



**ATIK KIZARTMA YAĞLARINDAN ELDE EDİLEN  
BİYODİZELİN MOTOR PERFORMANSI VE  
EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kemal EROL**

**Danışman**

**Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Ayhan BAYDIR**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Eylül 2019**

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ATIK KIZARTMA YAĞLARINDAN ELDE EDİLEN  
BİYODİZELİN MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ  
EMİSYONLARINA ETKİLERİ**

**Kemal EROL**

**Danışman**

**Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Ayhan BAYDIR**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Eylül 2019**

### TEZ ONAY SAYFASI

Kemal EROL tarafından hazırlanan “Atık kızırtma yağlarından elde edilen biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 26 / 09 / 2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Dr.Öğr.Üyesi Şükrü Ayhan BAYDIR

İmza

**Başkan** : Doç. Dr. Yaşar Önder ÖZGÖREN

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

**Üye** : Doç. Dr. Ahmet UYUMAZ

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi,

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

**Üye** : Dr.Öğr.Üyesi Şükrü Ayhan BAYDIR

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

...../...../..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

## BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

15/10/2019

Kemal EROL

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ATIK KIZARTMA YAĞLARINDAN ELDE EDİLEN BİYODİZELİN MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİ

Kemal EROL

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Ayhan BAYDIR

Bu tez çalışmasında, atık kızartma yağından transesterifikasyon ile üretilen biyodizel (B100) tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda test edilerek motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri araştırılmıştır. B100 ve dizel yakıtlarından elde edilen değerler birbiri ile karşılaştırılmıştır. Deneyler 1800-3000 min<sup>-1</sup>'de 400 min<sup>-1</sup> aralıklarla tam yükte gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre motor torku B100 yakıtı kullanımı ile dizel yakıtına göre %6,64 azalmıştır. Bununla birlikte, B100 kullanımı ile dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimi %15,7 artmıştır. Biyodizelin dizel yakıtına göre ısıl değerinin düşük ve viskozitesinin yüksek olması, motor torkunu düşüren etkenlerdir. Ayrıca, B100 kullanımı ile dizel yakıtına göre CO ve HC emisyonları sırasıyla %25,4 ve %5,5 azalmıştır. Biyodizelin bünyesinde bulunan yüksek miktarda ki oksijen, eksik yanmanın ve zengin karışımın olduğu yerlerde yanmayı iyileştirmektedir. Bununla birlikte biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre NO<sub>x</sub> emisyonu %9,5 artmıştır. Biyodizelin bünyesinde ki oksijen, yanma bölgelerinin sayısını ve dolayısıyla sıcaklığı arttırmaktadır. Yüksek sıcaklık, uzun süreli tepkime ve yüksek oksijen miktarı NO<sub>x</sub> oluşumunun tetiklemektedir.

**2019, ix + 51 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Biyodizel, Motor performansı, Egzoz emisyonları, Transesterifikasyon.

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **THE EFFECTS OF BIODIESEL FROM WASTE FRYING OILS ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS**

Kemal EROL

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine Engineering

**Supervisor:** Asst. Prof. Şükrü Ayhan BAYDIR

In this thesis, biodiesel (B100) produced by transesterification from waste frying oil was tested in a single cylinder, direct injection diesel engine and its effects on engine performance and exhaust emissions were investigated. The values obtained from B100 and diesel fuels were compared with each other. The experiments were carried out at full load at 1800-3000 rpm with 400 rpm intervals. According to the test results, engine torque decreased by 6.64% compared to diesel fuel by using B100 fuel. However, with the use of B100, specific fuel consumption increased by 15.7% compared to diesel fuel. The low thermal value and high viscosity of biodiesel compared to diesel fuel are factors that reduce engine torque. Furthermore, CO and HC emissions were reduced by 25.4% and 5.5%, respectively, compared to diesel fuel with the use of B100. The high amount of oxygen contained in the biodiesel improves combustion where incomplete combustion and rich mixture occur. However, NO<sub>x</sub> emissions increased by 9.5% compared to diesel fuel with the use of biodiesel. Oxygen in the biodiesel increases the number of combustion zones and so the temperature. High temperature, prolonged reaction and high oxygen content trigger NO<sub>x</sub> formation.

**2019, ix + 51 pages**

**Keywords:** Biodiesel, Engine performance, Exhaust emissions, Transesterification.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Ayhan BAYDIR'a araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Fatih AKSOY'a, Sayın Öğr. Grv. Muhammed ARSLAN'a teşekkür ederim.

Motor performans ve emisyon deneyleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği bölümünde gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yapılmasına destek veren Sayın Doç. Dr. Yaşar Önder ÖZGÖREN'e teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Kemal EROL

AFYONKARAHİSAR, 2019

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

|                                                                         |      |
|-------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET .....                                                              | i    |
| ABSTRACT .....                                                          | ii   |
| TEŞEKKÜR .....                                                          | iii  |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....                                                 | iv   |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....                                    | vi   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                   | vii  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                                  | viii |
| RESİMLER DİZİNİ .....                                                   | ix   |
| 1. GİRİŞ .....                                                          | 1    |
| 2. BİTKİSEL YAĞLAR ve ATIK BİTKİSEL YAĞLARIN ÖZELLİKLERİ.....           | 3    |
| 2.1 Bitkisel Yağlar.....                                                | 3    |
| 2.1.1 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanım Olanakları.....           | 3    |
| 2.1.2 Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri .....                         | 4    |
| 2.2 Ayçiçeği Bitkisi .....                                              | 6    |
| 2.2.1 Ayçiçeği ve Ayçiçeği Yağının Fiziksel, Kimyasal Özellikleri ..... | 6    |
| 2.2.2 Atık Bitkisel Yağlar .....                                        | 6    |
| 2.3 Biyodizel .....                                                     | 7    |
| 2.3.1 Biyodizelin Özellikleri .....                                     | 8    |
| 2.3.1.1 Yoğunluk .....                                                  | 9    |
| 2.3.1.2 Parlama Noktası .....                                           | 9    |
| 2.3.1.3 Setan Sayısı .....                                              | 9    |
| 2.3.1.4 Isıl Değer .....                                                | 10   |
| 2.3.1.5 Soğukta Akış Özelliği .....                                     | 10   |
| 2.3.1.6 Yağlayıcılık .....                                              | 11   |
| 2.3.1.7 Toksik Etkisi.....                                              | 11   |
| 2.3.1.8 Biyobozunabilirlik.....                                         | 12   |
| 2.3.1.9 Oksidasyon Kararlılığı .....                                    | 12   |
| 2.3.1.10 Karbon Artığı .....                                            | 12   |
| 2.3.1.11 İyot Sayısı.....                                               | 12   |
| 2.3.1.12 Kinematik Viskozite.....                                       | 13   |
| 2.3.1.13 Kükürt İçeriği .....                                           | 14   |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.1.14 Su İçeriği .....                                      | 14 |
| 3. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....                                   | 15 |
| 4. DİZEL MOTORLARDA YANMA SAFHALARI .....                      | 23 |
| 4.1 Tutuşma Gecikmesi (TG) .....                               | 24 |
| 4.2 Kontrolsüz Yanma .....                                     | 24 |
| 4.3 Difüzyon Kontrollü Yanma .....                             | 24 |
| 4.4 Art Yanma .....                                            | 25 |
| 5. MATERYAL ve METOT .....                                     | 26 |
| 5.1 Biyodizel Üretimi .....                                    | 26 |
| 5.1.1 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Materyaller .....        | 28 |
| 5.1.1.1 Terazî .....                                           | 28 |
| 5.1.1.2 Manyetik Karıştırıcı .....                             | 29 |
| 5.1.1.3 Metil Alkol .....                                      | 30 |
| 5.1.1.4 Katalizör .....                                        | 31 |
| 5.1.2 Üretilen Biyodizelin Özellikleri .....                   | 32 |
| 5.2 Motor Performans Testleri ve Egzoz Emisyon Ölçümleri ..... | 34 |
| 5.2.1 Deney Motorunun Özellikleri .....                        | 35 |
| 5.2.2 Emisyon Cihazının Özellikleri .....                      | 36 |
| 6. PERFORMANS TESTİ SONUÇLARI .....                            | 38 |
| 7. SONUÇLAR .....                                              | 44 |
| 8. KAYNAKLAR .....                                             | 46 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                 | 52 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

|                 |                              |
|-----------------|------------------------------|
| C               | Karbon                       |
| cm <sup>3</sup> | Santimetreküp                |
| CO              | Karbon monoksit              |
| CO <sub>2</sub> | Karbon dioksit               |
| g               | Gram                         |
| K               | Kelvin                       |
| kg              | Kilogram                     |
| KOH             | Potasyum hidroksit           |
| l               | Litre                        |
| NaOH            | Sodyum hidroksit             |
| mm <sup>2</sup> | Milimetrekare                |
| ms              | Milisaniye                   |
| mg              | Miligram                     |
| NO <sub>x</sub> | Azot Oksitler                |
| O <sub>2</sub>  | Oksijen                      |
| Q <sub>c</sub>  | Yakıt alt ısı değeri (kJ/kg) |
| s               | Saniye                       |
| SO <sub>x</sub> | Kükürt oksit                 |
| SO <sub>2</sub> | Kükürt dioksit               |
| Vol.            | Volümetrik-Hacimsel          |

### Kısaltmalar

|      |                                              |
|------|----------------------------------------------|
| AB   | Avrupa Birliği                               |
| ABD  | Amerika Birleşik Devletleri                  |
| ASTM | Amerikan Standardı                           |
| B30  | %30 Biyoyakıt + %70 Dizel                    |
| B100 | %100 Biyoyakıt                               |
| DIN  | Alman Normu (Deutsches Institut für Normung) |
| EN   | Avrupa Standardı                             |
| HC   | Hidrokarbon                                  |
| HFRR | High Frequency Reciprocating Ring            |
| ISO  | Uluslararası Standard Organizasyonu          |
| KA   | Krank Açısı                                  |
| Ktep | Bin Ton Eşdeğerinde Petrol                   |
| Maks | Maksimum                                     |
| Min  | Minimum                                      |
| ÖYT  | Özgül yakıt tüketimi                         |
| PKDY | Petrol kökenli dizel yakıt                   |
| UV   | Ultraviyole                                  |
| ÜÖN  | Üst ölü nokta                                |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                     | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 4.1 Dizel motorlarında yanma diyagramı.....                                   | 23    |
| Şekil 6.1 Motor devrine bağlı olarak motor torku ve gücünün değişimi. ....          | 39    |
| Şekil 6.2 Motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi. ....            | 40    |
| Şekil 6.3 Motor devrine bağlı olarak CO emisyonlarındaki değişim. ....              | 41    |
| Şekil 6.4 Motor devrine bağlı olarak NO <sub>x</sub> emisyonlarındaki değişim. .... | 42    |
| Şekil 6.5 Motor devrine bağlı olarak HC emisyonlarındaki değişim. ....              | 43    |



## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                         | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Çizelge 2.1</b> Dizel ve Biyodizelin Özellikleri.....                                | 8     |
| <b>Çizelge 5.1</b> Üretilen biyodizele ait özellikler.....                              | 32    |
| <b>Çizelge 5.2</b> Biyodizel standartları EN 14214 (Çelik 2015).....                    | 33    |
| <b>Çizelge 5.3</b> Biyodizel standartları ASTM D6751 (Çelik 2015).....                  | 33    |
| <b>Çizelge 5.4</b> Dizel yakıt özellikleri (EURO EN 590) (Çelik 2015).....              | 34    |
| <b>Çizelge 5.5</b> Deney motorunun teknik özellikleri (Akay 2017). ....                 | 35    |
| <b>Çizelge 5.6</b> Bilsa MOD 2210 WIN-XP marka egzoz emisyon cihazına ait özellikler... | 37    |



## RESİMLER DİZİNİ

|                                                                                              | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Resim 5.1</b> Atık ayçiçek kızartma yağı. ....                                            | 26    |
| <b>Resim 5.2</b> Alkol ve katalizörün manyetik ısıtıcı ile ısıtılması. ....                  | 26    |
| <b>Resim 5.3</b> Manyetik ısıtıcıda atık kızartma yağının ve metoksinin karıştırılması. .... | 27    |
| <b>Resim 5.4</b> Gliserin fazını ayırma işlemi. ....                                         | 27    |
| <b>Resim 5.5</b> Biyodizelin saflaştırılması için yıkama işlemi. ....                        | 28    |
| <b>Resim 5.6</b> Biyodizelin ısıtılması. ....                                                | 28    |
| <b>Resim 5.7</b> Terazî. ....                                                                | 29    |
| <b>Resim 5.8</b> Manyetik karıştırıcılı ısıtıcı (İnt. Kyn. 3). ....                          | 30    |
| <b>Resim 5.9</b> Metil alkol. ....                                                           | 31    |
| <b>Resim 5.10</b> Sodyumhidroksit (NaOH) (İnt. Kyn. 4). ....                                 | 31    |
| <b>Resim 5.11</b> Test düzeneği. ....                                                        | 35    |
| <b>Resim 5.12</b> Deney motoru Antor 6LD400. ....                                            | 36    |
| <b>Resim 5.13</b> Bilsa MOD 2210 WIN-XP marka egzoz emisyon cihazı. ....                     | 37    |

## 1. GİRİŞ

Motorlu araçların sayılarındaki hızlı artış çevreyi hızla kirletmekte olup insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri arttırmaktadır. Karbonmonoksit (CO), azotoksit (NO) ve yanmamış hidrokarbonlar (UHC) emisyonlarının artması motorlu araçların şehirlerde oluşturduğu zararlı bir etkidir. Motorlu araçlardan kaynaklı hava kirliliğini önlemek amacıyla farklı düzenlemeler yapılmıştır. Hava kirliliğinin azaltılması kapsamında Avrupa Euro emisyon standartları getirilmiştir (Çevik 2012). İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların petrol kaynaklarından elde ediliyor olması ve aynı zamanda zararlı egzoz emisyonlarının istenen standartlara düşürülmesi düşüncesi, alternatif yakıtlar arayışına yol açmıştır. Araştırmalar genellikle sürdürülebilir, kaliteli ve çevre dostu yakıtların az maliyetle üretilmesi yönünde ilerlemektedir (İnt. Kyn. 1).

Atık yağlar, sadece bitkilerden elde edilmemekte, aynı zamanda özellikle sanayileşme ortamında, evlerde ve mutfaklarda kızartma amacıyla kullanılan sonrasında ise doğaya atılan yağlardan da elde edilmektedir. Bu durumun sonucunda atık yağ toprağa karışarak içme sularına kadar ulaşmakta, ev ve işyerlerindeki giderlerin tıkanmasına sebep olmaktadır. Bu gibi kızartma için kullanılmış atık kızartma yağlarının değerlendirilip yakıt haline getirilmesi geri dönüşüm açısından oldukça önem arz etmektedir (Topal 2014).

Atık yağ kaynaklarının içten yanmalı motorlarda yakıt olarak değerlendirilmesi alternatif yakıtlar ve çevre konularında olumlu sonuçlar vaat etmektedir. Bundan dolayı Amerika ve Avrupa'daki yakıt istasyonlarında dizel motorları için biyodizel satılmaya başlanmış ve biyodizele ticari değer kazandırılmıştır. Egzoz emisyonları açısından motorin ile biyodizel üzerine yapılan araştırmalara göre biyodizel ile daha az karbon monoksit, partikül emisyonu ve yanmamış hidrokarbon açığa çıkmaktadır. Biyodizel yenilenebilir bir enerji kaynağı olduğundan yanma sonucundaki karbondioksit tekrar fotosentez çevrimine katılabilir. Dolayısıyla biyodizel kullanımı ile sera gazı etkisi azaltılmış olur. (Çanakçı ve Özsezen 2005). Bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilebilen biyodizel, yenilenebilir kaynaklardan üretildiği için biyolojik olarak çabuk bozulma özelliğine sahiptir, Toksik madde barındırmadığından emisyon değerleri daha

iyi ve çevre dostu bir yakıttır (Kızıltan 2008).

Yakıt olarak içten yanmalı motorlarda genel olarak kullanılan bitkisel yağlar; kolza yağı, aspir yağı, keten tohumu yağı, soya yağı, yer fıstığı yağı, pamuk tohumu yağı ve ayçiçek yağıdır. İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlarının bitkisel kökenli kaynaklardan üretilmesi düşüncesinin, dizel motorunun icadıyla birlikte ortaya çıktığı bilinmektedir. Rudolf Diesel ilk motorunu çalıştırmak için fıstık yağı kullanmıştır (Aktaş ve Pireli 2006)

Verimlilik ve performans açısından biyodizel, dizel yakıtına eşdeğerdir. Biyodizel diğer yakıtlara göre şu üstünlükleri gösterir:

- Ülkenin yakıt konusunda dışa bağılı olmadan üretebileceği bir yakıttır.
- Tarım sektörünün gücünü artırır ve kırsaldan göçü azaltır.
- Atıklardan ve tarımsal ürünlerden üretilir.
- Üretimi kolaydır.
- Zararlı atık içermez.
- Doğada hızlı ve güvenilir çözülür.
- Egzoz emisyonlarını iyileştirir.
- Dizel motorunda herhangi bir modifikasyon gerektirmeden kullanılabilir (Mesut 2011).

