



**KENEVİR YAĞINDAN ELDE EDİLEN  
BİYODİZELİN DİZEL MOTOR  
PARAMETRELERİNE ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Emre CANBAZ**

**2022  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Samet USLU**

**KENEVİR YAĞINDAN ELDE EDİLEN BİYODİZELİN DİZEL MOTOR  
PARAMETRELERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Emre CANBAZ**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Samet USLU**

**KARABÜK  
Ocak 2022**

Emre CANBAZ tarafından hazırlanan “KENEVİR YAĞINDAN ELDE EDİLEN BİYODİZELİN DİZEL MOTOR PARAMETRELERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Samet USLU

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 13/01/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Samet USLU (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Süleyman ŞİMŞEK (İAÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **KENEVİR YAĞINDAN ELDE EDİLEN BİYODİZELİN DİZEL MOTOR PARAMETRELERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Emre CANBAZ**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Samet USLU**

**Ocak 2022, 79 sayfa**

Ülke ekonomileri için enerjinin önemli bir yeri vardır. Enerji ihtiyacı artan nüfusla birlikte her geçen gün artmaktadır. Geçmişte ve günümüzde yaşanan petrol fiyatlarındaki dalgalanmalar, savaşlar, petrol krizleri ve çevresel faktörler sebebiyle yakın zamanda üretilebilir fosil yakıt rezervlerinin tükenebileceği düşünüldüğünde toplulukları yenilenebilir ve çevre dostu olan alternatif bir enerji kaynağına yönlendirmektedir. Söz konusu alternatif enerji kaynaklarından biri olan biyodizel hem hayvansal yağ hem de bitkisel yağdan üretilebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı kenevir tohumu yağının buji ateşlemeli bir motorda dizel yakıtı alternatif bir enerji kaynağı oluşturarak yakıt olarak kullanmaktır. Kenevir yağının alternatif yakıt olarak kullanılması için dizel yakıtı yakınlığı incelenmiştir.

Yapılan çalışmada, kenevir tohumu yağını iki farklı oranda (%10 ve %20) dizel ile karıştırılması ile oluşturulan yakıt karışımları ve dizel olmak üzere üç farklı yakıt (10KB90D, 20KB80D ve Dizel yakıt) kullanılmıştır. Motor deneyleri 500-3000W aralığında çeşitli yüklerde yapılmış olup motor performansı açısından fren efektif verim (FEV) ve fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT) incelenmiştir. Egzoz emisyonları ise karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), oksijen (O<sub>2</sub>), azot oksit bileşenleri (NO<sub>x</sub>) ve is değişkenlerinin analizi yapılmıştır.

Deneylerde elde edilen motor performans sonuçlarına göre 10KB90D ve 20KB80D yakıtları için 500-3000W yükteki değerini göz önüne alırsak. FEV’de yük arttıkça elde edilen verimlerde artışlar gözlemlenmiştir. Verim sürekli olarak artmış olup yük arttıkça artık oranı düşmektedir. FÖYT ise eklenen biyodizelin ısı değerinin düşük olmasından dolayı FÖYT sürekli artmıştır. Yükün artışından dolayı da bir önceki yüke oranla FÖYT daha yükselmiştir. Deneylerde elde edilen egzoz emisyonlarında ise CO ilk yüklerde azalırken daha sonra artış yapıp maksimum yükte ise bir önceki yüklerle oranla düşmüştür. HC emisyonunda ise emisyon değerlerinde sürekli azalmalar mevcuttur. NO<sub>x</sub> emisyonunda ise HC emisyonunda olduğu gibi sürekli olarak düşüşler incelenmiştir ve is emisyonunda ise içerisinde O<sub>2</sub> bulunmasından dolayı yük arttıkça is emisyonunda azalmalar gözlenmiştir. Ayrıca CO<sub>2</sub> miktarında çeşitli yüklerde artışlar ve azalışlar mevcuttur, düşük yükte artış olurken orta yüklerde azalış olup yüksek yüklerde tekrar artışa geçmiştir. O<sub>2</sub> miktarında da genel olarak bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu düşüş yük arttıkça yükselmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Kenevir yağı, alternatif yakıtlar, egzoz emisyonları, biyodizel, biyodizel yakıt özellikleri

**Bilim Kodu:** 91413

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

# **INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF BIODIESEL MADE FROM HEMP OIL ON DIESEL ENGINE PARAMETERS**

**Emre CANBAZ**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Samet USLU**

**January 2022, 79 pages**

Energy has an important place for national economies. The need for energy is increasing day by day with the increasing population. Considering that producible fossil fuel reserves may be depleted in the near future due to fluctuations in oil prices in the past and present, wars, oil crises and environmental factors, it directs communities to an alternative energy source that is renewable and environmentally friendly. Biodiesel, which is one of the alternative energy sources in question, can be produced from both animal fat and vegetable oil.

The aim of this study is to use biodiesel obtained from hemp seed oil as a fuel by creating an alternative energy source to diesel fuel in a spark ignition engine. For the use of hemp oil as an alternative fuel, its proximity to diesel fuel has been investigated.

In this study, three different fuels (10KB90D, 20KB80D and 100%Diesel) were used, namely fuel mixtures created by mixing hemp seed oil with diesel oil in two different ratios (10% and 20%). Engine tests were carried out at different loads in the range of 500Watt-3000Watt, and brake thermal efficiency (BTE) and brake specific fuel consumption (BSFC) were examined in terms of engine performance. Exhaust emissions, on the other hand, were analyzed for carbon monoxide (CO), hydrocarbon (HC), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), oxygen (O<sub>2</sub>), nitrous oxide (NO<sub>x</sub>) and smoke variables.

According to the engine performance results obtained in the experiments, if we consider the value at 500-3000W load for 10KB90D and 20KB80D fuels. As the load increased in BTE, an increase in the efficiency was observed. The efficiency has increased continuously and the residual rate decreases as the load increases. On the other hand, BSFC increased continuously due to the low calorific value of the added biodiesel. Due to the increase in the load, the BSFC has increased compared to the previous load. In the exhaust emissions obtained in the experiments, while the CO decreased at the first loads, it increased later on and decreased at the maximum load compared to the previous loads. In HC emission, there are continuous decreases in emission values. In NO<sub>x</sub> emission, as in HC emission, decreases were investigated continuously, and in soot emission, reductions in soot emission were observed as the load increased due to the presence of O<sub>2</sub> in it. In addition, there are increases and decreases in the amount of CO<sub>2</sub> at various loads, while it increased at low loads, it decreased at medium loads and started to increase again at high loads. A general decrease was observed in the amount of O<sub>2</sub>. This decrease increases as the load increases.

**Keywords:** Hemp oil, alternative fuels, exhaust emissions, biodiesel, biodiesel fuel properties

**Science Code:** 91413

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Emre CANBAZ



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca kıymetli zamanını bana ayırmaktan çekinmeyen, tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgilerinden ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam ve danışmanım Doç. Dr. Samet USLU'ya, İstanbul Aydın Üniversitesi'ndeki deneysel çalışmalarımı bilimsel temeller ışığında şekillendiren ve yönlendiren her türlü yardımlarını gördüğüm, maddi-manevi desteğini esirgemeyen, her türlü zorluğu aşmamda bana yardımeden hocam Dr. Öğr. Üyesi Süleyman ŞİMŞEK'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez sürecinde hep yanımda olan ve katkılarını esirgemeyen sevgili müstakbel eşim Feyzanur'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme ve üzerimde emeği olan herkese tüm kalbimle sonsuz teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

|  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| KABUL.....                               | ii           |
| ÖZET.....                                | iii          |
| ABSTRACT.....                            | v            |
| TEŞEKKÜR.....                            | viii         |
| İÇİNDEKİLER .....                        | ix           |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                     | xiii         |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                  | xv           |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....     | xvi          |
| <br>                                     |              |
| BÖLÜM 1. ....                            | 1            |
| GİRİŞ .....                              | 1            |
| 1.1. KENEVİR .....                       | 5            |
| <br>                                     |              |
| BÖLÜM 2. ....                            | 7            |
| LİTERATÜR TARAMASI.....                  | 7            |
| <br>                                     |              |
| BÖLÜM 3 .....                            | 13           |
| DİZEL MOTORLARDA YAKITLAR.....           | 13           |
| 3.1. YAKIT ÖZELLİKLERİ.....              | 13           |
| 3.1.1. Setan Sayısı.....                 | 13           |
| 3.1.2. Viskozite .....                   | 13           |
| 3.1.3. Yoğunluk .....                    | 14           |
| 3.1.4. Kükürt İçeriği.....               | 14           |
| 3.1.5. Su İçeriği.....                   | 14           |
| 3.1.6. Parlama Noktası.....              | 15           |
| 3.1.7. Soğuk Filtre Tıkanma Noktası..... | 15           |
| 3.1.8. Isıl Değer .....                  | 15           |

|  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 3.2. ALTERNATİF YAKITLAR.....                              | 16           |
| 3.2.1. Alkoller .....                                      | 16           |
| 3.2.2. Doğal Gaz .....                                     | 17           |
| 3.2.3. LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı).....              | 19           |
| 3.2.4. Hidrojen .....                                      | 22           |
| 3.2.5. Biyodizel.....                                      | 24           |
| 3.2.5.1. Biyodizelin Avantajları.....                      | 26           |
| 3.2.5.2. Biyodizelin Dezavantajları .....                  | 27           |
| <br>BÖLÜM 4. ....  | <br>29       |
| DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR .....                 | 29           |
| 4.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA .....                          | 29           |
| 4.1.1. Dizel Motorların Çalışma Prensibi .....             | 30           |
| 4.1.1.1. Emme Zamanı.....                                  | 30           |
| 4.1.1.2. Sıkıştırma Zamanı.....                            | 31           |
| 4.1.1.3. Yanma ve Genişleme Zamanı.....                    | 31           |
| 4.1.1.4. Egzoz Zamanı .....                                | 32           |
| 4.1.2. Dizel Motorlarında Yanma Safhaları.....             | 32           |
| 4.1.2.1. Tutuşma Gecikmesi .....                           | 34           |
| 4.1.2.2. Kontrolsüz Yanma .....                            | 35           |
| 4.1.2.1. Kontrollü Yanma .....                             | 36           |
| 4.1.2.1. Gecikmiş Yanma .....                              | 37           |
| 4.2. DİZEL MOTORLARDA KİRLETİCİ EMİSYONLAR .....           | 38           |
| 4.2.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Oluşumu .....          | 39           |
| 4.2.2. Azot Oksit (NO <sub>x</sub> ) Emisyonu Oluşumu..... | 41           |
| 4.2.3. Partikül Madde (İs) Emisyonu Oluşumu .....          | 43           |
| 4.2.4. Hidrokarbon (HC) Emisyon Oluşumu.....               | 43           |
| <br>BÖLÜM 5 .....  | <br>46       |
| MATERYAL VE METOT .....                                    | 46           |
| 5.1. DENEY DÜZENEGİ .....                                  | 46           |

|  | <b><u>Sayfa</u></b> |
|--|---------------------|
| 5.1.1. Deney Motoru .....                        | 47                  |
| 5.1.2. Egzoz Emisyon Cihazı.....                 | 49                  |
| 5.1.3. Deney Yakıtı.....                         | 50                  |
| 5.1.3.1. Kenevir Tohumu Yağı Destilasyonu .....  | 51                  |
| 5.1.4. Yakıt Tüketim Ölçme Düzeneği.....         | 52                  |
| 5.1.5. Yük Ünitesi.....                          | 53                  |
| 5.1.6. Kronometre .....                          | 53                  |
| 5.2. DENEY VERİLERİNİN HESAPLAMA YÖNTEMLERİ..... | 54                  |
| 5.2.1. Efektif Verim.....                        | 54                  |
| 5.2.2. Özgül Yakıt Tüketimi .....                | 55                  |
| 5.2.3. Motor Momenti.....                        | 55                  |
| <br>   |                     |
| BÖLÜM 6 .....                                    | 56                  |
| BULGULAR VE TARTIŞMA .....                       | 56                  |
| 6.1. PERFORMANS VE PARAMETRELER .....            | 56                  |
| 6.1.1. Fren Efektif Verim (FEV) .....            | 56                  |
| 6.1.2. Fren Özgül Yakıt Tüketimi (FÖYT).....     | 58                  |
| 6.2. EMİSYON PARAMETRELERİ .....                 | 59                  |
| 6.2.1. CO Emisyonu .....                         | 59                  |
| 6.2.2. HC Emisyonu .....                         | 60                  |
| 6.2.3. CO <sub>2</sub> Miktarı .....             | 61                  |
| 6.2.4. O <sub>2</sub> Miktarı .....              | 62                  |
| 6.2.5. NO <sub>x</sub> Emisyonu .....            | 63                  |
| 6.2.6. Partikül ve İs Emisyonu.....              | 64                  |
| <br>   |                     |
| BÖLÜM 7 .....                                    | 66                  |
| SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....                       | 66                  |
| <br>   |                     |
| KAYNAKLAR .....                                  | 69                  |
| EK AÇIKLAMALAR A. PERFORMANS DEĞERLERİ .....     | 75                  |
| EK AÇIKLAMALAR B. PERFORMANS DEĞERLERİ .....     | 77                  |

ÖZGEÇMİŞ ..... 79

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|  |    |
|--|----|
| Şekil 3.1. LPG molekülleri atom yapıları .....   | 20 |
| Şekil 4.1. İçten yanmalı motorun bölümleri .....   | 29 |
| Şekil 4.2. Dört zamanlı dizel motorun bölümleri.....   | 30 |
| Şekil 4.3. Dört zamanlı motorun çalışma aşamaları .....  | 32 |
| Şekil 4.4. Dizel motorlarda yanma.....   | 34 |
| Şekil 4.5. Motorlu taşıtlardaki kirletici emisyon noktaları .....                                | 39 |
| Şekil 4.6. Dizel motorunun egzoz kirletici emisyonlarının konsantrasyonu .....                   | 39 |
| Şekil 4.7. HC salınımlarının hava fazlalık katsayısına bağlı olarak değişimi.....                | 44 |
| Şekil 4.8. HC salınımlarının motor yüküne göre değişimi.....                                     | 45 |
| Şekil 5.1. Deney düzeneği.....   | 47 |
| Şekil 5.2. Deney jeneratörü Katana KD 4500 E .....   | 48 |
| Şekil 5.3. Dizel jeneratörünün yağ sıcaklık, egzoz sıcaklık ve devir sensörü .....               | 49 |
| Şekil 5.4. Egzoz gaz analiz ölçüm ünitesi.....   | 49 |
| Şekil 5.5. Deney yakıtları dizel ve kenevir tohumu yağı .....                                    | 50 |
| Şekil 5.6. Scilogex Ms-H-S manyetik karıştırıcı .....  | 52 |
| Şekil 5.7. Özgül yakıt tüketimi ölçüm düzeneği .....   | 52 |
| Şekil 5.8. Yük ünitesi.....  | 53 |
| Şekil 5.9. Dijital voltmeter ve dijital ampermetre.....  | 53 |
| Şekil 5.10. Apple watch series 5 dijital saat kronometresi .....                                 | 54 |
| Şekil 6.1. Fren efektif verim farklı yüklere ve KB oranına bağlı olarak değişimi.....            | 57 |
| Şekil 6.2. Fren özgül yakıt tüketimi farklı yüklere ve KB oranına bağlı olarak<br>değişimi ..... | 58 |
| Şekil 6.3. CO gazının farklı yüklere ve KB oranına bağlı olarak değişimi .....                   | 60 |
| Şekil 6.4. HC bileşiğinin farklı yüklere ve KB oranına bağlı olarak değişimi .....               | 61 |
| Şekil 6.5. CO <sub>2</sub> gazının farklı yüklere ve KB oranına bağlı olarak değişimi .....      | 62 |
| Şekil 6.6. O <sub>2</sub> gazının farklı yüklere ve KB oranına bağlı olarak değişimi.....        | 63 |
| Şekil 6.7. NO <sub>x</sub> gazının farklı yüklere ve KB oranına bağlı olarak değişimi .....      | 64 |

Şekil 6.8. Partikül ve is emisyonlarının farklı yüklere ve KB oranına bağlı olarak değişimi ..... 65

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

|   |    |
|---|----|
| Çizelge 1.1. Dünyada toplam ham petrol rezervleri (2015-2020) ve payları..... | 3  |
| Çizelge 1.2. Dünyada birincil enerji tüketiminde yakıt payları .....          | 4  |
| Çizelge 3.1. Alkolün kimyasal özellikleri.....                                | 17 |
| Çizelge 3.2. Doğal gazın özellikleri.....                                     | 18 |
| Çizelge 3.3. LPG'nin özellikleri .....  | 21 |
| Çizelge 3.4. Hidrojen'nin özellikleri.....                                    | 23 |
| Çizelge 5.1. Deney motorunun ve jeneratörünün teknik özellikleri .....        | 48 |
| Çizelge 5.2. Egzoz gaz analizörü teknik özellikleri.....                      | 50 |
| Çizelge 5.3. Yakıt özellikleri .....  | 51 |
| Çizelge 5.4. Destilasyon analiz sonuçları .....                               | 51 |
| Çizelge EK A.1. Dizel yakıtı ile elde edilen performans değerleri.....        | 76 |
| Çizelge EK A.2. 10KB90D yakıtı ile elde edilen performans değerleri.....      | 76 |
| Çizelge EK A.3. 20KB80D yakıtı ile elde edilen performans değerleri .....     | 76 |
| Çizelge EK B.1. Dizel yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.....           | 78 |
| Çizelge EK B.2. 10KB90D yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.....         | 78 |
| Çizelge EK B.3. 20KB80D yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.....         | 78 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| CO                               | : Karbonmonoksit                                 |
| CO <sub>2</sub>                  | : Karbondioksit                                  |
| NO <sub>x</sub>                  | : Azot oksit                                     |
| HC                               | : Hidrokarbon                                    |
| NaOCH <sub>3</sub>               | : Sodyum metoksit                                |
| Cu/AMO                           | : Bakır oksit / atomik, moleküler ve optik fizik |
| KOH                              | : Potasyum hidroksit                             |
| I <sub>2</sub>                   | : İyot   |
| XRD                              | : X ışını kristalografisi                        |
| SEM                              | : Taramalı elektron mikroskobu                   |
| CO <sub>2</sub> -TPD             | : Karbondioksiti dışarı salma programı           |
| H <sub>2</sub> -TPR              | : Hidrojen dışarı salma programı                 |
| XPS                              | : X ışını fotoelektron spektroskopisi            |
| Cu/SrO                           | : Bakır / Strontiyum Oksit                       |
| MgO                              | : Magnezyum Oksit                                |
| CaO                              | : Kalsiyum Oksit                                 |
| BaO                              | : Baryum Oksit                                   |
| N <sub>2</sub>                   | : Nitrojen                                       |
| ASTM D 6751                      | : American Society for Testing and Materials     |
| EU 14214                         | : European Biodiesel Standarts                   |
| ROS                              | : Araştırma oktan sayısı                         |
| MOS                              | : Motor oktan sayısı                             |
| CH <sub>3</sub> OH               | : Metanol  |
| C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH | : Etanol   |
| C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH | : Bütanol  |

## KISALTMALAR

|            |   |
|------------|---|
| KB         | : Kenevir biyodizeli  |
| KB0        | : %0 Kenevir biyodizeli   |
| KB10       | : %10 Kenevir biyodizeli  |
| KB20       | : %20 Kenevir biyodizeli  |
| FEV        | : Fren Efektif Verim  |
| FÖYT       | : Fren Özgöl Yakıt Tüketimi   |
| PN         | : Parlama noktası   |
| TÜİK       | : Türkiye İstatistik Kurumu   |
| DKB        | : Deccan Kenevir Biyodizeli   |
| HKY        | : Ham Kenevir Yağı  |
| GC-MS      | : Gaz Kromatografisi ve Kütle Spektrometresi                                |
| FTIR       | : Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektrometresi                                |
| TG-DSC/DTG | : Termo Gravimetri-Diferansiyel Taramalı Kalorimetri/Türevî Termogravimetri |
| AÖN        | : Alt ölü nokta   |
| ÜÖN        | : Üst ölü nokta   |
| H/Y        | : Hava/Yakıt  |
| NŞA        | : Normal Şartlar Altında  |

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

İnsan ve insanlık hayatının her alanında enerjiye ihtiyaç duymuştur. Günümüzde ve gelecekte, enerji olmadan yaşamının mümkün olmadığı fiziksel bir gerçektir. Özellikle içinde yaşadığımız şu dönemde ve gelecekte kullanılacak enerji kaynaklarının azalma ve yok olma riski gün geçtikçe artmaktadır. Bundan dolayı insanlık yeni enerji kaynakları arayışına girmiştir.

Günümüzde kullanılan fosil enerji kaynaklarının ileriki zamanlarda biteceği bilinmektedir. Bu kaynakların, günümüzde ve gelecek zamanda artan enerji ihtiyacını ve teknolojiyi beslemekte yetersiz kalacağı bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, dünya ülkelerinin her biri gelecekte ne gibi yakıtlar kullanacağı, bu kullanılacak yakıtların rezervlerinin azlık ve çokluğu, çevreye yaydığı olumlu ve olumsuz etkiler, maddi olarak ekonomiye yansımaları gibi alternatif yakıt türünün belirlenmesinde etkili olacaktır. Günümüz dünyasında hızla artan nüfus ve bunun getirisi olan endüstrileşme hızlı bir şekilde dünya enerji kaynaklarının tükenmesine sebep olmaktadır. Bundan dolayı bugün bilinen enerji kaynaklarının dışında, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları bulmak için acil önlemler alınması gereklidir. Bu kaynaklardan biri olan biyokütle en büyük potansiyellere sahiptir. Biyokütle kökenli alternatif yakıt, dizel motorlar için üretilen ve günümüzde kullanılan biyodizeldir [1,2].

Bilim insanları biyokütleden çok miktarda alternatif yakıt türü ve türevlerini bulmuşlardır. Biyokütleden bulunan en önemli yakıt türü dizel yakıttır. Bilim insanları buradan yola çıkarak dizel motorlarda bitkisel yağların kullanım alanlarında birçok çalışma yapmıştır [1,2].

Biyodizel yakıtı, bitkilerden ve bitki tohumlarından elde edilen yağlardan, hayvansal kökenli yağlardan veya atık yağlardan elde edilebilir. Biyodizeller, yapılarındaki oksijen miktarı, yandıklarında emisyon yüzdelerinin daha az olması, sülfür yüzdelerinin yapılarında az olması ve setan sayılarının fazla olması gibi sebeplerden dolayı rağbet gören bir alternatif yakıt türüdür. Biyodizel yakıtlarının parlama noktası (PN) fazla olduğundan güvenlik yönünden daha az risk oluşturur. Tüm bu olumlu yönlerine karşın biyodizellerin dizel yakıtına göre uçuculuk özelliğinin az olması ve viskozitesinin yüksek olması olumsuz yönlerindedir. Viskozitenin yüksek olması püskürtme işleminde kötüleşmeye, karbon birikmesine ve yağlamanın kötüleşmesine sebep olmaktadır [3,4,5].

Günümüzde biyodizelin yenilenebilir enerji kaynağı olması sebebiyle diğer enerji kaynaklarına göre daha çok anılmaktadır. Biyodizel, başta bitkisel ve hayvansal yağlar olmak üzere yenilenebilir alternatif bir yakıttır. Doğa için diğer yakıtlara nazaran daha az zararlı, doğada çabuk çözülebilen ve çevreci bir yakıttır.

Dizel yakıtı alternatif olarak geliştirilen biyodizelin, son 20 yıldaki üretim miktarı 17,6 milyar litreye ulaşmıştır. Hatta bu artışın önümüzdeki 10 yıl içinde çok daha hızlı olacağı, 42 milyar litreye ulaşacağı tahmin edilmektedir. Avrupa Birliği (AB), Arjantin, Brezilya, Malezya ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'deki üretim dünya ki biyodizel üretiminin %93'ünü oluşturmaktadır. Enerji açısından %78 dışa bağımlı olan Türkiye petrol ihtiyacının %93'ünü ithal etmektedir [6]. 2000'li yıllarda biyodizel üretimini destekleyerek mevcut üretimini kapatmak için eksiklik ve petrolün çevresel zararlarını önleme. Ancak istenilen hedeflere ulaşamamış ve birçok biyodizel tesisi kapatılmıştır [6].

Sanayinin hızlanması sonucu artan refah düzeyi dünyada nüfusun ve araç sayısının artması enerji kaynaklarının kullanımında artışa sebep olmuştur. Petrol rezervlerinin sınırlı olması, ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Yenilebilir enerji en hızlı büyüyen enerji kaynağı olmuştur. Çizelge 1.2'de dünyada birincil enerji tüketiminde yakıt payları verilmiştir. Çizelgedeki istatistiklere ve olasılığa

göre 2035'te %10'luk bir artış beklenmektedir [7]. Dünyada toplam ham petrol rezervleri (2015-2020) ve payları Çizelge 1.1'de görülmektedir [8].

