., Yaman, G. 2003. *İzmit sınırları içerisinde bulunan restaurant ve lokantaların atık kızartma yağlarının potansiyel ve biyodizel üretimi açısından incelenmesi*, Bapb-Proje No; 2003/079, Kocaeli.
- Çelikten, İ. (2004). Tam yükte çalışan indirekt püskürtmeli bir dizel motorunda dizel ve dizel-etanol yakıt karışımlarının motor performansı ve emisyon değişimlerine etkilerinin incelenmesi, *Teknoloji Dergisi*, 7(1), 11-18.
- Çildir, O. Çanakçı, M. 2006. Çeşitli bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde katalizör ve alkol miktarının yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendis Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21, 367-372.

- Çolak, A. 2006. “Buji Ateşlemeli Motorlarda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Etanol Kullanımının Performans Ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük, 57.
- Demers, D., Walters, G. 1999. *Guide to exhaust emission control options*, BAeSAME, Bristol
- Demirbaş, L. 2002. Türkiye’de Enerji Sektörü, Sektörün Problemleri, Avrupa Birliği Ve Türkiye’de Enerji Politikaları, Yüksek Lisans Tezi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 208.
- Dhariwal, H.C. 1997. Control of blowby emissions and lubricating oil consumption in I.C. engines, *Energy Convers Manag*, 38, 1267-1274
- Diaz-Sanchez, D. 1997. The role of diesel exhaust particles and their associated polyaromatic hydrocarbons in the induction of allergic airway disease, *Allergy*, 52, 52-56.
- Dorado, M. P., Ballesteros, E., De Almeida, J. A., Schellert, C., Lohrlein, H. P., Krause, R. (2002). An alkali-catalyzed transesterification process for high free fatty acid waste oils, *Transactions-American Society Of Agricultural Engineers*,45(3), 525-530.
- Dukek, W.G. 1978. Aviation and other gas turbine fuels, In: *Grayson, M., ed., Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, VoL. 3, New York, John Wiley & Sons, pp. 328-351.
- Ecke, H., Svensson, M. 2008. Mobility of organic carbon from incineration residues, *Waste Manage*, 28, 1301-1309.
- Eliçin, A.K., Erdoğan, D. 2006. Fındık yağı metil ve etil esteri ile diesel yakıtı karışımlarının küçük güçlü bir dizel motorda yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 13(2), 137-146.
- Elmas, P. 2005. Umudumuz biyodizel, *Araştırma ve Meslekleri Geliştirme Müdürlüğü*, AR-GE Bülten, 32-38, İzmir
- Encinar, J.M., Gonzales, J.F., Rodriguez, J.J., Tejedor, A. 2001. Biodiesel fuels from vegetable oils, *Energy and Fuels*, 16, 443-450.
- Enerji Kaynakları, 2020. Çevre sorunları ve çevre dostu alternatif enerji kaynakları, *Standard Dergisi*, 39(468), 28-36.
- Englert, N. 2004. Fine particles and human health—a review of epidemiological studies, *Toxicol Lett*, 149, 235-242
- Erdoğan, D., Muhammed, AA., 1997. Yakıt olarak kullanılan bazı bitkisel yağların dizel motor performansına etkileri, *Tarımsal Mekanizasyon 17. Ulusal Kongresi*, Tokat.
- Ergen, G., Karabektaş, M. 2006. Pamuk yağından üretilen biyodizel yakıtının bir dizel motorda kullanımı, *9.Yanma Sempozyumu*, 51-59 Kırıkkale,.
- Eryılmaz, T. 2009. “Hardal Yağı Biyodizelinde Farklı Karışım Oranlarının Dizel Motorlarda Performansa Etkisi”, Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Selçuk Üniversitesi, Konya, 145.
- Faiz, A., Weaver, C.S., Walsh, P.W. 1996. Air pollution from motor vehicles: standards and technologies for controlling emissions, *The World Bank*, Washington

