



**T.C.**  
**BATMAN ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ETİL PROKSİTOL KATKILI BİYODİZELİN BİR  
DİZEL MOTORUNDA KULLANIMININ YANMA VE  
EMİSYONONUNA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**MAHMUT BEYAZ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ağustos-2022**  
**BATMAN**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Mahmut BEYAZ tarafından hazırlanan “Etil Proksitol Katkılı Biyodizelin Bir Dizel Motorunda Kullanımının Yanma ve Emisyonuna Etkisinin Araştırılması” adlı tez çalışması 11/08/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

.....

#### Üye

Doç. Dr. Erdal ÇILGIN

.....

#### Danışman

Doç. Dr. Selman AYDIN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA  
Lisansüstü eğitim Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

## **DECLARATION PAGE**

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

**İmza**

**Mahmut BEYAZ**

**11.08.2022**

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### ETİL PROKSİTOL KATKILI BİYODİZELİN BİR DİZEL MOTORUNDA KULLANIMININ YANMA VE EMİSYONUNA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

**Mahmut BEYAZ**

**Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Selman AYDIN  
İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ŞENER**

**2022, 72 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Bahattin İŞCAN  
Doç. Dr. Erdal ÇILGIN  
Doç. Dr. Selman AYDIN**

Biyodizel yakıt karışımlarının CFPP (Soğuk Filtre Tıkanma Noktası) değerleri düşük olduğu için soğuk bölgelerde, karışımda yüksek miktarlarda biyodizel kullanılması durumunda ciddi sorunlar çıktığı bildirildiğinden bu değerlerin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, etil proksitol (1-ethoxy-2-propanol) katkısının biyodizel yakıt karışımlarının önemli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanında yakıtın yanma ve emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Test yakıtları hacimsel içerikleri ile uyumlu olarak, E0B0D100 (%100 dizel yakıt), E5B10D85 (%10 biyodizel, %5 etil proksitol ve %85 dizel), E5B20D75 (20 biyodizel, %5 etil proksitol ve %75 dizel), E15B30D55 (%30 biyodizel, %15 etil proksitol ve %55 dizel) ve E15B40D45 (%40 biyodizel, %15 etil proksitol ve %45 dizel) şeklinde isimlendirilmiştir. Test motoru olarak, dört zamanlı, su ile soğutmalı, tek silindirli, direkt püskürtmeli ve Kirloskar TV1 isimli bir dizel araştırma motoru kullanılmıştır. Deneyler, sabit 1500 dev/dk'da ve Eddy Current dinamometrenin 0 kg, 2,5 kg, 5 kg ve 7,5 kg yüklerinde yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda; E15B30D55 ve E15B40D45 yakıt karışımları, E0B0D100 yakıt karışımına göre orta ve yüksek yüklerde silindir gaz basıncı, net ısı salınımı ve ortalama gaz sıcaklığı değerleri bakımından daha olumlu sonuç verdiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda, E15B30D55 ve E15B40D45 yakıt karışımları, E0B0D100, E5B10D85, E5B20D75 yakıt karışımlarıyla karşılaştırıldığında; katkılı yakıtların CFPP değerinin iyileştirilmesinin yanında yanma ve emisyon parametreleri dizel yakıt eğrilerine göre olumsuz etki yapmayacak şekilde paralellik olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyodizel, Etil proksitol, Dizel motor, Yanma, Egzoz emisyon

## **ABSTRACT**

## **MS THESIS**

# **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE USE OF ETHYL PROXYTOL ADDED BIODIESEL IN A DIESEL ENGINE ON COMBUSTION AND EMISSIONS**

**Mahmut BEYAZ**

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES  
OF BATMAN UNIVERSITY**

**THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN AUTOMOTIVE ENGINEERING**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Selman AYDIN  
Second-Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ŞENER**