Çizelge 1.1. Dünyada toplam ham petrol rezervleri (2015-2020) ve payları [8].

| ÜLKELERE GÖRE PETROL REZERVİ (milyon varil) |                           |                  |                  |            |
|---|---------------------------|------------------|------------------|------------|
| Sıra  | Ülke                      | 2015 Rezervi     | 2020 Rezervi     | Pay %      |
| 1   | Venezuela                 | 298,350          | 303,806          | 17,07      |
| 2   | Suudi Arabistan           | 265,789          | 258,600          | 14,53      |
| 3   | İran                      | 157,800          | 208,600          | 11,72      |
| 4   | Kanada                    | 172,481          | 170,300          | 9,57       |
| 5   | Irak                      | 144,211          | 145,019          | 8,15       |
| 6   | Kuveyt                    | 104,000          | 101,500          | 5,7        |
| 7   | Birleşik Arap Emirlikleri | 97,800           | 97,800           | 5,5        |
| 8   | Rusya                     | 80,000           | 80,000           | 4,5        |
| 9   | Libya                     | 48,363           | 48,363           | 2,72       |
| 10  | ABD                       | 39,933           | 47,053           | 2,64       |
| 11  | Nijerya                   | 37,070           | 36,890           | 2,07       |
| 12  | Kazakistan                | 30,000           | 30,000           | 1,69       |
| 13  | Çin Halk Cumhuriyeti      | 24,649           | 26,023           | 1,46       |
| 14  | Katar                     | 25,244           | 25,244           | 1,42       |
| 25  | Vietnam                   | 4,400            | 4,400            | 0,25       |
| 26  | Malezya                   | 4,000            | 3,600            | 0,2        |
| 27  | Mısır                     | 4,400            | 3,300            | 0,19       |
| 28  | Yemen                     | 3,000            | 3,000            | 0,17       |
| 31  | Uganda                    | 2,500            | 2,500            | 0,14       |
| 32  | Arjantin                  | 2,354            | 2,483            | 0,14       |
| 33  | Avusturalya               | 1,193            | 2,446            | 0,14       |
| 34  | İngiltere                 | 2,982            | 2,050            | 0,12       |
| 35  | Kolombiya                 | 2,445            | 2,036            | 0,11       |
| ...   | Türkiye                   | 334              | 340              | 0,02       |
| ...   | Hollanda                  | 145              | 138              | 0,01       |
| ...   | Almanya                   | 147              | 115              | 0,01       |
| ...   | Diğer ülkeler             | 14,863           | 90,766           | 0          |
| ...   | <b>Dünya toplamı</b>      | <b>1,659,532</b> | <b>1,779,685</b> | <b>100</b> |

Çizelge 1.2. Dünyada birincil enerji tüketiminde yakıt payları 2000-2035 [7].

| Yıllar             | 2000 | 2010 | 2020 | 2035 |
|--------------------|------|------|------|------|
| Petrol (%)         | 40   | 39   | 38   | 31   |
| Kömür (%)          | 25   | 28   | 29   | 26   |
| Doğalgaz (%)       | 24   | 24   | 25   | 28   |
| Fosil Yakıtlar (%) | 89   | 91   | 92   | 85   |
| Nükleer (%)        | 7    | 6    | 4    | 5    |
| Hidro (%)          | 4    | 3    | 3    | 6    |
| Yenilenebilir (%)  | 1    | 2    | 5    | 10   |

Fosil yakıtların küresel ısınmanın başlıca kaynağını oluşturduğu ve sera gazı birikmesine neden olmaktadır. Bu birikimi azaltmak için ve doğaya daha da fazla zarar vermemek için alternatif yakıtların geliştirilmesi, üretilmesi ve kullanılması amaçlanmıştır.

#### Hedefler;

- İthal edilen kaynaklara bağımlılık azalacak.
- Yerli ve milli kaynaklara öncelik verilecek.
- Yerli ve milli üretim istihdamın artmasını sağlayacak.
- Devam ettirilebilir ekonomik, büyüme ve gelişimi sağlayacak.
- Enerji arzının güvenliği artacak.
- Üretim ve tüketimde sağlanan güven ortamı ile istikrar gelişim gösterecek.
- Sosyal ekonomide refah ve istikrar aratacaktır.
- Enerji talebini karşılamada sağlanan güvenlik, enerji esaslı sektörleri olumlu yönde etkileyecek ve yatırım yapmalarını teşvik edecek.

#### Amaçlar;

- Motordaki yanma efektif verimin artması.
- Motordaki fren özgün yakıt tüketiminin azalması.
- CO, CO<sub>2</sub>, ve O<sub>2</sub> emisyonlarında azalma.
- NO<sub>x</sub> ve HC emisyonlarında azalma.
- Yakıt özelliklerinin dizel motor yakıtına yakın olması.

- Çevre dostu alternatif bir enerji kaynağı.
- Motor ömrünü uzatmak.

## 1.1.KENEVİR

Kenevir bitkisi ısırganlar familyasından Cannabidae familyasına üye olan bir birki türüdür. Uzunluk bakımından 1-4 m arası değişen kenevir (*Cannabis sativa*) içeriğinde bulunan %3'lük tetrahidrokanabinol maddesi ile uyuşturucu olarak kullanılan türlerden farklıdır. Üretimi esnasında böcek ilacı kullanımını gerekli kılmayan kenevir toprağın havalandırılmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca soya ve mısıra göre daha ekonomik olması özelliğiyle ekilebilirliği cazip hale getirmektedir [9].

Cannabinaceae familyasına ait tek yıllık, otsu, dioik, çiçekli bir bitki olan 'Kenevir', 'kendir' veya "esrar otu" yaygın olarak bilinir. Dişi ve erkek çiçekleri farklı bireylerde bulunan çift evcikli bir bitkidir. Dişi çiçeklerin etrafı trikomlarca zengindir. Trikomlar reçine salgılanmasını sağlarlar. Oldukça sık yapraklarla çevrilidir. Erkek çiçekleri ise seyrek salkım şeklindedir. Tohumların boyutu 3-6 mm uzunluğunda, 2-4 mm eninde ve türüne bağlı olarak gri, siyah, yeşilimsi esmer renklerde olup ince kabukludur [10,11].

Kenevir ilk defa Carlous Linnaeus tarafından 1753 yılında *Cannabis sativa* Lin olarak isimlendirilmiştir [10,11].

Türkiye tarım bakımından çok çeşitli bir ülkedir. TÜİK verilerine göre ekimi yapıldığı takdirde 1960'lı yıllarda yıllık 5000-6000 ton üretim yapılmıştır. Şu an yıllık 3-4 tona kadar düşmektedir. Kenevirin kullanımından faydalanılmadığı için ekiminde de azalmaya gidilmiştir. Kenevir endüstriden önce sağlık sektörlerinde defalarca kullanılmıştır. Ancak endüstriyel alanda bitkisel yakıt olarak denenmemiştir. Bu çalışmada bir ilk olarak kenevir tohumu yağının enerji kaynağı olarak kullanılması ele alınacaktır.

Bu çalışmada, kenevir tohumu yağından elde edilen kenevir yağı sırasıyla KB0, KB10 ve KB20 oranlarında dizelle karşılaştırılacaktır. Elde edilecek yakıtların ve kıyaslama yakıtı olarak dizelin fiziksel, kimyasal ve yakıt özellikleri belirlenecektir. Karışımlar sonucu elde edilecek KB10, KB20 ve dizel yakıtlarının dizel jeneratörde deneyleri yapılacak olup performans parametreleri sonucunda fren efektif verim ve fren özgün yakıt tknetimi değerlerine ulaşılacaktır. Ayrıca egzoz emisyonları (CO, HC, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve is) değerlerine ulaşılıp sonuçlar ve önerilerle bitirilecektir.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR TARAMASI

Rashid vd. yaptıkları çalışmalarında, reaksiyon değişkenlerinin güçlü etkileşimleri sebebiyle süreç optimizasyonu için cevap yüzeyi metodolojisi kullanılarak değerlendirilmiştir. Biyodizeli, alkali katalizör kullanılarak ham kenevir tohumu yağından hazırlanmıştır. Sodyum metoksit ( $\text{NaOCH}_3$ ) katalizör konsantrasyonu (%0,25–1,50), metanol/yağ molar oranı (3:1–9:1), reaksiyon süresi (30–90 dakika) ve reaksiyon sıcaklığı (45–65°C). İkinci dereceden polinom denklemi, kenevir tohumu yağından optimum metil ester verimini tahmin etmek için cevap yüzeyi metodolojisi kullanılarak belirlenmiştir. Varyans sonuçlarının analizi, molar oran ve reaksiyon sıcaklığının, kenevir tohumu yağı metil esterlerinin verimini önemli ölçüde etkileyen temel faktörler olduğunu belirlenmiştir. Molar oran  $\times$  katalizör konsantrasyonu ve reaksiyon süresi  $\times$  molar oran arasında önemli ( $p < 0,0001$ ) değişken etkileşim gözlemlendi ve bu en çok kenevir tohumu yağı metil esterleri verimini etkilemiştir. Optimum kenevir tohumu yağı metil ester verimi, yani 53°C reaksiyon sıcaklığında, 7,5:1 metanol/yağ molar oranında, 65 dakikalık reaksiyon süresinde ve %0,80 katalizör konsantrasyonunda %86,01 elde edilmiştir. Sonuçlar, gözlemlenen ve tahmin edilen değerler arasında doğrusal bir ilişki göstermiştir. Kalıntı analizi, merkezi kompozit tasarımın uygunluğunu öngörülmiştir. Gaz kromatografisiyle analiz edilen kenevir tohumu yağı metil esterleri, altı yağ asidi metil esterini aydınlatmıştır. Ayrıca 40°C'de kinematik viskozite gibi yakıt özellikleri, setan sayısı, asit değeri, alevlenme noktası, bulut, dökme ve soğuk filtre tıkanma noktaları, kül içeriği, yoğunluk, kenevir tohumu yağı metil esterlerinin ve kükürt içeriği ASTM D 6751 ve EU 14214 biyodizel spesifikasyonlarına göre değerlendirildi ve tartışıldı. Kenevir tohumu yağından üretilen biyodizel, petro-dizel için kabul edilebilir bir alternatiftir ve sıkıştırma ateşlemeli motorlarda herhangi bir

büyük değişiklik yapmadan kullanmak mümkün olduğu kanısına varışmıştır. Bu çalışma ayrıca, yenmeyen yağların araştırılmasının, biyodizel üretiminin gıda kaynaklarından bağımlılığını azaltabileceği kanısı ortaya konulmuştur [12].

M. Mutinsumu vd. kenevir tohumu ve Afrika yengeç ağacından (*Carapa procera*) elde edilen biyodizelin kimyasal karakterizasyonu standart yöntemler kullanılarak araştırılmıştır. Kenevir tohumu ve afrika yengeç ağacı tohumları %37 ile %51 arası düzeyde yağ içerir. Her iki yağ da asit kataliz ve ardından alkali kataliz ile biyodizele transesterifiye edilmiştir. Kenevir tohumu %98,7 verim sağlarken, Afrika yengeç ağacı %96,8 verim verdi. Elde edilen biyodizellerin fizikokimyasal özellikleri şu şekilde analiz edildi: Kenevir tohumu için yoğunluk (0,8736) ve afrika yengeç ağacı için yoğunluk (0,8758), parlama noktası (75°C ve 74°C), kenevir tohumu ve afrika yengeç ağacı için sırasıyla viskozite (5,76 ve 5,34), her iki tohum için akma noktası (-10°C), kenevir tohumunun setan değeri (14,80) ve afrika yengeç ağacı için (42,60). Biyodizel kenevir ve Afrika yengeç ağacı tohumlarının önerilen özelliklerin çoğuna sahip olduğu ve dizel motorlarda güvenle kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Kenevir tohumu ve Afrika yengeç ağacı yağları %97'nin üzerinde verimle serbest yağ asitlerine dönüştürülmüştür. Her iki biyodizelin de yoğunlukları, dizel motor için biyoyakıt için uluslararası ASTM (American Society for Testing and Materials) standardının sınırları içindedir. Her iki biyodizelin de parlama noktası değeri gaz yağına çok yakinken, çalışılan biyodizelin akma noktası standart değere göre kabul edilebilir aralıklardadır. Afrika yengeç ağacı biyodizelinin seti, gaz yağıninkine yakın ve kenevir tohumunkinden çok daha yüksektir. İki biyodizel için su içeriği sıfırdır ve kül değerleri tolerans sınırına göre çok düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Kenevir tohumundan ve Afrika yengeç ağacından elde edilen biyodizel, dizel motorlar için alternatif yakıt olarak kullanılabilecek biyodizel üretimi için uygunluğuna karar verilir [13].

Ravichandra vd. bu çalışmalarında Hindistan'da dizel motora yakıt ikmali amacıyla Deccan kenevir (*Hibiscus cannabinus*) yağından biyodizel ve karışımlarını araştırmaktadır. Deccan kenevir biyodizelinin performans ve emisyon özellikleri tahmin edilmiş ve dizel yakıtle karşılaştırılmıştır. Deneysel araştırmalar, Deccan

kenevir biyodizelinin farklı karışımları ile gerçekleştirilmiştir. 100DKB (Deccan kenevir biyodizeli) kinematik viskozitesinin ham dekan kenevir yağına göre %77,9 azaldığı, 20, 30, 50 ve 75 DKB için azalmanın %37,2, %40,6, %43,5 ve sırasıyla %43,1. 20DKB karışım viskozitesi, 30 °C'de dizelinkine yakınlığı sonucuna varılır. Dizel yakıtta daha fazla deccan kenevir biyodizel eklenmesiyle biyodizelin sıcaklığının arttığı gözlenir. Maksimum biyodizel sıcaklığı, dizel ve deccan kenevir biyodizelinin eşit şekilde karıştırılmasıyla elde edildiği bilinir. Bunun nedeni biyodizeldeki doğal oksijen içeriği ve karışımın daha yüksek setan sayısı ve daha yüksek ısıtma değeri olabileceği düşünülür. Diğer karışımlar için enerji tüketimi tüm yüklerde dizelden daha düşüktü. Deccan kenevir biyodizelinin parlama ve yanma noktaları dizelden nispeten daha yüksek olduğu söylenir [14].

Cijil vd. bu makalelerinde, ham kenevir yağından (HKY) iki aşamalı baz katalizli transesterifikasyon üzerinden kenevir biyodizel üretimi için geliştirilmiş bir protokolü detaylandırmaktadır. Gaz Kromatografisi ve Kütle Spektrometresi (GC-MS), Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektrometresi (FTIR) ve Termo Gravimetri-Diferansiyel Taramalı Kalorimetri/Türevî Termogravimetri (TG-DSC/DTG) gibi çeşitli spektrometrik tekniklerle birlikte yakıt özelliklerinin tahmini kenevir biyodizelin kalitesini ve miktarını uygun şekilde değerlendirmek için metodolojiler kullanılmıştır. Kenevir biyodizelinin (KB) yoğunluğu, kinematik viskozitesi ve setan sayısı sırasıyla 876 kg/m<sup>3</sup>, 3,91 cSt ve 50 olarak bulundu. Tahmini yakıt özellikleri ASTM standartları aralığı içinde iyi bir şekilde düştüğünden, KB geleneksel dizele sürdürülebilir bir yakıt alternatifi olarak düşünülebilir. GC-MS sonuçları, KB'nin karışımında baskın olarak 9,15-Oktadekadienoik asit metil ester gibi doymamış uzun zincirli yağ asitleri içerdiğini göstermektedir. Ham kenevir yağının FTIR spektrumu ve sentezlenen biyodizel, HKY'daki trigliseritlerin KB'deki metil esterlere dönüşümünü doğrular. TG-DSC/DTG'den elde edilen bulgular, GC-MS ve FTIR sonuçları ile yakın bir uyum içindedir. Bu nedenle, kenevir yağının biyodizel üretimi için yenmez bir kaynak olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğu kanıtlanmıştır [15].

Ahmad Alcheikh, bu tez çalışmasında, kenevir biyodizel üretiminin avantajlarını ve zorluklarını araştırır. Bu çalışmada kullanılan metodoloji, ağırlıklı olarak ilgili bilimsel makalelerin literatür taramasına ve endüstriden gelen raporlara dayanır. Bu çalışmanın amacı, kenevir yağından üretilen büyük ölçekli biyodizel üretimi yolunda bu avantaj ve dezavantajların kapsamlı bir değerlendirmesini sunmaktır. Cannabis Sativa bitkisinin bir türü olan endüstriyel kenevir, önemli bir endüstriyel ve beslenme mahsulüdür. Kenevir tohumu yağı, transesterifikasyon işlemiyle biyodizel üretmek için kullanılabilir. Kenevir tohumlarından elde edilen yağ, biyodizel üretimi için uygun bir hammadde seçeneği sunar. Kenevir, benzer ürünlere kıyasla rekabetçi bir şekilde yüksek verim sağlar. Kenevir tohumu yağından elde edilen biyodizel, kimyasal katkı maddelerinin eklenmesiyle geliştirilebilen kinetik viskozite ve oksidasyon kararlılığı parametreleri dışında üstün yakıt kalitesi sergiler. Ek olarak, kenevir tohumundan yapılan biyodizel, yakıt kalitesi için ATSM D6751 ve EN 14214 gerekliliklerini karşılayabilir ve diğer biyodizel ürünlerinde olduğu gibi oksidasyon kararlılığı alanı dışında geleneksel dizeliniki geçebileceği söylenir. Kenevir, gıda tedarik zincirinde “niş” bir ürün olmaya devam ediyor ve bu da onu biyodizel üretiminde aşırı derecede pahalı bir birincil hammadde haline getirir. Yasal ve algısal zorluklar, geniş ölçekli kenevir biyodizel üretimi yolunda büyük bir zorluk olmaya devam ettiği söylenir [16].

Afif ve Biradar mevcut çalışmasında, dizel motor için alternatif bir yakıt olarak Cannabis sativa tohumu yağı kullanma olasılığını değerlendirir. Biyodizel, kenevir tohumu yağından tek adımlı katalitik transesterifikasyon işlemi ile üretilir. Çalışma, kenevir biyodizelin fizikokimyasal özelliklerini ele alıyor ve baz dizel karşılaştırılıyor. Biyodizelin özelliklerinin sırasıyla ASTM D6751 limitleri altında baz dizel ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Kenevir biyodizeli B10, B20, B30, B50 ve B100 gibi bazlarda dizel ile farklı oranlarda karıştırılarak Kirloskar TV1 tek silindri, dört zamanlı dizel motorda farklı yükleme koşulları altında test edilmiştir. Sonuçlar, B10 ve B20 için FTV ve FÖYT temel dizele benzer olduğunu göstermektedir. Kenevir tohumlarından mekanik sıkıştırma ile elde edilen yağ verimi sırasıyla %40 olarak bulunmuştur. Kenevir yağından biyodizel üretimi için alkali baz transesterifikasyonu yapılmıştır. Biyodizel verimi %92 olarak hesaplanmıştır. CO ve

HC emisyonları, yüksek oksijen içeriği nedeniyle baz dizel için daha yüksek ve tüm karışımlar için en düşüktür. Tüm biyodizel karışımlarının NO<sub>x</sub> emisyonları baz dizelden daha yüksektir. Nominal yükte dizele kıyasla B10'un NO<sub>x</sub> emisyonununun %2 arttığı tespit edilmiştir. Motor emisyonları durumunda, kenevir biyodizel karışımları, baz dizele kıyasla HC, CO ve CO<sub>2</sub> ortalama bir azalma sağlamıştır. Ancak kenevir biyodizel karışımları, dizele kıyasla yüksek düzeyde NO<sub>x</sub> yayar. İş emisyonu, tam yükte sırasıyla %10'a kadar eş zamanlı olarak iyileştirildi. Bu çalışma, dizel motora yakıt sağlamak için dizelin yerini alacak yenilenebilir yakıt karışımlarına bir yön vermektedir, böylece fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmaktadır [17].

Sanjeev Kumar vd. Bu çalışmasında fitoremediasyon, toksik/tehlikeli maddelerle kirlenmiş alanların yönetimi için sürdürülebilir bir yaklaşım olarak ilgi görmektedir. Literatürde, fitoremediasyonun eşzamanlı yürütülmesi ve proses sırasında biyogaz, biyoetanol, biyodizel, odun kömürü, lifler vb. gibi faydalı ürünlerin üretilmesi potansiyeline sahip birkaç bitki rapor edilmiştir. Çeşitli bitki türleri arasında, tohum yağı, endüstriyel lif, gıda, hayvan yemi, ilaç ve aynı zamanda önemli gıda maddeleri olarak geniş uygulama alanına sahip çok amaçlı yıllık otsu bir bitki türü olan kenevir tohumuna odaklanmıştır. Cannabis sativa L., toksik metallerin sterilize olmayan alanlardan uzaklaştırılması için fitoremedial ajan olarak hizmet etme potansiyeline sahiptir ve ayrıca biyoenerji üretimi için kullanılacak yüksek biyokütle sağlar. Cannabis sativa L.'nin biyoyakıt ve biyogaz üretimi için enerji veriminin çoğu enerji bitkisi ile karşılaştırılabilir olduğu rapor edilmiştir. Yapılan çalışmada, Cannabis sativa L.'nin kontamine topraktan kaynaklanan çevresel sorunları çözmek için fitoremediasyon kapasitesine genel bir bakış sunmaktadır [18].

Mengxing Su vd. Bakır oksidi (Cu/AMO (Atomik, moleküler ve optik fizik)) destekleyen alkali toprak metal oksitler, yüksek oranda doymamış kenevir yağından biyodizel üretmek için transesterifikasyon ve seçici hidrojenasyon için iki işlevli katalizörler olarak kullanıldı. Çin'in Yunnan eyaleti, Xishuangbanna Dai özerk bölgesinden elde edilen rafine kenevir yağı, EN 14214'ün gerektirdiği 120 g I<sub>2</sub> (iyot)/100 g'dan daha yüksek olan 164 g I<sub>2</sub>/100 g sahip olduğundan başlangıç malzemesi olarak kullanıldı. Asit değeri 0,1 mg KOH (Potasyum hidroksit)/g'dan

azdı. GC analizine göre, yağ asidi %6,64 palmitik asit, %2,76 stearik asit, %10,12 oleik asit, %54,31 linoleik asit, %23,76 linolenik asit ve eser miktarda diğer asitlerden oluşuyordu. Cu/AMO katalizörleri, kristal yapı, morfoloji, doku özellikleri, baziklik, indirgenbilirlik ve yüzey kimyasal durumlarını ortaya çıkarmak için XRD (X ışını kristalografisi), SEM (Taramalı elektron mikroskopu), N<sub>2</sub> adsorpsiyonu, CO<sub>2</sub>-TPD (Karbondioksiti dışarı salma programı), H<sub>2</sub>-TPR (Hidrojen dışarı salma programı) ve XPS (X ışını fotoelektron spektroskopisi) ile karakterize edildi. İki işlevli katalizörler, alkali toprak metal kuprat tuzları oluşturdu ve güçlü bazik kuvvetler gösterdi. Cu/SrO katalizörü, reaksiyonlardan sonra metalik bakıra indirgenen çok sayıda yüzey bakır türünü ortaya çıkardı. MgO, CaO ve BaO destekleyen bakır oksit 50-150 nm çapında partiküller sunarken, CuO/SrO katalizörü 50-100 nm kalınlığında birbirine bağlı nano tabakalardan oluşuyordu. Hidrojen basıncındaki ve reaksiyon sıcaklığındaki artış, çoklu doymamış C18:3 ve C18:2 düşüşlerini ve doymuş C18:0 ile değişmeyen C18:1 artışını destekledi. Metanol/yağ molar oranı, bakır oksit içeriği, hidrojen basıncı ve reaksiyon sıcaklığının katalitik performans üzerindeki etkileri de araştırıldı. AMO ve Cu/AMO'nun katalitik performansı, kenevir tohumu yağının metanol ile transesterifikasyonunu ve doymamış bağların seçici hidrojenasyonunu birleştiren tek kap işleminde değerlendirildi. Tipik bir reaksiyon için, 100 g kenevir yağı ve gerekli susuz metanol (metanolün kenevir yağına molar oranı 3:1–15:1) 3g katalizör daldırılmış olarak 500mL paslanmaz çelik otoklava yüklenmiştir. Kenevir ekiminin bir atığı olan kenevir tohumunun ekspresyonu ile elde edilen kenevir yağı, iyot değeri 164 g I<sub>2</sub>/100g olan tipik bir yüksek oranda çoklu doymamış bitkisel yağdır. Cu/SrO katalizörü, transesterifikasyon ve seçici hidrojenasyon için üstün katalitik aktivite gösterdi. Transesterifikasyon için katalitik aktivite, iki işlevli katalizörlerin temel kuvvetine ve temel bölgelerin miktarına büyük ölçüde bağlıdır. Cu/SrO katalizörlerinin indirgenmiş yüzey bakır türlerinin miktarı, seçici hidrojenasyon için katalitik aktiviteye büyük ölçüde katkıda bulunmuştur [19].