- Ferizardo, P., Neiva, C. 2005. *Production of biodiesel from waste frying oils Idalina*, Raposo Accepted.
- Glikin, P. E. 1985. Fuel injection in diesel engines, *Proceedings of IMechE*, 199(D3), 161-174.
- Grewe, V., Dahlmann, K., Matthes, S., Steinbrecht, W. 2012. Attributing ozone to NOx emissions: implications for climate mitigation measures, *Atmos Environ* 59, 102-107.
- Gündüz, İ., 2017. “Etanol Katkılı Atık Kızartma Yağlarının Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 78.
- Haas, J.M., Scot, K.M., Alleman, T.L., McCormick R.L. 2001. Engine performance of biodiese fuelprepared from soybean soapstock: A high quality renewable fuel produced from a waste feedstocks, *Energy and Fuels*, 4, 1207-1212
- Hansen, A.C. Hornbaker, R.H., Zhang, Q. 2001a. Ethanol-diesel blends: a step towards a bio- based fuel for diesel engines, *ASAE*, 01-6048.
- Hansen, A.C., Hornbaker, R.H., Zhang, Q., Peter Lyne, W.L. 2001b. On-farm evaluation diesel fuel oxygenated with ethanol, *ASAE*, 01-6173
- Haşimoğlu, C., İçingür, Y., Öğüt, H. 2002. Dizel motorlarında egzoz gazları resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi, *Turkish J. Eng. Env. Sci*, 26, 127-135.
- Hışır, V. (2010). “Bütanol- Benzin Karışımlarının Buji İle Ateşlemeli Motorların Performans Ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük Üniversitesi Karabük, 57.
- Hiroyuki, Y., Misawa, K., Suzuki, D., Tanaka, K., Matsumoto, J., Fujii, M., Tanaka, K. 2011. Detailed analysis of diesel vehicle exhaust emissions: nitrogen oxides, hydrocarbons and particulate size distributions, *Proc Combust Inst*, 33, 2895-2902.
- Hoefl, I., Steude, K., Wrage, N., Veldkamp, E. 2012. Response of nitrogen oxide emissions to grazer species and plant species composition in temperate agricultural grassland, *Agric Ecosyst Environ*, 151, 34-43.
- Hoekman, S.K., Robbins, C. 2012. Review of the effects of biodiesel on NOx emissions, *Fuel Process Technol*, 96, 237-249.
- Huang, H., Yuan, X. 2015. Recent progress in the direct liquefaction of typical biomassa, *Progress in Energy and Combustion Science*, 49, 59-80.
- Ishida, M., Ueki, H. ve Sakaguchi, D. 1997. “Prediction of NOX Reduction Rater due to Port Water Injection in a DI Diesel Engine”, *SAE*, 972961.
- İlkılıç, C., Behçet, R., Aydın, S., Aydın, H. 2009. Dizel Motorlarında Azot Oksitlerin Oluşumu ve Kontrol Yöntemleri, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
- Jiahong, L., May, W., Wang, M. 2009. Simulation of the process for producing butanol from corn fermentation, center for transportation research, *Industry & Engineering Chemistry Research*, 48 (11), 5551-5557