## **2. BİTKİSEL YAĞLAR ve ATIK BİTKİSEL YAĞLARIN ÖZELLİKLERİ**

### **2.1 Bitkisel Yağlar**

Bitkisel yağlar, insanların beslenmesinde proteinlerle ve karbonhidratlar ile beraber temel besin kaynaklarından biridir. Bitkisel yağlar, ayçiçeği, kanola gibi yağlı tohumlu bitkiler ile birlikte palm ve zeytin gibi yağlı meyveler ve endüstriyel bitkilerden olan soya fasulyesi ve pamuk çividinin işlenmesiyle de elde edilmektedir. Bitkisel yağların günümüz insanların beslenmesinde vazgeçemeyeceği ve çok önemli rolü vardır (Topal 2014).

Bitkisel yağlar, ayçiçeği, zeytin, mısır, pamuk, soya, kanola ve aspir gibi yağlı bitki tohumlarından elde edilen yağların genel adıdır. Yağlar, insanların beslenmesinde yaşamsal önem taşıyan temel ihtiyaç maddeleridir. Bitkisel yağlar, içerdikleri besin değerlerinin yanında, doymuş yağ oranlarının düşük olması, hücre yapısında gerekli olan serbest yağ asitlerini ve yağda eriyen vitaminleri çözmesi gibi özellikleri nedeniyle farklı bir yere sahiptir. Bitkisel yağlar bitkilerden elde edilen ve trigliseridlerden oluşan maddeler olup, sıvı ve katı yağlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Bitkisel yağların önemli kısmı bitkisel yağ kategorisine girmekte olup, bazı bitkisel yağlar (keten yağı, tung yağı, hintyağı) ise yağlama maddesi, boya, kozmetik, ilaç ve diğer endüstriyel amaçlar için kullanılabilir. Katı ve sıvı yağlar yağlı asitlerin gliseridleri şeklinde olmakta, fiziksel özellikleri ve birbirini ikame edebilme dereceleri içerdikleri yağlı asit türüne ve oranına göre değişiklik göstermektedir (Topal 2014).

#### **2.1.1 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanım Olanakları**

Bitkisel yağlar, tüketimi açısından ülkemizde yemeklik yağ olarak kullanımı olduğundan üretimi ve ekim miktarları yalnızca gıda alanına yönelik olduğu görülmektedir. Bitkisel yağların Dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilirliklerine göre üretiminin yakıt üretimi yapılacak şekilde üretiminin artması da bir gereklilik haline gelmektedir (Eliçin 2011).

Biyodizel üretiminde yağ bitkilerinin kullanımının yaygın hale gelmesi halinde, üreticiler içinde ürünlerinin alım güvencesi olacağından daha hızlı üretimin artması olarak sağlanacaktır (Eliçin 2011).

Fındık, tütün, pancar üretiminin desteklenmesi kapsam dışına çıkarılması, yağ bitkilerinin yetiştirilmesi konusunda farklı alternatiflerin yolunun açılmasına yardım edecektir (Eliçin 2011).

### **2.1.2 Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri**

Dizel motorlar üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı mümkündür. Petrol kaynaklı dizel yakıtların bitkisel yağlarla arasındaki farklılık ısı değer ve özgül ağırlık açısından fazla olmasa da kinematik viskoziteleri farkı oldukça fazladır (Şahin 2014).

Dizel yakıtı göre yağların viskoziteleri takribi olarak 10-20 kez fazladır. Ayçiçeği, susam, mısır, keten, defne, badem, yer fıstığı, zeytin, haşhaş yağı içten yanmalı motorlarda yakıt olacak şekilde kullanılabilir. Dizel yakıtı ile bitkisel yakıtların hidrojen ve karbon değerleri birbirlerine benzeyen, oksijen değerleri olarak da bitkisel yağların değeri yüksektir. Dizel yakıtına göre bitkisel yağın ısı değerleri %10-15 daha azdır (Şahin 2014).

### **Bitkisel Yağların Kalorifik Değerleri**

Bitkisel yağların kalorifik değerleri, HC'lerin sahip olduğu çift bağların adedine ve zincir uzunluğuna bağlıdır. Bitkisel kaynaklı yağlarda çift bağ adedi artarken kalorifik değerleri azalır. Isıl değerin artması zincir uzunluğunun artışına da bağlıdır. Isıl değerin artmasına sebep olan etmenler hidrojen ve karbon sayılarının oksijen sayılarıyla oranıdır. Yağların kalorifik değerleri 37000 ile 42000 kJ/kg arasında değişmektedir. Dizelin kalorifik değeri ise 39500 ile 45000 kJ/kg arasındadır (İlgazlı 2010).

### **Bitkisel Yağların Viskozitesi**

Viskozite bitkisel yağlardaki ısıl değerdekinin tam teresi olarak viskozitenin düşmesi için çift bağ sayısının artması gerekmektedir. Viskoziteyi artmasını ise zincir uzunluğunun artması etkilemektedir. İçten yanmalı motorlar için viskozitenin oldukça önemi vardır. Bitkisel yağların viskozitesi yüksek olduğundan yakıtın püskürtülmesi esnasında silindire girecek olan iri tanecikli yapının parçalanarak atomizasyonu zor olacaktır. Yüksek viskozite yakıtın basıncını arttıracak ve dağılmasına engel olacaktır. Viskozitenin düşük olması da enjektörlerde kaçaklar oluşmasına neden olacaktır (İlgazlı 2010).

### **Bitkisel Yağların Setan Sayısı**

Yakıtın yanma koşulları arasında setan sayısının etkisi bulunmaktadır. Setan sayısının yüksek olması daha sessiz bir çalışma sağlar. Bitkisel kökenli yağların setan sayısı ASTM yöntemlerine bakılarak 32-42 arasındadır. Petrol kaynaklı dizel yakıtların setan sayısı 45-50 arası değişmektedir. Yağların farklı yöntemlerle dizele dönüştürülmesiyle setan sayısı da yükselmektedir (İlgazlı 2010).

### **Bitkisel Yağların Yoğunluğu**

Bitkisel yağların yoğunluğu genel anlamda 15 °C sıcaklık için 0,910- 0,940 kg/l'dir. Petrol kaynaklı dizel yakıtlarının yoğunlukları 40 °C sıcaklık için 0,851 kg/l'dir. Ayçiçek yağının yoğunluğu ise 20 °C sıcaklık için 0,918-0,923 kg/l'dir. Yoğunluk bitkisel yağlardaki molekül ağırlığı ve doymamış yağ asitleri sebebi ile artmaktadır. Esterleşme ile bitkisel yağlarda yoğunluk ile azaltmak mümkündür (İlgazlı 2010).

Bitkisel yağlar için kendi kimyasal ve fiziksel özellikleri dışında, yakıt olduktan sonraki özelliklerinin önemi daha yüksektir. Araştırmalarla bitkisel kaynaklı yağların yakıt olduktan sonraki özellikleri tespit edilmiş ve petrol kaynaklı dizel yakıtı ile karşılaştırmaları yapıldıktan sonra sınır değerlere uygunlukları görülmüştür (İlgazlı 2010).

Viskozite bitkisel yağlarda yüksek değerdedir. Viskozitenin azaltılması adına yapılan çalışmaların fazla olması bu sebeptendir (İlgazlı 2010).

## **2.2 Ayçiçeği Bitkisi**

Ayçiçeği, Bileşikgillerden bir bitki çeşididir. Ana vatanı Amerika'dır. 55 kadar çeşidi vardır. Ayçiçeği yüzünü hep güneşe doğru çevirdiği için yurdumuzda gündöndü, günebakan, gün çiçeği adları ile de bilinir. Trakya, Ege ve Marmara bölgelerinde tohumlarından yağ elde etmek için çapa bitkisi olarak ekimi yapılır. Yağı alınan tohumların posası hayvan yemi olarak kullanılır (İnt. Kyn. 2)

### **2.2.1 Ayçiçeği ve Ayçiçeği Yağının Fiziksel, Kimyasal Özellikleri**

Helianthus annuus bitkisinin tohumlarından ayçiçeği yağı elde edilmektedir. Ayçiçeğinin %22-36 arasında yağ içeriğine sahip tohumları vardır. Ayçiçeği yağının tüketimi dünyada geniş bir alanı kapsamakta olup, tüketim konusunda dünya da ikinci sırayı almaktadır. Hidrolik ya da vidalı presler yardımıyla presleme ve çözücü ekstraksiyonu yöntemleri ile kabuğu soyulan tohumlardan elde edilebilmektedir. Rengi açık kehribar olan ham ayçiçeği yağı, yetiştirme koşulları genelde kuru koşullardır. Daha iyi verim alınması için sulama ihtiyacı normal yağışlar dışında da gerekli olabilir. %100'e kadar bir verim artışı sağlanabilmek için kurak koşullarda sulama yapılabilir (Kaya 2006).

### **2.2.2 Atık Bitkisel Yağlar**

Restoranlar, otellerin mutfakları, hazır yemek sanayi, aş evleri, lokantalar, balık pişirme yerleri gibi mutfaklarda ortaya çıkan bitkisel atık yağların lavabolara dökülmesiyle giderlere sıvanarak kanalizasyon borularının içerisine diğer atıkların kolaylıkla yapışmasına ve boruların zaman içerisinde tıkanmasına sebep olur. Bu atık yağlar bir anlamda miknatis etkisi ile atıkları yakalar (Yıldız 2008).

Giderler ve kanalizasyon sistemleri belli bir zaman sonra kullanılamayacak hale

gelmektedir. Atık yağların ciddi anlamda çevre problemleri çıkaracağı görülmektedir. Bu nedenle biyodizel üretiminde atık yağların kullanımı yakıt maliyetlerini düşürmekle kalmayacağı gibi çevre üzerindeki görülebilecek olumsuz etkileri de azaltacaktır (Yıldız 2008).

Bitkisel yağlar kullanıldıktan sonra kimyasal ve fiziksel özellik bakımından değişiklik gösteriyorlar. Bu nedenle atık bitkisel yağların özellikleri kullanılmamış yağlara göre farklıdır. Mesela yağın kızartma işleminde kullanılmasıyla sıcaklığı yükseleceğinden oksidasyon, hidroliz ve polimerizasyon gibi kimyasal reaksiyonları meydana getirir. Oluşabilecek bu reaksiyonlar yağın özelliklerini değiştirecektir. Kızartma yağının içine su karışması ve ısıya maruz kalması trigliseritlerde serbest yağ asidi miktarını, viskozitesini, hidroliz hızını, yoğunluğunu sabunlaşma değerini arttırırken iyodin değerinin düşmesine sebep olur. Polimerizasyon kızartma esnasındaki viskozitenin artmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek molekül ağırlığına sahip bileşiklerin oluşmasına sebep de polimerizasyondur (Yıldız 2008).

Biyodizel üretiminde rafine edilmiş bitkisel yağların kullanımı bu yağların gıda amacıyla kullanılması dolayısıyla maliyetleri önemli oranda etkilemektedir, bu durumda atık yağların biyodizel üretiminde kullanımının önünü açmıştır. Tabi ki atık yağları biyodizel üretiminde değerlendirmek dışında atıklarında geri dönüşümü ve çevreye olan etkilerinin de azaltılmış olacağı göz önünde bulundurulmalıdır (Şenoymak ve İlgen 2014).

### **2.3 Biyodizel**

Biyodizel, hayvansal yağlardan ve yağlı tohumlu bitkilerden elde edilen yağlardan ve de evsel atık kızartma yağlarından katalizör kullanılarak kısa zincirli bir alkol olan metanol reaksiyonu sonucunda elde edilebilen yakıt olarak kullanılabilen bir üründür. Petrol içermeyen biyodizelin hem saf olarak hem de petrol kökenli dizel yakıtı ile karıştırılarak kullanımı mümkündür. Biyodizelin saf olarak ya da biyodizel-dizel karışımları halinde bir dizel motorda modifikasyon gerektirmeden kullanımı mümkündür (Yıldız 2008, Topal 2014).

Biyodizel, dizel ile karışım oranları aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır:

|      |   |   |     |             |   |    |       |
|------|---|---|-----|-------------|---|----|-------|
| B5   | : | % | 5   | Biyodizel + | % | 95 | Dizel |
| B20  | : | % | 20  | Biyodizel + | % | 80 | Dizel |
| B50  | : | % | 50  | Biyodizel + | % | 50 | Dizel |
| B100 | : | % | 100 | Biyodizel   |   |    |       |

### 2.3.1 Biyodizelin Özellikleri

Biyodizel dizelden daha yüksek alevlenme noktasına sahiptir. (>130 °C). Bu özelliğiyle biyodizel taşınım, depolama ve kullanım açısından daha güvenilebilir yakıttır. Biyodizel kaynağı petrole dayalı dizel ile farklı oranlarda tam olarak karışabilmesi özelliğinden dolayı kaynağı petrole dayalı dizelin kalitesinin artmasını sağlamaktadır. Bu özelliğinden dolayı çevreye zararlı olan ve yanma sonunda oluşan zararlı gazlardaki emisyon değerlerinin düşmesini sağlar, motorun daha iyi yağlanmasına etki eder, motordaki birikintileri çözerek motor gücünün azalmasını engeller (Yıldız 2008).

**Çizelge 2.1** Dizel ve Biyodizelin Özellikleri (Yıldız 2008).

| Yakıtın Özellikleri          |                    | Sınır Değeri |                     |                                 |
|------------------------------|--------------------|--------------|---------------------|---------------------------------|
|                              | Birim              | Min-Max      | Biyodizel           | Dizel                           |
| <b>Kapalı Formül</b>         |                    |              | $C_{19}H_{35,2}O_2$ | $C_{12,226}H_{23,29}S_{0,0575}$ |
| <b>Molekül Ağırlığı</b>      | g/mol              |              | 296                 | 120-320                         |
| <b>Alt Isıl Değer</b>        |                    |              |                     |                                 |
| <b>Kütlesel</b>              | MJ/kg              |              | 37,1                | 42,7                            |
| <b>Hacimsel</b>              | MJ/l               |              | 32,6                | 35,5                            |
| <b>Özgül Ağırlık (15 °C)</b> | kg/l               | 0,875-0,9    | 0,86-0,9            | 0,82-0,86                       |
| <b>Kinematik</b>             |                    |              |                     |                                 |
| <b>Viskozite (40 °C)</b>     | mm <sup>2</sup> /s | 2-4,5        | 3,5-5               | 2,5-3,5                         |
| <b>Tutuşma Noktası</b>       | °C                 | 55-..        | >100                | >55                             |
| <b>Kükürt İçeriği</b>        | %Kütlesel          | ..-0,05      | <0,01               | <0,05                           |
| <b>Tutuşma Katsayısı</b>     | Setan Sayısı       | 49-..        | >55                 | 49-55                           |

|                   |           |         |       |       |
|-------------------|-----------|---------|-------|-------|
| <b>Kül</b>        | %Kütlesel | ..-0,01 | <0,01 | <0,01 |
| <b>Su Miktarı</b> | mg/kg     | ..-200  | <500  | <200  |

### 2.3.1.1 Yoğunluk

Biyodizelin yoğunluğu  $860\text{--}900\text{ kg/m}^3$ ,  $15^\circ\text{C}$ , EN 14214 dizel yakıtı  $820\text{--}845\text{ kg/m}^3$  kıyasla daha yüksektir. Yanma ısısını ve yakıt tüketimini etkileyen parametrelerin başında yoğunluk gelir (Alçelik 2017).

Yakıtın yoğunluğunu hidrokarbon zincirindeki uzama azaltırken, çift bağı sayısındaki artış yakıtın yoğunluğunu azaltmaktadır. Yakıtın içeriğindeki gliserin yeterli şekilde arındırılmaması biyodizel yoğunluğunun yüksek olmasının bir sebebidir. Dizel yakıtı göre biyodizel %5-7 oranında daha çok yoğundur. Yüksek yoğunluk motorlarda güç kaybına neden olmaktadır (Alçelik 2017).