**2022, 72 Pages**

**Jury  
Prof. Dr. Bahattin İŞCAN  
Assoc. Prof. Dr. Erdal ÇILGIN  
Assoc. Prof. Dr. Selman AYDIN**

Since the cold filter plugging point (CFPP) values of biodiesel fuel blends are low, it needs to be improved because it has been reported that serious problems occur in the case of using high ratio of biodiesel in the fuel blends in cold regions. In this study, the effects of ethyl proxyltol (1-ethoxy-2-propanol) additive on the physical and chemical properties of biodiesel fuel blends, as well as the combustion and emissions of the fuel were investigated. In accordance with the volumetric contents of the test fuel blends, E0B0D100 (100% diesel fuel), E5B10D85 (10% biodiesel, 5% ethyl proxyltol and 85% diesel), E5B20D75 (20 biodiesel, 5% ethyl proxyltol and 75% diesel), E15B30D55 (% 30 biodiesel, 15% ethyl proxyltol and 55% diesel) and E15B40D45 (40% biodiesel, 15% ethyl proxyltol and 45% diesel) fuel blends were examined. A four-stroke, water-cooled, single-cylinder, direct-injection diesel research engine (Kirloskar TV1) was used as the test engine. The experiments were carried out at a constant speed of 1500 rpm and loads of 0 kg, 2.5 kg, 5 kg, and 7.5 kg using the Eddy Current dynamometer. As a result of experimental studies, E15B30D55 and E15B40D45 fuel blends were determined to be more advantageous than neat diesel fuel in terms of cylinder gas pressure, net heat release and average gas temperature values at medium and high loads. On the other hand, E15B30D55 and E15B40D45 fuel blends were compared with E0B0D100, E5B10D85, and E5B20D75 fuel blends; in addition to the improvement of the CFPP value of the fuel blends with additives, it had been determined that the combustion and emission characteristics were improved to the diesel fuel curves in a way that did not have a negative effect.

**Keywords:** Biodiesel, Diesel engine, Ethyl proxyltol, Combustion, Exhaust Emission.

## **TEŞEKKÜR**

Bu çalışmada, desteği çok büyük olan kıymetli tez danışmanım Doç. Dr. Selman AYDIN'a, çalışmalarımda katkısı bulunan ikinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ŞENER'e teşekkürlerimi sunarım.

Mahmut BEYAZ  
BATMAN-2022

# İÇİNDEKİLER

|                                                            |            |
|------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ÖZET .....</b>                                          | <b>iv</b>  |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                       | <b>v</b>   |
| <b>TEŞEKKÜR .....</b>                                      | <b>vi</b>  |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>                                   | <b>vii</b> |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>                        | <b>ix</b>  |
| <b>TABLolar LİSTESİ .....</b>                              | <b>xi</b>  |
| <b>ŞEKİLLER LİSTESİ .....</b>                              | <b>xii</b> |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                      | <b>1</b>   |
| <b>2. DİZEL MOTORLAR.....</b>                              | <b>3</b>   |
| 2.1. Dizel Motorlarında Yanma Safhaları.....               | 5          |
| 2.1.1. Tutuşma Gecikmesi .....                             | 6          |
| 2.1.2. Kontrolsüz Yanma .....                              | 6          |
| 2.1.3. Kontrollü Yanma .....                               | 7          |
| 2.1.4. Art Yanma .....                                     | 7          |
| 2.2. Dizel Yakıtının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri..... | 7          |
| 2.2.1. Vizkozite.....                                      | 7          |
| 2.2.2. Özgül Ağırlık .....                                 | 8          |
| 2.2.3. Uçuculuk Noktası .....                              | 8          |
| 2.2.4. Parlama Noktası .....                               | 8          |
| 2.2.5. Donma Noktası .....                                 | 8          |
| 2.2.6. Tortu Miktarı.....                                  | 8          |
| 2.2.7. Buharlaşma Noktası.....                             | 9          |
| 2.2.8. Ateşleme Noktası .....                              | 9          |
| 2.2.9. Setan Sayısı.....                                   | 9          |
| 2.2.10. Dizel İndeksi .....                                | 10         |
| 2.2.11. Anilin Noktası.....                                | 10         |
| 2.2.12. Kükürt Miktarı .....                               | 10         |
| 2.2.13. Kül Miktarı .....                                  | 10         |
| 2.2.14. Karbon Atıkları .....                              | 11         |
| 2.2.15. Yoğunluk .....                                     | 11         |
| 2.2.16. Yağlayıcılık Özellikleri.....                      | 11         |
| 2.2.17. Isıl Değer .....                                   | 11         |