- Jimenez-Espadafor, F.J., Torres, M., Velez, J.A., Carvajal, E., Becerra, J.A. 2012. Experimental analysis of low temperature combustion mode with diesel and biodiesel fuels: A method for reducing NOx and soot emissions, *Fuel Processing Technology*, 103, 57-63.
- Jincheng, H. Yaodong, W., Shuangding, L., Anthony, P.R., Hongdong, Y. And Huifen, L. 2009. Experimental investigation on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with ethanol-diesel blends, *Applied Thermal Engineering*, 29 (IV): 2484-2490
- Kagawa, J. 2002. Health effects of diesel exhaust emissions-a mixture of air pollutants of worldwide concern, *Toxicology*, 181-182, 349-353.
- Kampa, M., Castanas, E. 2008. Human health effects of air pollution, *Environ Pollut*, 151, 362-367.
- Kan, A. 2009. General characteristics of waste management: a review, *Energy Educ Sci Technol Part A*, 23, 55-69.
- Karabektaş, M. 2005. Alternatif dizel motor yakıtı olarak biodizel yakıtının deneysel olarak incelenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 114-121.
- Karabektaş, M., Ergen, G. 2009. “Taşıtlarda doğalgaz kullanım teknolojileri” 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük.
- Karabektaş, M., Hoşöz, M. 2009. Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol-diesel fuel blends, *Renewable Energy*, 34 (6), 1554-1559.
- Karagül, E.T., Kavaz, İ. 2017. Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, *Seta Sayı*, 197.
- Karahan, Ş. 2005. Biyodizel kalitesi ve biyodizel kalitesinin dizel motorlara etkileri, *TÜBİTAK, M.A.M., Enerji Enstitüsü*.
- Karaosmanoğlu, F. 2002. Türkiye için çevre dostu-yenilenebilir yakıt adayı biyomotorin, *Ekojenerasyon Dünyası Dergisi*, 10, 50-56.
- Kerscnbaum, S., Rinke, G. 2003. Measurement of the temperature dependent viscosity of biodiesel fuels, *Fuel*, 83, 287-291.
- Keskin, A., Sağıroğlu, S. 2010. Dizel motorlarından kaynaklanan egzoz emisyonları ve kontrol yöntemleri, *Engineer & the Machinery Magazine*, V(51-606), 2-12.
- Keskin, A., Ekşi, KA. 2006. The effect of using corn oil biodiesel on performance and emissions of diesel engine, *C.B.U., Journal of Science*, 49 -55.
- Khair, M.K., Majewski, W.A. 2006. Diesel emissions and their control, *SAE International*, ISBN: 978-0-7680-0674-2.
- Kittelson, D.B. 1998. Engines and nanoparticles: a review. *J Aerosol Sci*, 29(5- 6), 575-588.
- Kocagöz, S. 2009. “Çift Yakıtlı (LPG-Dizel) Dizel Bir Motorda Hacimsel Verimin Performans Ve Emisyonlara Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fem Bilimleri Enstitüsü*, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 56.
- Koç, E., Şenel, M.C. 2013. Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme, *Mühendis ve Makina*, 54(639), 32-44.

- Kozan, A., Demir, U., Özer, S. 2022. Experimental investigation of the effect of urea addition to fuel on engine performance and emissions in diesel engines, *Fuel*, 311, 122578.
- Krasulina, J., Luik, H, Palu, V., Tamvelius, H. 2012. Thermochemical co-liquefaction of Estonian kukersite oil shale with peat and pine bark, *Oil Shale*, 29(3), 222-229.
- Krawczyk, T., 1996. Biodiesel: alternative fuel makers inroads but hurdles remain, *Inform*, 7, 800-815.
- Krzyzanowski, M., Kuna-Dibbert, B., Schneider, J. 2005. Health effects of transport-related air pollution, *WHO*, Denmark
- Lane, J.C. 1980. Gasoline and other motor fuels. In: *Grayson, M., ed., Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 3rd ed., Vol. 11, New York, John Wiley & Sons, pp. 652-695
- Lee, T., Park, J., Kwon, S., Lee, J., Kim, J. 2013. Variability in operation based NOx emission factors with different test routes and its effects on the real-driving emissions of light diesel vehicles, *Sci Total Environ*, 461462, 377-385.
- Lin, C.Y., Wang, K.H. 2004. Diesel engine performance and emission characteristics using three-phase emulsions as fuel, *Fuel*, 83, 537-545.
- Lin, F.L., Greg, Y., Chang, T.C. 2007. Combustion characteristics of waste-oil produced biodiesel, *Diesel Fuel Blends*, 3, 1772-1780,
- Lindström, M. 2011. "Methods for Characterization of the Diesel Combustion and Emission Formation Processes", Doctoral Thesis, *Department of Machine Design ISSN 1400-1179 Royal Institute of Technology, Stockholm*
- Lloyd's Register of Shipping (2002), *Emissions of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engines*, July 2002.
- Maricq, M.M. 2007. Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: a review, *Aerosol Sci*, 38, 1079-1118.
- Meher, L.C., Sagar, D.V., Naik, S.N. 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(3), 248-268.
- Merc Kimya, 2010. *Endüstri Sanayi*, "İzobütanol güvenlik kataloğu", 1-9.
- Michael, R.A., Kleinman, M.T. 2000. Incidence and apparent health significance of brief airborne particle excursions, *Aerosol Sci Technol*, 32, 993-1058.
- Micheal, P. 2004. Worldwide evolution of diesel emissions standards, *Walsh International Consultant*, 3rd Aaqius & Aaqius Paris Forum September 28, 2004
- Mutlubaş, H., 2016. "Kitosan İle Mikrodalga Biyodizel Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli*, 71.
- Oğuz, H., Öğüt, H. 2008. Atık bitkisel yağdan biyodizel üretiminin ülkemize sağlayacağı yararlar, *Biyodizelin Önemi Sempozyumu*, İstanbul
- Oğuz, H., Öğüt, H. 2002. Bitkisel kökenli yağların tarım traktörlerinde kullanım imkanları, *Selçuk Teknik Dergisi*, 2, 1-10.
- Onay O., Kockar, O.M. 2003. Slow, fast and flash pyrolysis of rapeseed, *Renew. Energy*, 28(15), 2417-2433.