### 2.3.1.2 Parlama Noktası

Parlama noktası yakıt ısıtıldıktan sonra yakıtın üstünde biriken yakıt buharıyla birlikte havanın tutuşabileceği en düşük sıcaklık değeri olarak tanımlanır. Parlama noktası biyodizel için oldukça iyidir. Motorların performans değişikliğinde önemli bir etki göstermemektedir. Yanma karakteristikleri parlama noktasının azalması ya da artması ile ilgili etkileşim oluşturmamaktadır. Parlama noktası risk sınıflandırması açısından dikkate alınması gereken önemli bir referans değerdir. Yüksek parlama noktası depolama ve taşıma için uygun görülür. Biyodizelde parlama noktası yaklaşık olarak  $220^\circ\text{C}$  iken motorin için bu değer  $74^\circ\text{C}$ 'dir. DIN EN 22719 standardı parlama noktasının belirlenmesinde kullanılan standart olarak isimlendirilmiştir<sup>312</sup> (Alçelik 2017).

### 2.3.1.3 Setan Sayısı

Yakıtların tutuşma niteliğinin göstergesine dizel motorlarda setan sayısı denilmektedir. Doymuş hidrokarbonların uzun zincirli yapıya sahip olanları yüksek setan sayısına sahiptirler. Kendi kendilerine tutuşma sıcaklık değerleri yüksek yakıtlar dizel vuruntusuna daha yatkın olan yakıtlardır. Setan sayısının artması hidrokarbon

uzunluğunun artmasına bağlıdır. Setan sayısının azalması demekse çift bağ sayısının artmasından kaynaklanmaktadır. Setan sayısının artmasına sebep olan peroksitler oksidasyon sonucu ortaya çıkmaktadır. Yakıtın setan sayısı arttıkça tutuşma gecikmesi süresinin azaldığı görülmektedir. Yakıtın doğru bir zamanda tutuşmaması, dizel motor vuruntusuna ve dolayısıyla gürültülü çalışma ve motorun parçalarında zararlar oluşmasına sebep olmaktadır. Biyodizelin üretildiği hammadde yağ içerisindeki yağ asidinin ayırıcı niteliklerine bağlı olarak biyodizel yakıtın setan sayısı değişime uğramaktadır. Dizel yakıtla biyodizelin karıştırılması ile daha yüksek setan sayısı değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Motor performansını etkileyen değişkenler arasında setan sayısı, kararlılık, yanma, sürdürülebilirlik, HC ve CO emisyonlarıdır. Motorinden daha yüksek setan sayısına sahip olması nedeniyle biyodizel yanma veriminin yükselişi yönünde olumlu bir etkisi vardır. Setan sayısı içten yanmalı motorlar için 40 olması beklenir. Yüksek setan sayısının elde edilmesi demek maliyetlerin yükselmesi demektir. Yüksek maliyetleri aşmak için setan sayısının 40-48 arasında tutulmalıdır. Kullanılan hammadde setan sayısını etkilediği için genel olarak 46-60 arasında değişmektedir (Alçelik 2017).

#### **2.3.1.4 Isıl Değer**

Isıl değer, bir yakıtın yandığında açığa çıkardığı enerji miktarına denmektedir. Isıl değer üzerinde artış olması doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğunun artış göstermesidir. Doymamışlığın artması (hidrojen sayısındaki azalma) oldukça ısı değerinde düşüş olmaktadır. Oksijen içeriğinin fazlalaşması biyodizeldeki ısı değeri petrol kaynaklı dizel yakıtı göre düşürmektedir (Alçelik 2017).

#### **2.3.1.5 Soğukta Akış Özelliği**

Akma noktası dizel yakıtı göre daha yüksek olan biyodizelin soğuk hava koşullarında kullanımı sorun haline gelmektedir. CP, CFPP, PP değerleri Doymuş hidrokarbonların içeriğinde yüksek olduğu görülmektedir. Kızartma yağlarında ve hayvansal yağlarda doymuş hidrokarbonlar sayı olarak daha fazladır. Yakıtlardaki iyi olmayan soğuk akış özelliği, motorlardaki yakıt besleme sistemlerinin parçalarında hasar meydana

getirebilmektedir. Bunun dışında motor ilk harekete geçerken de sorunlar ortaya çıkabilir (Alçelik 2017).

#### **2.3.1.6 Yağlayıcılık**

Motorun hareketli parçaları (yakıt pompası, enjektör, piston segman bölgesi vb.) yağlama yapılarak aşınma problemleri ortadan kaldırılabılır. Petrol kaynaklı yakıtların içeriğinde bulunan kükürt oranıyla ilgili yapılmakta olan çalışmalar günümüzde meyvelerini vermektedir (Alçelik 2017).

Dizel yakıtının yağlama özelliğini iyileştirilmesi için kükürt oranının düşürülmesiyle yakıt içeriğine katkı maddeleri ekleme imkânı vermiştir. Ancak katkı maddeleri kullanımı yakıt besleme sisteminde tortu oluşmasına sebep olabilir. Dizel yakıtı kıyasla biyodizelin yağlayıcılık özelliği daha iyidir ki bu durum motor ömrünün uzun olmasına katkısı büyüktür (Alçelik 2017).

Arıtma işlemi yapılmadığı takdirde mono gliserid, trigliserid ve digliseridler düşük miktarda biyodizel yakıtın içeriğinde görülmektedir. Dizel yakıtı ilave edilen saflaştırma işlemi uygulanmamış biyodizel için yağlayıcılık özellikleri araştırıldığında artırılmış biyodizel ile artırılmamış biyodizel karşılaştırılmış ve artırılmamış biyodizelin yağlayıcılığının daha iyi olduğu görülmüştür (Alçelik 2017).

#### **2.3.1.7 Toksik Etkisi**

Biyodizel de zehirleyici özellik yani toksik tesir yoktur. Hayati tehlike oluşturacak biyodizel miktarı 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı iken sofr tuzu için 1,75 g tuz/kg vücut ağırlığıdır. Biyodizele kıyasla tuzun 10 kat fazla öldürücü etkisi vardır. Biyodizelin insan cildinde sabun çözeltisine göre %4 oranında daha düşük toksik tesiri olduğu insan eli üzerinde yapılan testlerle anlaşılmıştır (Alçelik 2017).

Toksik özelliği olmamasına karşın biyodizel, dizel yakıt /biyodizel karışım yakıtları ve biyodizel kullanımında dizel yakıt için standart hale gelmiş olan havalandırma sistemi, göz koruyucu vb. önlemlerin alınması gerekmektedir (Alçelik 2017).

### **2.3.1.8 Biyobozunabilirlik**

C<sub>16</sub>-C<sub>18</sub> metil esterleri biyodizeli oluşturan tabiatta kolaylıkla ve hızlıca parçalanır ve bozunurlar. Olumsuz etkileri 10000 mg/l'ye kadar görülmez. Biyodizelin doğada parçalanması özelliği şekere benzetilebilir. Su içerisinde bırakıldığı zaman biyodizel 28 günde %95, dizel ise 17 günde %40 bozunabilme özelliğine sahiptir (Şahin 2014).

### **2.3.1.9 Oksidasyon Kararlılığı**

Oksidasyon kararlılığının depolama açısından büyük bir önemi vardır. Yakıtın depolama ömrünü biyodizeldeki oksidasyon ürünleri etkilemekte olup aynı zamanda yakıt sistemi, tank ve filtre de tortuların oluşmasına sebep olurlar. Biyodizel oksidasyonunu yağın kimyasal yapısı etkilemektedir. Soya yağını örnek verecek olursak yüksek derecede doymamıştır bu da yağı oksitlenmeye meyilli hale getirir. Biyodizelin kalitesini oksidasyon özelliği etkilemektedir. Oksidasyon kararlılığının fazla olması biyodizelin daha uzun kullanım ömrünün olması için istenmektedir. Oksidasyona etki eden değişkenler ışık, sıcaklık, hava, metal katalistler, antioksidanların oluşu, hidroperoksit benzeri pro-oksidanların oluşudur (Aydoğan 2008).

### **2.3.1.10 Karbon Artığı**

DIN EN ISO 10370 test yöntemi ile oksijen olmayan ortamda yakıtın yanması bir satır üzerinde yanmamış karbonları tespit edilebilmektedir. Yanma odasında ya da yakıt enjektörlerinde karbon birikmesine neden olabilir. Biyodizel ile ilgili yapılan deneyler biyodizelin hemen hemen hiç yanmamış karbon emisyonu oluşturmadığını ve maksimum yakıt kütlesinin %0,4'ü kadar oluşturduğu göstermiştir (Şahin 2014).

### **2.3.1.11 İyot Sayısı**

İyot sayısı yağlardaki doymamışlığın bir ölçütüdür. Yağın türü iyot sayısını etkileyen öneme sahip bir unsurdur. Biyodizel içeriğindeki iyot sayısı üretimdeki bitkisel

yağlarının niteliği, çift bağ sayısına göre değişmektedir. Biyodizele has bir özellik olan iyot sayısı yakıtın doymamışlık derecesini de vermektedir. Doymamış yakıt depolanmasındaki kararlılık sorunu ve tortuların oluşmasına sebep olacaktır. İyot sayısının fazla olması durumunda yanma odasında fiziksel hasarlara yol açabildiği gibi motor yağının viskozitesinin düşmesine ve yakıt enjektörlerinde tıkanıklıklara neden olabilmektedir (Aydoğan 2008).

#### **2.3.1.12 Kinematik Viskozite**

Sıvıların akmaya karşı göstermiş olduğu direnci viskozite olarak tanımlıyoruz. Kinematik viskozite değerinin belirlenmesindeki yöntem sabit sıcaklıkta düşey olarak borunun içinden akıtılması ve borudaki işaretli mesafenin istenilen zamanda geçip geçmeyeceğinin hesaplanmasıdır. Araç motorlarındaki yakıt sistemlerinin istenilen çalışma koşullarında çalışabilmesi, tutuşma gecikmesi, yanma süreçleri, yakıttan elde edilen ısı verimliliğinin ve yakıt atomizasyonunda da önemli etkisi vardır. Biyodizelin viskozitesi dizel yakıtların viskozitesinden yüksektir. Yakıttaki akıcılık yakıtı besleyen sistem için oldukça önemlidir. Silindir içerisinde yakıtın atomizasyonu yanma performansına etkisi çok önemli etkenlerden birisidir. Yüksek viskoziteye sahip yakıtlarda yanma niteliğinin azalmasına, atomizasyonun iyi olmaması, yakıt enjektörlerinin tıkanması, segman bölgelerinde karbon birikintilerinin artışına sebep olmaktadır (Aydoğan 2008).

Viskozite yüksek olduğu takdirde pompalama basıncının da yüksek olması gerekecektir ve enjektör yakıt püskürtme çalışmasının düşmesine sebep olacaktır. Viskoziteye biyodizel açısından bakıldığında 40°C sıcaklık için yaklaşık 3,5-6 mm<sup>2</sup>/s'dir. Hidrokarbonlardaki zincir uzunluğu arttıkça viskozite artacak, çift bağ miktarı arttıkça ise viskozite azalacaktır. Viskoziteyi arttıran diğer etmenlere bakacak olursak biyodizel yakıttaki oksidasyon ürünleri ve yakıtın saf olmamasını söyleyebiliriz. Sıcaklık da viskoziteyi etkileyen diğer bir etmendir. Viskozitenin yüksek olduğu durumlarda transesterifikasyon reaksiyonun başarı ile sonuçlanmadığı anlaşılmaktadır. DIN EN ISO 3104 test metodu olarak kullanılmaktadır. Viskozitenin yüksek olmasını engelleyecek iki farklı yöntem öngörülmektedir; motoru yakıtı göre ayarlayabiliriz veya yakıtı

motora uyum sağlayacak şekilde viskozitesini düşürerek kullanabiliriz (Aydoğan 2008).

#### **2.3.1.13 Kükürt İçeriği**

Kükürt miktarı partikül oluşumunu ve korozyonun etkisini arttıran bir etmendir. Bundan dolayı iyi bir faktör değildir. Soğuk motorda parçaların korozyona maruz kalmasına sebep olur. Motorun hızına bağlı olarak kükürt miktarı değişim göstermektedir. EN 590 standardı dizel yakıtlardaki kükürt değerini 350 ppm olarak belirtmektedir (Şahin 2014).

#### **2.3.1.14 Su İçeriği**

Su biyodizelin içinde asılı vaziyette damlacıklar halinde ya da çözünmüş halde bulunmaktadır. Suyun biyodizelin içinde bulunmaması gereklidir. Yakıt enjeksiyon sistemindeki parçaları aşındıran madde sudur. Suyun biyodizel içinde bulunması mikrobiyolojik hareketlilikler oluşturacağından, biyodizelde çamurlanma ve asitlenmelere neden olabilir (Aydoğan 2008).

### 3. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Monyem ve Van Gerpen (2001), oksitlenmiş ve oksitlenmemiş biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Deneyler, bir John Deere 4276T turbo şarjlı dizel motorunda gerçekleştirilmiştir. Oksitlenmemiş biyodizel, %20 karışım ve saf dizel yakıtı, %20 ve %100 yüklerinde ve 3° ileri, standart ve 3° geç olmak üzere üç farklı enjeksiyon zamanlaması ile test edilmiştir. Motorun devri sürekli olarak 1400 min<sup>-1</sup>'da sabit tutulmuştur. Deneysel sonuçlara göre, oksitlenmemiş biyodizel ve karışım yakıtları, saf dizel yakıtı ile benzer ısı verime ve motor performansına sahiptir. Oksitlenmiş biyodizel ile karşılaştırıldığında, oksitlenmemiş biyodizel yakıtı sırasıyla %15 ve %16 daha az CO ve HC emisyonu açığa çıkarmıştır. NO<sub>x</sub> ve duman emisyonları açısından oksitlenmiş ve oksitlenmemiş biyodizel yakıtları arasında ciddi bir fark görülmemiştir (Monyem and Van Gerpen 2001).

Çanakcı ve Van Gerpen (2003), %9 serbest yağ asidi içeren hayvansal yağdan ve soya yağından üretilen biyodizellerin motor performans ve emisyonlarına etkileri araştırmışlardır. Elde edilen yakıt saf halde ve %20 oranında dizel yakıtı ile karıştırılarak, dört silindirli, turbo şarjlı bir dizel motorunda test edilmiştir. Her iki biyodizel ile partikül, karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonlarında önemli azalmalar olduğu gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, azot oksit emisyonları, hayvansal yağ metil esteri ile %11'e kadar, soya yağı metil esteri ile %13'e kadar artış gösterdiği tespit edilmiştir (Çanakcı ve Van Gerpen 2003).

Acaroğlu (2003), tarafından yapılan çalışmada, bitkisel atık yağdan biyodizel üretimi için önerilen değerleri 1000 ml yağ, 200 ml alkol ve 3,5 g sodyum hidroksit olarak belirlemiştir (Acaroğlu 2003).

Vincente vd. (2004), ayçiçek yağı metil esteri üretiminde farklı homojen katalizör (sodyum metoksit, potasyum metoksit, sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit) sistemlerinin karşılaştırılması üzerinde çalışmışlardır. Bütün reaksiyonları ve sonrasında yapılan işlemleri aynı deney koşullarında yapmışlardır. 65 °C sıcaklıkta, 6:1 metil alkol

/ yağ ve %1 katalizör oranında yapılan deney sonucunda, sodyum hidroksit ile yaklaşık %100 saflıkta metil ester 30 dakikada sodyum metoksit ve potasyum hidroksit ile 45 dakika da ve 25 potasyum metoksit ile de 4 saatte elde etmişlerdir. %1,5 potasyum hidroksit ile 10 dakikada ve %1 sodyum hidroksit ile 15 dakikada elde etmişlerdir (Vincent *et al.* 2004).

Çanakcı ve Özsözen (2005), atık mutfak yağının dizel yakıtına alternatif olarak değerlendirilmesi üzerine çalışmışlardır. Isıtma, katı parçacıkları filtreleme işlemlerinin sonucunda atık yağların transesterifikasyon yoluyla biyodizel üretiminde kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Çanakcı ve Özsözen 2005).

Uzun vd. (2007), rafine ayçiçek yağından katalizör olarak KOH ve metanol kullanarak transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretmişlerdir. Yapılan deneylerde reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi parametrelerinin yakıt özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak reaksiyon sıcaklığının etkisinin 25 °C'den, 65 °C'ye kadar artış gösterdiği, sonrasında düştüğünü gözlemlenmiştir. Reaksiyon süresi değişiminde ise 1 saatte en yüksek verim elde edilmiştir. 1 saatin üzerindeki sürelerde ise verimde düşüş belirlenmiştir. Reaksiyon süresi yükseldikçe sabunlaşan madde ve kayıp miktarında artış olduğunu belirtmişlerdir (Uzun *et al.* 2007).