## BÖLÜM 3

### DİZEL MOTORLARDA YAKITLAR

#### 3.1. YAKIT ÖZELLİKLERİ

##### 3.1.1. Setan Sayısı

Setan sayısı yakıtların tutuşma özelliğinin göstergesidir. Setan sayısı yüksek olan yakıt daha kolay tutuşmaktadır. Bunun yanı sıra, motorun düşük sıcaklıklarda daha kolay ve daha az gürültüyle çalışmasını sağlar. Bu da motorun ömrünü uzatmaya fayda sağlamaktadır. Biyodizelin, dizele göre daha yüksek setan sayısına sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi biyodizelin büyük ölçüde uzun zincirli hidrokarbon gruplarından meydana gelmesidir. Zincir uzunluğu artması ile dallanma ve doymamışlık ters oranlıdır. Bu da daha yüksek tutuşma etkinliği ile sonuçlanmasına sebep olmaktadır [20-29].

##### 3.1.2. Viskozite

Viskozite sıvıların akmaya karşı göstermiş oldukları direnç olarak tanımlanmaktadır. Moleküllerin iç sürtünmeleri sonucunda oluşan viskozite, beslenme ve enjeksiyon sistemlerinde önemli bir parametredir. Kinematik viskozite ise belli bir sıcaklıkta dinamik viskozitenin yoğunluğa oranıdır ve  $\text{mm}^2/\text{s}$  şeklinde gösterilmektedir. Viskozite sıcaklık ile ters orantılıdır. Sıcaklık arttıkça viskozite azalmaktadır. Viskozite hidrokarbonları zincir uzunluğu ve iyot değeri ile doğru orantılı olup çifte bağ sayısı ile ters orantılıdır. Biyodizelin viskozite değeri dizel yakıtından yüksektir [20].

Kenevir biyodizelinin kinematik viskozite ASTM D6751 standardına (ASTM D445 metoduna) göre 25,89 mm<sup>2</sup>/s'dir. Viskozitenin yüksek olması atomizasyonu olumsuz yönde etkileyerek; eksik yanma enjektörlerde tıkanmalara, yetersiz püskürtmeye ve yağlama yağının bozulmasına neden olmaktadır. Bu sebeple biyodizel yakıtlarda viskoziteyi azaltmak için transesterifikasyon yöntemi kullanılır [20,30-34].

### **3.1.3. Yoğunluk**

Yoğunluk, yakıt tüketimine ve yanma ısısına etki eden kıstasların başında gelmektedir. Birim hacimdeki kütle miktarı yoğunluk olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla kenevir biyodizelinin yoğunluğu, biyodizel dönüşüm yöntemine ve bu yöntemin ne derece iyi gerçekleştirildiğine göre 850-930 kg/m<sup>3</sup> arasında değişiklik göstermektedir. Dizel yakıtın yoğunluğu ise 820-845 kg/m<sup>3</sup> aralığında EN14214 göre değişiklik göstermektedir. Yoğunluk hidrokarbon zincir uzunluğu ile ters orantılı olup, çift bağ sayısı ile doğru orantılıdır [20,30-32,34].

### **3.1.4. Kükürt İçeriği**

Kükürt dizel yakıtın içeriğinde bulunan partikül ve korozyona sebep olan zararlı bir etkendir. Aynı zamanda kükürdün yakıtlarda yağlayıcılık özelliği vardır. Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen biyodizel yakıtlarda kükürt miktarı daha az olması sebebiyle tercih sebebidir [34,35].

### **3.1.5. Su İçeriği**

Bitkisel yağlar özünde su içermezler. Ancak biyodizelin üretimi ve depolanması safhasında su karışabilmektedir. Dolayısıyla biyodizelin içeriğinde bu değer ne kadar düşükse o kadar avantajlıdır. Standart değerden fazla biriken su, yakıtın saflığının azalmasına sebep olur. Bu da enjeksiyon sistemlerinde aşınmaya, oksitlenmeye ve dolayısıyla filtrelerin tıkanmasına sebep olabilir [21,30].



### **3.1.6. Parlama Noktası**

Parlama noktası, yakıtın hava ile temas ederek alevlendiği en düşük sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. Yakıtın depolanabilmesi ve güvenliği ile ilişkilidir. Bu değer dikkate alınarak sınıflandırma yapılır. Parlama noktası değeri arttıkça, yakıtın uçuculuğu azalmaktadır. Bir biyodizelin parlama noktası EN 14214'ye göre minimum 101 °C, ASTM D6751 standartlarına göre ise minimum 93°C olmalıdır [20,25,30,34].

### **3.1.7. Soğuk Filtre Tıkanma Noktası**

Soğuk hava koşullarında yakıtın en önemli akış özellikleri bulutlanma noktası, soğuk filtre noktası ve akma noktasıdır. Akma noktası yakıtın belirli koşullarda soğutulduğunda akışkanlığını koruduğu minimum sıcaklıktır. Biyodizel yakıtının akma noktası dizel yakıtına göre daha yüksek seviyede olduğundan soğuk ortamlarda kullanılması, motorlarda kullanılan yakıt besleme mekanizmalarındaki parçalarda hasara sebebiyet verebilmektedir. Bulutlatma noktası ile en üst kristal bulutunun görüldüğü ilk sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. Biyodizel yakıtın bulutlanma noktası, dizel yakıtının bulutlanma noktasından daha yüksektir. Bu sebeple biyodizel yakıtın soğukta çalışma niteliği dizel yakıtına kıyasla daha kötüdür [20,32].

Soğuk filtre tıkanma noktası, bulutlanma noktasında oluşan maksimum kristallerin sıcaklığın daha da düşmesi ile kümeleştiği nokta olarak ifade edilmektedir. Bu durum ise filtrenin tıkanmasına sebebiyet vermektedir [20].

### **3.1.8 Isıl Değer**

Yakıtın ısı değeri yanarken meydana getirdiği enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Bir yakıtın birim kütle/hacim başına alınan enerji miktarı ısı değerinin hesaplanmasında kullanılan formüldür. Isıl değer büyüdükçe yakıt enerjisinin miktarı artmaktadır. Biyodizel yakıtlarda oksijen içeriği fazla olduğundan ısı değeri dizel yakıtına kıyasla daha aşağıdadır. Bu yüzden biyodizel yakıtlarda dizel yakıttaki

enerji miktarına bağılı performans elde edilebilmesi için daha fazla miktarda yakılması gerekmektedir [20,21,34,35].

### 3.2. ALTERNATİF YAKITLAR

Motorlarda petrol kaynaklı benzin ve dizel yakıtı yerine kullanılabilen başlıca alternatif yakıtlar; etil alkol, metil alkol, biyodizel gibi sıvı yakıtlar, petrol gazı (LPG), sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) ve hidrojen gibi gaz yakıtlardır.

#### 3.2.1. Alkoller

Alkoller metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) ve bütanol ( $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ ) olarak ayrılırlar da motorlarda kullanılan alkoller etanol ve metanoldür. İlk olarak 1900'lerin başında kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde Brezilya'da en yaygın olarak kullanılmaktadır. Alkoller yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha avantajlıdır. Çünkü  $\text{CO}_2$  çevriminin bir parçası olduğu için atmosfer içerisindeki  $\text{CO}_2$ 'ye katkı sağlamaz [20].

→ Etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) (Oktan sayısı↑; 106), (ısı değeri; 27 MJ/kg)

→ Metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) (Oktan sayısı↑; 110), (ısı değeri; 20 MJ/kg)

→ Bütanol ( $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ ) (Oktan sayısı↓; 96), (ısı değeri; 33 MJ/kg)

Etanol ve metanolün oktan sayıları bütanole göre daha yüksektir. Oktan sayısının yüksek olması vuruşta daha dayanıklı olduğu anlamına gelir. Bu nedenle tek başlarına ya da benzin veya dizel yakıtlarına belirli bir oranda katılarak kullanılabilir. Benzinli motorlarda vuruş dayanımı ile oktan sayısı, dizel motorlarda ise vuruş dayanımı ile setan sayısı ters orantılıdır. Buradan anlayabiliyoruz ki yakıtın benzinli bir motora uygun olması için oktan sayısının yüksek olması gerekmektedir [30].

Oktan sayısının yüksek olması durumunda yakıtın bağımsız olarak tutuşma eğrisi düşer. Alkollerin buharlaşma ısı da yüksektir. Buharlaşma ısısının yüksek olması alkolün buharlaştığı ortamda yoğunlaşma sağlar, soğutma etkisi sağlar ve daha yoğun madde eğilimi sağlar. Böylelikle hacimsel verim artar. Alkoller diğer yakıt türlerine

göre daha pahalı olduğundan saf alkol yerine benzin ve alkollere belirli oranlarda katılarak kullanılır. Yakıtın oktan sayısının yükselmesi, düşük egzoz emisyonları ve yakıt maliyetlerinin azaltılması gibi avantajlarının yanı sıra aşınan yakıt sistemi elemanlarının değişimi, motor performansının düşmesi ve daha büyük depo ihtiyacı gibi dezavantajları da vardır. Aşağıda Çizelge 3.1’de alkolün kimyasal özellikleri verilmiştir [36,37].

Çizelge 3.1. Alkolün kimyasal özellikleri

| Özellik  | Metanol            | Etanol                           | Bütanol                          |
|--|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Kimyasal formülü                               | CH <sub>3</sub> OH | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH | C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH |
| Mol Kütle (kg/kmol)                            | 32,04              | 46,06                            | 74,12                            |
| C/H oranı                                      | 0,25               | 0,333                            | 0,4                              |
| Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )                  | 796                | 788                              | 811                              |
| Isıl değeri (MJ/kg)                            | 20,11              | 26,9                             | 33                               |
| Stokiyometrik oran (H/Y oranı)                 | 6,45               | 9                                | 11,2                             |
| Buharlaşma ısı (kJ/kg)                         | 1200               | 960                              | 584                              |
| Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)           | 470                | 425                              | 390                              |
| Oktan sayısı (AOS)                             | 108,7              | 108,6                            | 96                               |
| Oktan sayısı (MOS)                             | 88,6               | 89,7                             | 78                               |
| Kaynama noktası (°C)                           | 64,5               | 78,3                             | 117,2                            |
| Donma noktası (°C)                             | -97,8              | -114,3                           | -89,2                            |
| Kinematik Viskozite (mm <sup>2</sup> /s, 40°C) | 0,59               | 1,19                             | 1,2                              |
| Buhar basıncı (kPa, 38°C)                      | 32                 | 15,9                             | 44                               |

### 3.2.2 Doğal Gaz

Doğal gaz, petrol kuyularından petrol çıkarılması sırasında ve doğal gaz kuyularından çıkarılır. İçerisinde büyük çoğunluğunu metanın oluşturduğu ve ayrıca içerisinde etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), bütan (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), azot (N<sub>2</sub>), pentan (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazı da bulunduran saf bir gazdır. Genellikle ısınmada ve elektrik santrallerinde kullanılır. Sentez yolu ile içten yanmalı motorlarda da kullanılır. Doğal gaz havadan hafif olmasıyla beraber, renksiz, kokusuz ve yanıcıdır. Oktan sayıları ROS-130 ve MOS-105 gibi değerlerdedir. Isıl değerleri (üst ısıl değer: 50,8 MJ/kg) de yüksektir. Egzoz emisyonlarının düşük olması ve yakıt maliyetinin ekonomik olmasını sağlayan üst ısıl değerinin doğal gazın motor yakıtı olarak kullanılmasına olanak sağlar [37].

Çalışma basıncı maksimum 30-36 MPa olan LNG (sıvılaştırılmış doğal gaz) ve diğer gaz yakıtlarıyla kullanımı aynı olan CNG (sıkıştırılmış doğal gaz) araçlarda yüksek basınçlı tanklarda kullanılır. Aşağıdaki Çizelge 3.2'de doğal gazın özellikleri verilmiştir [38].

Çizelge 3.2. Doğal gazın özellikleri [24].

| Özellikler  | Doğal gaz     |
|---|---------------|
| Gaz yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )                  | 0,71          |
| Gaz yoğunluk aralığı (kg/m <sup>3</sup> )           | 0,6–0,8       |
| Üst ısıl değeri (kcal/kmol), (kcal/m <sup>3</sup> ) | 211,858, 9454 |
| Alt ısıl değeri (kcal/kmol), (kcal/m <sup>3</sup> ) | 189,556, 8458 |
| Yanma hızı (m/s)                                    | 0,36          |
| Patlama sınırı (havada) (% hacimce)                 | 5,3–14        |
| Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı (°C)                | 537           |
| Tutuşma sıcaklığı aralığı (°C)                      | 600–750       |
| Alev sıcaklığı (°C)                                 | 1900–2000     |
| Kritik basıncı (psi), (bar)                         | 672, 46,4     |
| Kritik sıcaklığı (°C)                               | -82,1         |
| Teorik özgül hava miktarı                           | 9,3           |
| Gerçek özgül hava miktarı                           | 10,3          |
| Hava fazlalık katsayısı                             | 1,05–1,1      |
| Baca gazı su çığlaşma noktası (°C)                  | 56            |
| Basıncı (mbar)                                      | 300           |

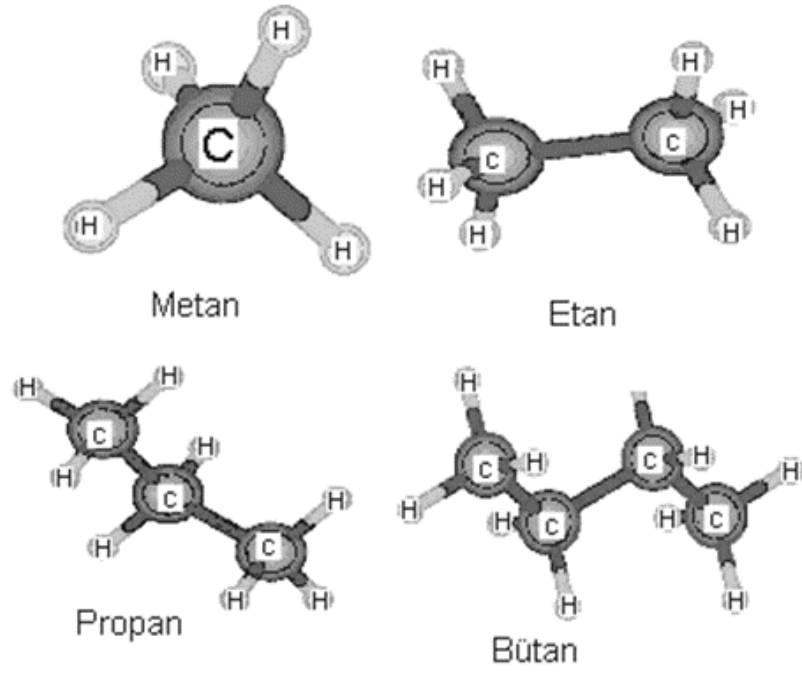
Otto motorlarında doğal gaz, emme manifolduna gaz halinde basıncı azaltılmış olarak verilmektedir. Hava ile karışım oluşturularak emme manifoldundan silindire gönderilen doğal gaz sıkışma zamanı sonunda buji tarafından tutuşturmakta ve iş elde edilmektedir. Oktan sayısını yüksek olmasının yanı sıra yanma sonucunda ortaya çıkan ürün bakımından da benzene göre daha üstün bir yakıt olmasının dışında gaz halinde silindire alındığı için hacimsel verimi düşürmek gibi engelleyişi de vardır [39].

Dizel motorlarda doğal gaz çift yakıtlı sistemlerde kullanılmaktadır. Doğal gaz emme manifoldunda hava ile karışarak silindire ulaşır. Sıkıştırma zamanından sonra yakıt enjektöründen tutuşturma hedefi ile şoför dizel yakıtı enjekte etmesiyle yanma sağlanır. Kullanıcı dizel yakıtın yerine çift yakıtlı çalışmayı belirli oranda dizel yakıtı püskürterek yapabilir [40].

Doğal gaz kullanımı taşıtlarda yanma sonucu sıcaklıkları düşük olduğundan CO<sub>2</sub> ve HC emisyonlarının benzin motorlarda azalma görülür. Motorlarda kullanıldığı taktirde de doğal gaz kullanımı için karıştırıcının eklenmesine ihtiyaç duyulur ve ateşleme sisteminin motora uygun olması için düzenlenmelidir. Diğer taraftan depolama ve depodan motora aktarım için ek donanım ihtiyacı oluşur. H/Y oranının karışımın birim hacmindeki ısı değerinin düşük olması, yakıt olarak kullanıldığı durumda motorun hacimsel verimini düşürmesi, yüksek basınç altında depolanması ve yakıt tanklarının araç ağırlığını arttırması doğal gazın motor yakıtı olarak kullanılması durumunda karşılaşılan yetersizliklerdir [41].

### **3.2.3. LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)**

LPG'nin açılımı Liquefied Petroleum Gases yani sıvılaştırılmış petrol gazlarının baş harflerinden oluşmuş bir kısaltmadır. LPG kısaca bütan ve propan gazlarının karışımıdır. Propan ve bütan bazı bölgelerde tabiatta serbest açığa çıkar veya ham petrolün rafinelerinde benzin ve mazot gibi çeşitlerine ayrıştırılırken ortaya çıkar. LPG, doymuş hidrokarbonlardan parafinler ve olefinler içerisinde yer almaktadır. Parafinlerin formülü C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub> şeklindedir. Bu bileşiklerin tamamı petrolde vardır ve motor yakıtlarının ana kısmını oluşturur. Basınç altında sıvılaşılabilen etan, metan, propan bu ana kısımdadır. Aşağıdaki Şekil 3.1'de metan, etan, propan ve bütan atom modelleri gösterilmiştir [4,6].



Şekil 3.1. LPG molekülleri atom yapıları [41].

LPG genellikle öncelikle doğal gaz, petrolün kuyulardan çıkarılması veya işlenmesi sırasında ayrıştırılarak üretilir. LPG üretiminin %60'ından fazlası doğal gazdan, geri kalanı ise petrolün işlenmesinden elde edilir. Kömürden de sentetik yollarla LPG elde edilir. LPG yakıtları ülkemizde dört şekil olarak üretilmektedir. Bunlar ticari bütan, ticari propan, özel hizmet propanı ve ticari propan-bütandır. Aşağıdaki Çizelge 3.3'te LPG yakıtlarının bazı özellikleri verilmiştir [41].

Çizelge 3.3. LPG'nin özellikleri [41].

| Özellikler   | Ticari Propan | Ticari bütan | Ticari bütan-propan | Özel Hizmet Propanı |      |
|--|---------------|--------------|---------------------|---------------------|------|
| İlk kaynama noktası atmosferik basınç (°C)                   | -46           | -9           | -                   | -46                 |      |
| Sıvı fazın özgül ısısı (15,6°C) kJ/kg°C                      | 1366          | 1276         | -                   | 1366                |      |
| Bir litre LPG'nin(sıvı) buhar hacmi (15,6°C) m <sup>3</sup>  | 0,271         | 0,235        | -                   | 0,271               |      |
| Gaz hava karışım patlama sınırı havada hacimce buhar yüzdesi | Alt           | 2,15         | 1,55                | -                   | 2,15 |
|  | Üst           | 9,6          | 9,6                 | 9,6                 | 9,6  |
| Kaynama noktası buharlaşma ısısı                             | kJ/kg         | 430          | 388                 | -                   | 430  |
|  | kJ/lt         | 219          | 226                 | -                   | 219  |
| Alev sıcaklığı havada (°C)                                   | 1980          | 2008         | -                   | 1980                |      |

Otto motorlarda gaz halinde manifoldda LPG hava ile karışarak silindire ulaşır. Ardından sıkıştırma zamanı sonrası buji ile ateşlenmesi sonucu iş elde edilir. LPG'nin avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmiştir [41].

#### Avantajları;

- LPG kullanılan motora gaz formunda verilerek homojen bir karışım oluşturulup emme aşamasında tamamen buharlaşır. Bu nedenle motor içerisinde termodinamik süreç yakıtın buharlaşmasından etkilenmez.
- LPG'nin yanma hızı benzine göre daha düşük olmasının nedeni oktan sayısının yüksek olmasıdır. Böylelikle yumuşak bir yanma sağlar. Piston kollarının ve pistonun üzerine daha az kuvvet bırakır.
- Silindir duvarlarında yıkanma, soğuk tutuşma sebebiyle olmaz. Bu durumda karbon artığı olmadığı için motorun ömrünü otomatik olarak uzatmış olur.
- Karbon kristalleri LPG yanmalarında olmadığı için motor yağının ömrünü iki katından fazlaya çıkaracaktır.
- LPG'nin oktan sayısının yüksek olması benzinli motorlar için uygun bir hale getirilmiştir. Ayrıca sıkıştırma oranının yükselmesine ve motor veriminin yüksekliğine imkân sağlar.

- LPG’de silindire gönderilen yakıt daha homojen olacağı için silindirler arası güç dengesi benzinli motorlara göre daha avantajlıdır.
- Dizel ve benzinli yakıtlara göre egzoz emisyonları daha düşüktür.
- Kolay ve düşük bakım maliyetli sistemi vardır.
- Egzoz sistemiyle beraber bujilerin de kullanım süresi uzar.
- Olası bir kaza durumunda benzin deposunun yangına dayanma süresi 90 saniye iken, LPG tankı 9 dakika ile bu süreyi arttırır.
- Benzine göre atmosfere daha az zarar verir.

#### Dezavantajları;

- Benzinli bir aracın LPG kullanılması için uygulanan dönüşüm sistemi ek bir maliyettir.
- Motorun çıkış gücünde %2-3’lük kayıp oluşur.
- LPG tankı ve ek ekipmanlardan dolayı araç ağırlığı artar.
- Yakıt tankı sebebiyle bagaj hacmi küçülür.
- LPG tankının %80’den fazlasının doldurulmaması önerilir. Sıcaklıkla sıvı basıncı artacağı için kontrolünün iyi yapılması gerekir.
- Benzine göre aynı mesafede hacimce daha fazla LPG tüketilir. Sebebi ise birim hacimdeki enerjinin daha az olmasıdır.

#### 3.2.4. Hidrojen

Hidrojen birçok değişik teknik kullanılarak üretilmektedir. Bu üretim süreçleri yenilenebilir enerji kaynakları olarak su, güneş, rüzgâr, dalga ve büyükötle enerjileri veya fosil yakıtlardır. Hidrojen renksiz, kokusuz ve havadan hafif bir gazdır. Hidrojen diğer yakıtlara göre 141,9 MJ/kg ısıl değeri ve 130 oktan sayısı ile çevre kirliliği bakımından en üstün yakıttır. Petrol kökenli yakıtlara göre hidrojen 3,3 kat daha fazla güç sağlamaktadır. Hidrojen çevre dostu bir yakıt olmasının sebebi yanma ürünü olarak sadece su buharı oluşturur [37,40].

Çizelge 3.4’te belirtilen hidrojen özellikleri göz önünde bulundurulduğunda düşük ateşleme enerjisi ihtiyacı, geniş bir karışım aralığında kendiliğinden tutuşma



yeteneği, ısıl değerinin yüksek olması, vurutuya karşı gösterdiği direnç, egzoz emisyonunun düşük olması ve yüksek oktan sayısı gibi özelliklerinden dolayı motor yakıtı olarak çekici bir yakıt olmuştur [5].

Çizelge 3.4. Hidrojenin zellikleri [5].

| <b>zellikler</b>                            | <b>Benzin</b> | <b>Hidrojen</b> |
|--|---------------|-----------------|
| Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )                | 4,40          | 0,084           |
| Hava içindeki difüzyonu (cm <sup>2</sup> /s) | 0,05          | 0,61            |
| Sabit basınçta özgül ısısı (J.g/K)           | 1,20          | 14,89           |
| Havada ateşlenme sınırı (%hacim)             | 1,0-7,6       | 4,0-75,0        |
| Havada ateşlenme enerjisi (mJ)               | 0,24          | 0,02            |
| Ateşlenme sıcaklığı (°C)                     | 228-471       | 585             |
| Havada alev sıcaklığı (°C)                   | 2197          | 2045            |
| Patlama enerjisi (g.TNT. K/J)                | 0,25          | 0,17            |
| Alev yayılması (%)                           | 34-42         | 17-25           |

Dizel yakıtın hidrojen ile birlikte kullanımı, klasik dizel yakıtın kullanımına yakın olarak uygulanabilir. Hidrojen-hava karışımı erken tutuşmaya neden olmayacak bir orana sahip olup silindir içerisinde piston N (st ölü nokta)'ya yaklaştığında normal püskürtme işlemi yapılarak karışım ateşlenir. Klasik yakıt ekipmanlarının kullanımını bu yöntem mümkün kılar. Dizel motorlarda vurutunun olmadan çalışması için kullanılan yakıtın ateşleme aralığı, dizel yakıtın çevriminin en az %20'si olmalıdır. Dizel motorda hidrojen ilave edilerek ısıl değer düşmekte ve vurutuya göre g artmaktadır. Fakat dizel yakıt tüketimiyle duman (is) yoğunluğu, NO<sub>x</sub>, CO, HC emisyonları azalmaktadır [42].