- Organisation for Economic Co-Operation and Develeopment (OECD). 2002. Strategies to reduce greenhouse gas emissions from road transport: analytical methods, *OECD*, Paris
- Örs, İ. 2007. “Benzin Etanol Karışımlarının Taşıt Performansına Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Selçuk Üniversitesi, Konya, 50.
- Örs, İ. 2014. “Biyoyakıt Kullanan Bir Dizel Motorunun Performans, Yanma Ve Emisyon Analizi”, Doktora Tezi, *Bilimleri Enstitüsü*, Selçuk Üniversitesi, Konya, 165.
- Özdemir, Ö.Z., Mutlubaş, H. 2016. Biyodizel üretim yöntemleri ve çevresel etkileri, Kırklareli Üniversitesi, *Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Dergisi*, 2, 129-143.
- Özer, S. 2015. “Bütanol Kullanımının Dizel Motor Performansına Ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 164.
- Özer, S. 2021. Effects of alternative fuel use in a vehicle with TSI (turbocharged direct-injection spark-ignition, engine technology, *International Journal of Green Energy*, 18(12), 1309–1319.
- Özseven, N.A., Çanakçı, M., Sayın, C. 2006. Atık kızartma yağı kökenli biyodizelin ön yanma odalı bir dizel motorda yanma karakteristiklerinin incelenmesi, *9. Yanma Sempozyumu*, 11-20, Kırıkkale.
- Öztürk, M. 2008. Kullanılmış Bitkisel ve Hayvansal Yağlar, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Parash, S.M, Kalam, M.A., Masjuki H.H. 2013. Impacts of biodiesel combustion on NOx emissions and their reduction approaches, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 473-490.
- Payri, F., Bermudez, V.R., Tormos, B., Linares, W.G. 2009. Hydrocarbon emissions speciation in diesel and biodiesel exhausts, *Atmos Environ*, 43, 1273-1279.
- Pickett, L.M., Siebers, D.L. 2006. “Soot formation in diesel fuel jets near the lift-off length”, *International Journal of Engine Research*, 7, 103-130.
- Pickett, L.M., Siebers, D.L. 2004b. “Soot in diesel fuel jets: effects of ambient temperature, ambient density, and injection pressure”, *Combustion and Flame*, 138, 114-123.
- Pickett, L.M., Siebers, D.L. 2004a. “Non-Sooting, Low Flame Temperature Mixing Controlled DI Diesel Combustion”, *SAE Technical Paper*, 200401-1399
- Prakash Bamboriya, O., Singh Thakur, L., Parmar, H., Verma, A., Kumar Hinge, V. 2019. A review on mechanism and factors affecting pyrolysis of biomass, *International Journal of Research in Advent Technology*, 1014-1024.
- Prasad, R., Bella, V.R. 2010. A review on diesel soot emission, its effect and control, *Bull Chem React Eng Catal*, 5(2), 69-86.
- Qureshi, N., Saha, B.C., Cotta, M.A. 2008b. “Butanol production from wheat straw by simultaneous saccharification and fermentation using *clostridium beijerinckii*: part 2- fed-batch fermentation”, *Biomass and Bioenergy*, 32 (2), 176-183.