Özsezen (2007), atık palmye yağından ürettiği biyodizeli, dört silindirli bir dizel motorunda test etmiştir. Deneyleri motoru tam yük, 60 Nm, 40 Nm ve 20 Nm olmak üzere farklı yüklerde sabit tutarak gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda, biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketiminde artış görülürken; motor performansında ise çok az düşme olduğu belirlenmiştir. Ayrıca biyodizelin yüksek O<sub>2</sub> içeriğinden dolayı HC, CO ve duman koyuluğu emisyonların da iyileşmeler olurken; NO<sub>x</sub> emisyonunun arttığı görülmüştür (Özsezen 2007).

Zheng vd. (2008), soya, kanola ve sarı gresten B100 biyodizel yakıtlarını üretmiş ve motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini ultra düşük kükürtlü dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Deneyler, 4 zamanlı ve tek silindirli bir dizel motorunda gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlara göre, yüksek yüklerde dizel yakıtına yakın bir

setan sayısına sahip olan yakıtlar dizel yakıtından daha fazla NO<sub>x</sub> emisyonu; daha az CO ve yanmamış hidrokarbon emisyonları açığa çıkarmıştır (Zheng *et al.* 2008).

Aydoğan (2008), tütün tohumu yağı, atık bitkisel yağlar ve kanola yağından biyodizel üretmiş ve bu yakıtları farklı oranlarda dizel yakıtı ile karıştırarak bir dizel motorunda test etmiştir. Deneyler tam yükte ve farklı devirlerde yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub> ve is emisyonlarında iyileşme gözlenirken; motor performansında ciddi bir değişim olmamış; ancak biyodizel kullanımı ile özgül yakıt tüketimi %9-13 artış göstermiştir (Aydoğan 2008).

Sugözü vd. (2009), transesterifikasyon metodu ile ayçiçeği yağından biyodizel üretmişlerdir. Üretilen yakıtlar ön yanma odasına sahip, dört zamanlı ve tek silindirli bir dizel motorunda farklı hızlarda test edilmiştir. Testlerde, B100 (%100 ayçiçek yağı metil ester) ve B50 (%50 oranında dizel yakıtı ile karıştırılan ayçiçeği yağı metil esterleri) yakıtları kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda biyodizel kullanımı ile motor momentinin ve gücünün azaldığı görülmüş; özgül yakıt tüketiminin ise arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca B50 ve B100 yakıtları ile CO emisyonları azalırken; NO<sub>x</sub> emisyonları artış göstermiştir (Sugözü *et al.* 2009).

Yıldız (2008), bitkisel atık yağların serbest yağ asidi muhtevası yüksek olduğu için atık yağları öncelikle filtrelenip kurutmuşlardır. Daha sonra da FFA değeri 2 olan atık yağlardan, tek kademeli bazik reaksiyon sonucu %76,8 çift kademeli bazik reaksiyon sonucu %85 verimle ham biyodizel elde edilirken; FFA değeri 4,6 olan atık yağdan %90,3 verimle ham biyodizel üretmişlerdir. Biyodizelin standartlara uygunluğunu araştırmışlardır (Yıldız 2008).

Srithar vd. (2014), pongamia pinnata yağı ve hardal yağından biyodizel üreterek farklı oranlarda karıştırmışlar ve bu yakıtları tek silindirli, direkt enjeksiyonlu ve hava soğutmalı bir dizel motorlarında test etmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre, biyodizel yakıtı dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında termal veriminin daha yüksektir. Bununla birlikte, duman, hidrokarbon ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının biyodizel kullanımı ile arttığı; ancak egzoz sıcaklığının azaldığı görülmüştür (Srithar *et al.* 2014).

Topal (2014), homojenizatör ve ultrasonik temizleyici kullanılarak atık kızartma yağından B10, B20 ve B50 yakıtlarını üretmiş, bu yakıtların motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemiş ve dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Deneyler, tek silindirli, hava soğutmalı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda sabit devir ve değişik yüklerde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, B10, B20 ve B50 yakıtlarının kullanımı ile dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimi sırasıyla, %1, %3 ve %5 artmış; egzoz gazı sıcaklığı sırasıyla %3, %7 ve %9 artmış; CO emisyonu sırasıyla %5, %15 ve %28 azalmış; HC emisyonu sırasıyla %8, %18 ve %29 azalmış; NO<sub>x</sub> emisyonu sırasıyla %4, %12 ve %18 artmış; is emisyonu ise sırasıyla %9, %17 ve %26 azalmıştır (Topal 2014).

Aydın vd. (2017), atık yağlardan biyodizel elde etmiş ve bir dizel motorunda egzoz emisyonlarına ve motor performansı etkisini incelemiştir. Deneylerinde direkt püskürtmeli, tek silindirli, dört zamanlı, bir motor kullanmışlardır. Deneyler, saf biyodizel ve geleneksel dizel yakıtı ile farklı yüklerle belirli bir hızda gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimi %3 artış gösterirken; özgül enerji tüketimi %5 azalmıştır. Bununla birlikte, is, NO<sub>x</sub> ve CO ve emisyonları dizel yakıtına göre sırasıyla %31, %17 ve %33 oranlarında azalırken; HC emisyonu ise %24 artış göstermiştir (Aydın *et al.* 2017).

Alçelik (2017), B0, B5, B15, B30, B50 ve B100 yakıtlarının tek silindirli bir dizel motorunda performans, emisyon, titreşim ve gürültü karakteristiklerine olan etkileri incelemiştir. B100 yakıtı kullanımı ile dizel yakıtına göre motor gücünde azalma görülmüştür (Alçelik 2017).

Zareh vd. (2017), hint yağı biyodizeli (HYB), hindistancevizi yağı biyodizeli (HCYB) ve atık kızartma yağı biyodizeli (AKYB) geleneksel dizel yakıtla (GDY) %5, %10, %20 ve %30 oranlarında karıştırmış ve turboşarjlı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Deneyler farklı yük ve motor hızlarında gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, tam yükte HYB20, HCYB20 ve AKYB20 kullanımı ile dizel yakıtına göre fren gücünde sırasıyla

%6,74, %5,17 ve %3,38 düşüşe görülmüştür. Benzer şekilde tam yükte HCYB30, AKYB30 ve HYB30 yakıtlarının kullanımı ile özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına göre sırasıyla %6,9, %6,7 ve %9,7 artmıştır. Ayrıca tam yükte HCYB20, AKYB20 ve HYB20 yakıtları ile PM emisyonları dizel yakıtına göre sırasıyla %43,03, %40,06 ve %45,77 oranında azalmıştır. %75 yükte HCYB10, AKYB10 ve HYB10 kullanımı ile CO emisyonları dizel yakıtına göre sırasıyla %23,11, %19,3 ve %14,35 azalmıştır. HCYB30, AKYB30 ve HYB30 yakıtları ile CO<sub>2</sub> emisyonları dizel yakıtına göre sırasıyla %32,2, %29,04 ve %29,56 azalmıştır (Zareh *et al.* 2017).

Bhuiya vd. (2017), haşhaş ve atık kızartma yağı karışımı ile dizel yakıtı ile farklı oranlarda karıştırarak B5, B10 ve B20 yakıtlarını elde etmişler ve yakıtları farklı yük (%25, %50, %75, %100) ve motor devirlerinde (1200-2400 min<sup>-1</sup>) test etmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre motor torku, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve termal verimin daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca biyodizel kullanımının CO, HC ve partikül madde emisyonlarını iyileştirdiği; ancak NO<sub>x</sub> emisyonlarını arttırdığı belirlenmiştir (Bhuiya *et al.* 2017).

Şanlı (2018), atık kızartma yağını %2 (AKY-2), %7 (AKY-7), %15 (AKY-15) ve %25 (AKY-25) oranlarında mineral dizel yakıtı (MDY) ile karıştırmış ve düşük viskoziteli bu karışımların bir Common-Rail direkt enjeksiyonlu dizel motorunun performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmıştır. Deneyler 2000 min<sup>-1</sup> motor hızında 50 Nm, 75 Nm, 100 Nm, 125 Nm ve 150 Nm olmak üzere beş farklı yükte gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, fren termal verimleri MDY, AKY-2, AKY-7, AKY-15 ve AKY-25 için sırasıyla %41, %34,04, %31,75, %31,94 ve %27,38 olarak belirlenmiştir. AKY-2, AKY-7, AKY-15 ve AKY-25 yakıtları MDY ile karşılaştırıldığında CO emisyonları sırasıyla ortalama %8,39, %23,69, %23,84 ve %39,59; CO<sub>2</sub> emisyonları sırasıyla ortalama %1,41, %2,02, %5,38 ve %8,11; HC emisyonları sırasıyla ortalama %28,62, %34,88, %44,89 ve %55,83; NO<sub>x</sub> emisyonları sırasıyla ortalama %3,21, %7,76, %12,64 ve %19,95 artmıştır (Şanlı 2018).

Yeşilyurt vd. (2018), hacimce %5 ve %10 olmak üzere biyodizel/dizel/1-bütanol ve biyodizel/dizel/n-pentanol yakıt karışımları ile çalışan tek silindirli, dört zamanlı, direkt

enjeksiyonlu bir dizel motorun motor performansı, egzoz emisyonları ve yanma karakteristikleri incelenmiş ve farklı yük ve motor hızlarında dizel ile karşılaştırmışlardır. Deneysel sonuçlara göre yakıttaki alkol miktarının artmasıyla fren güçleri ve momentleri azalırken; fren özgül yakıt tüketimi %0,77-8,07 arasında artış göstermiştir. Alkol karışımlı yakıtlar dizel yakıtına göre NO<sub>x</sub> emisyonunu %0,56-2,65, CO emisyonunu %6,9-32,4 ve dumanı %10,47-44,43 azaltmıştır. Yüksek alkol karışımlı yakıtlar ile maksimum silindir içi basınç 1400 min<sup>-1</sup> motor hızında ve 371-372° krank açısında 94,55-95,82 bar olarak; 2600 min<sup>-1</sup> motor hızında ve 375-376° krank açısında 78,19-82,19 bar olarak elde edildi (Yeşilyurt *et al.* 2018).

Rajak ve Verma (2018), soya fasulyesi, jojoba curcas, tavuk yağı, atık gres yağı gibi çeşitli yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları ile tek silindirli, sabit çevrim yakıt enjeksiyonlu ve dört zamanlı bir dizel motorunda nümerik olarak analiz etmiştir. Analizler, %25, %50, %75 ve %100 olmak üzere farklı motor yüklerinde yapılmıştır. Nümerik analiz sonuçlarına göre, dizel yakıtına NO<sub>x</sub> emisyonu göre soya fasulyesi ile %23, tavuk yağları ile %31,2, atık gres yağı ile %15,8 ve bütanol ile %94,56 azalmıştır. Partikül madde emisyonu ise soya fasulyesi, mikroalg, kanatlı yağları, kızartma yağı ve pentanol için sırasıyla %45,59, %84,97, %93,78, %23,83 ve %48,18 ve ayrıca duman emisyonu % 93,8, %93,43, %92,26, %89,14 azalmıştır (Rajak and Verma 2018).

García-Martín vd. (2018), atık kızartma yağından biyodizel üretmiş ve dizel yakıtı ile karıştırarak B50 yakıtını elde etmişlerdir. B50 ve B100 (saf biyodizel) yakıtlarını bir dizel motorunda test etmişler ve motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi dizel yakıtıyla karşılaştırarak araştırmışlardır. Deneysel sonuçlar, biyodizel kullanımıyla özgül yakıt tüketiminin attığını, en yüksek özgül yakıt tüketiminin B100 yakıtıyla elde edildiğini göstermiştir. Ayrıca NO<sub>x</sub> emisyonu biyodizel kullanımı ile artmış, CO emisyonları ise azalmıştır. Deneylerin sıcak motor koşullarında yapılmasından dolayı HC emisyonlarının tüm yakıtlar için neredeyse aynı seviyelerde olduğu görülmüştür (García-Martín *et al.* 2018).

Singh vd. (2018), enjeksiyon basıncına, cassia tora biyodizel karışım etkileri, motor yükü ve yakıt enjeksiyon zamanlaması olmak üzere dört parametrenin kombinasyonuna

dayalı RSM optimizasyon metodunu kullanarak fren termal verimini, yanmamış hidrokarbonları (UHC) ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını optimize etmişlerdir. Cassia tora biyodizel yakıtı ile çalışan motor dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında yakıt enjeksiyon basıncı 21 bar ve enjeksiyon zamanlamasında gecikme ile (üst ölü noktadan 8° önce) fren termal veriminde artış sağlanırken, NO<sub>x</sub> ve UHC emisyonları ciddi şekilde azalmıştır. Dört giriş parametresinin en iyi kombinasyonu yakıt olarak B40 yakıtı ile yakıt enjeksiyon basıncı 221 bar, yakıt enjeksiyon zamanlaması üst ölü noktadan 15° önce ve %47 motor yüküdür. Bu durumda en iyi çıkış parametreleri %29,48 fren termal verimi, 43 ppm UHC ve 507,6 ppm olarak elde edilmiştir (Singh *et al.* 2018).

Gao vd. (2019), atık kızartma yağından yağ asidi bütül ve metil esteri üretmiş ve motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmışlardır. Deneysel sonuçlara göre, yağ asidi bütül esteri ve yağ asidi metil esteri kullanımı ile dizel yakıtına göre motor momenti sırasıyla %2,1 ve %10,3 azalmış; özgül yakıt tüketimi ise sırasıyla %5,4 ve %15,3 artmıştır. Ayrıca yağ asidi bütül esteri ve yağ asidi metil esteri kullanımı ile dizel yakıtına HC emisyonları için sırasıyla %54,1 ve %65,4 azalma, CO emisyonları için sırasıyla %23,2 ve %28,2 azalma; NO<sub>x</sub> emisyonları için sırasıyla %12,6 ve %15,7 artış görülmüştür (Gao *et al.* 2019).

Dhanasekaran vd. (2019), dizel yakıtı (D), atık kızartma yağı (AKY) ve n-propanolü (P) farklı oranlarda karıştırarak üç farklı yakıt (D50-AKY45-P5, D50-AKY40-P10 ve D50-AKY30-P20) elde etmiş ve bir dizel motorunun egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Deneyler tüm yük şartları için gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlara göre, n-propanol ilavesinin NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> ve is emisyonlarını azalttığı ancak özgül yakıt tüketimini ve fren termal verimini arttırdığı görülmüştür. Buna rağmen tüm karışımlar için dizel yakıtına göre HC emisyonları artmıştır (Dhanasekaran *et al.* 2019).

Asokan vd. (2019), transesterifikasyon metoduyla Juliflora tohumlarından biyodizel üreterek, farklı oranlarda dizel yakıtı ile karıştırmışlar ve B20, B30, B40 ve B100 yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, tam yükte B20 ve B30 yakıtlarının (0,27 kg/kWh) dizel yakıtı (0,26 kg/kWh) ile benzer özgül yakıt tüketimine sahip olduğu

görülmüştür. Ayrıca B100 yakıtı (%31,11) ile dizel yakıtının (%32,05) termal verimleri tam yükte benzerdir. Bununla birlikte karışım yakıtlarının açığa çıkardığı CO ve HC emisyonları, dizel yakıtının açığa çıkardığı emisyonlara eşit ya da küçük olsa da B100 yakıtı ile yakıtına göre daha fazla NO<sub>x</sub> emisyonu açığa çıkmıştır (Asokan *et al.* 2019).



#### 4. DİZEL MOTORLARDA YANMA SAFHALARI

Yanma olayı, dizel motorlarda silindir içersine yakıtın püskürtülmesiyle başlayan ve egzoz supabından yanma ürünlerinin atılmasına kadar gerçekleşen reaksiyonlardan oluşmaktadır. Püskürtülen yakıtın o andaki hacminin genişleyerek ve parçalanarak havayla karışmasıyla, buharlaşarak ve kendiliğinden tutuşup yanarak ve silindirler içindeki sıcaklık ve basınçtaki artışların etkilerinin oluşması olarak sıralanabilmektedir. Dizel motorlarında yanma, sıkıştırma zamanının sonlarına doğru sıcaklığı yaklaşık 600-900 °C'ye yükselen havaya enjektörler vasıtasıyla basınçlı yakıtın püskürtülmesiyle meydana gelir (Azi 2017).