Hava kirliliğine neden olacak tk ürün, egzoz gazları içerisinde NO<sub>x</sub> bileşikleridir. Bu bileşiklerin miktarı yanma odası sıcaklıklarının azaltılması, bu yanma süresinin kısaltılması veya oksijen konsantrasyonunun azaltılması yolları ile düşürülebilir. Hidrojen kullanımının yarattığı en önemli sorunlardan biri depolamadır. Depolama amacıyla birden fazla yöntem kullanılmaktadır. En çok kullanılan hidrojen depolama yöntemi hibritlerinin kullanımı, sıvı hidrojen ve basınçlı gazlar yardımıyla depolaması yöntemidir. Taşıtlarda hidrojen kullanımı yakıt pilleriyle sadece kimyasal reaksiyon sonucu elektrik enerjisi üretebilen, evre dostu ve yüksek verime sahip enerji dönüşüm sistemlerinin gelişmesini sağlamıştır. Doğrudan elektrik enerjisini

hidrojen ve oksijen arası elektrokimyasal reaksiyon sonucu elde edilmektedir. Bahsi geçen sistemlerin modüler olması, yakıt olarak saf hidrojenin yanı sıra doğal gaz, metanol veya kömür gazlardan yararlanılması, sessiz çalışmalarını minimum düzeyde kükürt oksit (SO) ve NO<sub>x</sub> emisyonları ve katı atık sorunlarının olmaması yakıt pillerinin kullanım avantajlarından [43].

Hidrojen, tıpkı doğal gaz ve kömürden üretildiği gibi suyun elektrolizi ile de üretilebilir. Yüksek alev hızına ve tutuşabilirlik özelliğine sahiptir. Yetersiz karışımlarda bile önemli avantajlarından biri çalışmayı sağlamasıdır. Hidrojenin gelecekte kullanım talebi oldukça artması beklenmektedir. Ancak depolanması, taşınması ve alevlenebilmesi dezavantajlarından [44]. Bu sorundan ortadan kalkarsa hidrojen yakıt pillerinin hibrit motorlarda kullanımı yaygınlaşacaktır. Otto motorlarda emme manifoldunda tek ve çift yakıtlı olarak kullanılması mümkündür. Ar-Ge çalışmaları için büyük otomotiv firmaları yüksek bütçeli çalışmalar yapmaktadır [44].

Dizel motorlarda hidrojen kullanımında bazı problemlerle karşılaşmıştır. Bunların başlıcaları; dizel ve dizel-hidrojen olarak uyumlu şekilde ayarlanabilmesi ile bu seçeneklerin hidrojen besleme sisteminin düzenlenmesi ve vuruntudur. En önemli problem ise vuruntudur. Vuruntu oluşumu, sıkışma oranına bağlı olarak silindir içine alınan hidrojen-hava karışımı içerisine hidrojen oranının sınırlandırılmasıdır. Bu oranın artırılmasını sağlamak için karışıma uygun miktarda azot ve su ilavesi motordaki vuruntuyu azaltıp yanma verimini artırır [45].

### **3.2.5. Biyodizel**

Biyodizel taze veya kullanılmış bitkisel yağlardan ve hayvansal yağlardan elde edilmiş, doğal ve yenilenebilir bir kaynaktır. Bu elde edilen ürün dizel yakıt yerine geçebilecek temiz bir yakıttır [20].

Bitkisel ve hayvansal yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması için yakıt özelliklerini iyileştirerek kullanılması, biyodizelin dizel yakıt özelliklerine

yakınlaştırılması amaçlanmaktadır. Tercihin sebebi motorlarda değişiklik yapılmasının istenmemesidir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesinde kimyasal yöntem daha çok tercih edilmekte olup ısıl yöntemle beraber iki genel yaklaşım bulunmaktadır. En yaygın olarak kullanılan kimyasal yöntem kendi içinde seyreltme, mikro-emülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon olarak dört bölümden oluşur. Bu dört bölüm ham bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için kullanılır [16,38].

Seyreltme yöntemi (İnceltme): Bitkisel yağlar belirli oranlarda dizel yakıt ile karıştırılarak seyreltilip viskozitesini düşürmektedir. Karışım oranı, karışım yakıtının özelliklerinin standartlar içinde ayarlanmaktadır [46].

Mikro-emülsiyon oluşturarak: Metanol ve etanol gibi alkollü sıvılarla mikro-emülsiyon oluşturularak viskozitesini azaltmaktadır [46].

Piroliz (Ayrıştırma): Moleküller oksijensiz ortamda yüksek sıcaklık ile ısıl bozulmaya tabii tutularak küçük moleküllere (alkanlar, alkenler, alkodienler, karboksilikasitler, aromalar ve gazlar) parçalanmaktadır. Bu yöntem ile viskozite yüksek oranda düşürülmektedir. Fakat işlemler ek ücret getirmektedir. İki yöntemle de bitkisel yağların piroliz ürünleri elde edilmektedir. Bunlardan ilki bitkisel yağları ısı etkisi ile kapalı bir kaptaki parçalamak, ikincisi ise ASTM distilasyonu ile ısıl parçalanma etkisinde tutmaktır [46,47].

Transesterifikasyon (Yeniden esterleştirme) yöntemi: Moleküllerin alkol ve bazlar ile tepkimeye girerek yağ esterlerinin oluşum süreci olarak tanımlanır [48].

Bitkisel yağların motorlarda direkt olarak kullanılması, petrol kaynaklı dizel yakıtı rakip alternatif bir yakıt olarak değerlendirilmesi yönünde olmuştur. Ancak bitkisel yağların doğrudan dizel motorlarda kullanımı biyodizel yakıtın getirdiği birçok avantaj sağlasa da yüksek bir viskoziteye, düşük uçuculuğa, özellikle uzun süreli çalışmalarda yakıt enjektörlerinin tıkanmasına ve yağlanma yağının bozulması gibi dezavantajları oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskoziteleri oldukça yüksek olup,

standart dizel yakıtına göre 10-20 kat daha yüksektir. Yüksek viskozitede yakıtın püskürtülmesinde olumsuzluklara sebep olmaktadır [49].

Viskozitesinin yüksek olması silindirin içine püskürtülen yakıt damlacıklarının boyutunu büyüterek tam yanmayı engellemektedir. Bu yüksek viskoziteli yakıtın yanmasının tamamlanmaması ise silindir içerisinde yakıt artığının birikmesine, motor yağıyla karışmasına ve enjektörlerde tortu oluşumuna sebebiyet vermektedir. Bitkisel yağlar doymamışlık derecelerine göre farklı oranlarda yağın viskozitesini arttırmaktadır. Bununla birlikte bitkisel yağların ve bitkisel yağ karışımlarının direkt ve dolaylı püskürtmeli motorlarda doğrudan kullanımı; yüksek viskozite, asit kompozisyonu, serbest yağ asidi, yanma ve depolama sürecinde oksidasyon ve polimerizasyondan kaynaklanan oksitlenme, karbon kalıntısı ve yağlama yağının kalınlaşması gibi problemlerden dolayı uygun olmamaktadır. Ham yağların motorlarda yakıt olarak kullanılmasıyla soğukta ilk çalıştırma, tamamlanmayan yanma ve segman yapışması ve yüksek viskoziteden kaynaklanan motor arızaları da meydana gelmektedir [47,50].

Biyodizeller %100 saf olarak ya da belirli oranlarda (%5, %10, %20, %50 gibi) dizel yakıtla karıştırılarak dizel motorlarda kullanılabilir. Bu biyodizel-dizel karışımlarına içindeki biyodizel oranına göre B5, B10, B20, B50 gibi adlandırılabilirler. Biyodizeller, bitkisel yapıda olduğu için yanması sonucu oluşan CO<sub>2</sub> gazları atmosferde fazladan CO<sub>2</sub> oluşturmamaktadır. Fosil kaynaklı yakıtların kullanımında da CO<sub>2</sub> gazlarının %100'ü atmosferde CO<sub>2</sub> yoğunluğunu artırır [22,35,51,52].

### **3.2.5.1. Biyodizelin Avantajları**

- Kullanılan yakıt, dizel yakıtına göre efektif verimliliği daha iyidir ve ısı etkinlikleri daha yüksektir,
- Yakıtın türüne göre özgül yakıt tüketimi azdır,
- Yüksek güçlü olarak tasarlanabilir,
- Kolaylıkla üretilebilirler,

- Biyodizel çevre dostu bir enerji kaynağıdır,
- Biyodizel kullanımı, ülkelerin tarımsal ekonominin kalkınmasını sağlar. Dolayısıyla tarım ürünlerinin sanayileşmeye uyumunu sağlayarak ülke ekonomisine katkı sağlar,
- Petrolden elde edilen yakıtların depolanma koşullarında depolanabilir,
- Soğutma sistemi ile atılan ısı miktarı düşüktür,
- Taşınması ve depolanması güvenlidir. Ayrıca yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Bu değer normal dizel yakıt için 125 °C'dir,
- Biyodizel elektriksel ateşlemeye ihtiyaç duymaz,
- Yenilenebilir kaynaklar dışında geri dönüştürülebilir hayvansal atıklar ve bitkisel yağlardan üretilmektedir,
- Transesterifikasyon yöntemi ile kazandırılan gliserin, kozmetik ve gıda sanayisinde kullanılabilir,
- Biyolojik başlangıcı olduğu için doğada daha çabuk ve kolayca çözünebilmektedir,
- Geniş hız aralıklarında motor torku sabit kalır. Ağır vasıtalarda kullanılmaya oldukça uygundur [5,21-26].

### **3.2.5.2. Biyodizelin Dezavantajları**

- Gürültü ve titreşimleri fazladır,
- Tek tip yakıtı bağımlıdır,
- Biyodizel yağı seyrelttiğinden dolayı yağlama özelliğini azaltır,
- Toplam maliyetleri düşük değildir,
- Yakıt enjeksiyon sistemlerinin sorunsuz olması gerekir,
- Dikkatli bir bakım ve servis gerektirir,
- Dizel yakıtı kıyasen biyodizellerin ısı değerlerinin daha düşük olduğu kabul edilmektedir. Bu durum motordan alınan performans değerlerinde bir miktar düşüğe sebep olmaktadır.
- Isıl değer farkı sebebiyle yakıt tüketimleri fazla olmaktadır,

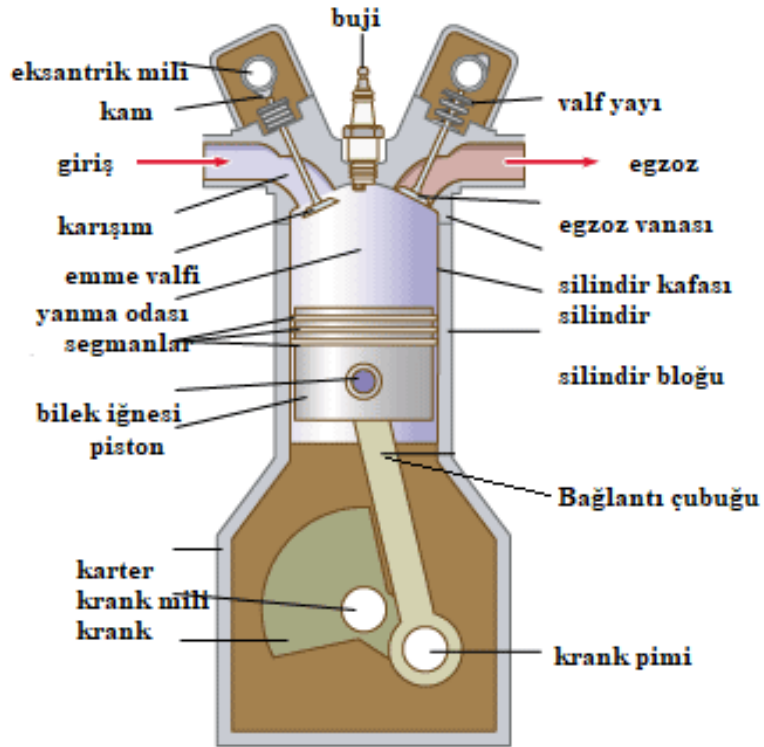
- Biyodizellerin akma noktası seviyeleri dizel yakıtta göre daha yüksektir. Viskoziteleri yüzünden biyodizellerin doğrudan motorlarda yakıt olarak kullanımları uygun görülmez,
- Karışım olmadan %100 biyodizel (B100) kullanımı yakıt sistemi elemanlarına zarar vermektedir,
- Yüksek sıkıştırma oranı edinmek için tahrik kuvveti yüksek olmalıdır,
- Yüksek güç talepleri için uygun değildir (200.000 kW'nın üzerinde) [5,21-26].

## BÖLÜM 4

### DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR

#### 4.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA

Yanma olayı içinde gerçekleşen motorlara ‘içten yanmalı motorlar’ adı verilir. Bu motorlarda kullanılan yakıt ile havanın tepkimeye girerek yanması sonucunda açığa çıkan ürünler iş yapan akışımı oluşturmaktadır. Şekil 4.1’de içten yanmalı motorun bölümleri verilmiştir.



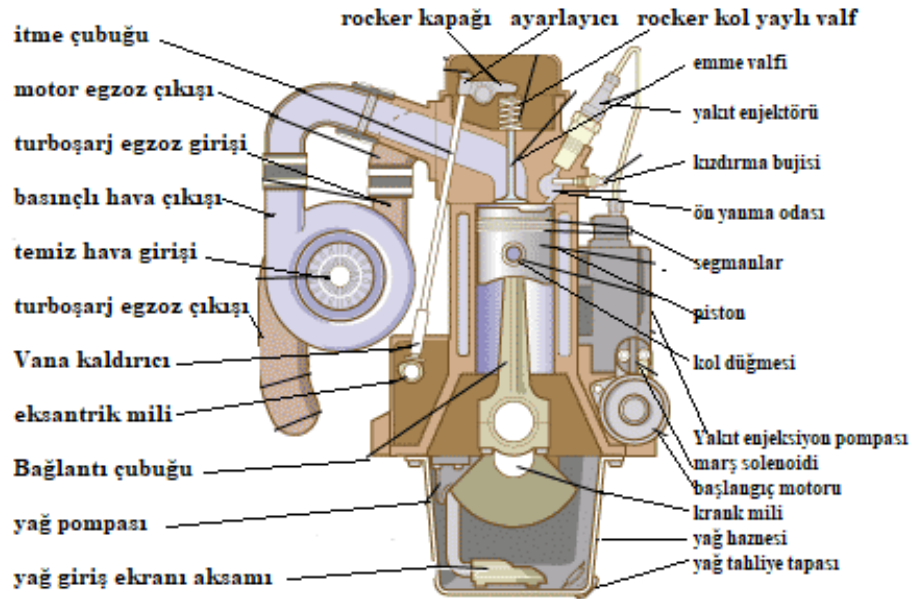
Şekil 4.1. İçten yanmalı motorun bölümleri [5].

Motorların bu isimle adlandırılmasının temel sebebi, daha önce olan ‘dıştan yanmalı’ motorlardaki farktan dolayıdır. Örneğin buhar makinesinde yakıtın motor dışında

farklı ortam aracılığıyla yanması ile sağlanan enerji, suyun buharlaşmasında kullanılıyordu. Buhar basıncıyla da hareket sağlanan pistonlardan mekanik enerji elde ediliyordu. İçten yanmalı motorlarda ise, yanma odası motorun içine taşınmıştır. Bununla birlikte oldukça yoğun motorlar üretilmiş ve otomobillerin yapımına zemin hazırlamıştır [5].

#### 4.1.1. Dizel Motorlarının Çalışma Prensibi

Kimyasal enerjinin ısı enerjisine, ısı enerjisinin de mekanik enerjiye çevrilmesi amacıyla üretilen mekanik parçaların bütünü olan araçtır. Motorlar iki ve dört olarak belirtilen zamanlarda meydana gelmesine göre ikiye ayrılır ve buna göre iş üretirler. Günümüzde dört zamanlı motorlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.2’de dört zamanlı dizel motorun bölümleri verilmiştir [22,25].



Şekil 4.2. Dört zamanlı dizel motorun bölümleri [21].

##### 4.1.1.1. Emme Zamanı

Bu safhada, pistonun içine, emme supabının açılmasıyla birlikte hava akmaktadır. Böylece pistonun aşağı hareketi başlamaktadır. Piston ÜÖN’den alt ölü noktaya



(AÖN) doğru hareketini sağlarken silindirin içindeki hacim giderek büyür ve oluşan vakumla beraber açılan emme supabından atmosferdeki hava silindire emilmeye başlar. Piston AÖN'yı bir miktar geçene kadar emme işleminin devam ettiği ve havanın silindire emildiği bu sürecin tamamı emme zamanı olarak isimlendirilmektedir [7,14].

#### **4.1.1.2. Sıkıştırma Zamanı**

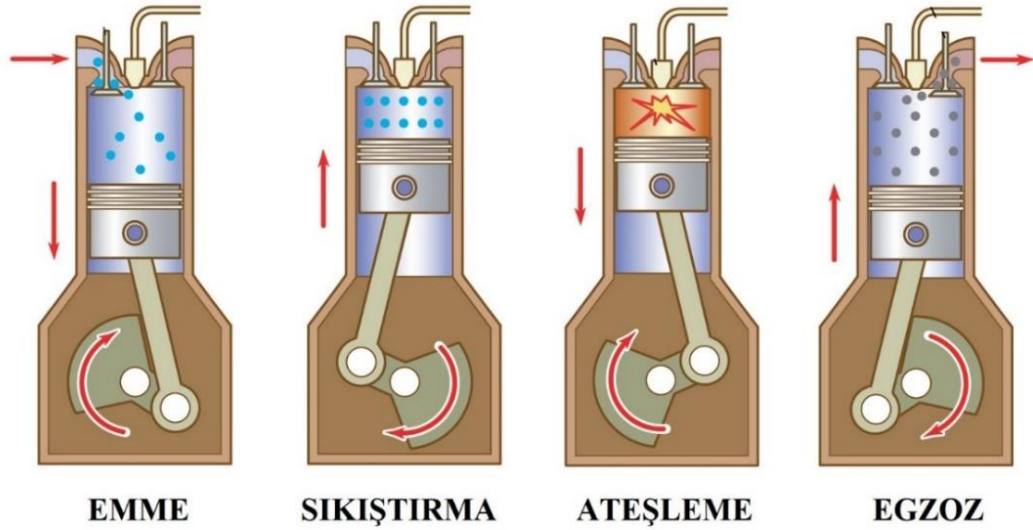
Pistonun yukarı doğru hareket etmeye başlamasıyla hava belirli bir oranda sıkışır. Bu sıkışmadan kaynaklanan yüksek basınçla havanın sıcaklığı 450-500°C ye kadar yükselmektedir. Piston bu zamanda AÖN'ya olan hareketinin ardından ÜÖN'ya doğru yönelir. Emme ve egzoz supabları kapalı olduğundan sıkıştırmanın etkisiyle birlikte piston içi basınç yükselmektedir. Sıkıştırma işlemi yapılan bu süre sıkıştırma zamanı olarak isimlendirilir [7,14].

#### **4.1.1.3. Yanma ve Genişleme Zamanı (İş Zamanı)**

Diğer bir adı olan iş zamanı olarak bilinen bu zamanda aşırı ısınan havanın üstüne dökülen yakıt alev almaktadır. Yanmanın ardından enerji açığa çıkarak pistonu aşağı doğru iter. Bu adımda güç ve dönme hareketi oluşmaktadır. Sıkıştırma zamanının sonlarında sıkıştırmayla birlikte havanın basıncı ve sıcaklığı yükselerek, küçük tanecikler halinde yakıt dökülür. Silindire dökülen yakıt belirli bir gecikmeyle tutuşur ve yanma gerçekleşir. Püskürtme veya dökme işlemi piston ÜÖN'ya geçtiğinde de devam eder. Bu sebeple yanma genişleyen bir hacim içinde oluşmaktadır. Yanmanın verimi ile birlikte basıncı ve sıcaklığı artan gazlar pistonu AÖN'ya doğru iteklemeye zorlar. Bu sırada silindir içindeki hacim genişlemektedir. Hacmin genişlemesi gerekçesi ile iş yapan gazların basınçları genişleme sonunda azalır. Bu zamanda yanma ve genişleme gerçekleştiği için yanma ve genişleme (iş zamanı) adı verilir [7,22].

#### 4.1.1.4. Egzoz Zamanı

Bu adımda piston yukarı çıkmaktadır. Silindir ilk çevirimini tamamlamıştır. Egzoz supabının açılmasıyla içeride oluşan yanmış gazlar pistondan dışarı atılmaktadır. Genişleme zamanının sonlarında egzoz supabı açılır, silindir içindeki basınçlı egzoz gazları silindir dışına çıkar. Bu olay 'serbest egzoz' olarak bilinir. Piston AÖN'ya varıp ÜÖN'ya hareket edince, silindir içinde bulunan egzoz gazlarını süpürerek egzoz supabından dışarı atar bu olaya da 'cebri egzoz' adı verilir. Genellikle atık egzoz gazlarının silindir içinden boşalması olayı 'Egzoz Zamanı' olarak isimlendirilir. Şekil 4.3'te dört zamanlı motorun çalışma aşamaları verilmiştir [22].



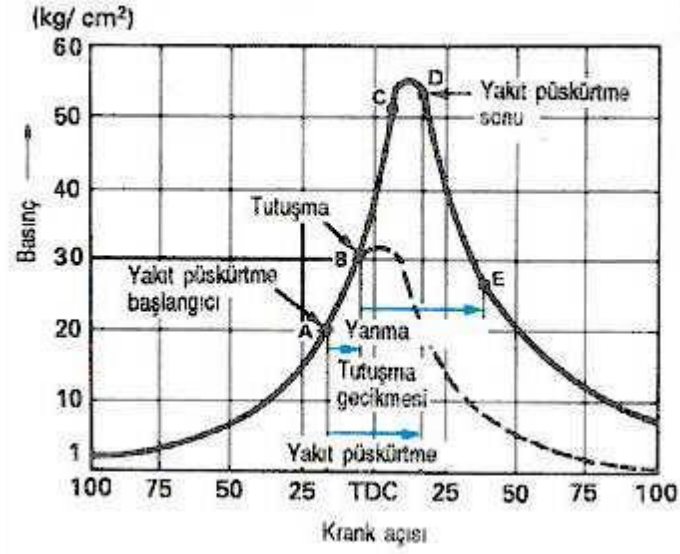
Şekil 4.3. Dört zamanlı motorun çalışma aşamaları [14].

#### 4.1.2. Dizel Motorlarda Yanma Olayı

Yanma, yakıtın  $O_2$  ile tepkimeye girerek su buharı ( $H_2O$ ) ve  $CO_2$  oluşturmasına denir. Reaksiyonlar sırasında ısı ve enerjide ortaya çıkar. İçten yanmalı motorlar kimyasal tepkimeyle açığa çıkan enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürmektedir. Yanma, sıkıştırma zamanı sonlarında silindire emme zamanında alınan havanın sıcaklığı yaklaşık  $620-920^{\circ}C$  yükseltilmesiyle, sıcaklığı ve basıncı yükselen havanın üzerine enjektör tarafından yakıtın basınçlı olarak püskürtülmesi sonucu gerçekleşir [7,28].

Dizel motorlarda havanın yanması, püskürtülen yakıt ile gerçekleştirilir. Yanma sonucunda kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), CO<sub>2</sub>, azot (N), oksijen (O<sub>2</sub>), H<sub>2</sub>O oluşur. Yanma çevrimi tam gerçekleşmediğinde veya farklı bir biçimde gerçekleştiğinde; karbon monoksit (CO), azot oksit (NO<sub>x</sub>), (HC) gibi kirletici gazlar oluşur. Yanmanın nasıl meydana geleceğini belirleyen faktörler, yanma odasına aktarılan havanın ölçüsü, silindir içerisinde bulunan sıcaklık, motorun krank mili dönüş sayısı ve enjeksiyon sistemidir. Yanma odasına aktarılan havanın ölçüsüne göre tam yanmayı meydana getirmek için yakıt püskürtülür. Yanma süreci bir dizi fiziksel ve kimyasal reaksiyonlardan meydana gelmektedir. Yanma süreci başlangıcı yakıtın püskürtülmesi; bitişi ise egzoz prosesinin başlamasıdır. Dizel motorlarda homojen bir yanma meydana gelmemektedir. Reaksiyonlar yakıtın yüksek sıcaklıktaki ortama püskürtülmesiyle başlar. Bu sırada yakıt da buharlaşmaya başlar. Reaksiyon başlangıcında basınçtaki bazı değişimlerin nedeni reaksiyon hızlarının çok düşük olmasıdır. Yanma kısmında alevin görülüp, basıncın da görülür biçimde artması tutuşma gecikme süresi bitişinde meydana gelir [7,28,29].