- Qureshi, N., Saha, B.C., Hector, R.E., Hughes, S.R., Cotta, M.A., 2008a. Butanol production from wheat straw by simultaneous saccharification and fermentation using *Clostridium beijerinckii*: part 1-batch fermentation, *Biomass and Bioenergy*, 32 (2), 168-175.
- Reed, T.B., Graboski, M.S., Gaur, S. 1992. Development and commercialization of oxygenated diesel fuels from waste vegetable oils, *Biomass and Bioenergy*, 111-115.
- Reşitoğlu, İ.A., Altınışik, K., Keskin, A. 2015. The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems, *Clean Techn Environ Policy* 17, 15-27.
- Reşitoğlu, İ.A. 2010. “Atık Yağlardan Üretilmiş Biyodizelin Dizel Motor Performans Ve Emisyonuna Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin Üniversitesi, Mersin, 100.
- Ronsse, F., Nachenius, R.W., Prins, W. 2015. Carbonization of biomass, Recent Adv. Thermo-Chemical Convers, *Biomass*, 293-324
- Sarvi, A., Lyyranen, J., Jokiniemi, J., Zevenhoven, R. 2011. Particulate emissions from large-scale medium-speed diesel engines:1. Particle size
- Sass, F. 1962. Geschichte des deutschen Verbrennungsmotorenbaues von 1860 bis 1918, (*In German*), Springer, Berlin.
- Sayın, C., Murat, İ., Çanakçı, M., Gümüş, M. 2009. Effect of injection timing on the exhaust emissions of a diesel engine using diesel-methanol blends, *Renewable Energy*, 34 (5), 1261-1269.
- Sharma, R.K., Wooten, J.B., Baliga, V.L., Lin, X., Geoffrey Chan, W., Hajaligol, M. R. 2004. Characterization of chars from pyrolysis of lignin, *Fuel*, 83(11- 12), 1469-1482.
- Solomons Graham T. W. 1996. Organic chemistry, *University of South Florida*, USA, 72, 471-473, 705-724
- Soruşbay, C., Arslan, E. 1998. Hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlarda yanma performansı, *Mühendis Ve Makine Dergisi*, 2, 231-235.
- Soylu Ş., 2009. *Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, T.C. Sanayi Ve Ticaret Bakanlığı Ve Temsa Ar&Ge Tek. A.Ş. Destekli San-Tez Projesi 6. Ay Raporu*, Toplu Taşımada Kullanılan Otobüslerden Kaynaklanan Emisyonların Analizi, Seyir Çevrimlerinin Oluşturulması Ve Emisyon Yayılımlarının Modellenmesi.
- Stevens, J. 2000. An overview of biomass thermochemical liquefaction research sponsored by the U.S. Department of energy.
- Szwaja, S., Naber, J.D. 2009. Combustion of n-butanol in a spark-ignition IC engine, *Fuel*, 43 (8), 1-10.
- Şanlı, H., Çanakçı, M. 2004. Atık kıyartma ve hayvansal yağların biyodizel üretiminde kullanılması, *V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, Kasım, İstanbul.
- Tighe, C.J., Twigg, M.V., Hayhurst, A.N., Dennis, J.S. 2012. The kinetics of oxidation of diesel soots by NO<sub>2</sub>, *Combust Flame*, 159, 77-90.