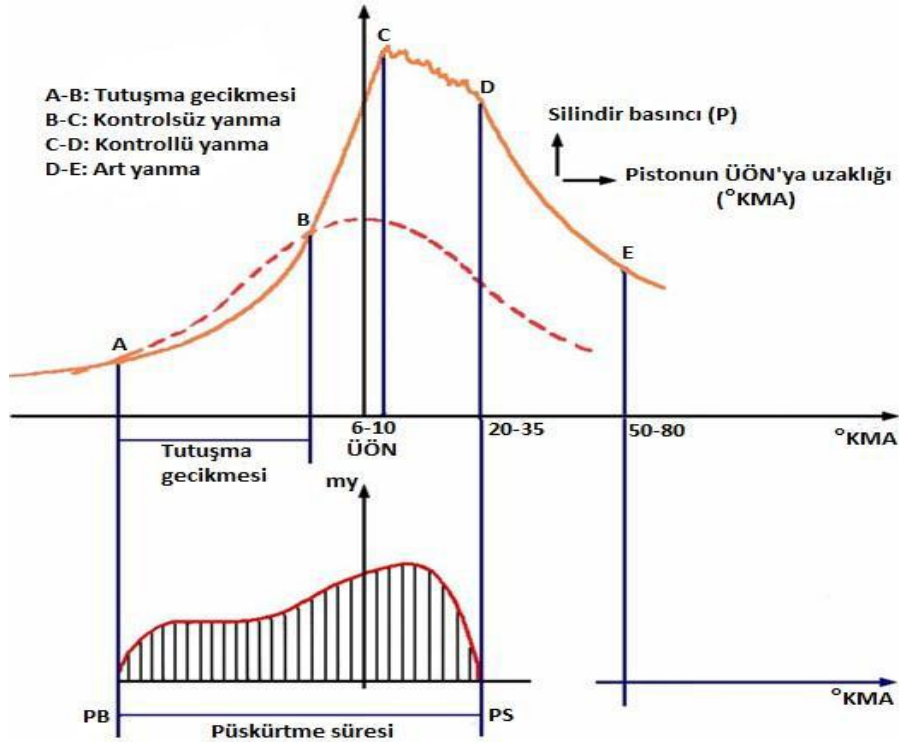
Yanmanın gerçekleşme evreleri;

A-B: Tutuşma gecikmesi

B-C: Kontrolsüz yanma

C-D: Kontrollü yanma

D-E: Art yanma



Şekil 4.1 Dizel motorlarında yanma diyagramı (Azi 2017).

#### **4.1 Tutuşma Gecikmesi (TG)**

Silindire alınan hava ve yakıtın düzgün şekilde karışması ve buhar hale gelmesi için gereken hazırlık safhası olarak tanımlanır. Ciddi bir basınç artışı yoktur. Sıkıştırma sonunda hava yakıt karışımının yeterince tutuşması için sıcaklığının yüksek olması gereklidir. Bu tutuşma olayının gerçekleşmesi için geçen süreye tutuşma gecikmesi denir. Bir diğerk ifadeyle, yakıtın enjektörden püskürtüldüğü andan alev çekirdeğı oluşumuna kadar geçen süre demektir. Bu sürenin uzun olması motorun ileri safhalarda vuruntulu ve dolayısıyla gürültülü çalışmasına sebep olur. Bu sürenin sıfırlanması mümkün olmadığından bu sürenin minimum seviyeye indirilmesi istenir. Bu sürenin minimize edilmesi ise motora alınan havanın sıcaklığı ve basıncına, türbülansa, enjeksiyon avansına, yakıtın kalitesine ve atomize oluşuna bağlıdır. Bununla birlikte düşük setan sayılı dizel yakıtlarının yanma isteğı de düşük olacağından tutuşma gecikmesi süresi uzayacaktır. Dolayısıyla motorda vuruntu meydana gelecektir. Bu durum dizel vuruntusu olarak adlandırılır (Azi 2017).

#### **4.2 Kontrolsüz Yanma**

Silindirlere püskürtölen karışımın bir bölümü tutuşma gecikmesi kısmında tutuşmaktadır. Bu karışım ön yanmayı başlatır ve ani basınç yükselmesi gerçekleşir.

Yanma odası içindeki yakıtın miktarı tutuşma gecikmesinin süresini ve basıncın ne kadar yükseleceğini etkiler. Basıncıdaki ani ve hızlı bir şekilde yükselmesi de motorun parçalarının çarparak anormal sesler çıkarmalarına sebep olur. Dizel motorlarda vuruntunun yaşanması uygun olmayan bir vaziyettir. Tutuşma gecikmesinin zamanlamasını kısaltarak vuruntunun önüne geçilebilir. Basıncıdaki artışın hızı yükseldikçe motorlar daha sıkı çalışacaktır (Azi 2017).

#### **4.3 Difüzyon Kontrollü Yanma**

Dizel motorlarında yakıt ve hava karışımının yanma olayını kontrol altına alarak gerçekleşen bölümdür. Üçüncü aşama olarak gerçekleşmektedir. Ani olarak artan

basıncın kontrolsüz olarak yanmasından sonra başlayan kısımdır. Yakıtın yanması dizel motorlarında birçok noktadan olmaktadır (Azi 2017).

Yakıtın ani bir şekilde yanması silindirler içerisinde basıncı yükseltir ve vuruntunun oluşmasına sebep olmaktadır. Yakıt hava karışımının belli oranında yakıtın yanma olayı gerçekleşir. Yakıtın eşit miktarlarda yanmamasının fayda ve zararları olabilir. Silindir içerisine püskürtülen yakıtın bir bölümü yanma olayı gerçekleşmeden egzozdan atılabilir. Bu durumda oluşan hidrokarbonlardır (Azi 2017).

Egzoz supabı kapalı iken islerin çoğunluğu oksitlenir, diğerleri silindirlerin içerisinden dışarıya atılmaktadır. Partikül maddeler diyebileceğimiz sülfatlar ve ağır hidrokarbonlar egzoz sisteminde genişlemenin son aşamalarında birikecektir. Yakıt hava karışımının hızlı bir şekilde karışmasını sağladığımız zaman isin ve yakıt miktarının azaldığı görülecektir. Yanma odasındaki oluşturulacak hava girdaplarının dereceleri ve yakıt enjeksiyonundaki yükseltilmiş basınçlar isi azaltacaktır. Hızlı bir şekilde karışım ve yanmadan kaynaklı yüksek düzeylerde azot oksitlerin oluşmasına etkendir (Azi 2017).

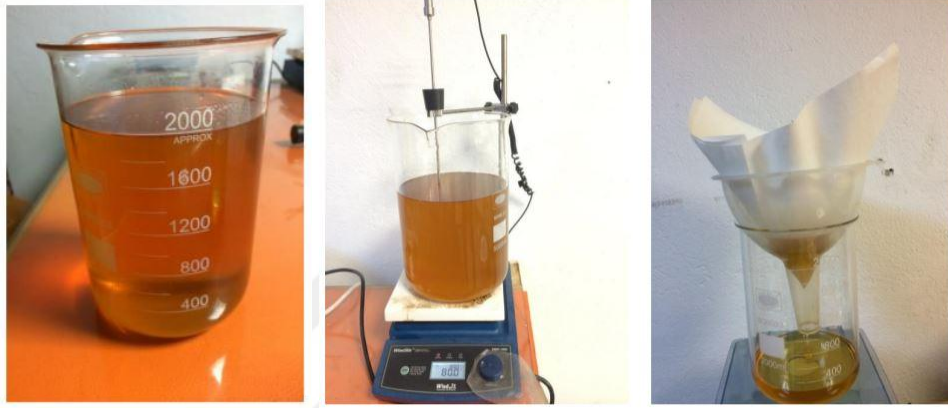
#### **4.4 Art Yanma**

Bir önceki yanma aşamasının sonrasında egzoz valfinin açılması anına kadar meydana gelen tepkimelerdir. Yakıt enjeksiyonundan sonra yanma olayının bitirememiş yanmadan kalan artık mamuller oluşan girdaplar ve oksijenin seviyesine göre yanma işlemini sürdürürler. Silindir içindeki basıncın düşmesi pistonun aşağıya doğru harekete başlaması ile hacmin artışı vesilesiyle gerçekleşmektedir. Motorun randımanlı çalışması için art yanma safhasının uzamaması gerekir (Azi 2017).

## 5. MATERYAL ve METOT

### 5.1 Biyodizel Üretimi

Resim 5.1’de gösterilen atık ayçiçek kızartma yağı ticari firmadan temini edilmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonunda alkol olarak metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), katalizör olarak sodyumhidroksit ( $\text{NaOH}$ ) kullanılmıştır.



**Resim 5.1** Atık ayçiçek kızartma yağı.

Alkol ve katalizör, geri soğutucu altında  $40^\circ\text{C}$ ’de 30 dakika Resim 5.2’de gösterilen manyetik karıştırıcılı ısıtıcı kullanılarak ısıtılmıştır. Bu şekilde metanol ve katalizör karışımının aktif hale geçmesi sağlanmıştır.



**Resim 5.2** Alkol ve katalizörün manyetik ısıtıcı ile ısıtılması.

Resim 5.3’de gösterilen düzenekte  $600\text{ min}^{-1}$  karıştırma hızında toplamda 1000 g atık ayçiçek kızartma yağı, yağa göre %0,5 katalizör oranı ve %20 alkol oranı kullanılarak reaksiyonlar meydana getirilmiştir.



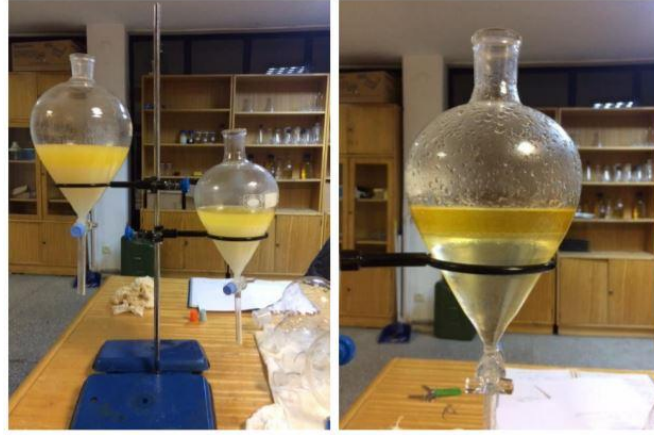
**Resim 5.3** Manyetik ısıtıcıda atık kızartma yağının ve metoksitin karıştırılması.

Gliserin fazını ayırmak için reaksiyon sonunda ayırma hunisi kullanılmıştır. Ayırma işlemi Resim 5.4’de gösterilmiştir.



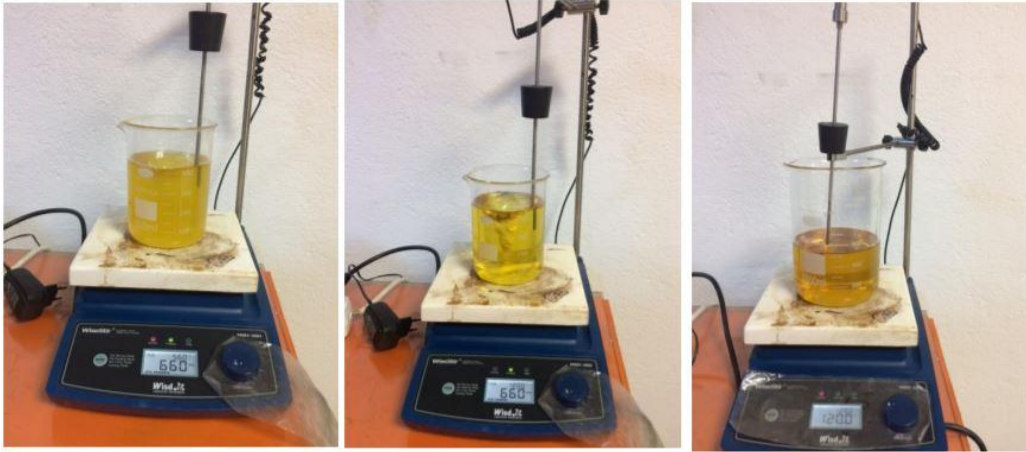
**Resim 5.4** Gliserin fazını ayırma işlemi.

Biyodizelin saflaştırılması için hunide kalan biyodizel ile  $90^{\circ}\text{C}$ ’de saf su ile 5 defa yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yıkama işlemi Resim 5.5’de gösterilmiştir.



**Resim 5.5** Biyodizelin saflaştırılması için yıkama işlemi.

Ortamdaki alkol ve suyun tam olarak üretilen biyodizelden uzaklaştırılması için biyodizel 120°C'ye kadar ısıtılmıştır. Isıtma işlemi Resim 5.6'da gösterilmiştir.



**Resim 5.6** Biyodizelin ısıtılması.

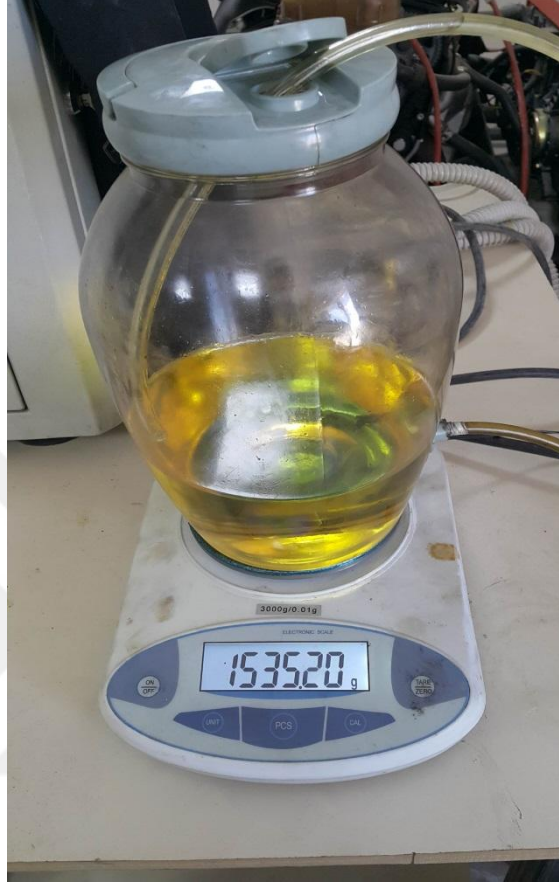
### 5.1.1 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Materyaller

Biyodizelin üretiminde ve deneyler esnasında; manyetik karıştırıcılı ısıtıcı, geri soğutucu, reaktör kabı, manyetik balık ve termometre, kullanılmıştır.

#### 5.1.1.1 Terazı

Atık ayçiçeği kızartma yağından biyodizel üretilirken metanol ve katalizörün reaksiyonu sonucunda ortaya çıkan numuneyi tartmak için Analytical Electronic

Balance marka mutfak tipi terazi kullanılmıştır. 3 kg ağırlığa kadar 0,01 g duyarlılıkla ölçüm yapabilen terazi Resim 5.7’de gösterilmiştir.



**Resim 5.7** Terazi.

#### **5.1.1.2 Manyetik Karıştırıcı**

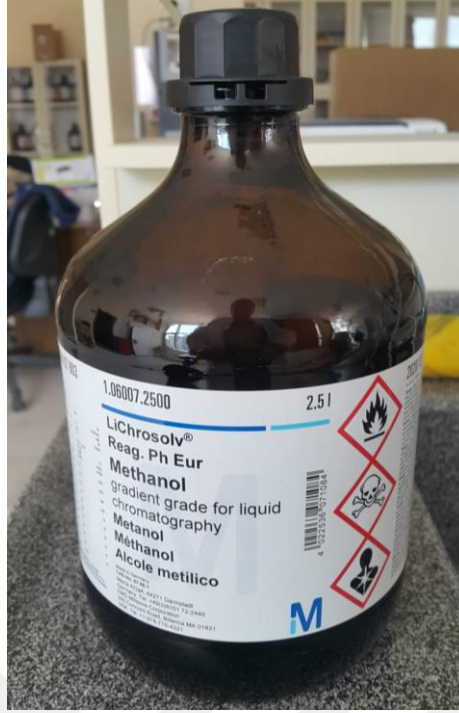
Biyodizel üretiminde Resim 5.8’de gösterilen Daihan marka manyetik karıştırıcılı ısıtıcı kullanılmış olup, 340 °C’ye kadar ayarlanabilirdir. Sıcaklık kontrolü kapasiteli ve seramik kaplamalı cihazdır.



**Resim 5.8** Manyetik karıştırıcı ısıtıcı (İnt. Kyn. 3).

#### **5.1.1.3 Metil Alkol**

Atık ayçiçeği kızartma yağından biyodizel üretimi için kimyasal formülü  $\text{CH}_3\text{OH}$  olan Resim 5.9’da gösterilen Merck marka metil alkol kullanılmıştır. Kullanılan metil alkolün 20 °C sıcaklıktaki yoğunluğu 0,791–0,793 kg/l ve molekül ağırlığı 32,04 kg/kmol’dür.