Silindir içerisinde bulunan ölçüm oranı, H/Y karışım miktarı, sıcaklık ve basınç yanmaya etki eden faktörlerdir. Ayrıca, yanma bölümünde meydana gelen ısı aktarımı ile hava davranışları da yanmaya etki eder. Şekil 4.4'te dizel motorlarda yanma olayı verilmiştir. Pistonun ÜÖN'ya gelmesiyle, enjektöre ve silindirin içine yakıtın püskürtülmesi gerçekleşir. Püskürtme işleminde, yakıt demet şeklinde ilerleyip toz halinde buharlaşmaya başlar. Yakıtın küçük damlalar halinde demetin dış kısmına doğru yönelmesinin nedeni havanın karşı basınç uygulayıp, bu damlacıkların hızını kesmesidir. Yanmanın başlangıcı küçük damlacıkların olduğu, elverişli H/Y karışımının bulunduğu kısımdan gerçekleşir [21,53].



Şekil 4.4. Dizel motorlarda yanma [39].

#### 4.1.2.1. Tutuşma Gecikmesi

Sıkıştırma sonunda silindire püskürtülen yakıtın tutuşabilmesi için oksijenle temasa geçmesi ve sıcaklığının artması gerekir. Bu nedenle, enjektörün yakıtı silindire püskürtmesinden, ilk alev çekirdeğinin meydana geldiği zamana kadar geçen süre tutuşma gecikmesi olarak tanımlanmaktadır. Şekil 4.4'de A-B arasında gösterilen bu süre 2000d/d ile çalışan bir motorda 0,0009 saniyedir [21,22,27].

Tutuşma gecikmesinin süresi silindir kısmında H/Y karışma oranına ve homojenliğe bağlı olarak değişmektedir. Bu süreyi etkileyen diğer faktörler; yakıtın sahip olduğu özellikler, silindir kısmındaki sıcaklık, basınç, yanma bölmesinin şekli olarak sayılabilir. Silindir içi bölümde yüksek basınç ile sıcaklık bulunduğundan buharlaşma hız kazanır ve tutuşma gecikme süresi azalır. Tutuşma gecikmesi süresi uzaması halinde silindir bölümü içerisine püskürtülen yakıt fazlalaşır, kontrolsüz bir yanmaya sebep olmaktadır. Silindir bölümü içerisine püskürtülen yakıtın fazlalaşması da dizel vuruntusuna sebebiyet verir. Püskürtme olayından sonra yakıt damlacıkları çevresinde bir buhar katmanı oluşur ve yanma olayı da bu buhar katmanı kısmından başlar. Yakıt damlacıklarının buharlaşma hızı ile yanma olayı doğru orantılı olmaktadır [22,23].

Yakıtın tutuşma karakteristiği tutuşma gecikmesine bir etken olduğu için bu özellik dizel motor çalışma karakteristiği için görmezden gelinemez; yakıt dönüşüm verimi, vuruntusuz çalışma, ateşleme yapılamaması, egzoz emisyonları, ses ve çalışma kullanışı gibi özellikleri etkiler. Sıkıştırma oranının artması ile sıcaklık ve basınç artması gerçekleşecektir. Bunun sonucu olarak da tutuşma gecikmesi azalacaktır. Yakıtın tutuşma kabiliyeti setan sayısı ile ifade edilir. Düşük setan sayılı yakıt için tutuşma gecikmesi uzayacak ve yakıtın çoğunluğu tutuşma olmadan püskürtülecektir. Bu da çok hızlı yanma oluşumuna ve ani basınç yükselmelerine sebep olur. Bu olay sırasında duyulabilir bir vuruntu sesi ortaya çıkar ve bu olaya “dizel vuruntusu” denir [7,22,23,39].

#### **4.1.2.2. Kontrolsüz Yanma (Hızlı Yanma)**

Tutuşma gecikmesi süresi içinde silindire püskürtülen yakıt ısınarak oksijenle karışmasının ardından buharlaşır. İlk alev çekirdeği meydana geldiği anda, yakıtın hepsi birden yanmaya katılır ve bunun sonucunda hızlı bir yanma oluşur. Bunun sonucunda basıncın aniden yükselerek ve motor parçaları arasındaki boşlukların birden alınacağından, motor vuruntulu ve sert çalışır. Günümüzde bu vuruntuyu azaltmak adına başlangıçta püskürtülen yakıtın miktarının düşürülmesini sağlamak için kademeli püskürtme yöntemi geliştirilmektedir [14,24].

Tutuşma gecikmesi süresince yakıt, silindir bölgesine girmekte ve buharlaşma olayı başlamaktadır. Basınç ile püskürtülen yakıt toz halinde damlacıklara ayrılarak, hava ile hızlı bir şekilde karışır. Yanma olayında, yakıt buharlaşarak hızlı bir şekilde oksijen ile reaksiyon gösterip yanar. Yanma olayının gerçekleşme hızı, silindirlerdeki basınç eğrisini de etkiler. Motorda mekanik parçalara fazlaca kuvvet uygulanması, basınç etkisinin hızlı bir şekilde artışı anlamındadır. Yanma olayının hızı ile doğru orantılı şekilde artan basınç, gürültü ve motor vuruntularına sebebiyet verir. Basınç eğrisini etkileyen faktörler aşağıda belirtilmiştir [24].

- Yakıtın püskürtülme işlemi yapıldıktan sonra ne kadar toz halinde (pülverize) olduğu [24].

- Tutuşma gecikmesi süresince silindirlere basınç ile püskürtülen yakıt miktarı bu faktörlerden biridir. Yakıt miktarı arttıkça silindir kısmında meydana gelen basınç artacak fakat bununla beraber dizel vuruntusu da artacaktır [24].
- Tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıtın buharlaşma oranı ile hava homojen karışma oranı kontrolsüz yanma olayını etki etmektedir [24].

Bu adımda, tutuşma gecikmesindeki silindire püskürtülmüş bileşiğin bir bölümü tutuşur. Daha sonra ön karışım olarak yanmaya başlar. İlk safhada ani yükselme olur. Tutuşma gecikmesinin uzunluğuna, çevrimdeki yanma odasındaki yakıt miktarına bağlı olarak basınçtaki yükselme büyüklüğü ve oranı artmaktadır. Basıncın hızlı yükselmesi olduğu durumda motordaki silindir, piston, perno gibi parçalar birbirilerine çarpmasıyla yüksek ve sert bir ses çıkarırlar. Bu açıklamalar üzere bu dizel vuruntusu istenmeyen bir durumdur. Bunun engellenmesi için tutuşma gecikmesi süresi kısa tutulmalıdır. Bu sayede motorun yumuşak çalışması sağlanmaktadır. Genel olarak dizel motorlarda basınç artışı  $0,2-0,3 \text{ MPa}/^\circ\text{KMA}$  civarındadır ve  $0,4-0,5 \text{ MPa}/^\circ\text{KMA}$  basınç artış hızına ulaşıldığında motor artık sert çalışır [24].

#### **4.1.2.3.Kontrollü Yanma**

Kontrolsüz yanmanın sonunda silindir içindeki basınç ve sıcaklık, enjektörden püskürtülen yakıtı doğrudan yakabilecek bir değere ulaşır. Bu sayede püskürmeye devam eden yakıt hiçbir gecikme olmadan yanar. Basınç en yüksek noktaya erişinceye kadar yükselir [7,22].

Bu yanma, kontrolsüz yanma olayından sonraki aşamada meydana gelir. Bu aşamada maksimum basınçla yanmanın büyük ölçüde tamamlandığı süreyi kapsamaktadır. Bu adım sonrasında silindir bölümündeki sıcaklık ile basınç yüksek seviyelere çıkar. Bu ortama yakıtın püskürtülmesiyle, oksijenle buluşan yakıt hemen tutuşur. İsin çoğu egzoz valfi açılmadan önce reaksiyona girerken, birazı da kalarak silindirden dışarı atılır. Difüzyon kontrollü yanma esnasında oluşan basıncın miktarına etki eden etkenler aşağıda sıralandığı gibidir [7,22].

- Motorun silindir kısımlarında yeterli oksijen bulunması halinde, bu bölüme aktarılacak yakıtın püskürtülme basıncına oldukça tesir eden bir etkendir [23].
- Yanma olayının gerçekleşmesi için yakıt ile oksijenin yeterli olarak karışması gerekmektedir. Bu sebeple, yakıt ve oksijenin temasını artırmak gereklidir. Yakıt ve oksijen temasının artışı yanmanın gerçekleştiği odanın biçimi, havanın türbülanslı hareketi ve motorun hızındaki değişiklikler ile sağlanır. Dolayısıyla bu değişiklikler basınç eğrisi ile oldukça ilişkilidir [23].
- Yanma olayının başlaması, pistonun ÜÖN'dan uzaklaştığı bir zamanda gerçekleşmemelidir. Eğer olay pistonun ÜÖN'dan uzaklaştığı bir zamanda gerçekleşirse basınç azaldığı anda yanma başlayacağı için yanmanın verimin düşmesine sebebiyet verir. Yanma veriminin kaliteli olması için yanma olayı pistonun ÜÖN'ya geldiği, basıncın fazla olduğu zamanda gerçekleşmelidir. Bu yüzden pistonun yanma başlangıcındaki konumu ve enjeksiyonun yapıldığı zamanlama da oldukça önemlidir [14,27-29,54].

#### 4.1.2.4.Gecikmiş Yanma (Art Yanma)

Yakıtın silindire püskürtülmesi bitmiş ve piston ÜÖN'dan AÖN'ya inmektedir. Daha önce püskürtülen ve yanma fırsatı bulamamış yakıt genişleme süresince oksijen buldukça yanar. Yanma kimyasal denkleminin örneği Eşitlik 4.1'de verilmiştir;



Motorun verimini arttırmak için bu evrenin oldukça kısa sürmesi gerekmektedir. Yanma olayında kullanılan yakıt miktarı havadan fazla olduğunda (zengin karşım) eksik yanma gerçekleşir. Yanmayan yakıt bu safhada yakılır. Bu evrenin gerçekleşmesi genişleme zamanında meydana gelir. Bu evre ÜÖN'yı 70-80° krank mili açısı geçene kadar sürer. Ana yanma evresinde yanamayan bu yakıt genişleme safhasında oksijenle temas kurabildiği için yanar. Egzoz zamanından önce yanma olayının bitmesi verim için oldukça önemlidir. Art yanmanın süresinin uzaması

sıcaklığı artıracığından motorun mekanik aksamlarına zarar verir. Bu yüzden kısa tutulması daha faydalıdır [25].

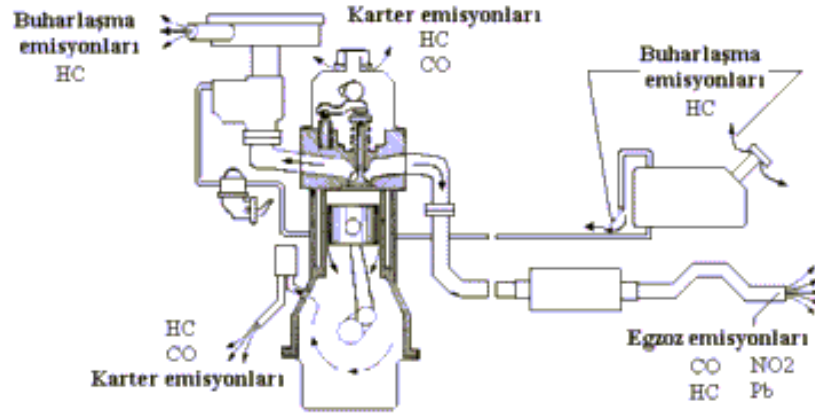
Silindir içinde maksimum sıcaklığa ulaşıldıktan sonra bu aşama başlar. Difüzyon kontrollü yanmada olduğu gibi bu bölümde de difüzyon hızı ve karışım oluşma hızı yanma hızını kontrol eden değişkenlerdir. Önceki safhalarda yanmaya fırsat bulamamış olan yakıtın bir kısmı da bu aşamada oksijenle buluştukça yanmaktadır [25].

## **4.2. DİZEL MOTORLARDA KİRLLETİCİ EMİSYONLAR**

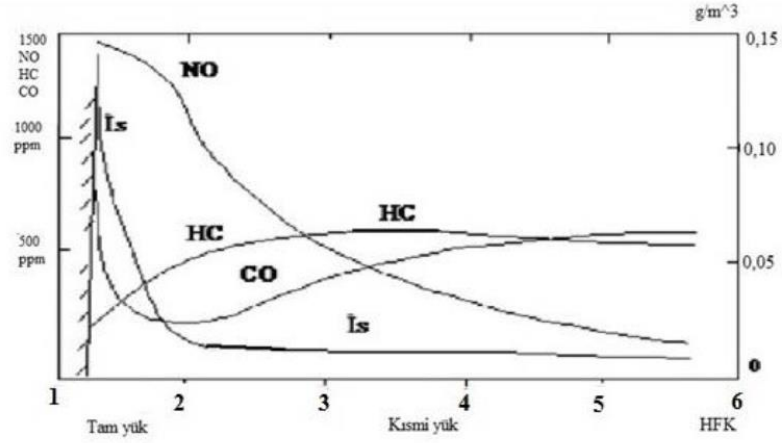
Hızla gelişen çevre bilinci ile birlikte hava kirliliğinin önlenmesi gerektiğine ilişkin farkındalık oldukça artmıştır. Şekil 4.5'te motorlu taşıtlardaki kirletici emisyon noktaları verilmiştir. Endüstri gazları, konut ısıtmaları sonucu oluşmakta olan gazlar, termik santraller ve motorlu taşıt emisyonları hava kirliliğinin temel sebepleridir. Hava kirleticilerinin içinde motorlu taşıtlarda kullanılan fosil yakıtlar, optimum koşullarda oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu oluşmakta olan emisyonlar CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve NO<sub>x</sub> bileşikleridir. İçten yanmalı motorlarda kullanılan hidrokarbon kökenli yakıtların en uygun şartlarda hava ile tam yanması sonucunda ortaya çıkan yanma ürünleri CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve havadaki N<sub>2</sub>'den oluşmaktadır. Şekil 4.6'da dizel motorunun kirletici egzoz emisyonlarının konsantrasyonları görülmektedir. Çevreyi ve dolayısıyla insan sağlığını negatif yönde etkileyen bu emisyonların önemli olanları altı grupta incelenebilir.

Bunlar; CO emisyonu, HC emisyonu, CO<sub>2</sub> salınımı, NO<sub>x</sub> emisyonu, kükürtlü bileşenler ve is bileşenleridir.





Şekil 4.5. Motorlu taşıtlardaki kirletici emisyon noktaları [22].



Şekil 4.6. Dizel motorunun egzozunun kirletici emisyonlarının konsantrasyonu [22].

Yakıtta bulunan kükürdün oksijenle tepkimesi sonucu  $SO_2$  oluşur.  $SO_2$ 'nin  $H_2O$  ile tepkimeye girmesi sonucunda sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) oluşur. Malzemede aşınmaya ve korozyona egzozda bulunan  $H_2SO_4$  sebep olur. Ayrıca doğadaki asit yağmurlarına  $SO_2$  emisyonları sebep olmaktadır [22].

#### 4.2.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Oluşumu

Tepkime sonucunda oluşan ürünler arasında CO bulunmasının başlıca sebebi yetersiz oksijen olması ve hidrokarbon yakıtlarının eksik yanmasıdır. Yanma odasının tamamı ele alındığında karışımın tam olarak homojen olmaması durumu, oksijenin

genel olarak yetersiz olması ve düşük sıcaklığın sebep olduğu eksik yanma nedeniyle CO emisyonlarının artışı meydana gelmektedir [14,23].

Yakıtça zengin karışımların CO emisyonu üretimi fazladır. Dizel motorların CO emisyonlarının düşük olmasının sebebi hava fazlalık katsayısı ile çalışmasıdır. Dizel motorlardaki yanmanın her adımında oksijen miktarının fazlalığı, yüksek yanma sıcaklığı, karışım teşkil hızının yüksek oluşu CO emisyonlarının oksidasyonuna yardımcı olur [26].

Yanma esnasındaki CO oluşumu su gazı dengesi olarak isimlendirilen tepkime Eşitlik 4.2’de verilmiştir.



Yanma esnasında alevlenmenin iç tarafında meydana gelen yüksek sıcaklık bölgesinde yüksek miktarda CO oluşmaktadır. Fakat oluşan CO, gazların yanma sonrası genişleyip soğuması esnasında oksidasyon tepkimesi sonucu CO<sub>2</sub>’ye dönüşmektedir. Eşitlik 4.3’te CO<sub>2</sub> dönüşümü verilmiştir [27].



Dizel motorlar çoğunlukla fakir karışım oranları ile çalıştığından CO emisyonları düşüktür.

Yanma biterken CO’nun CO<sub>2</sub>’ye dönüşümünün sağlanması tekrardan reaksiyon tepkimelerini oluşturur. Ancak bu yeniden oluşan reaksiyon tepkimeleri düşük gaz sıcaklıkları, oksitleyici eksikliği, piston hareket zamanı gibi parametreler nedeniyle tamamlanamadan egzoz subabı açılırsa egzoz gazları içinde CO emisyonu artışına sebep olacaktır. Yanmanın ilk evresinde CO’nun Şekil 4.6’da verilen 2. ve 3. bölge sınırları arasında olduğu tahmin edilmekte fakat bölgesel sıcaklıklar yeterli yükseklikte olmadığından dolayı az miktarda ve yetersiz CO<sub>2</sub> ve oksidasyon oluşur.

Daha sonrasında yanma aşamaları esnasında bölgesel sıcaklıklar yükselir ve tepkimeleri artar [27,28].

Meydana gelen CO hemen oksitlenir. Bunun sebebi gaz sıcaklığının ve oksijen konsantrasyonunun uygun olmasıdır. Silindirin duvar kenarlarında yüksek miktarda CO oluşmaktadır. CO oluşum hızı, gaz sıcaklığına, oksidasyon için yeterli zamanın olmasına ve oksijen konsantrasyonuna durumuna bağlıdır [29].

- Yakıtın eksik yanması sonucu ortaya çıkan CO renksiz, tatsız ve kokusuz bir gazdır.
- Havada %0,3 sınır değerinde öldürücüdür. Benzinli araçlarda rölantide meydana gelir.
- CO atmosferde, oksijen ile kendiliğinden birleşmesiyle CO<sub>2</sub>'ye dönüşür.
- Kapalı bir ortamda çalışan bir otomobilin egzozundan çıkan CO, orada bulunanlar için zehirleyici ve öldürücüdür [27-29].

#### **4.2.2. Azot Oksit (NO<sub>x</sub>) Emisyonu Oluşumu**

Yanma sonucu ulaşılan yüksek sıcaklıklarda atmosferde bulunan azotun oksijen ile tepkimeye girmesi sonucunda azot oksitler oluşmaktadır. NO<sub>x</sub> bileşiminde ana element olarak azot bulunmaktadır. Egzoz gazlarının atmosfere salınması sonucu oksijen ile etkileşiminde NO<sub>x</sub> emisyonlarının büyük bir kısmı azot monoksit (NO) ve azot dioksitten (NO<sub>2</sub>) meydana gelmektedir. Bu ikisinin toplamı NO<sub>x</sub> emisyonları olarak isimlendirilmektedir. NO<sub>x</sub> emisyonlarının %70'ten fazla kısmını NO emisyonları oluşturmaktadır. NO<sub>x</sub> emisyonlarını etkileyen önemli iki değişken H/Y oranı ve sıcaklıktır. Ayrıca yanma süresine ve oksijen konsantrasyonuna da bağlıdır. Diğer önemli faktörler ise kimyasal tepkime hızları, püskürtme zamanı, yanma odasına alınan dolgunun sıcaklığı, yakıt özellikleri, türbülans gibi parametrelerdir. Yapılan araştırmalara göre NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşumu büyük oranda ani yanma fazında meydana gelmektedir. NO emisyonları, yanma süreci sırasında yanmanın bir ürünü olarak meydana gelir ve ardından NO emisyonlarının bir bölümü NO<sub>2</sub> emisyonlarına dönüşür [14,23,26].

Yanma sistemlerinde NO<sub>x</sub> oluşumunu araştırmak için yapılan çalışmalarda birçok mekanizma ele alınmıştır. NO oluşumu için genel olarak kabul edilen model zeldowich mekanizmasıdır. Zeldowich mekanizması yanma odasındaki atmosferik azotun oksidasyonu için oluşturulmuştur. Basitleştirilmiş tepkimeler aşağıdaki Eşitlik 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7'deki gibidir [26,27].



NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşma hızları azotun yüksek sıcaklıkta kalma süresine ve yüksek sıcaklığa bağlıdır. Genellikle 1800°K'den daha yüksek sıcaklıklarda, yanma odasındaki moleküller O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> atomik olarak O ve N şeklinde ayrışmakta ve tepkime serilerine bu şekilde katılmaktadırlar. NO oluşumu sıcaklıkla doğru orantılıdır. NO emisyonlarının oksitlenmesi ile NO<sub>2</sub> emisyonları meydana gelmektedir. O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub>'nin oluşum hızına göre NO oluşum hızı daha yüksektir. ÜÖN'dan aşağı doğru inerken NO'ların yeniden O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub>'ye dönüşmesi, oluşum hızının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Pistondan beklenen tepkime hızının çok düşük olması sebebiyle tepkimeler yavaşlar ve piston ÜÖN'dan aşağıya doğru inerken soğuyan gazlar tepkimeyi dondurur. Bu sebeple NO miktarındaki azalma görmezden gelinebilir [28].

Artan püskürtme basıncı, yanma odasına püskürtülen yakıtın atomizasyonu iyileştirir. İyileştirilen yakıt atomizasyonu, yanma veriminin artmasına, yakıt taneciklerinin daha küçük parçalara ayrışmasına ve yüksek yanma sonu sıcaklıklarına neden olur. Bu durum NO<sub>x</sub> emisyonlarının artmasının sebebidir [29].

Yakıtın setan sayısının artması, püskürtülen yakıtın buharlaşmasını ve tutuşmasını kolaylaştırır. Sonuç olarak, yüksek setanlı yakıtlar, NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltır ve daha kısa ani yanma periyoduna neden olur. Setan sayısının düşük olduğu yakıtlarda yanma odasındaki fakir alev bölgesinde daha fazla yakıtın toplanmasına neden olur. Bu sebeple tutuşma gecikmesi genellikle uzun sürer. Ani yanma safhasında biriken yakıt ise, yüksek hızla aniden yanar ve yanma sonu sıcaklığını artırmaktadır. Bu sebeple aynı yanma safhasındaki fakir alev bölgesinde NO<sub>x</sub> oluşumu artar [49].

- NO renksiz, tatsız ve kokusuz bir gazdır.
- NO motor içindeki yüksek sıcaklık nedeni ile ortaya çıkar.
- NO, havanın oksijeni ile NO<sub>2</sub>'ye dönüşür.
- Kahverengi ve kokulu olan NO<sub>2</sub>, felce ve akciğer dokusunda hasara neden olur [27-29,53].

#### **4.2.3. Partikül Madde (İs) Emisyonu Oluşumu**

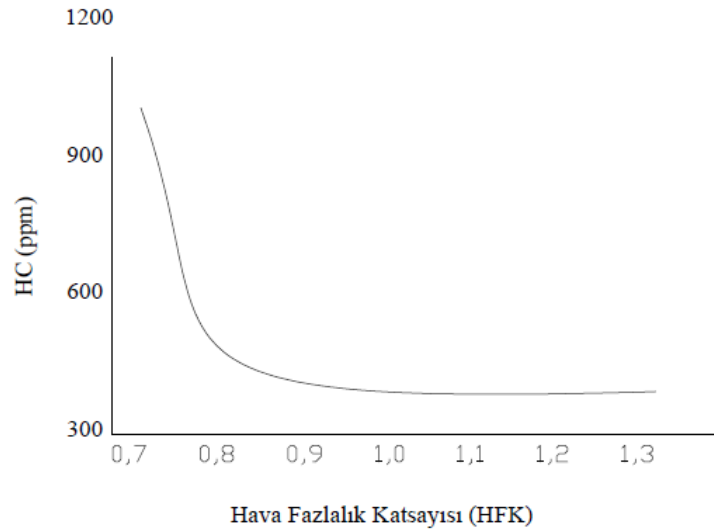
Dizel motor partikülleri genellikle bazı organik bileşiklerin emilmiş olduğu karbonlu maddeler içerirler. Eksik yanma sonucu partiküllerin büyük bir kısmı oluşur. Partikülün birleşimi partikül tutucu sisteme ve motor egzozundaki koşullara bağlıdır. Doğrudan püskürtmeli dizel motorlarda, en yüksek partikül yoğunluğu ortalama bölgesel eşdeğerlik oranının çok yüksek olduğu yakıt demetinin çekirdeğinde görülmüştür. Yanma başladıktan hemen sonra is konsantrasyonu oldukça hızlı bir şekilde artar. Enjektör deliğine yakın, yakıt demeti ekseninde partikül yoğunluğu önemli derecede yüksektir. İs yoğunluğu yakıt demeti merkezinden uzaklaştıkça azalır [20,27,28,39,54].