- Tomasevic, A.V., Marinkovic, S.S. 2003. Methanolysis of used frying oil, *Fuel processing technology*, 81, 1-6.
- Tonini, S., Gavaises, M., Arcoumanis, C., Theodorakakos, A. 2006. Prediction of liquid and vapor penetration of high pressure diesel sprays, *SAE Technical Paper*, 01-0242.
- TPAO, 2015. *Ham petrol ve doğalgaz sektör raporu*, Mayıs.
- Türkyılmaz, O. 2015. Türkiye Enerji Görünümü, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası*, Ankara.
- Ulusoy, Y., Alibaş K. 2002. Dizel motorlarda biodizel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16, 37-50.
- Uyar T. 1992. Organik Kimya, 4. Baskı, *Güneş Kitapevi*, Ankara.
- Uyumaz, A., Boz, F., Yılmaz, E., Solmaz, H., Polat, S. 2017. “Taşıt egzoz emisyonlarını azaltma yöntemlerindeki gelişmeler”, 4. *Ulusal Meslek Yüksekokulları Sosyal Ve Teknik Bilimler Kongresi Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*, 11-13 Mayıs 2017, Burdur.
- Ünalın, S. 2002. Alternatif Enerji Kaynakları Ders Notları, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Ders Notları, Ankara.
- Van Kasteren, J.M.N., Nisworo, A.P. 2007. A process model to estimate the cost of industrial scale biodiesel production from waste cooking oil by supercritical transesterification, *Resources, Conservation and Recycling*, 50(4), 442-458.
- Velioğlu, H. 2005. Türkiye’de Yağlı Tohumlu Bitkiler Destekleme Uygulamaları, *Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü*, Ankara
- Vezer, A. 2006. “Metanol - Benzin Karışımlarının MgO - ZrO<sub>2</sub> Termal Bariyer Çemberli Bir Motorda Performans Ve Emisyonlara Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya Üniversitesi Sakarya, 92.
- Vural, E., Özer, S. 2014. Buji ateşlemeli motorlarda yakıtta asetilen gazı ilavesinin egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 24-34. <https://doi.org/10.17798/beufen.44416>,
- Walker, K. (2013). “What is Pyrolysis?,” [Online]. Available: <https://www.azocleantech.com/article.Asp?ArticleID=336> (18.03.2022).
- Walsh, M.P. 2011. Mobile source related air pollution: effects on health and the environment, *Encyclopedia of Environ Health*, 3, 803-809.
- Wang, X., Wasterdahl, D., Jingnan, H., Wu, Y., Yin, H., Pan, X., Zhang, K.M. 2012. Onroad diesel vehicle emission factors for nitrogen oxides and black carbon in two Chinese cities, *Atmos Environ*, 46, 45-55.
- Yang, W., Nam, H., Choi, S. 2007. Improvement of operating conditions in waste incinerators using engineering tools, *Waste Manage*, 27, 604-613.
- Yang, W.H., Tarn, Y.S. 1998. Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the taguchi method, *Journal of Materials Processing Technology*, 84:123-130
- Yıldırım, S. 2003. “Dünyada ve Türkiye’de Petrol”, *T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Ekonomik Araştırmalar ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü Petrol Raporu*, 11-30.

- Zafar, S. (2009). "Biomass Pyrolysis," [Online]. Available: <https://www.altenergymag.com/article/2009/02/biomass-pyrolysis/502/> (18.03.2022)
- Zheng, M., Mulenga, M.C., Reader, G.T., Wang, M., Ting, D.S., Tjong, J. 2008. Biodiesel engine performance and emissions in low temperature combustion, *Fuel*, 87, 714-722.
- Zheng, M., Reader, G.T., Hawley, J.G. (2004). Diesel engine exhaust gas recirculation- a review on analizör.

#### **Anonim ve Web Sayfası**

[http://www.worldoil.com/InfoCenter/Infocenter\\_Main.asp](http://www.worldoil.com/InfoCenter/Infocenter_Main.asp) (18.03.2022).

[https://en.wikipedia.org/wiki/DEG\\_monobutyl\\_ether](https://en.wikipedia.org/wiki/DEG_monobutyl_ether) (18.03.2022)