**Resim 5.9** Metil alkol.

#### **5.1.1.4 Katalizör**

Carlo Erba marka, 56,10564 g/mol ağırlığa ve %97'den fazla saflık değerine sahip sodyum hidroksit (NaOH) katalizör kullanılmıştır. Katalizör, Resim 5.10'da gösterilmiştir.



**Resim 5.10** Sodyumhidroksit (NaOH).

### 5.1.2 Üretilen Biyodizelin Özellikleri

Atık ayçiçeği kızartma yağından üretilen biyodizelin fiziksel ve kimyasal özelliklerine ait ölçümler Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Yakıt Analiz Laboratuvarında yapılmıştır. Elde edilen yakıt özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

**Çizelge 5.1** Üretilen biyodizele ait özellikler.

| Yakıt Özelliği             | Birim              | Sonuç   |
|----------------------------|--------------------|---------|
| Yoğunluk                   | kg/l               | 0,88413 |
| Kinematik Viskozite(40 °C) | mm <sup>2</sup> /s | 4,71    |
| Kükürt İçeriği             | ppm                | 2,4     |
| Su İçeriği                 | ppm                | 265     |

Biyodizel standartları Çizelge 5.2 ve 5.3’de dizel standartları da Çizelge 5.4’te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.2** Biyodizel standartları EN 14214 (Çelik 2015).

| Özellikler           | Test Metodu             | Minimum | Maksimum | Birim              |
|----------------------|-------------------------|---------|----------|--------------------|
| Yoğunluk 15 °C       | EN ISO 3675             | 860     | 900      | kg/m <sup>3</sup>  |
| Viskozite 40 °C      | EN ISO 3104<br>ISO 3105 | 3,5     | 5        | mm <sup>2</sup> /s |
| Parlama Noktası      | EN ISO 3679             | 120     |          | °C                 |
| Ester İçeriği        | EN 14103                | 96,5    |          | % kütle            |
| Karbon Kalıntısı     | EN ISO 10370            |         | 0,3      | % kütle            |
| Sülfür İçeriği       | EN ISO 20846            |         | 10       | % hacim            |
| Setan Sayısı         | EN ISO 5165             | 51      | --       | --                 |
| Sülfatlaşmış Kül     | ISO 3987                |         | 0,02     | % kütle            |
| Su İçeriği           | EN ISO 12937            |         | 500      | % hacim            |
| Asit Sayısı          | EN 14104                |         | 0,5      | mgKOH/g            |
| İyot Sayısı          | EN 14111                |         | 120      | g iyot/100         |
| Metanol İçeriği      | EN 14110                |         | 0,2      | % kütle            |
| Monogliseric İçeriği | EN 14105                |         | 0,8      | % kütle            |
| Digliseric İçeriği   | EN 14105                |         | 0,2      | % kütle            |
| Trigliseric İçeriği  | EN 14105                |         | 0,2      | % kütle            |
| Serbest Gliserol     | EN 14105, EN 14106      |         | 0,02     | % kütle            |
| Toplam Gliserol      | EN 14105                |         | 0,25     | % kütle            |
| Fosfor İçeriği       | EN 14107                |         | 10       | mg/kg              |

**Çizelge 5.3** Biyodizel standartları ASTM D6751 (Çelik 2015).

| Özellikler       | Test Metodu | Birimi             | Sonuç       |
|------------------|-------------|--------------------|-------------|
| Viskozite 40 °C  | D445        | mm <sup>2</sup> /s | 1,9-6,0     |
| Setan Sayısı     | D613        | ...                | min. 47     |
| Parlama Noktası  | D93         | °C                 | min. 130    |
| Damıtma %90      | D1160       | °C                 | maks. 360   |
| Sülfatlaşmış Kül | D874        | % kütle            | maks. 0,02  |
| Su ve Tortu      | D2709       | % hacim            | maks. 0,05  |
| Asit Numarası    | D664        | mgKOH/g            | maks. 0,8   |
| Serbest Gliserol | D6584       | % kütle            | maks. 0,02  |
| Toplam Gliserol  | D6584       | % kütle            | maks. 0,024 |
| Fosfor İçeriği   | D4951       | % kütle            | maks. 0,01  |
| Karbon Kalıntısı | D4530       | % kütle            | maks. 0,05  |

**Çizelge 5.4** Dizel yakıt özellikleri (EURO EN 590) (Çelik 2015).

| <b>Yakıt Özelliği</b>  | <b>ASTM</b> | <b>Birim</b>       | <b>Limit</b> | <b>EN 590</b> |
|------------------------|-------------|--------------------|--------------|---------------|
| Setan Sayısı           | D975        |                    | min. 51      | 52,1          |
| Yoğunluk               | D4052       | kg/l               | 0,820-0,845  |               |
| Kinematik Viskozite    | D445        | mm <sup>2</sup> /s | 2,0-3,5      | 2,4           |
| Parlama Noktası        | D93         | °C                 | min. 55      | 64            |
| Bulutlanma Noktası     | -           | °C                 | maks. -5     | -6            |
| Kükürt İçeriği         | D2672       | mg/kg              | min. 350     | 200           |
| Su İçeriği             | D1744       | mg/kg              | maks. 200    | 100           |
| Soğukta Filtre Tıkanma | -           | °C                 | -            | -20           |
| Kül                    | D482        | (% Kütlege)        | maks. 0,01   | 0,005         |

Ölçümü yapılan değerlerin Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3’de gösterilen biyodizel standartlarına uygunluğu görülmektedir.

## **5.2 Motor Performans Testleri ve Egzoz Emisyon Ölçümleri**

Tek silindirli, direk enjeksiyonlu bir dizel motorunda atık ayçiçek kızartma yağından üretilen B100 biyodizel ve dizel yakıtları farklı motor devirlerinde test edilmiştir. Üretimi yapılan biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkileri incelenmiştir.

Motor performans ve egzoz emisyon deneyleri Resim 5.11’de gösterilen, Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarındaki motor test düzeneğinde yapılmıştır. Motorun yakıt tüketimi ölçümü, maksimum 3 kg yakıt ölçen ve 0,01 g hassasiyete sahip Analytical Electronic Balance marka mutfak tipi terazi yardımıyla g/dak. cinsinden gerçekleştirilmiştir. Dinamometre, Kemsan marka 10 kW gücündeki dinamometredir.



**Resim 5.11** Test düzeneği.

### 5.2.1 Deney Motorunun Özellikleri

Deneylerde, Çizelge 5.5’de teknik özellikleri verilen, Resim 5.12’de gösterilen, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, doğal emişli bir dizel motoru kullanılmıştır.

**Çizelge 5.5** Deney motorunun teknik özellikleri (Akay 2017).

| <b>Model</b>                      | <b>Antor / 6LD400</b>                |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Motor tipi                        | Direkt enjeksiyon, doğal emişli      |
| Silindir sayısı                   | 1                                    |
| ÇapxKurs [mm]                     | 86 x 68                              |
| Silindir hacmi [cm <sup>3</sup> ] | 395                                  |
| Sıkıştırma oranı                  | 18:1                                 |
| Maksimum güç [kW]                 | 5,4 @ 3000 d/d                       |
| Maksimum tork [Nm]                | 19,6 @ 2200 d/d                      |
| Yanma odası geometrisi            | $\omega$ tipi                        |
| Yakıt enjeksiyon sistemi          | PF Jerk tipi yakıt pompası           |
| Enjeksiyon nozulu                 | 0,24 [mm] x 4 delik x 160°           |
| Püskürtme zamanlaması[°KA]        | 24 ÜÖN’den önce                      |
| Supap EmAA / EmKG                 | 7,5 ÜÖN’den önce /25,5 AÖN’den sonra |
| Supap EgAA / EgKG                 | 21 AÖN’den önce / 3 ÜÖN’den sonra    |



**Resim 5.12** Deney motoru Antor 6LD400.

Deneyle, motor istenen çalışma sıcaklığına ve devrine ulaştıktan sonra üretilen biyodizel ve dizel yakıtları ile gerçekleştirilmiştir. Dinamometre ile yükleme yapılırken egzoz emisyon ölçümleri gerçekleştirilmiş ve motor performans değerleri belirlenmiştir.

Deneyle, gaz kelebeği tamamen açık ve sabitken 1800, 2200, 2600, 3000 min<sup>-1</sup> olmak üzere dört farklı devirde gerçekleştirilmiştir. Yakıt tüketimi, hassas terazi ve kronometre ile ölçülmüş ve dakikadaki yakıt tüketimleri referans alınarak kaydedilmiştir. Motorun yüklemesi dinamometre ile yapılmış, böylece motor momentinin ve devrinin sabit kalması sağlanmıştır. Bu esnada egzoz emisyonu değerleri alınmıştır.

### 5.2.2 Emisyon Cihazının zellikleri

Bilsa MOD 2210 WIN-XP marka egzoz emisyon cihazı emisyon değerlerinin ölçülmesinde kullanılmıştır. Resim 5.13'de gösterilen egzoz emisyon cihazına ait özellikler izelge 5.6'da verilmiştir.



**Resim 5.13** Bilsa MOD 2210 WIN-XP marka egzoz emisyon cihazı.

**Çizelge 5.6** Bilsa MOD 2210 WIN-XP marka egzoz emisyon cihazına ait özellikler.

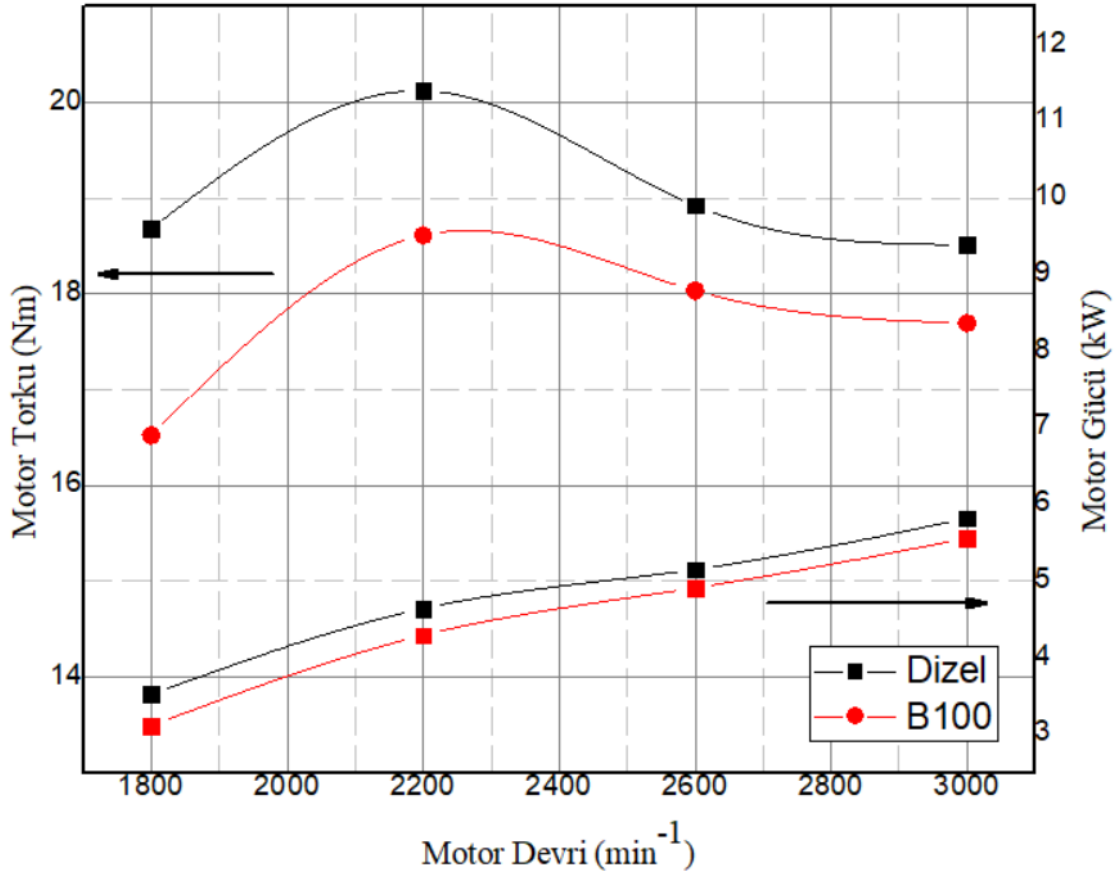
| Parametreler                | Ölçme Sınırı             | Hassasiyet           |
|-----------------------------|--------------------------|----------------------|
| CO                          | 0-%10                    | %0, 001              |
| CO <sub>2</sub>             | 0-%20                    | %0, 001              |
| HC                          | 0-10000                  | 1 ppm                |
| O <sub>2</sub>              | 0-%25                    | %0, 01               |
| CO Corr                     | 0-%10                    | %0, 001              |
| NO <sub>x</sub>             | 0-5000                   | 1 ppm                |
| Lambda (HFK)                | 0-5, 000                 | 0,001                |
| H/Y                         | 0-5, 000                 |                      |
| Motor yağ ısısı             | 0-150 °C                 | 1 °C                 |
| Devir (min <sup>-1</sup> )  | 0-9990 min <sup>-1</sup> | 10 min <sup>-1</sup> |
| Opasite (pusluluk derecesi) | %0-100                   | %0, 1                |
| K (karartma katsayısı)      | 0-9,99                   | 0, 01m <sup>-1</sup> |
| Çalışma ortam sıcaklığı     | 0 °C/+40 °C              | %0, 01               |
| Algılama süresi             | < 5 s.                   |                      |
| Ölçüm odası sıcaklığı       | 70-100°C                 |                      |
| Besleme voltajı             | 230 V AC                 |                      |
| Besleme frekansı            | 50 Hz                    |                      |
| Debi                        | Min. 2 lt/s-Nom. 4 lt/s  |                      |

## 6. PERFORMANS TESTİ SONUÇLARI

Atık kızartma yağından üretilen B100 yakıtı ile dizel yakıtı, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Motor Test Laboratuvarında, tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda test edilmiştir. Deneyler tam yükte  $1800-3000 \text{ min}^{-1}$  motor devri aralığında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerle motor devrine bağlı olarak motor performansı ve egzoz emisyon parametrelerinin eğrileri oluşturulmuştur.

Şekil 6.1’de motor devrine bağlı olarak motor torkunun ve motor gücünün değişimi verilmiştir. B100 yakıtı kullanılarak yapılan motor deneylerinde tork ve güç değerlerinin bütün motor devirlerinde dizel yakıtına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Silindire bir çevrimde maksimum karışımın alındığı devire maksimum tork devri denilmektedir. Test motorundan maksimum tork devrinde ( $2200 \text{ min}^{-1}$ ) dizel yakıtı ve B100 yakıtı kullanımı ile sırasıyla 20,12 Nm ve 18,61 Nm tork değerleri elde edilmiştir. B100 yakıtı kullanımı ile dizel yakıtına göre motor torkunda ortalama yaklaşık %7,06 azalma görülmüştür. Maksimum tork devrinden daha düşük devirlerde volümetrik verimin azalması nedeniyle her iki yakıt içinde tork değerlerinde azalma gözlemlenmiştir.  $2200 \text{ min}^{-1}$ ’in üzerindeki devirlerde ise hem sürtünme kayıplarının devir arttıkça artması hem de yanma odasına giren karışımın akış ve kütle dirençlerinin motor hızı ile artması motor torkunun azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca yüksek devirlerde karışımın yanabilmesi için gerekli olan süre kısaldığından da motor torkunda azalma meydana gelmektedir. Motor karakteristiği belirleme de bir diğer önemli parametrede fizikte birim zamanda yapılan iş olarak tanımlanan güç değerleridir. Tam yükte farklı motor devirlerinde yapılan testlerde B100 yakıtı kullanımı ile motor gücünde dizel yakıtına göre azalma gözlemlenmiştir. Bunun iki temel nedeni vardır. B100 yakıtının dizel yakıtına göre daha düşük ısı değere sahip olması, güçteki düşüşün nedenlerinden birincisidir. İkinci neden ise B100 yakıtının viskozitesinin dizel yakıtına göre daha yüksek olmasıdır. Bununla birlikte B100 yakıtı daha büyük damlacıklar halinde püskürmektedir. Bunun sonucunda yakıtın buharlaşması ve yanma süresi uzamaktadır. Yanmadaki bu gecikmeler yanmanın genişleme periyoduna sarkmasına sebep olmaktadır. Böylece motor gücü ve torkunda, bunlara bağlı olarak da termik