- Duman veya is olarak tanınır ve zararları halen tartışılmaktadır.

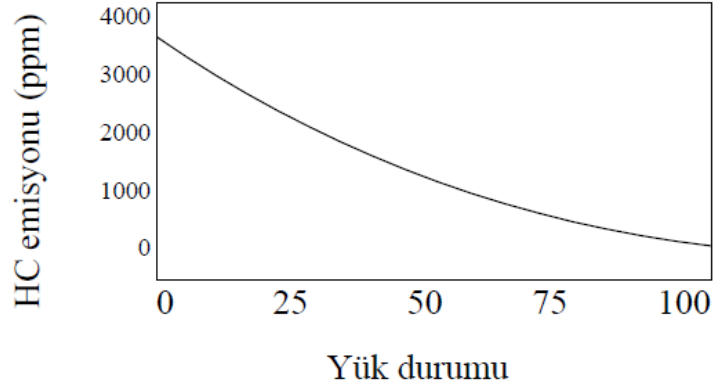
#### **4.2.4. Hidrokarbon (HC) Emisyonları**

Motor egzoz gazları büyük oranda hidrokarbon bileşikleri içermektedirler. Hidrokarbon bileşikleri reaktif ve reaktif olmayan olmak üzere ikiye ayrılır. Yakıt

kompozisyonu, emisyon kompozisyonunu ve miktarını oldukça etkiler. Yakıt yüksek oranda aromatik ve olefinler içerirse daha fazla reaktif HC üretirler. Dizel yakıttaki bileşikler benzine kıyasen ortalama olarak daha yüksek moleküler ağırlıktadırlar. Dizel yakıtlar daha yüksek kaynama ve yoğunlaşma sıcaklığına sahip olması sebebiyle yanma boyunca katı karbon islerinin yüzeyinde yoğunlaşacak bazı HC partiküllerinin oluşumuna sebebiyet verir. Şekil 4.7’de HC salınımlarının hava fazlalık katsayısına bağlı olarak değişimi ve Şekil 4.8’de ise HC salınımlarının motor yüküne göre değişim grafikleri verilmiştir. Verilen şekiller incelendiğinde, yakıtın yetersiz yanması sonucunda emisyonlar veya hidrokarbonlar oluşur. Toplam HC emisyonu yanma verimi için kullanılabilir bir parametre olsada, kirli emisyonların önemli bir göstergesi değildir. Normal bir yanma sürecinde yakıtın yanmaması için başlıca iki yol bulunmaktadır: birincisi H/Y karışımın tutuşma için veya yanma odası içinde alevin ilerlemesini destekleyemeyecek kadar zayıf olması ve ikinci olarak yanma odası içinde alevin ilerlemesini destekleyemeyecek kadar zengin olması. Yanmamış karışıma veya oksidasyon sürecinin bastırılmasına bağlı olarak HC yanmaz [27-29,53,54].



Şekil 4.7. HC salınımlarının hava fazlalık katsayısına bağlı değişim grafiği [39].



Şekil 4.8. HC salınımlarının motor yüküne göre değişim grafiği [39].

Tutuşma gecikmesi periyodunda artan püskürtme basıncıyla iyleşen yakıt atomizasyonu karışımın teşkil hızını ve karışımın oluşumunu iyileştirerek tam yanmaya imkan sağlar. Bu durum HC emisyonlarını azaltır. Fakat, yakıt püskürtme basıncının aşırı artışı, HC emisyonlarının oluşumunu etkileyen alev sönme bölgelerini de aşırı genişletir. İdeal püskürtme zamanının öncesinde veya sonrasında yakıtı püskürtmek HC emisyonlarını artırır [39,53,54].

- Nitelikli yakıt kullanılması ve yakıt pompasının doğru ayarlanması ile büyük oranda önlenabilir,
- Bunlara karşı ticari kullanımı olan bir filtre düzeni bulunmamaktadır [27-29, 39,53,54].

## BÖLÜM 5

### MATERYAL VE METOT

#### 5.1. DENEY DÜZENEĞİ

Deney düzeneği üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar yük ünitesi, jeneratör ünitesi ve emisyon ölçüm ünitesidir. Şekil 5.1’de deney düzeneği verilmiştir.

Jeneratör ünitesi: Deney motoru, deney jeneratörü, yağ sıcaklık sensörü, egzoz sıcaklık sensörü ve devir sensöründen oluşmaktadır.

Yük ünitesi: Yük panosu, analog voltmetre, analog ampermetre, dijital voltmetre, dijital ampermetre ve yakıt ölçüm düzeneğidir.

Emisyon ölçüm ünitesi: Egzoz emisyon ölçüm cihazı ve bilgisayardan oluşmaktadır.





Şekil 5.1. Deney düzeneği

### 5.1.1. Deney Motoru

Deneylerde Çizelge 5.1’de teknik özellikleri verilen ve Şekil 5.2’de gösterilen dizel motor kullanılmıştır. Deneyde kullanılan jeneratör için Şekil 5.3’te verilen jeneratörün yağ sıcaklık, egzoz sıcaklık ve devir sensöründen yararlanılmıştır.



Şekil 5.2. Deney jeneratörü Katana KD 4500 E

Çizelge 5.1. Deney motorunun ve jeneratörünün teknik özellikleri

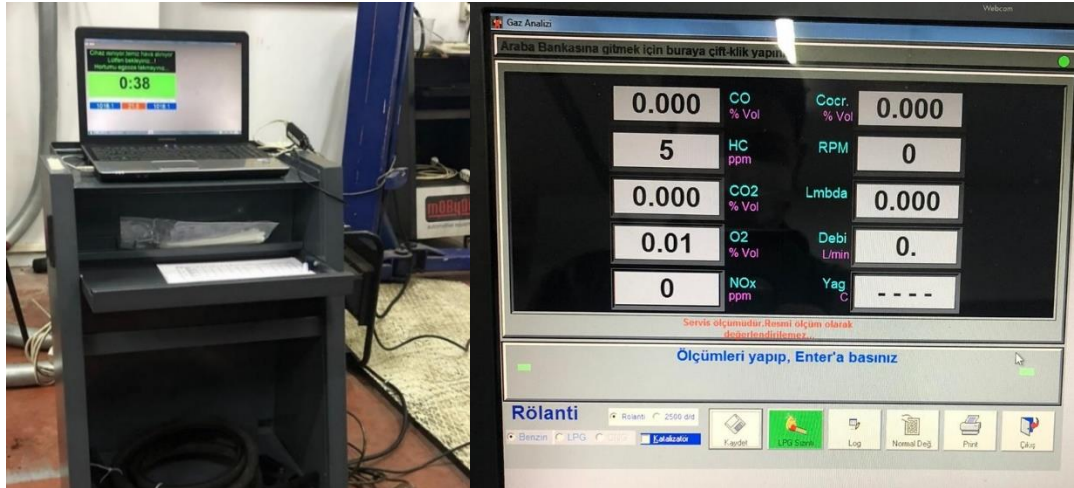
| <b>Motor Özellikleri</b>     |                     |
|------------------------------|---------------------|
| Üretici                      | Katana              |
| Motor Tipi                   | KM 178 FE           |
| Çap x Strok                  | 78 x 62             |
| Silindir Hacmi               | 296 cm <sup>3</sup> |
| Maksimum Çıkış Gücü          | 6,7 Hp              |
| Sürekli Çıkış Gücü           | 6,0 Hp              |
| Maksimum Motor Hızı          | 3000 d/d            |
| Elektrik Sistemi             | 12 – 36 AH          |
| Hava Filtresi                | Çift eleman         |
| Yakıt Tankı Kapasitesi       | 11 lt               |
| Yakıt Tipi                   | Dizel               |
| Yağ Tankı Kapasitesi         | 1,1 lt              |
| <b>Jeneratör Özellikleri</b> |                     |
| Üretici                      | Katana              |
| Model                        | KD 4500 E           |
| Maksimum Çıkış Gücü (kVA)    | 3,6 kVA             |
| Faz                          | Monofaz             |
| Voltaaj                      | 230 V               |
| Frekans                      | 50 Hz               |
| AC Devre Kesici              | Var                 |



Şekil 5.3. Dizel jeneratörün yağ sıcaklık, egzoz sıcaklık ve devir sensörü

### 5.1.2. Egzoz Emisyon Cihazı

Egzoz emisyonlarının ölçümünde MOD 2210 WINXP-K egzoz gaz analiz ölçüm cihazı kullanılmıştır. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı Şekil 5.4’de verilmiştir. Çizelge 5.2’de ise egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri verilmiştir. Egzoz gaz analizörü CO, HC, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>, is, motor devri ve lambda değişkenlerinin ölçümüne olanak sağlayabilmektedir.



Şekil 5.4. Egzoz gaz analiz ölçüm ünitesi.

Çizelge 5.2. Egzoz gaz analizörü teknik özellikleri.

| Parametreler              | Ölçme Sınırı      | Hassasiyet |
|---------------------------|-------------------|------------|
| CO                        | % 0-10,0 hac.     | %0,001     |
| CO <sub>2</sub>           | % 0-20,0 hac.     | %0,001     |
| HC                        | 0-10,000 ppm hac. | 1 ppm      |
| O <sub>2</sub>            | % 0-10,0 hac.     | %0,01      |
| NO <sub>x</sub>           | 0-5000            | 1 ppm      |
| Lambda                    | 0,5-2,00          | 0,001      |
| Motor yağ sıcaklığı       | 0-150 °C          | 1 °C       |
| Devir                     | 0-9990 d/dak      | 10 d/dak   |
| Debi                      | 2-6 (1/dak)       | -          |
| Çalışılan ortam sıcaklığı | 0 °C - 40 °C      | %0,01      |
| Algılama süresi           | < 5sn.            | -          |
| Ölçüm odası sıcaklığı     | 70-100 °C         | -          |

### 5.1.3. Deney Yakıtı

Deneyde saf dizel ve kenevir tohumu yağı karışımları kullanılacaktır. Deneylerde kullanılan dizel yakıt ve kenevir tohumu yağı ticari firmalardan temin edilmiştir. Şekil 5.5'te deney yakıtları verilmiştir.



Şekil 5.5. Deney yakıtları dizel ve kenevir tohumu yağı

Çizelge 5.3'te saf dizel yakıt özellikleri, kenevir tohumunun yakıt özellikleri ve 10KB90D yakıtının yakıt özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.3. Yakıt özellikleri

| Yakıt Özellikleri                   | Dizel | Kenevir Tohumu Yağı | 10KB90D Yakıtı |
|-------------------------------------|-------|---------------------|----------------|
| Setan sayısı                        | 53,3  | -                   | 50             |
| Viskozite 40°C (mm <sup>2</sup> /s) | 2,7   | 25,89               | 4,168          |
| Yoğunluk °C (kg/m <sup>3</sup> )    | 831,6 | 930                 | 850            |
| Kükürt (mg/kg)                      | 4,8   | 33,3                | 10,9           |
| Su miktarı (mg/kg)                  | 45    | 627                 | 156            |
| Setan indisi                        | 53,7  | -                   | 48,2           |
| Parlama noktası (°C)                | 61    | -                   | 67             |
| Soğuk filtre tıkanma noktası (°C)   | -23   | 13                  | -20            |
| Üst ısıl değer (MJ/kg)              | 46,1  | 39,3                | 44,7           |
| Alt ısıl değer (MJ/kg)              | 43,2  | 38,3                | 42,2           |

### 5.1.3.1. Kenevir Tohumu Yağı Destilasyonu

Sıvı karışımların birbirlerinden ayrışması için uygulanan ana yöntem damıtma yöntemidir. Bu yöntemin temeli ise, sıvıların kaynama noktaları arasındaki oluşan farklılıklardan yararlanarak birbirinden ayırmaktır. Çizelge 5.4'te saf dizel ve 10KB90D yakıtının destilasyon sıcaklıkları ve analiz sonuçları verilmiştir [7,48].

Çizelge 5.4. Destilasyon analiz sonuçları

| Destilasyon ASTM D 86   | Dizel | 10KB90D   |
|-------------------------|-------|-----------|
| İlk Kaynama Noktası     | 168,8 | 176,5     |
| %v/v 5°C deki sıcaklık  | 193,1 | 197,2     |
| %v/v 10°C deki sıcaklık | 206,4 | 212,0     |
| %v/v 20°C deki sıcaklık | 224,0 | 231,7     |
| %v/v 30°C deki sıcaklık | 239,1 | 249,4     |
| %v/v 40°C deki sıcaklık | 254,3 | 267,3     |
| %v/v 50°C deki sıcaklık | 268,2 | 285,3     |
| %v/v 60°C deki sıcaklık | 283,1 | 303,7     |
| %v/v 70°C deki sıcaklık | 298,0 | 322,7     |
| %v/v 80°C deki sıcaklık | 315,3 | 332,0     |
| %v/v 90°C deki sıcaklık | 336,6 | 309,9     |
| %v/v 95°C deki sıcaklık | 352,6 | 329,7     |
| Son Kaynama Noktası     | 362,8 | 337,2     |
| 250°C de toplanan ml    | 37,4  | 30,3      |
| 350°C de toplanan ml    | 94,3  | SKN 337.2 |

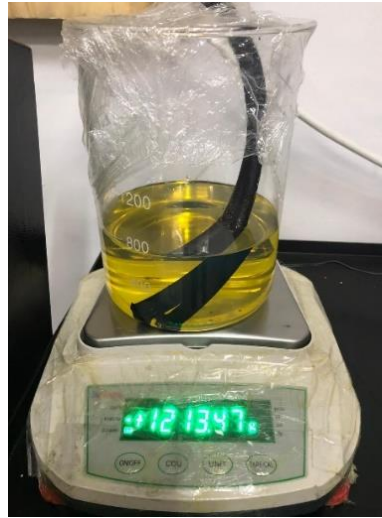
#### 5.1.4. Yakıt Tüketim Ölçme Düzenegi

Karışımındaki yakıtların tamamen homojen olarak karışması için Şekil 5.6'da verilen SCİLOGEX MS-H-S manyetik karıştırıcıdan faydalanılmıştır.



Şekil 5.6. SCİLOGEX MS-H-S manyetik karıştırıcı

Yakıtın tüketiminin ölçümünde Ender marka SWOCK YP20002 model elektronik dijital teraziden faydalanılmıştır. Şekil 5.7'de belirtilen terazinin ölçme kapasitesi 2 kg olup 0,01g hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 5.7. Özgül yakıt tüketimi ölçüm düzenegi

### 5.1.5. Yük nitesi

Şekil 5.8’de 100W, 250W, 500W, 1000W gçlerde çeşitli halojen lambalardan kurulu yk nitesi verilmiştir. Aynı zamanda bu ünitenin içinde Şekil 5.9.’da verilen dijital voltmetre ve dijital ampermetre bulunmaktadır.



Şekil 5.8. Yük nitesi



Şekil 5.9. Dijital voltmetre ve dijital ampermetre

### 5.1.6 Kronometre

Deneydeki lmleri sağlamak için Apple marka Apple watch series 5 saatinin kronometresinden yararlanılmıştır. Kronometre 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilmektedir. Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.10. Apple watch series 5 dijital saat kronometresi

## 5.2. DENEY VERİLERİNİN HESAPLANMASI YÖNTEMİ

### 5.2.1. Efektif Verim

Efektif (termik) verim; yakıtın yanma reaksiyonu sonucu ortaya çıkardığı ısı enerjisinin ne kadarlık kısmının yararlı işe dönüştüğünün bir tanımıdır [26]. Efektif verim, aşağıda verilen Eşitlik 5.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$n = \frac{Pe * 3600}{B * Hu} \quad (5.1)$$

Pe : Motor gücü (kW)

B : Yakıt tüketimi (kg/h)

Hu : Kullanılan yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)



### 5.2.2. Özgül Yakıt Tüketimi

Test yakıtlarının ihtiva ettiği farklı yoğunluk ve kalorifik değerleri yakıt tüketiminin bir göstergesidir [12].

Özgül yakıt tüketimi Eşitlik 5.2'den yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$be = \frac{B * 1000}{Pe} \quad (5.2)$$

be : Özgül yakıt tüketimi, (g/kWh)

B : Saatlik yakıt tüketimi, (kg/h)

Pe : Motor gücü, (kW)

### 5.2.3. Motor Momenti

Motor momenti, aşağıda verilen Eşitlik 5.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_e = \frac{Pe * 9549}{n} \quad (5.3)$$

Me : Motor momenti, (Nm)

Pe : Motor gücü, (kW)

N : Motor devir, (d/dak)

## BÖLÜM 6

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada, dizel yakıtına kenevir tohumu yağı ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin belirlenmesi için, farklı motor yüklerinde (500, 1000, 1500, 2000, 2500 ve 3000 watt), kenevir tohumu yağını hacimsel olarak sırasıyla %10 ve %20 olarak standart dizel yakıtın içine ilave ederek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmada ölçülen ve hesaplanan parametreler motor performansı açısından; FEV, FÖYT, egzoz emisyonları açısından ise; CO, HC, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve is değişkenleridir.

#### 6.1. PERFORMANS PARAMETRELERİ

##### 6.1.1 Fren Efektif Verim (FEV)

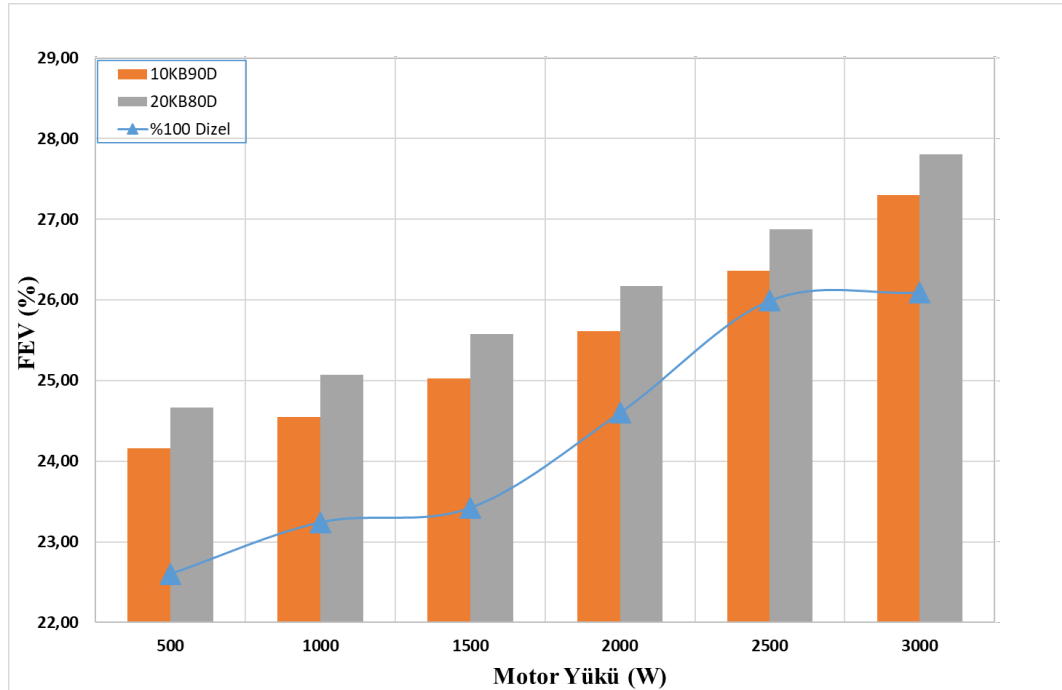
Standart dizel yakıtının FEV'e etkisi ve standart dizel yakıtının içerisine kenevir tohumu yağının %10 ve %20 ilavesinin FEV'e etkisi Şekil 6.1'de görülmektedir. FEV, yakıtın yanması sonucunda oluşturduğu enerjinin ne kadar verimli bir şekilde işe dönüştürülebildiğinin %'li şekilde ifade edilmesidir. Yanmanın ardından açığa çıkan enerjinin büyük bir bölümü yağlama, soğutma ve egzoz gazları aracılığıyla motordan atıldığı bilinmektedir. Bunların sonucunda sadece geriye kalan enerji motorlarda güce dönüştürülebilmektedir.

Sabit devirde KB kullanım sonucu elde edilen FEV dizel yakıt kullanımı sonucu oluşan değerlerden yüksek olmuştur. Şekil 6.1'de görüldüğü gibi verim sütunları motor yükü ile doğru orantılı olarak sürekli artış göstermiştir.

FEV, kenevir biyodizel karışımının H/Y oranının yeterli olmasından dolayı içerisinde bulundurduğu O<sub>2</sub> yanma odasında homojen bir karışım oluşturarak yanmanın iyileşmesini ve FEV'in artmasını sağlar. Bundan dolayı FEV kenevir biyodizel miktarına ve verilen yüklere bağlı olarak artış gösterir.

Karışım sonucu elde edilen her iki yakıttan, dizel yakıt ile kıyaslandığında daha yüksek performans elde edilmiştir. 3000W yükte maksimum FEV değerine ulaşan KB yakıtları 3000W yükte dizel yakıtta %26 olurken KB yakıtlarında 3000W yükte maksimum FEV %27-28 arası değerler elde edilmiştir. Minimum FEV artışı 2500W yükte 10KB90D yakıtı için %1 olurken 20KB80D yakıtı için %3,4'lük artış olmuştur. 10KB90D ve 20KB80D yakıtları da kendi arasında kıyaslandığı takdirde, FEV 20KB80D yakıtından daha yüksek veri elde edilmiştir. Bunun sebebi de biyodizellerin içerisinde O<sub>2</sub> bulunmasından dolayı yanma tepkimelerinin iyi gerçekleşmesidir.

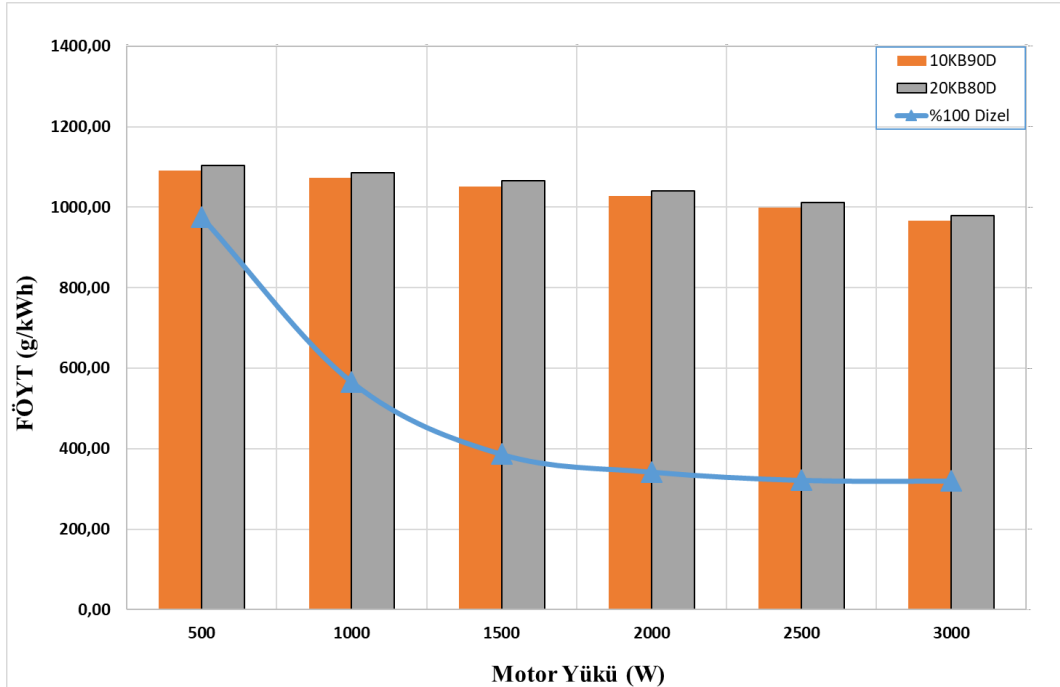
Burada elde edilen sonuçlara göre dizel motorlarında dizel yakıt yerine KB yakıtlarının güç düşüşüne sebebiyet vermeden kullanılabilceği kanısına varılmaktadır.



Şekil 6.1. FEV'in farklı yüklere ve KB oranına bağlı olarak değişimi.