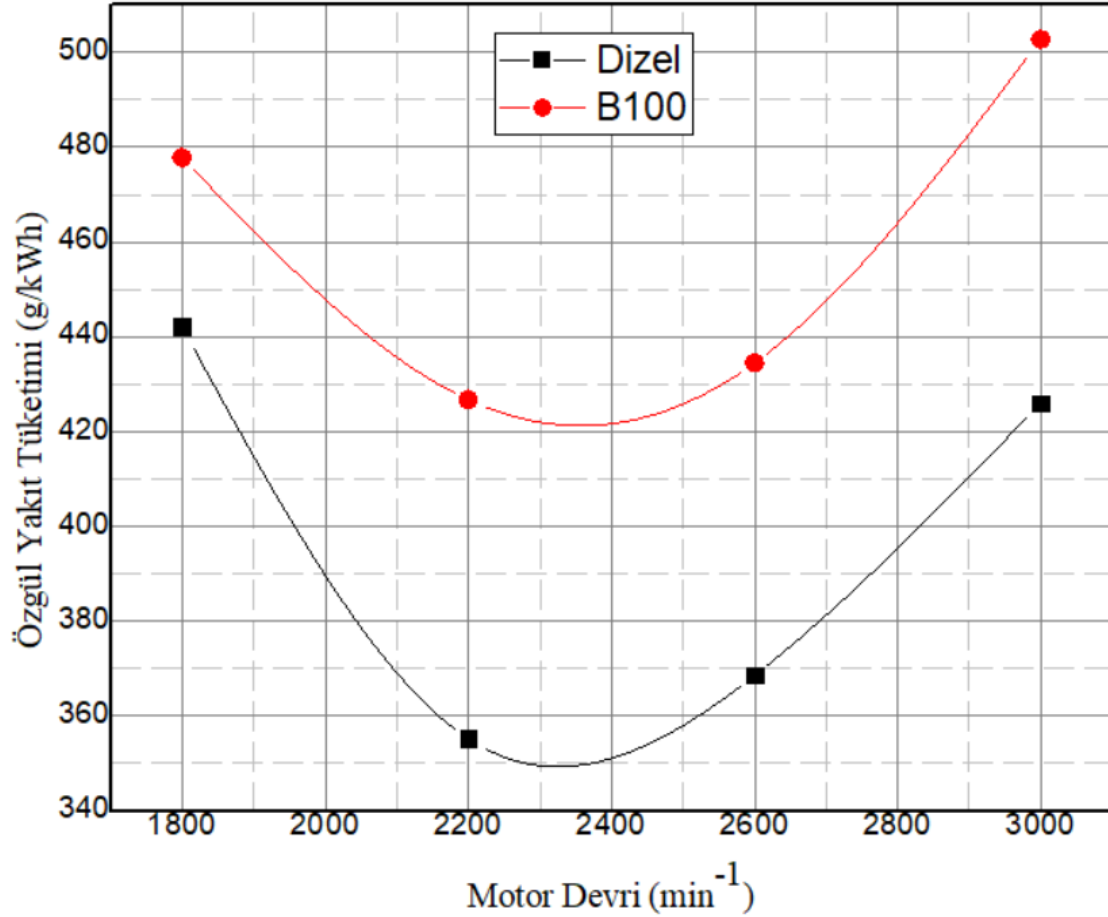
verimde azalma meydana gelmektedir (Uyumaz 2009). Maksimum tork devrinde motor gücünde B100 yakıtında dizel yakıtına göre %7,54 azalma gözlemlenmiştir. Tüm motor devirleri dikkate alındığında ise B100 yakıtı kullanımı ile yaklaşık olarak %6,64 azalma görülmüştür.



Şekil 6.1 Motor devrine bağlı olarak motor torku ve gücünün değişimi.

Şekil 6.2’de motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimi görülmektedir. Motor gücünün bir fonksiyonu olan özgül yakıt tüketimi B100 yakıtı kullanımı ile dizel yakıtına göre artmıştır. Bunun temel nedeni B100 gibi biyodizel yakıtların ısıl değerinin dizele göre daha düşük olmasıdır. Bu sebeple aynı devirde aynı gücü elde edebilmek için yanma odasına daha fazla B100 yakıtının gönderilmesi gerekmektedir. Şekil 6.2 incelendiğinde maksimum tork devrinde B100 ve dizel yakıtının özgül yakıt tüketim değerleri sırasıyla 426,75 g/kWh ve 355,22 g/kWh olarak hesaplanmıştır. Bu devirde B100 kullanımı ile yaklaşık olarak özgül yakıt tüketiminde %20,14 artış gözlemlenmiştir. Tam yükte tüm motor devirleri dikkate alındığında ise B100 yakıtı

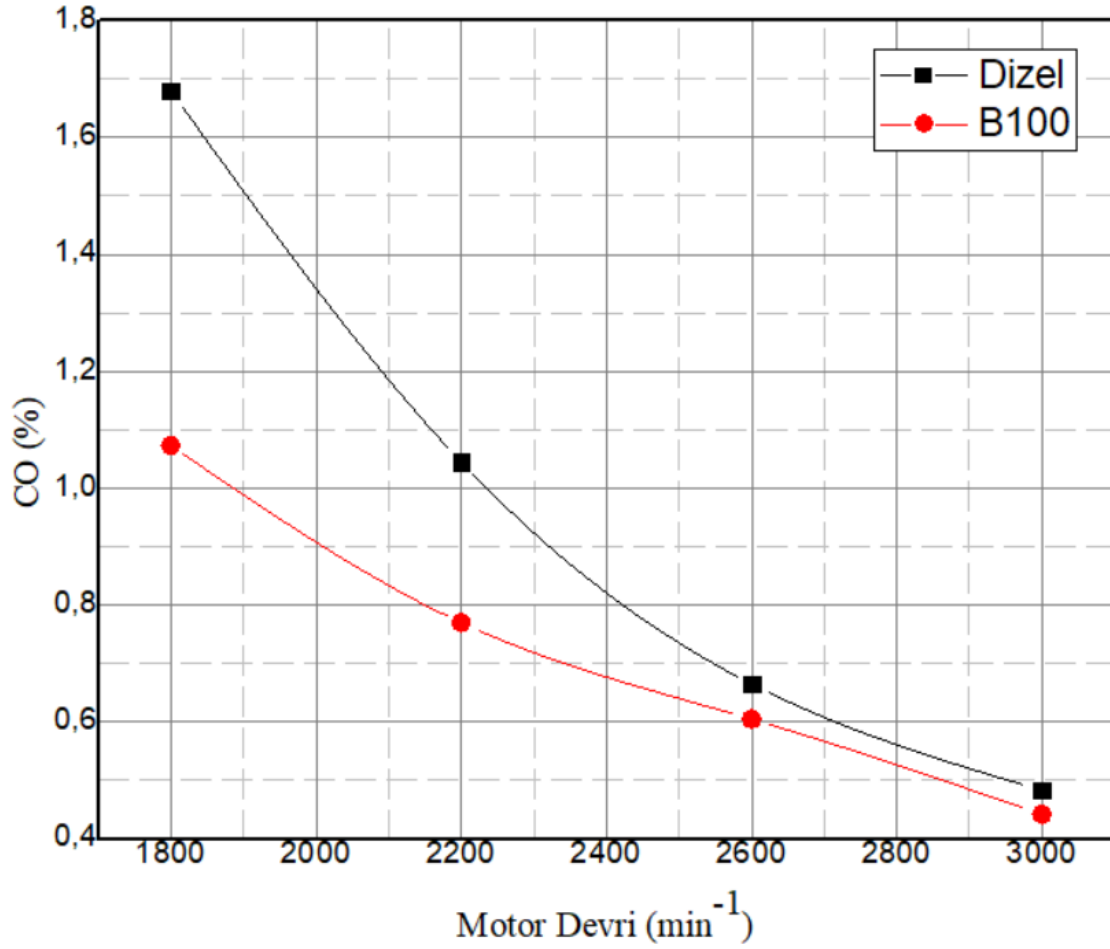
kullanımı ile dizele göre özgül yakıt tüketiminde yaklaşık olarak %15,7 artış gözlemlenmiştir.



Şekil 6.2 Motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi.

Şekil 6.3’de dizel ve B100 yakıtlarının kullanılması sonucu açığa çıkan CO emisyonlarının tam yük şartlarında motor hızına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Test yakıtlarında tam yük deneyinde, CO emisyonları motor hızına bağlı olarak azalmıştır. CO emisyonu yanmanın tam olarak gerçekleşmemesinden dolayı açığa çıkan ve insan sağlığı için oldukça zararlı bir emisyondur. Hava yakıt oranının düşük olması CO emisyonlarının oluşmasının ana nedenidir. Ayrıca, motor yükü, yakıt özellikleri ve püskürtme parametreleri hava yakıt oranını önemli derecede etkilediğinden, bu parametreler CO oluşumunu da etkilemektedir. Atık yağdan elde edilen biyodizelin molekül yapısında oksijen bulunması ve bunun sonucunda yanma odasında hava fazlalık katsayısının dizel yakıtına göre daha yüksek olması B100 test yakıtında dizele

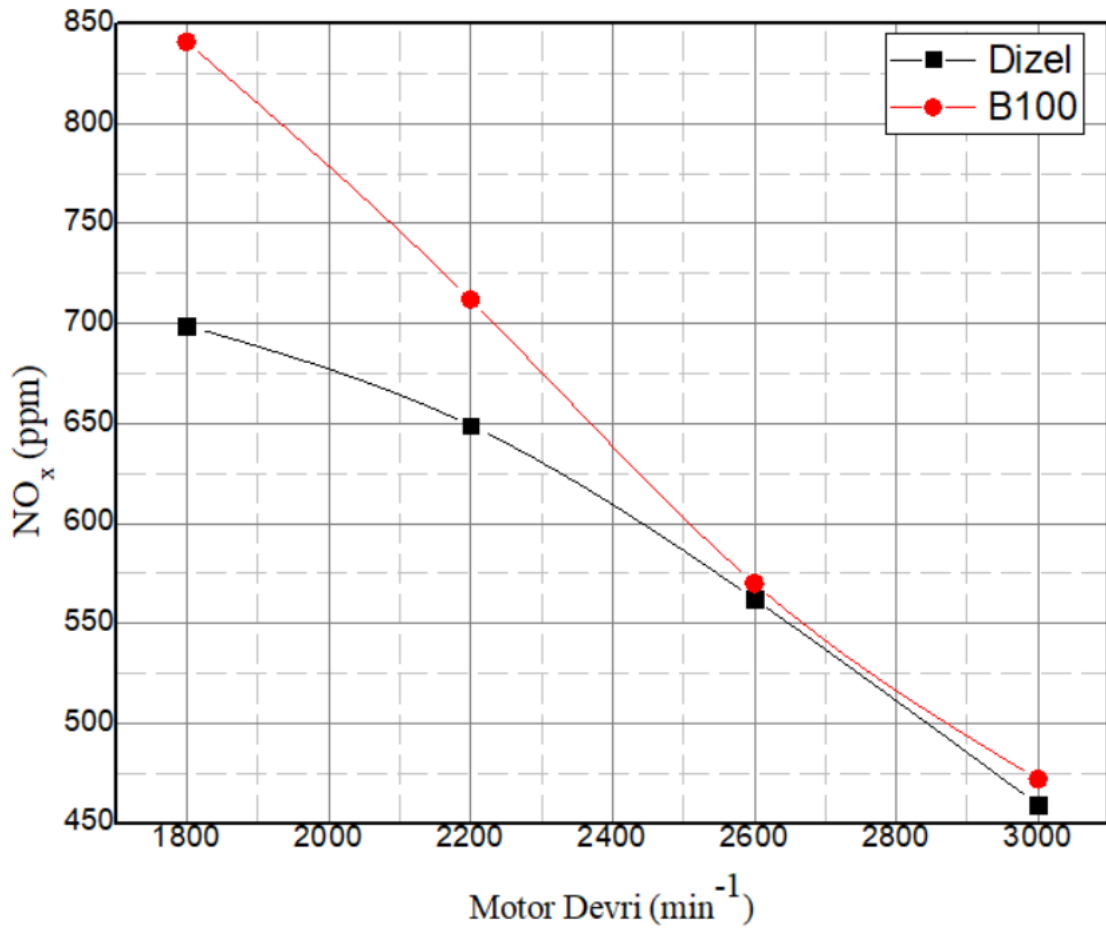
göre daha düşük CO emisyonu oluşmaktadır. Bunun yanı sıra B100 yakıtının setan sayısının dizele göre daha yüksek olması ve daha az kükürt içermesi de CO emisyonlarının azalmasına katkı sağlamaktadır (Dorado *et al.* 2003). B100 yakıtının kullanımı ile CO emisyonunda dizel yakıtına göre yaklaşık %25,4 azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 6.3 Motor devrine bağlı olarak CO emisyonlarındaki değişim.

Şekil 6.4’de dizel ve B100 yakıtlarının kullanılmasıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarının tam yükte motor devrine bağlı değişimi görülmektedir. Bilindiği üzere NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşması, yeterli miktarda oksijene, yeterli süreye ve silindir içerisinde yüksek sıcaklığa bağlıdır (Yılmaz 2013). B100 yakıtı ile yapılan testlerde NO<sub>x</sub> emisyonlarının dizele göre daha az çıkması beklenmektedir. Çünkü B100 yakıtının dizele göre ısı değeri düşük ve viskozitesinin yüksek olması, daha iri zerreliliği yakıt damlacıklarının oluşmasına ve tutuşma gecikmesi periyodunun uzamasına sebep olmaktadır. Bu yüzden yanma sonu

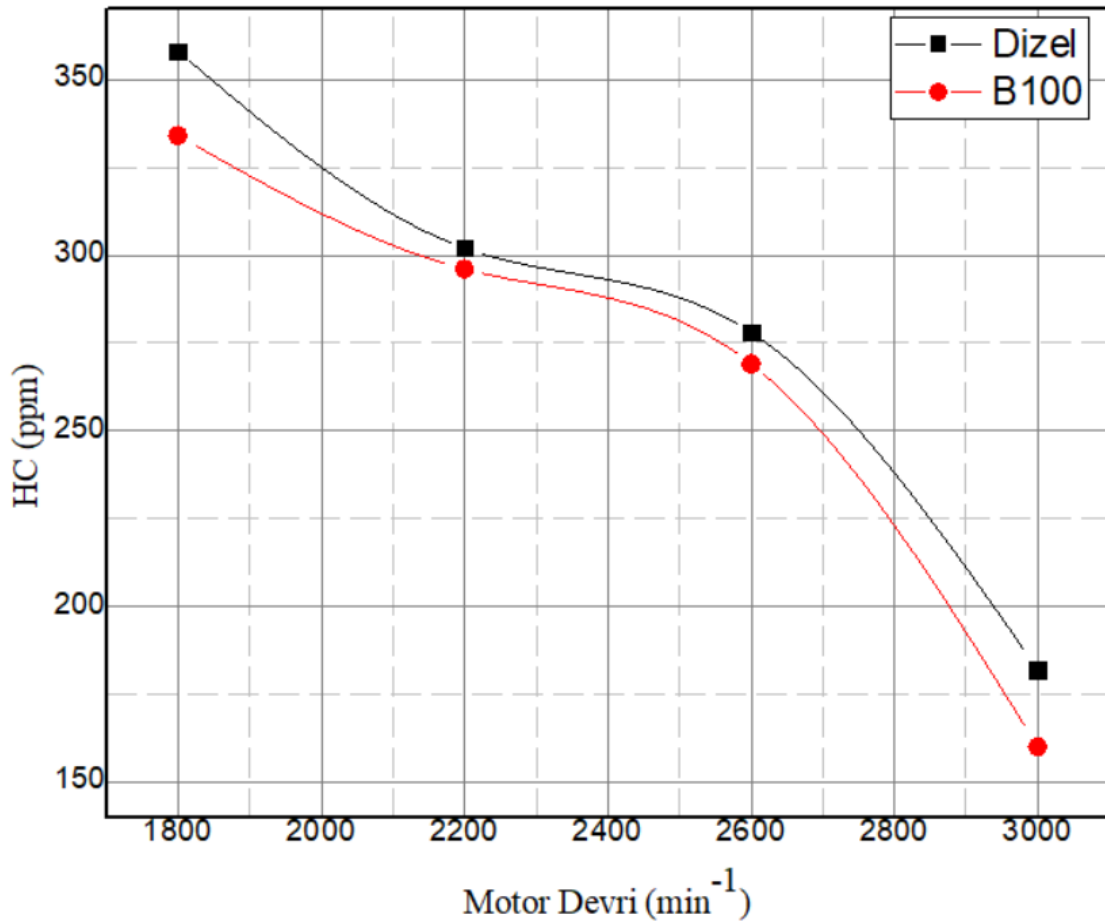
basınç ve sıcaklığının düşmesi beklenmektedir (Yücesu *et al.* 2001). Fakat B100 yakıtının içeriğindeki oksijen yanma odasında hava yakıt oranının yükselmesine ve yakıtça zengin bölgelerdeki oksijen ihtiyacını fazlası ile karşılamakta ve yanma bölgelerinin sayısını arttırmaktadır. Bu sayede yanma sonu sıcaklığının yüksek olduğu bölge sayısı dizele göre artmaktadır. Bunun sonucunda Şekil 6.4’de de görüldüğü gibi B100 yakıtının kullanımı ile dizel yakıtına göre NO<sub>x</sub> emisyonu artmaktadır (Budak *et al.* 2009). B100 yakıtının kullanımı ile NO<sub>x</sub> emisyonunda dizel yakıtına göre yaklaşık %9,5 artış gözlemlenmiştir.