### 6.1.2 Fren Özgül Yakıt Tüketimi (FÖYT)

Şekil 6.2’de dizel yakıtının içerisinde %10 ve %20 kenevir tohumu yağı ilavesinin FÖYT’e etkisi gösterilmiştir. Dizel yakıtına ilave edilen kenevir tohumu yağı miktarı arttıkça, yakıt karışımının ısı değeri düşeceği için FÖYT’ün artacağı açıkça görülmektedir. Kenevir biyodizelinin alt ısı değeri standart dizelin alt ısı değerinden düşük olduğundan, motoru aynı yükte çalıştırmak için daha fazla FÖYT’e ihtiyaç duyulur. 10KB90D ve 20KB80D yakıtlarının alt ısı değerleri dizel yakıtına göre daha düşük olduğu için, dizel yakıtına ilave edilen kenevir tohumu yağı ile yakıt karışımının ısı değeri düşmekte ve bu durum FÖYT’nin artmasına neden olmaktadır. Dizel yakıtına göre KB yakıtlarının kullanılması başlangıçta 500W yükte FÖYT %11,8 artmıştır. Başlangıçtaki bu artış minimum artış olarak görülmektedir. Maksimum artışı ise 3000W yükte %202 artmıştır. Dizel yakıt ile kıyaslandığında 10KB90D ve 20KB80D karışımlarının yoğunlukları daha düşüktür. Bundan dolayı, motorun aynı çıkış gücünü verebilmesi için silindir içerisine püskürtülen yakıtın kütlesinin artırılması gerekmektedir.



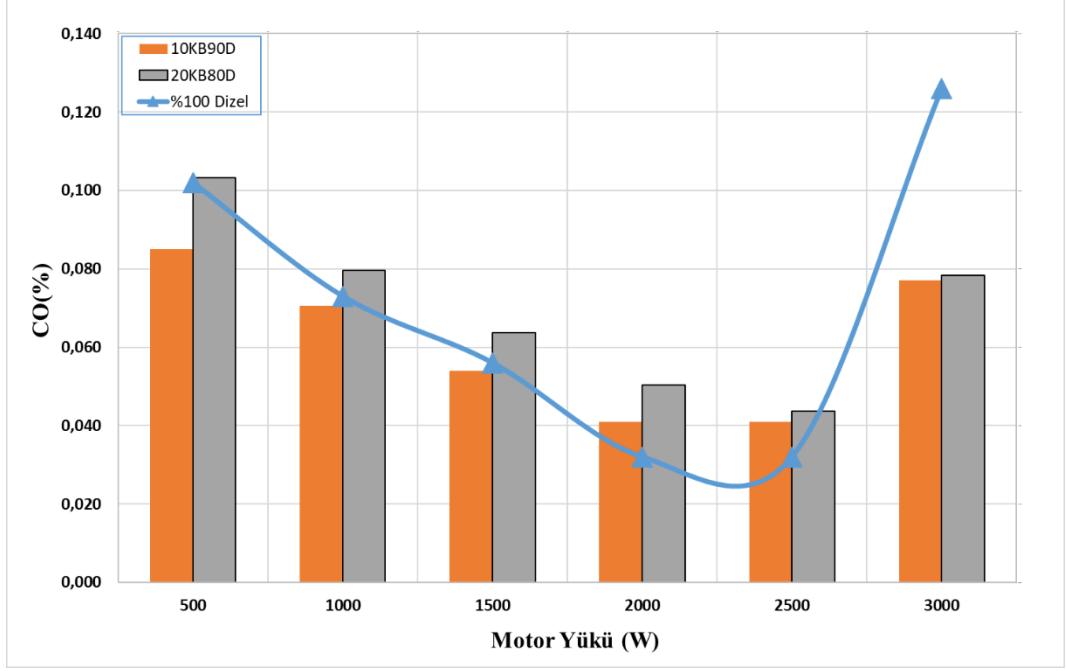
Şekil 6.2. FÖYT farklı yüklere ve KB oranına bağlı olarak değişimi.

## 6.2. EMİSYONLAR

### 6.2.1. CO Emisyonu

Dizel, 10KB90D ve 20KB80D yakıtlarının farklı yüklerde CO emisyonuna etkisi Şekil 6.3'te verilmiştir. CO emisyonları silindir içersinde yanma için yeterli sürenin bulunamaması nedeniyle eksik yanma olması veya zengin H/Y karışımlarında yeterli oksijen bulunmadığı için yanmanın eksik gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır. [55]. CO emisyonları %'lik olarak çok az bir yer kaplamasından dolayı yorumlanması tartışmalıdır. Her ne kadar eksik yanmadan kaynaklanıyor gibi gözükse de %'si çok küçük olduğundan yanma problemleri olarak algılanmamalıdır. Bunun aksine CO emisyonlarının iyileşme sebebi karışımdaki O<sub>2</sub> varlığıdır.

CO emisyonları standart dizel yakıtına eklenen KB yakıt miktarı arttıkça değişkenlik göstermiştir. Bu değişkenler dizel yakıtına göre 10KB90D yakıtında maksimum artış 2000W ve 2500W yükte %32'dir. Maksimum azalma ise 3000W'ta %40'tır. 3000W'ta CO emisyonlarındaki iyileşmenin temel nedeni KB yakıtlarının yapısında oksijen bulunmasıdır. Dizel yakıtına göre 20KB80D yakıtı için ise maksimum artış 2000W yükte %56 yükselmiştir. 20KB80D yakıtının maksimum CO emisyon azalması 3000W yükünde %62 olarak elde edilmiştir. İçerdiği O<sub>2</sub> miktarınca CO'lar CO<sub>2</sub>'ye hızlı çevrileceği için dizel yakıtına kıyasen KB yakıtlarında tam yükte bu düşüşler CO emisyonunun iyileştiğinin göstergesidir. Ayrıca tam yük bölgesinde H/Y oranı azaldığı için bütün yakıtlarda CO miktarı artmıştır.

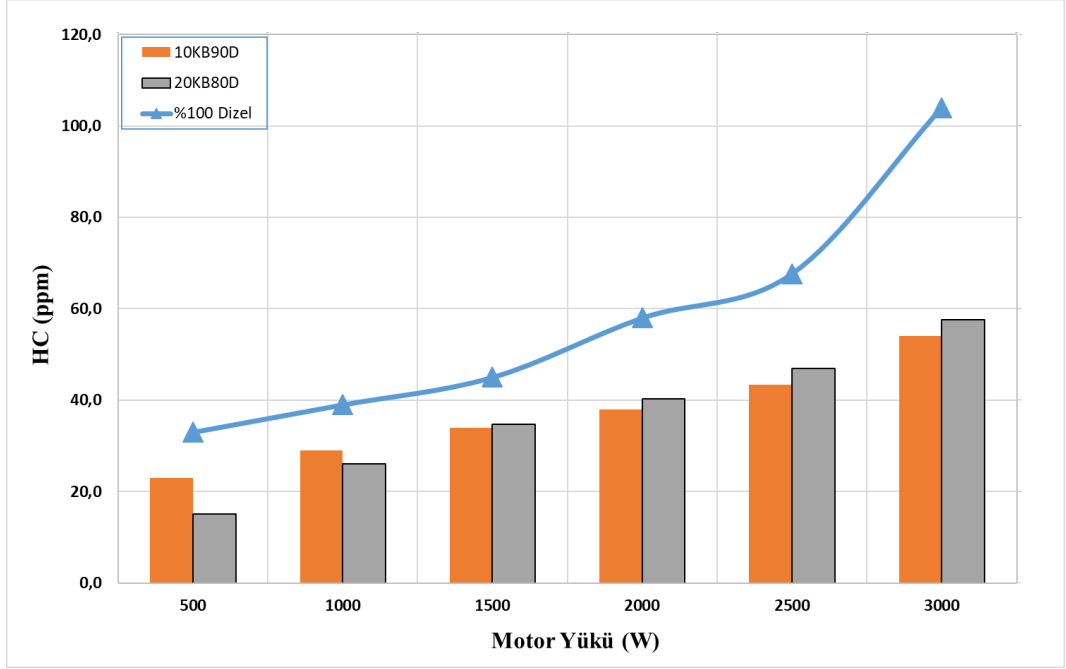


Şekil 6.3. CO gazının farklı yüklere ve KB oranına bağılı olarak değışimi.

## 6.2.2. HC Emisyonu

Dizel, 10KB90D ve 20KB80D yakıtlarının farklı yüklerde HC emisyonuna etkisi Şekil 6.4'te verilmiştir. HC emisyonunun oluşmasının temel nedeni yakıtın tamamının ya da bir kısmının yanmamasından kaynaklanır. HC emisyonları, silindirin belirli bölgelerinde, H/Y karışım oranının çok düşük ya da çok yüksek olması sonucu bir kısmının yanmamasından dolayı meydana gelen yakıt moleküllerinden oluşur [56]. HC emisyonlarının artmasının nedeni düşük bileşimli karışımda hava miktarının çok artması ile silindir içerisindeki yakıtın kısmi bölgelerde sönmesidir [28]. Şekil 6.4 incelendiğinde; KB oranı belirli bir seviyeye kadar arttıkça HC emisyonunda azalmalar görülmektedir. Fakir karışımlarda HC emisyon miktarları daha yüksektir. HC emisyonları standart dizel yakıtına eklenen KB yakıt miktarı arttıkça değışkenlik göstermiştir. Bu değışkenler dizel yakıtı göre sürekli düşüşte olsa da içerdiği O<sub>2</sub> miktarınca H/Y oranı O<sub>2</sub>'nin tepkimede yanıcı olmasından dolayı H/Y oranını tamamlayarak HC emisyonunu azaltmıştır. 10KB90D yakıtında 1000W yükte HC emisyonu %25 azalırken, 3000W yükte maksimum azalma %50'yi bulmuştur. 20KB80D yakıtında ise minium HC emisyon azalması

%23 ile 1500W'ta gerçekleşmiştir. Maksimum HC emisyon düşüşü ise 500W yükünde %54 olarak tespit edilmiştir.



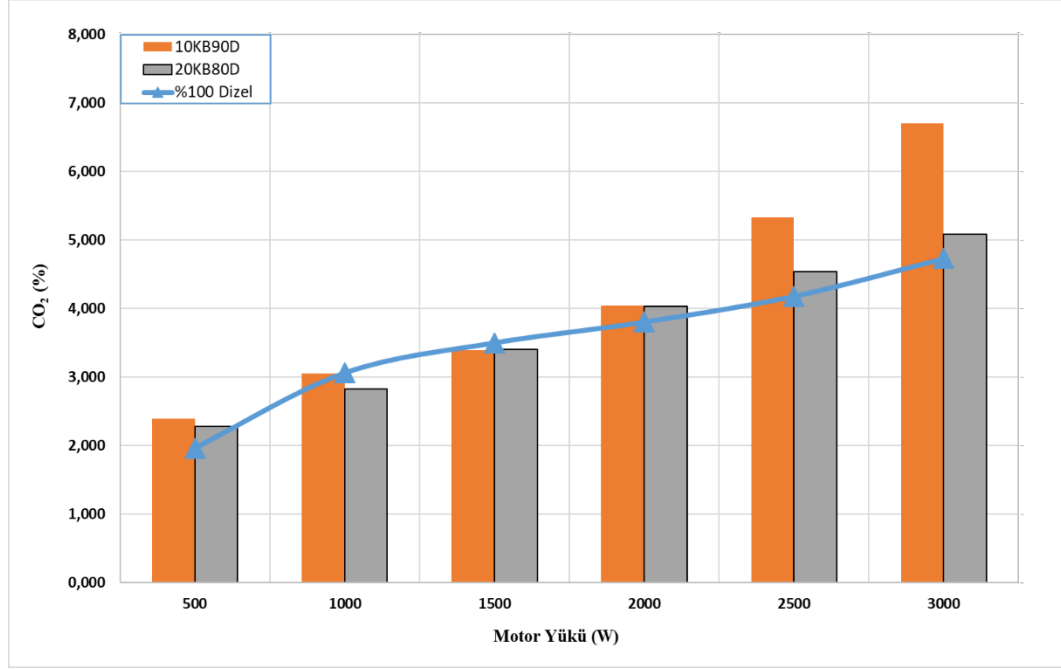
Şekil 6.4. HC bileşiğinin farklı yüklerle ve KB oranına bağlı olarak değişimi.

### 6.2.3 CO<sub>2</sub> Miktarı

Dizel yakıtındaki CO<sub>2</sub> miktarı ve 10KB90D ve 20KB80D yakıtlarının CO<sub>2</sub> miktarları Şekil 6.5'te verilmiştir. Yakıtın içerisindeki yeterli miktardaki O<sub>2</sub> miktarı CO<sub>2</sub> emisyon miktarını artırır.

Karışım içindeki O<sub>2</sub> miktarı dizele göre daha fazladır. Yük ile doğru orantılı arttığı için ve yanma yeterli olduğu için CO<sub>2</sub> emisyonu yükselmektedir. Yapılan deneyler neticesinde dizel yakıtına göre 10KB90D yakıtının maksimum azalan CO<sub>2</sub> miktarı, 1500W yükünde %3,2'lik düşüş görülmektedir. 10KB90D yakıtında maksimum artan CO<sub>2</sub> miktarı 3000W yükte %41,7 olarak elde edilmiştir. CO<sub>2</sub> miktarının bu denli artmasının temel sebebi CO emisyonunda bahsedildiği üzere O<sub>2</sub> miktarı dizel yakıtına göre fazla olduğundan tepkime sonucu dönüştürülen CO<sub>2</sub> miktarı artmaktadır.

Dizel yakıtına göre 20KB80D yakıtında ise 500W yükünde maksimum %16,4'lük bir artış olurken 2500W yükünde ise maksimum %7,5'lik düşüş olmuştur.



Şekil 6.5. CO<sub>2</sub> gazının farklı yüklere ve KB oranına bağlı olarak değişimi.

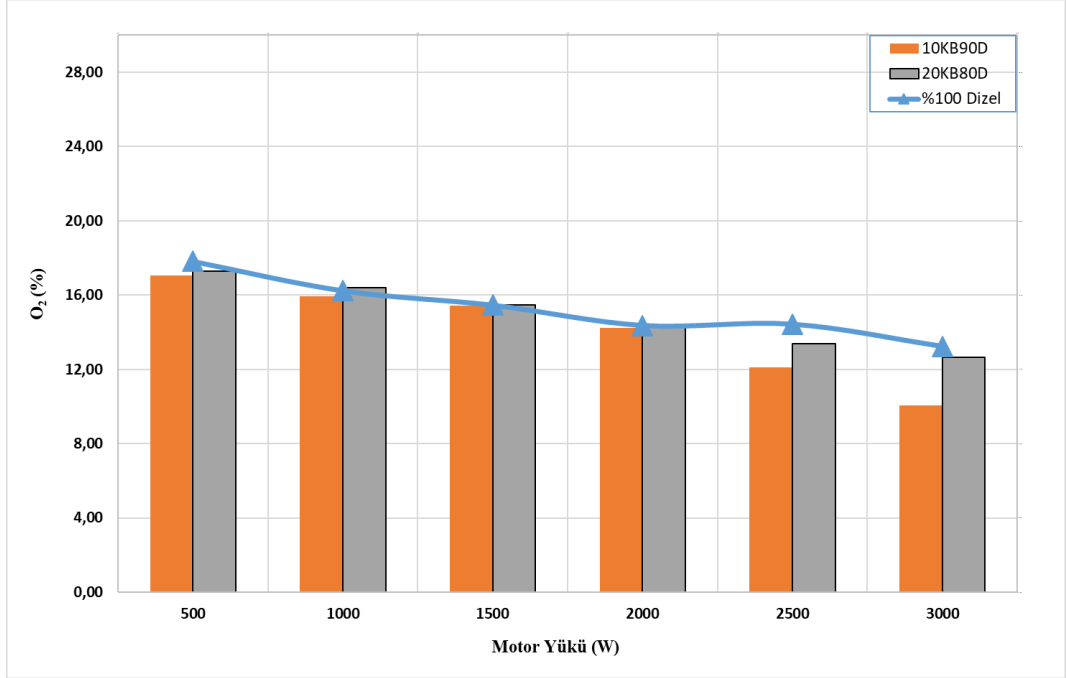
#### 6.2.4. O<sub>2</sub> Miktarı

Dizel yakıtındaki O<sub>2</sub> miktarı yüklere bağlı olarak ve dizel yakıtına ilave edilen %10 ve %20 kenevir tohumu yağ karışımları Şekil 6.6'da verilmiştir. Yenilenebilir bir tür olan biyodizelin içerisinde diğer yakıtlara oranla daha yüksek O<sub>2</sub> miktarıdır. Şekil incelendiğinde O<sub>2</sub> miktarı yük arttıkça azalmaktadır. Bunun temel sebebi de yanmadan dolayı O<sub>2</sub> miktarının azalmasıdır. O<sub>2</sub> miktarı, standart dizel yakıtına eklenen KB yakıt miktarı arttıkça değişkenlik göstermiştir.

Bu değişkenler 10KB90D yakıtında maksimum azalan O<sub>2</sub> miktarı 3000W'teki değeri %24'ü bulmuştur. Verilen şekiller birleştirildiğinde 3000W yükte CO emisyonundaki azalma, gerçekleşen tepkimelerce CO<sub>2</sub> miktarında artış ve O<sub>2</sub> miktarlarında azalış beklemek gerekir. Verilen şekiller bu şartları sağlamıştır. 20KB80D yakıtında ise



maksimum O<sub>2</sub> miktarındaki düşüş 2500W'ta %7,3 olurken 1000W'ta %1'lik bir artış gözlenmiştir.

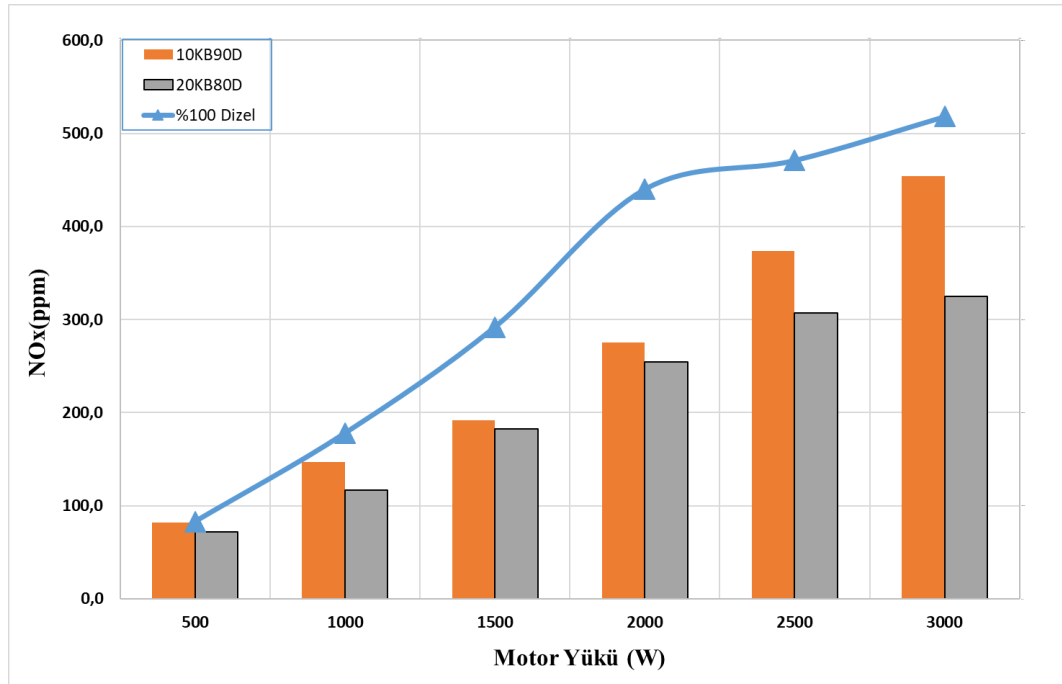


Şekil 6.6. O<sub>2</sub> gazının farklı yüklere ve KB oranına bağlı olarak değişimi.

### 6.2.5. NO<sub>x</sub> Emisyonu

Standart dizel yakıtının azot oksit emisyonuna etkisi ve dizel yakıtına kenendir tohumu yağının ilavesinin NO<sub>x</sub> etkisi Şekil 6.7'de verilmiştir. Dizel motorlarında NO<sub>x</sub> oluşumunun temel sebebi yanmanın ardından sıcaklığın artmasıdır [29]. Yanma esnasında oluşan yüksek sıcaklıklarda havanın içerisindeki azotun oksijenle reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler meydana gelmektedir [57]. Kenendir biyodizelinin dizel yakıtına katılmasıyla, karışımdaki kenendir biyodizel oranı arttıkça NO<sub>x</sub> emisyonlarının da azaldığı görülmüştür. Bu azalmanın sebebi kenendir biyodizelinin standart dizel ile karışması sonucu buharlaşma ısısının yüksek olması ve O<sub>2</sub> miktarıdır. Yoğunluğun ve ısıl enerjisinin düşmesi sonucu silindir içerisindeki NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşması için yeterli sıcaklığa ulaşamamasıdır. Şekil 6.7'yi incelendiğinde 10KB90D yakıtıyla NO<sub>x</sub> emisyonunda dizel yakıtına göre 500W'ta %1 azalma elde edilmiştir. Sırasıyla 1000W'ta %17,5, 1500W'ta %34,3, 2000W'ta

%37,3, 2500W'ta %20,5 ve 3000W'ta %12,35 NO<sub>x</sub> emisyonu azalmıştır. Oksijence zengin ve düşük enerji içeriğine sahip yakıt karışımları genellikle yanma sonu sıcaklıklarının düşmesine sebep olur. 20KB80D yakıtında ise 10KB90D yakıtına oranla NO<sub>x</sub> emisyonu daha düşüktür. Şekil 6.14 incelendiğinde 500W'ta %12,9 azalma elde edilmiştir. Sırasıyla 1000W'ta %34,4, 1500W'ta %37,5, 2000W'ta %42,2, 2500W'ta %34,8 ve 3000W'ta %37,3 NO<sub>x</sub> emisyonu azalmıştır. Bütün azalma ve artmalar standart dizel yakıtına oranla söylenmiştir. Normal şartlar altında NO<sub>x</sub> emisyonu yük ve sıcaklık arttıkça artmaya devam etmektedir. Daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyon değerleri 10KB90D yakıt ile elde edilirken, 20KB80D içeren karışımlarda daha düşük NO<sub>x</sub> seviyeleri elde edilmiştir [58].

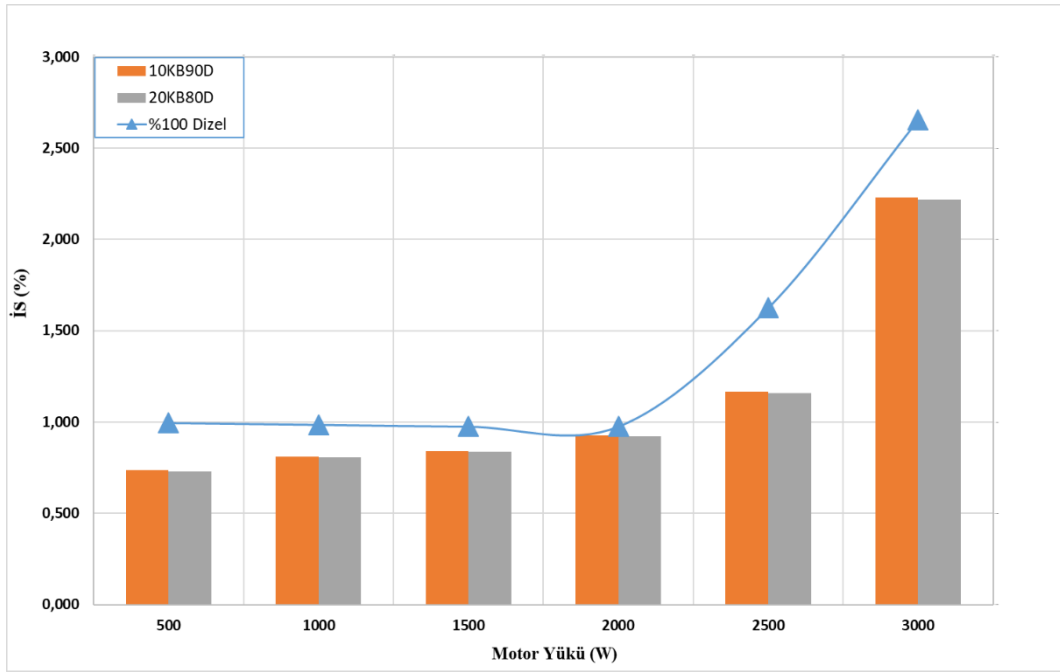


Şekil 6.7. NO<sub>x</sub> gazının farklı yüklere ve KB oranına bağlı olarak değişimi.

### 6.2.6. İş Emisyonu

Standart dizel yakıtının iş emisyonu ve dizel yakıtına kenevir tohumu yağı ilavesinin iş emisyonlarına etkisi Şekil 6.8'de verilmiştir. Şekil 6.8'de görüldüğü gibi motor yükü arttıkça iş emisyonları da artmaktadır. 10KB90D yakıtının ve 20KB80D yakıtının değerleri benzer çıkmıştır. 500W yükünde %26,'lık bir azalma

görülmüştür. Ardından 1000W, 1500W, 2000W, 2500W ve 3000W yükte sırasıyla %18, %14, %5, %29 ve %16'lık azalmalar görülmüştür. Kenevir tohumu yağının yapısında oksijen bulunması is emisyonunun azalmasında etkili olmaktadır. Yüksek setan sayılı yakıtlarda tutuşma gecikmesi çok kısa olmaktadır. Bunun sonucunda yakıt ile hava etkin biçimde karıştığı için is emisyonları azalmaktadır. Şekil incelendiğinde artan yük ile birlikte is emisyon %'si de arttığı görüldüğünü sebebi yük arttıkça yakıt tüketiminin artması ve is emisyonunu yükseltmesidir.



Şekil 6.8. Partikül ve is emisyonun farklı yüklere ve KB oranına bağlı olarak değişimi.

## BÖLÜM 7

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada tek silindirli düşük güçlü dizel bir motorda kenevir tohumu yağını iki farklı oranda (%10 ve %20) dizel ile karıştırılması ile oluşturulan yakıt karışımları ve dizel olmak üzere üç farklı yakıt (10KB90D, 20KB80D ve Dizel yakıt) kullanılmıştır. Motor deneyleri 500-3000W aralığında çeşitli yüklerde yapılmış olup motor performansı açısından FEV ve FÖYT incelenmiştir. Egzoz emisyonları ise CO, HC, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve is değişkenlerinin analizi yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- FEV, kenevir biyodizelinin içerisinde bulundurduğu O<sub>2</sub>'nin yanma odasında homojen bir karışım oluşturmasından dolayı kenevir biyodizel miktarına ve verilen yüklere bağlı olarak artış göstermiştir. Bu artış hem 10KB90D hem de 20KB80D yakıtında sürekli artmıştır. Maksimum artış 20KB80D yakıtında 1500W yükünde %9 gözlenmiştir. Minimum artış ise 10KB90D yakıtının 2500W yükünde %1 artış olarak gerçekleşmiştir. Elde edilen yakıtlar dizel ile karşılaştırıldığında FEV olarak daha iyi performans vermiştir.
- FÖYT, 10KB90D ve 20KB80D yakıtlarının alt ısıl değerleri standart dizel yakıtın alt ısıl değerinden düşük olduğundan motoru veya jeneratörü çalıştırmak için daha fazla yakıt tüketimi gerekmektedir. Ayrıca 10KB90D ve 20KB80D karışımlarının yoğunlukları standart dizel yakıtı göre yoğunluğu daha düşüktür. Bundan dolayı, motorun aynı çıkış gücünü verebilmesi için silindir içerisine püskürtülen yakıtın kütlesinin artırılması gerekir. Karışımdaki kenevir tohumu yağı miktarı arttıkça FÖYT artmıştır. En yüksek yakıt tüketimi (en düşük artış) %11,8 ile 500W yükte kullanılmakta olsa da en yüksek artış %202 ile 3000W yükünde gerçekleşmiştir.

- Standart dizel yakıtının içerisinde kenevir tohumu yağı eklenerek elde edilen 10KB90D yakıtında CO emisyonu azalırken 20KB80D yakıtının CO emisyonu artmıştır. 10KB90D yakıtının içerisinde çoğu yükte yeterli O<sub>2</sub> miktarından dolayı CO emisyonunda iyileşmeler olmuştur. 20KB80D yakıtında ise 3000W yük haricinde CO emisyonunda O<sub>2</sub> miktarı yetersiz olduğu için artışlar söz konusudur. Maksimum CO emisyon artışı %56 ile 20KB80D yakıtı olurken, maksimum CO emisyon düşüşü de yine 20KB80D yakıtında 3000W yükte %62 ile gerçekleşmiştir.
- Yakıtın bir kısmının yanmamasından kaynaklanan HC emisyonunda ise deneyde kullanılan iki yakıt içinde düşüş gözlenmiştir. Maksimum düşüş 10KB90D yakıtında 3000W yükünde %50'dir.
- O<sub>2</sub> miktarı, standart dizel yakıtına eklenen KB yakıt miktarı arttıkça değişkenlik göstermiştir. Maksimum düşüş 10KB90D yakıtında 3000W yükünde olmuştur. Karışımındaki O<sub>2</sub> miktarı yük arttıkça arttığı için CO<sub>2</sub> ve yanma yeterli olduğu için CO<sub>2</sub> emisyonu artmaktadır. CO<sub>2</sub> bakımından kıyaslandığı takdirde 20KB80D yakıtı 10KB90D yakıtına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Maksimum artış 3000W yükte %41,7 ile 10KB90D yakıtında oluşurken maksimum düşüş 1000W yükünde %7,5 ile 20KB80D yakıtında oluşmuştur.
- Kenevir biyodizelinin dizel yakıtla karışımında, kenevir biyodizel oranı arttıkça NO<sub>x</sub> emisyonlarının da azaldığı görülmüştür. Bu azalmanın sebebi kenevir biyodizelinin standart dizel ile karışım sonucu buharlaşma ısısının yüksek olması ve O<sub>2</sub> miktarıdır. Yoğunluğun ve ısı enerjisinin düşmesi sonucu silindir içerisindeki NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşması için yeterli sıcaklığa ulaşamamasıdır. 20KB80D yakıtının NO<sub>x</sub> emisyon değerleri 10KB90D yakıtına göre daha düşüktür. Minimum NO<sub>x</sub> emisyon düşüşü %1 ile 500W yükte 10KB90D yakıtında oluşurken. Maksimum NO<sub>x</sub> düşüşü 2000W yükte %42,2 ile 20KB80D yakıtında gözlenmiştir.

- İis emisyonunda ise karışımdaki KB oranı arttıkça is emisyonu azalmaktadır. Kenevir tohumu yağının yapısında oksijen bulunması is emisyonunun azalmasında etkili olmaktadır. Yüksek setan sayılı yakıtlarda tutuşma gecikmesi çok kısa olmaktadır. Bunun sonucunda yakıt ile hava etkin biçimde karışmadığı durumlarda da is emisyonları artmaktadır. İki yakıt kıyaslandığında is emisyon değerleri benzer çıkmaktadır ve is emisyonu sürekli azalmaktadır. Maksimum azalma %29 ile 2500W yükte gerçekleşirken minimum azalma %5 ile 2000W yükte gerçekleşmiştir.
- Deneysel çalışmalarda elde edilen veriler göstermektedir ki; standart dizel yakıtın içerisine oksijen içeren kenevir tohumu yağından elde edilen 10KB90D ve 20KB80D yakıtı eklenmesiyle CO, HC, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve is emisyonları azalmaktadır. Karışımda kullanılan yakıtların egzoz emisyonları bakımından doğayla uyumlu bir yakıt olduğunu söyleyebiliriz.

Bu çalışma konusuna göre şu öneriler yapılabilir:

- Yakıt maliyetleri bakımından kenevir tohumu yağının litre fiyatı standart dizel yakıtın litre fiyatından 14 kat daha fazladır. Gelecekte biyo-yakıtların üretim maliyetinin düşmesi durumunda kullanılabilirler.
- Kenevir biyodizelinde daha iyi motor performansları alınabilmesi için püskürtülen yakıt basıncı artırılıp enjektör güçlendirilebilir. Ayrıca yakıt karışımı içerisine nano parçacıklar katılarak performans ve emisyonlara etkisi incelenebilir.

## KAYNAKLAR

1. Banapurmath, N. R., Tewari, P. G., Hosmath, R. S. Combustion an emission characteristics of a direct injection. *International Journal of Sustainable Engineering*. 2008, 1(2), 80-93.
2. Aksoy, F., Bayrakçeken, H., Baydır, Ş. A., Yavuz, H. Kanola yağı metil esterine ön ısıtma uygulamasının motor performans ve emisyonlarına etkisi. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 2009, 1(1), 25-33.
3. Peterson, C. L., Reece, D. L., Thompson, J. C., Beck, S. M., Chase, C. Ethyl ester of rapeseed used as a biodiesel fuel. *Biomass and Bioenergy*. 1996, 10(5-6), 331- 336.
4. Şimşek D., Ayçiçeği yağından elde edilen biyodizelin motor performans ve emisyonlarına etkisi. *Selçuk-Teknik Dergisi*. 2016, 15(3), 186-198.
5. Esenlioğulları B, "Üzüm ve Vişne Çekirdeği Yağlarından Elde Edilen Metil Esterlerin Motor Performans ve Emisyon Karakteristiklerine Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa (2021).
6. M. Saif, U. Rehman, N. Rashid, A. Saif, T. Mahmood, and J. Han, "Potential of bioenergy production from industrial hemp ( Cannabis sativa ): Pakistan perspective," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 18, pp. 154–164, 2013.
7. Şimşek S., "Fuzel Yağı Özelliklerinin İyileştirilmesi Ve Buji Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Kullanımının Performans Ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük 1-125 (2018).
8. İnternet: Enerji Atlası, "Ülkelere Göre Dünya Petrol Rezervi" <https://www.enerjiatlası.com/rezerv/dunya-petrol-rezervi.html>
9. Saleh M., "Gökkuşuğu Alabalığı (Oncorhynchus mykiss) Üretiminde Kenevir Tohumu Yağının (Cannabis Sativa) İmmunostimulant Potansiyelinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Kastomonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük 1-45 (2019).
10. Anderson, L.C. Leaf variation among Cannabis species from a controlled garden. Botanical Museum Leaflets, *Harvard University*, 28(1), 61-69. (1980).

11. Gönen, S., “Cannabis sativa Linn bitkisinin morfolojisi ve anatomisi üzerine bir araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi*, 87. (2009).
12. U. Rashid, S. G. Bhatti, T. M. Ansari, R. Yunus, and M. Ibrahim, “Biodiesel production from Cannabis sativa oil from Pakistan,” *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 38, no. 6, pp. 865–875, 2016, doi: 10.1080/15567036.2013.803179.
13. M. Mutinsumu, K. M. Taba, T. Silou, T. J. Kindala, K. J. Galama, and M. Tshiombe, “Properties of biodiesel from Cannabis sativa and Carapa procera seeds by homogeneous catalysis,” *Int. J. Agric. Food Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 59–63, 2014.
14. D. Ravichandra, R. K. Puli, V. P. Chandramohan, and V. E. Geo, “Experimental analysis of Deccan hemp oil as a new energy feedstock for compression ignition engine,” *Int. J. Ambient Energy*, vol. 40, no. 6, pp. 634–644, (2019).
15. C. B. John, A. R. Solamalai, R. Jambulingam, and D. Balakrishnan, “Estimation of fuel properties and characterization of hemp biodiesel using spectrometric techniques,” *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 00, no. 00, pp. 1–18, (2020).
16. A. Alcheikh, “Advantages and challenges of hemp biodiesel production,” *Univ. Gavle*, vol. 1, no. June, pp. 1–31, (2015).
17. Afif M., Biradar C., “Production of Biodiesel from Cannabis sativa (Hemp) Seed oil and its Performance and Emission Characteristics on DI Engine Fueled with Biodiesel Blends”, *IRJET Journal*, (2019).
18. K. Bauddh, B. Singh, and J. Korstad, “Phytoremediation potential of bioenergy plants,” *Phytoremediation Potential of Bioenergy Plants*, pp. 1–472, (2017),
19. M. Su, R. Yang, and M. Li, “Biodiesel production from hempseed oil using alkaline earth metal oxides supporting copper oxide as bi-functional catalysts for transesterification and selective hydrogenation,” *Fuel*, vol. 103, pp. 398–407, (2013).
20. Yılcılar M., “Ketencik Yağı Metil Esterine Pentanol İlavesinin Dizel Motor Performans Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüst Eğitim Enstitüsü* , Sakarya, (2020).
21. Yıldız M., “Ketencik Biyodizelinin Ve Eurodiesel Karışımlarının Taşıtlı Performansına Ve Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya 2021.



22. Uslu S., “Düşük Güçlü Bir Dizel Motorda Dietil Eter Kullanılmasının Motor Parametrelerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük (2015).
23. Aydoğan B., “Biyodizel Kullanılan Dizel Motorlarda NO<sub>x</sub> Emisyonlarının Ve NO<sub>x</sub> Emisyonları Azaltma Yöntemlerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Denizli (2008).
24. Yaylı A., “İçten Yanmalı Dizel Motor Konsept Tasarımında Parametrik Tasarım Yönteminin Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2019).
25. İlkılıç C., “Çeşitli Alternatif Yakıtların Dizel Motoru Emisyonlarına Etkilerinin Teorik Ve Deneysel İncelenmesi”, Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ (1999).
26. Şimşek S. “Pirolize Edilmiş Lastik Yağı Kullanılarak Elde Edilen Yakıtın Tek Silindirli Dizel Motor Performans ve Emisyonlara Etkisi” **Mühendislikte Yakıtlar, Yangın ve Yanma Dergisi**, Vol (8): 28-36, (2020).
27. M. Kadir, Y. Zeki, and Y. Mustafa, The performance , emissions , and combustion characteristics of an unmodified diesel engine running on the ternary blends of pentanol / safflower oil biodiesel / diesel fuel, no. 0123456789. **Springer International Publishing**, (2020).
28. Mekaoussi M., “Evaluation, Characterization And Engine Performance Of Complementary Fuel Blends Of Butanol-Biodiesel-Diesel Blends From Aleurites Moluccanus As Potential Alternative Fuels For CI Engines,” Yüksek Lisans Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri (2017).
29. A. E. Atabani, G. Uguz, G. Kumar, A. Ayanoglu, M. N. Mohammed, ve H. Farouk, “Perspective of safflower ( Carthamus tinctorius ) as a potential biodiesel feedstock in Turkey: characterization , engine performance and emissions analyses of butanol – biodiesel – diesel blends,” **Biofuels**, vol. 0, no. 0, pp. 1–17, (2017).
30. Karaboğa A., “Hamsi (Engraulis Encrasicolus) Yağından Üretilen Biyodizelin Bazı Alkoller Ve Motorinle Karışımlarının Motor Performansı Ve Emisyon Değerlerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya (2019).
31. M. Kadir, C. Cesur, V. Aslan, and Z. Yilbasi, “The production of biodiesel from safflower ( Carthamus tinctorius L .) oil as a potential feedstock and its usage in compression ignition engine: A comprehensive review,” **Renew. Sustain. Energy Rev.**, no. October, p. 109574, 2019.

32. Köse H., “Cynara Cardunculus’dan Biyoyakıt Üretimi Ve Üretilen Yakıtın Farklı Karışımlarının Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2018).
33. Irgın R., “Haşhaş ( Papaver Somniferum L.) Yağından Biyodizel Üretimine Etki Eden P Arametrelerin Optimizasyonu”,Yüksek Lisans Tezi *Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat* (2019).
34. Karamanlı İ., “Soya Ve Fındık Yağı Karışımından Üretilen Biyodizelin Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar (2015).
35. Lichtfouse E., “Hemp Production and Applications”, *Sustainable Agriculture Reviews 42*, France, (2018).
36. B. R. Moser, “Preparation of fatty acid methyl esters from hazelnut , high-oleic peanut and walnut oils and evaluation as biodiesel,” *Fuel*, vol. 92, no. 1, pp. 231–238, (2012).
37. Şener Ö., “BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA ALTERNATİF YAKIT KULLANIMI”, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2016).
38. Gümüş M., “İçten Yanmalı Motorların Doğal Gazın Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması”, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (1998).
39. Polat S., “Alternatif motorlar ve yakıtlar” *MEGEP*, pp. 1–93, 2011.
40. Gündoğan K., “ALTERNATİF YAKITLARIN BENZİNLİ MOTOR PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ”, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale (2005).
41. Kuş R., “Motorlu taşıtlarda alternatif yakıt kullanımı” *2. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi*, (1999).
42. Keskin M., “Türkiyede Biyodizel Üretiminde Karşılaşılan Sorunlar Ve Çözüm Önerileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay (2013).
43. Kahraman N. ve Akansu S., “İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Hidrojen Kullanılması”, *Mühendis Makina* Cilt : 48 Sayı: 569 pp. 9–15.
44. Karagöz Y., “İçten Yanmalı Motorlarda Hidrojenin Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2012).

45. Batmaz İ. ve Murcak A., “Dizel Motorlarında Hidrojenin Ek Yakıt Olarak Kullanılmasının Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi”, *Politeknik Dergisi* Cilt: 7 Sayı: 2 s. 119-128, (2004)
46. Uluturk E., “Tavuk Kesimhanesi Rendering Yağından Biyodizel Üretimi Ve Dizel Motoru Performans, Emisyon Ve Yanma Karakteristikleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Bolu (2020).
47. Kılınçlı Ö. “Biodiesel Production”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege University Graduate School Of Natural And Applied Sciences*, İzmir (2011).
48. Bedir Ö. “Kalsiyum İçerikli Farklı Atıklardan Üretilen Heterojen Katalizörlerin Biyodizel Üretiminde Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum (2020).
49. Eryılmaz T., Kadir M., Cesur C, ve Gokdoğan O., “Biodiesel production potential from oil seeds in Turkey,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 58, pp. 842–851, (2016).
50. Budak, N., Bayındır, H. ve Yücel H.L. “Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Performans Ve Egzoz Emisyonları Açısından Değerlendirilmesi”, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır (2009).
51. Tillem İ., “Dizel Motorlar İçin Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Üretimi Ve Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli (2005).
52. Akder, A.H., Çakmak, E.H., Levent, H., Karaosmanoğlu, F., “Türkiye’de Tarım ve Gıda: Gelişmeler, Politikalar ve Öneriler”, *TÜSİAD Rapor No:T/2008-05/459*, İstanbul, (2008).
53. İnal O., “Deri Endüstrisi Atık Yağlarından Üretilen Biyodizelin Dizel Motor Yanma Performans Ve Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bolu (2020).
54. Uyaroğlu A., “Crambe Tohumlarından Biyodizel Üretimi Ve Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2015).
55. Şimşek S., “Effects of biodiesel obtained from Canola , sefflower oils and waste oils on the engine performance and exhaust emissions,” *Fuel*, vol. 265, no. November 2019, p. 117026, (2020).

56. Uslu S. and Çelik M.B., “Combustion and emission characteristics of isoamyl alcohol-gasoline blends in spark ignition engine,” *Fuel*, vol. 262, no. October 2019, p. 116496, (2020).
57. Uslu S. ve Şimşek S., “Analysis of the effects of cetane improver addition to diesel on engine performance and emissions”, *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, e-ISSN: 2146 - 9067 , (2020).
58. Şimşek S. ve Uslu S., “Comparative evaluation of the influence of waste vegetable oil and waste animal oil-based biodiesel on diesel engine performance and emissions,” *Fuel*, vol. 280, no. July, p. 118613, 2020.

**EK AÇIKLAMALAR A.**

**PERFORMANS DEĞERLERİ**

Çizelge EK A.1. Dizel yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

| Motor Yüğü<br>(watt) | FEV<br>(%)    | ÖYT<br>(g/kWh) |
|----------------------|---------------|----------------|
| 500                  | <b>22,60</b>  | <b>974,91</b>  |
| 1000                 | <b>23,24</b>  | <b>565,44</b>  |
| 1500                 | <b>23,42</b>  | <b>386,18</b>  |
| 2000                 | <b>24,60</b>  | <b>342,25</b>  |
| 2500                 | <b>245,99</b> | <b>321,70</b>  |
| 3000                 | <b>26,09</b>  | <b>319,78</b>  |

Çizelge EK A.2. 10KB90D yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

| Motor Yüğü<br>(watt) | FEV<br>(%)   | ÖYT<br>(g/kWh) |
|----------------------|--------------|----------------|
| 500                  | <b>24,16</b> | <b>1090,32</b> |
| 1000                 | <b>24,55</b> | <b>1072,65</b> |
| 1500                 | <b>25,03</b> | <b>1051,95</b> |
| 2000                 | <b>25,61</b> | <b>1027,60</b> |
| 2500                 | <b>26,37</b> | <b>999,07</b>  |
| 3000                 | <b>27,30</b> | <b>966,57</b>  |

Çizelge EK A.3. 20KB80D yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

| Motor Yüğü<br>(watt) | FEV<br>(%)   | ÖYT<br>(g/kWh) |
|----------------------|--------------|----------------|
| 500                  | <b>24,67</b> | <b>1103,47</b> |
| 1000                 | <b>25,08</b> | <b>1086,18</b> |
| 1500                 | <b>25,58</b> | <b>1065,62</b> |
| 2000                 | <b>26,17</b> | <b>1041,17</b> |
| 2500                 | <b>26,88</b> | <b>1012,16</b> |
| 3000                 | <b>27,81</b> | <b>978,66</b>  |

**EK AÇIKLAMALAR B.**

**EMİSYON DEĞERLERİ**

Çizelge EK B.1. Dizel yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

| Motor yükü<br>(watt) | CO<br>(%)    | HC<br>(ppm)  | CO <sub>2</sub><br>(%) | O <sub>2</sub><br>(%) | İs<br>(%)    | NO <sub>x</sub><br>(ppm) |
|----------------------|--------------|--------------|------------------------|-----------------------|--------------|--------------------------|
| 500                  | <b>0,102</b> | <b>33,0</b>  | <b>1,964</b>           | <b>17,83</b>          | <b>0,995</b> | <b>83,0</b>              |
| 1000                 | <b>0,073</b> | <b>39,0</b>  | <b>3,060</b>           | <b>16,24</b>          | <b>0,985</b> | <b>178,0</b>             |
| 1500                 | <b>0,056</b> | <b>45,0</b>  | <b>3,500</b>           | <b>15,46</b>          | <b>0,975</b> | <b>292,0</b>             |
| 2000                 | <b>0,032</b> | <b>58,0</b>  | <b>3,804</b>           | <b>14,36</b>          | <b>0,975</b> | <b>440,0</b>             |
| 2500                 | <b>0,032</b> | <b>67,7</b>  | <b>4,180</b>           | <b>14,43</b>          | <b>1,625</b> | <b>471,0</b>             |
| 3000                 | <b>0,126</b> | <b>104,0</b> | <b>4,730</b>           | <b>13,23</b>          | <b>2,655</b> | <b>518,0</b>             |

Çizelge EK B.2. 10KB90D yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

| Motor yükü<br>(watt) | CO<br>(%)    | HC<br>(ppm) | CO <sub>2</sub><br>(%) | O <sub>2</sub><br>(%) | İs<br>(%)    | NO <sub>x</sub><br>(ppm) |
|----------------------|--------------|-------------|------------------------|-----------------------|--------------|--------------------------|
| 500                  | <b>0,085</b> | <b>23,0</b> | <b>2,392</b>           | <b>17,04</b>          | <b>0,735</b> | <b>82,0</b>              |
| 1000                 | <b>0,071</b> | <b>29,0</b> | <b>3,057</b>           | <b>15,93</b>          | <b>0,810</b> | <b>146,7</b>             |
| 1500                 | <b>0,054</b> | <b>34,0</b> | <b>3,390</b>           | <b>15,44</b>          | <b>0,840</b> | <b>191,7</b>             |
| 2000                 | <b>0,041</b> | <b>38,0</b> | <b>4,039</b>           | <b>14,24</b>          | <b>0,925</b> | <b>275,7</b>             |
| 2500                 | <b>0,041</b> | <b>43,3</b> | <b>5,330</b>           | <b>12,12</b>          | <b>1,168</b> | <b>373,7</b>             |
| 3000                 | <b>0,077</b> | <b>54,0</b> | <b>6,705</b>           | <b>10,05</b>          | <b>2,230</b> | <b>454,0</b>             |

Çizelge EK B.3. 20KB80D yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

| Motor yükü<br>(watt) | CO<br>(%)    | HC<br>(ppm) | CO <sub>2</sub><br>(%) | O <sub>2</sub><br>(%) | İs<br>(%)    | NO <sub>x</sub><br>(ppm) |
|----------------------|--------------|-------------|------------------------|-----------------------|--------------|--------------------------|
| 500                  | <b>0,103</b> | <b>15,0</b> | <b>2,281</b>           | <b>17,28</b>          | <b>0,730</b> | <b>72,3</b>              |
| 1000                 | <b>0,080</b> | <b>16,0</b> | <b>2,830</b>           | <b>16,39</b>          | <b>0,805</b> | <b>116,7</b>             |
| 1500                 | <b>0,064</b> | <b>34,7</b> | <b>3,409</b>           | <b>15,46</b>          | <b>0,838</b> | <b>182,3</b>             |
| 2000                 | <b>0,050</b> | <b>40,3</b> | <b>4,032</b>           | <b>14,35</b>          | <b>0,922</b> | <b>254,3</b>             |
| 2500                 | <b>0,044</b> | <b>47,0</b> | <b>4,536</b>           | <b>13,38</b>          | <b>1,160</b> | <b>307,0</b>             |
| 3000                 | <b>0,078</b> | <b>57,7</b> | <b>5,085</b>           | <b>12,65</b>          | <b>2,220</b> | <b>324,7</b>             |



## ÖZGEÇMİŞ

Emre CANBAZ ilk ve ortaöğretimini aynı şehirde tamamladı. Liseyi Sokullu Mehmet Paşa Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine-Raylı Sistemler Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2018 yılında diplomasını aldı. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği A.B.D'de yüksek lisans eğitimine başladı. 2021 yılında 10 ay Ankara'da özel bir şirkette makine mühendisi olarak çalıştı. 2022 yılı itibariyle TSE kurumda çalışmaya devam etmektedir.