Şekil 6.4 Motor devrine bağlı olarak NO<sub>x</sub> emisyonlarındaki değişim.

Şekil 6.5’de dizel ve B100 yakıtlarının kullanılmasıyla HC emisyonlarının tam yükte motor devrine bağlı değişimi görülmektedir. Yakıtın tam olarak yakılamaması sonucu egzoz gazları içerisinde HC emisyonları oluşmaktadır. HC emisyonlarının oluşumunun ana nedeni yetersiz oksijen ve yanma sıcaklığı sonucunda yanmanın

tamamlanamamasıdır (Payri *et al.* 2009). Tüm motor devirlerinde B100 yakıtının kullanılmasıyla elde edilen HC emisyonu değerleri dizel yakıtıyla ölçülen değerlere göre daha düşük olduğu Şekil 6.5’de görülmektedir. B100 yakıtının kullanımı ile yanmamış HC emisyonundaki azalmanın temel nedeni, B100 yakıtının moleküler yapısında bulunan oksijenin zengin yakıt-hava karışım bölgelerinde yeterli yanmayı meydana getirmesidir. Motor devrinin artması ile birlikte test yakıtları için HC emisyonunda bir azalma olmuştur. Bunun nedeni dizel motorlar hava fazlalığı ile çalıştığından devir arttıkça hava hareketleri (türbülans) artmakta ve bu sayede silindir basıncı ve sıcaklığı da artmaktadır. Sonuç olarak yüksek devirlerde HC’ların tam veya kısmi oksitlenmesini arttığından, yanmamış HC emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. B100 yakıtının kullanımı ile HC emisyonunda dizel yakıtına göre yaklaşık %5,5 azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 6.5 Motor devrine bağlı olarak HC emisyonlarındaki değişim.

## 7. SONUÇLAR

Petrol yataklarının azalması, artan fiyatları, çevreye verdiği zararlardan dolayı bilim adamları alternatif enerji kaynakları arayışına girmiştir. Bu kaynakların yenilenebilir, temiz ve çevre dostu ve yüksek kalorifik değere sahip olması beklenmektedir. Bahsedilen alternatif enerji kaynaklarından birisi hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilen, herhangi bir motor modifikasyonu gerektirmeyen, yenilenebilir ve çevre dostu olan biyodizeldir. Her ne kadar mükemmel bir yakıt var olmasa da mevcut imkânlarla bu yakıtı en yakın yakıtlar üretilmeye çalışılmaktadır. Bu yüzden biyodizel yakıtları farklı oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak veya saf halde dizel motorlarında kullanılabilir. Bu tezde atık kızartma yağından transesterifikasyon metoduyla biyodizel üretilmiş ve bir dizel motorunda motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Deney sonuçlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- Biyodizel kullanımı ile CO emisyonlarını azalmıştır. Biyodizelin yaklaşık %11'ini oksijenin oluşturması ve setan sayısının yüksek olması daha verimli bir yanma sağlamaktadır. Bu sayede oksidasyon artmakta ve CO emisyonları CO<sub>2</sub> emisyonlarına dönüşmektedir.
- Biyodizel kullanımı ile NO<sub>x</sub> emisyonları artmıştır. NO<sub>x</sub> emisyonları azot ve oksijen gazlarının uzun süre yüksek sıcaklıkta tepkimeye girmesiyle meydana gelmektedir. Biyodizel kısmen oksitlenmiş bir yakıt olduğundan oksijen açısından zengindir. Yüksek ısı değeri, silindir içinde ki sıcaklığı arttırdığından hava yakıt karışımında ki azot ve oksijenler yüksek sıcaklıkta NO<sub>x</sub> emisyonlarını arttırmaktadır.
- Biyodizel kullanımı ile is emisyonları azalmıştır. İs emisyonları, oksijenin az olduğu bölgelerde karbon atomlarından oluşmaktadır. Biyodizel oksijence zengin bir yakıt olduğundan karbon atomları tepkimeye girmek için yeterli oksijen bulmaktadır.
- Biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre motor gücü ve momenti azalırken; özgül yakıt tüketimi ise artmıştır. Ancak iki yakıt arasındaki performans değerleri arasında önemli bir fark yoktur. Isı değeri dizel yakıtına göre düşük olan biyodizel, motor performansını olumsuz etkilemektedir.

## Öneriler

Bu tez çalışması sonucunda aşağıdaki maddeler önerilmektedir:

- Biyodizel dış ülkelere bağımsızlığı bitirme de fayda sağlayacağından, bu alana daha fazla ilgi gösterilmelidir.
- Biyodizel yakıtı dizel motorlarında herhangi bir modifikasyon gerektirmeden kullanılabilir.
- Atık kızartma yağlarından biyodizel üretilerek atık kızartma yağlarının geri dönüşümü sağlanabilmektedir. Bu sayede maliyet ve atık birikintileri azaltılmaktadır.
- Yanma odası, enjektörler, pistonlar, ateşleme sistemi gibi motor modifikasyonlarıyla motor performansı artırılabilir ve egzoz emisyonları iyileştirilebilir.
- Atık kızartma yağlarının biyodizel üretiminde kullanılması ile hem tarım hem de otomotiv sektörü canlanmaktadır.
- Atık kızartma yağından üretilen biyodizel dizel yakıtına benzer özellikler göstermesi ve egzoz emisyonları üzerinde olumlu etkilere sahip olması yönüyle alternatif bir yakıt olarak kullanılabilir.

## 8. KAYNAKLAR

- Abed, K. A., El Morsi, A. K., Sayed, M. M., El Shaib, A. A., Gad, M. S. (2018). Effect of waste cooking-oil biodiesel on performance and exhaust emissions of a diesel engine. *Egyptian Journal of Petroleum*, **27**: 985-989.
- Acaroğlu, M. (2003). Yakıtlar ve Yanma Ders Notları, Konya.
- Akay, F. (2017). Atık zeytinyağından elde edilen biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Aktaş A., Pireli E. (2006). Alternatif Yakıt Olarak Farklı Oranlarda Biyodizelin Tek Silindirli Bir Motorda Kullanılmasının ve Püskürtme Basıncının Performansa Etkisi. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye 10. Enerji Kongresi, 475-485.
- Alçelik, N. (2017). Atık yağlardan üretilen biyodizelin tek silindirli bir dizel motorun performans, egzoz emisyonları ve titreşimine olan etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Asokan, M. A. Senthur Prabu, S., Bade, P. K. K., Nekkanti, V. M., Gutta, S. S. G. (2019). Performance, combustion and emission characteristics of juliflora biodiesel fuelled DI diesel engine. *Energy*, **173**: 883-892.
- Aydın, M., Afşar, M., Çelik, M. B. (2017). Tek silindirli bir dizel motorda atık biyodizel kullanımının motor performansı ve emisyonlarına etkisi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **21**., 871-878.
- Aydoğan, B. (2008). Biyodizel kullanılan dizel motorlarda NO<sub>x</sub> emisyonlarının ve NO<sub>x</sub> emisyonları azaltma yöntemlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Azi, H. (2017). Bir dizel motorda hint yağı biyodizeli ve dietil eter kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Bhuiya, M., Rasul, M., Khan, M., Ashwath, N. (2017). Performance and emission

characteristics of binary mixture of poppy and waste cooking biodiesel. *Energy Procedia*, **110**: 523-528.

Budak, N., Bayındır, H., Yücel, H. L. (2009). Dizel motorlarda biyodizel kullanımının performans ve egzoz emisyonları açısından değerlendirilmesi. V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır.

Canakci, M., Van Gerpen, J. H. (2003). Comparison of engine performance and emissions for petroleum diesel fuel, yellow-grease biodiesel and soybean-oil biodiesel. *Trans American Society of Agricultural Engineers*, **46**: 937-944.

Canakci, M., Ozsezen, A. N. (2005). Evaluating waste cooking oils as alternative diesel fuel. *Gazi University Journal of Science*, **18**: 81–91.

Çelik, M. (2015). Biyodizel Yakıt Özelliklerinin Motor Performansı Ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Çevik, K. (2012). Tek Silindirli Bir Dizel Motorunda Atık Kızartma Yağı Metil Esterinin, Petrol Dizeli İle Karışımının Ve Ön Isıtmalı Mısır Yağı Kullanımının Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Çat, S. (2012). Dizel motorlarda atık biyodizel kullanımının performans ve emisyonlara etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Dhanasekaran, R., Ganesan, S., Rajesh Kumar, B., Saravanan, S. (2019). Utilization of waste cooking oil in a light-duty DI diesel engine for cleaner emissions using bio-derived propanol. *Fuel*, **235**: 832–837.

Dorado, M. P., Ballesteros, E., Arnal, J. M., Gomez, J., Lopez, F. J. (2003). Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil. *Fuel*, **82**: 1311-1315.

Eliçin, A. K. (2011). Biyodizel yakıtla çalıştırılan küçük güçlü bir dizel motorun performans ve emisyonuna giriş hava basıncı etkisinin deneysel olarak araştırılması. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Felizardo, P., Correia, M., Raposo, I., Mendes, J., Berkemeier, R., Bordado, J. (2006). Production of biodiesel from waste frying oils. *Waste Management*, **26**: 487-494.
- Gao, Y., Chen, Y., Gu, J., Xin, Z., Sun, S. (2019). Butyl-biodiesel production from waste cooking oil: Kinetics, fuel properties and emission performance. *Fuel*, **236**: 1489–1495.
- García-Martín, J. F., Barrios, C. C., Ales-Alvarez, F. J., Dominguez-Saez, A., Alvarez-Mateos, P. (2018). Biodiesel production from waste cooking oil in an oscillatory flow reactor. Performance as a fuel on a TDI diesel engine. *Renewable Energy*, **125**: 546–556.
- Haşımoğlu, C. (2005). Düşük ısı kayıplı dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- İlgazlı, Ö. (2010). Değiştirilebilir sıkıştırma oranına sahip bir sıkıştırma ateşlemeli motorda diesel-biodiesel karışımlarının motor performansına ve emisyonlarına etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İçingür, Y., Yamık, H. (2005). Utilization of the sunflower ethyl ester in diesel engine as alternative fuel. *Gazi University Journal of Science*, **18**: 545-553.
- Karabektaş, M., Ergen, G. (2006). Ayçiçek yağından metil ester üretimi, motor performans ve emisyon özelliklerinin incelenmesi. 9. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 688-696.
- Kaya, C. (2006). Bitkisel yağlardan biyodizel üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Kızıltan, V. (2008). İçten Yanmalı Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Motor Performansına Ve Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mesut, E. (2011). Atık Ayçiçeği Yağından Biyodizel Üretimi Ve Ön Isıtma Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

- Monyem, A., Van Gerpen, J. H. (2001). The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. *Biomass and Bioenergy*, **20**: 317-325.
- Özsezen, A. N. (2007). Atık palmiye yağından üretilen biyodizelin motor performans ve emisyon karakterleri üzerine etkisinin incelenmesi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Payri, F., Bermudez, V. R., Tormos, B., Linares, W. G. (2009). Hydrocarbon emissions speciation in diesel and biodiesel exhausts. *Atmospheric Environment*, **43**: 1273-1279.
- Peker, A. S. (2009). Gıda niteliği olmayan zeytinyağından elde edilen biyodizelin ve karışımlarının yakıt özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Rajak, U., Verma, T. N. (2018). Effect of emission from ethylic biodiesel of edible and non-edible vegetable oil, animal fats, waste oil and alcohol in CI engine. *Energy Conversion and Management*, **166**: 704–718.
- Reşitoğlu, İ. A., Keskin, A., Gürü, M. (2012). The optimization of the esterification reaction in biodiesel production from trap grease. *Energy Sources Part A Recovery Utilization and Environmental Effects*, **34**: 1238-1248.
- Singh, Y., Sharma, A., Tiwari, S., Singla, A. (2018). Optimization of diesel engine performance and emission parameters employing cassia tora methyl esters-response surface methodology approach. *Energy*, **168**: 909–918.
- Sanli, H. (2018). An experimental investigation on the usage of waste frying oil-diesel fuel blends with low viscosity in a common rail DI-diesel engine. *Fuel*, **222**: 434–443.
- Srithar, K., Balasubramanian, K. A., Pavendan, V., Kumar, B. A. (2014). Experimental investigations on mixing of two biodiesels blended with diesel as alternative fuel for diesel engines. *Journal Of King Saud University – Engineering Sciences*, **29**: 50-56.
- Sugözü, İ., Aksoy, F., Baydır, Ş. A. (2009). Bir dizel motorunda ayçiçeği metil esteri kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **6**: 49-56.

- Şahin, A. (2014). Hardal yağından elde edilen biyodizelin motor performansına etkileri ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Şenoymak, M. İ., Ilgen, O. (2018). Atık ayçiçeği yağından biyodizel üretimi sürecinde serbest yağ asidi miktarının etkisi. 11. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Eskişehir.
- Uyumaz, A. (2009). Pamuk yağı esaslı biyodizel ile çalışan bir dizel motorunda yakıt püskürtme avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Uzun B. B., Kılıç, M., Pütün, A. E. (2007). Ayçiçeği yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimi. 1. Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu, 1-5, Samsun.
- Uzun, B. B., Kılıç, M., Özbay, M., Pütün, A. E., Pütün, E. (2012). Biodiesel production from waste frying oils: optimization of reaction parameters and determination of fuel properties. *Energy*, **44**: 347-351.
- Tillem, İ. (2005). Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Topal, S. (2014). Atık kızartma yağından ultrasonik yöntemle biyodizel üretimi ve kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Vincente, G., Martinez, M., Aracil, J. (2004). Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems. *Bioresource Technology*, **92**: 297-305.
- Yıldız, M. (2008). Atık yağlardan biyodizel üretimi ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Yesilyurt, M. K., Eryilmaz, T., Arslan, M. (2018). A comparative analysis of the engine performance, exhaust emissions and combustion behaviors of a compression ignition engine fuelled with biodiesel/diesel/1-butanol (C4 alcohol) And biodiesel/diesel/n-pentanol (C5 alcohol) fuel blends. *Energy*, **165 (B part)**: 1332–

1351.

- Yılmaz, E., Aksoy, L., Aksoy, F., Şahin, F., Uyumaz, A. (2016). Nötralize atık kızartma yağından elde edilen biyodizelin yanma, motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerinin deneysel incelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **13**: 53-64
- Yılmaz, E. (2013). Farklı alternatif yakıtların motor performansı ve emisyonlara etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yücesu, H. S., Altın, R., Çetinkaya, S. (2001). Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel incelenmesi. *Turk J Engin Environ Sci*, **25**: 39-49.
- Zareh, P., Zare, A. A., Ghobadian, B. (2017). Comparative assessment of performance and emission characteristics of castor, coconut and waste cooking based biodiesel as fuel in a diesel engine. *Energy*, **139**: 883–894.
- Zheng, M., Mulenga, M. C., Reader, G. T., Wang, M., Ting, D. S. K., Tjong, J. (2008). Biodiesel engine performance and emissions in low temperature combustion. *Fuel*, **87**: 714-722.

### İnternet Kaynakları

- 1) <http://web.firat.edu.tr/iats/cd/subjects/Automotive/ATE-17.pdf>, 14.10.2019
- 2) <https://www.aycicegi.gen.tr/aycicegi.html>, 24.05.2019
- 3) <http://arikimlab.com/manyetik-karistici-ve-hotplate/daihan-digital-isitici-manyetik-karistirici-set/6554>, 14.10.2019

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kemal EROL  
Doğum Yeri ve Tarihi : İzmir 22.10.1986  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0 506 903 2149 / kemalerol35@hotmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : İzmir Motor Teknik Lisesi, (1999-2000)  
Bursa Hürriyet Teknik Lisesi, (2001-2002)  
Gölcük Teknik Lisesi, (2002-2003)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim  
Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv  
Öğretmenliği, (2008-2012)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri  
Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı,  
(2014-2019)

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : Mercedes Benz Türk Yetkili Servisi, (2012-2016)  
AOSB Rahmiye Sare Palalı Teknik Koleji, (2016-  
2019)