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3. Biyodizel .....                                                      | 12        |
| 2.3.1. Biyodizelin Avantajları .....                                      | 13        |
| 2.3.2. Biyodizelin Dezavantajları .....                                   | 13        |
| 2.3.4. Biyodizel Üretim Yöntemleri .....                                  | 14        |
| 2.4. Etil Proksitol .....                                                 | 17        |
| <b>3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>                                     | <b>18</b> |
| <b>4. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                                         | <b>24</b> |
| 4.1. Deney Yakıtlarının Hazırlanması ve Özelliklerinin Belirlenmesi ..... | 24        |
| 4.2. Deney düzeneği ve Deneysel Metot .....                               | 25        |
| <b>5. DENEYSEL ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....</b>                  | <b>30</b> |
| 5.1. Silindir İçi Gaz Basınç Parametresi .....                            | 30        |
| 5.2. Ortalama Silindir içi Gaz Sıcaklığı Parametresi .....                | 33        |
| 5.3 Basıncı Artış Oranı Parametresi .....                                 | 36        |
| 5.4. Net Isı Salınım Parametresi .....                                    | 39        |
| 5.5. Kümülatif Isı Salınımı Parametresi.....                              | 42        |
| 5.6. CO Emisyon Parametresi .....                                         | 45        |
| 5.7. CO <sub>2</sub> Emisyon Parametresi .....                            | 46        |
| 5.8. HC Emisyon Parametresi .....                                         | 47        |
| 5.9. NO <sub>x</sub> Emisyon Parametresi.....                             | 49        |
| 5.10. O <sub>2</sub> Emisyon Parametresi .....                            | 50        |
| <b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                                      | <b>52</b> |
| 6.1. Sonuçlar .....                                                       | 52        |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                    | <b>55</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                     | <b>59</b> |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

|                 |                    |
|-----------------|--------------------|
| CO              | : Karbon monoksit  |
| CO <sub>2</sub> | : Karbon dioksit   |
| HC              | : Hidrokarbon      |
| Hu              | : Alt ısııl değ r  |
| NO              | : Azot monoksit    |
| NO <sub>x</sub> | : Azot oksit       |
| O <sub>2</sub>  | : Oksijen gazı     |
| SO <sub>x</sub> | : Kükürt oksit     |
| kW              | : Kilowatt         |
| d/dak           | : Devir/dakika     |
| KMA             | : Krank mili açısı |
| EP              | : Etil proksitol   |
| BD              | : Biyodizel        |

### Kısaltmalar

|             |                                                                      |
|-------------|----------------------------------------------------------------------|
| A N         | : Alt  l  Nokta                                                      |
| CFPP        | : Soğuk Filtre Tıkanma Noktası                                       |
| DY          | : %100 Dizel Yakıtı                                                  |
| Damıtma T20 | : 20  C'daki damıtma sıcaklığı                                       |
| Damıtma T70 | : 70  C'daki damıtma sıcaklığı                                       |
| Damıtma T20 | : 90  C'daki damıtma sıcaklığı                                       |
| EPDK        | : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu                                   |
| EGR         | : Egzoz Gazı Resirk lasyonu                                          |
| ppm         | : Milyondaki Partikül Madde                                          |
| EP          | : Etil Proksitol                                                     |
| E5B10D85    | : Etil Proksitol %5, Biyodizel %10 ve Dizel yakıtı %85<br>(Hacimsel) |

|           |                                                                       |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|
| E5B20D75  | : Etil Proksitol %5, Biyodizel %20 ve Dizel yakıtı %75<br>(Hacimsel)  |
| E15B30D55 | : Etil Proksitol %15, Biyodizel %30 ve Dizel yakıtı %55<br>(Hacimsel) |
| E15B40D45 | : Etil Proksitol %15, Biyodizel %40 ve Dizel yakıtı %45<br>(Hacimsel) |
| İKN       | : İlk Kaynama Noktası                                                 |
| ÜÖN       | : Üst Ölü Nokta                                                       |
| SS        | : Setan Sayısı                                                        |
| SKN       | : Son kaynama noktası                                                 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 2.1.</b> Uluslararası standartlarda viskozite için verilen sınır değerleri.....  | 8  |
| <b>Tablo 2.2.</b> Avrupa ve Amerika’da kabul edilen biyodizel standartları.....           | 13 |
| <b>Tablo 2.3.</b> Kimyasal Yöntemlerle Üretilen Biyodizelin Karşılaştırılması.....        | 15 |
| <b>Tablo 2.4.</b> Etil proksitolün fiziksel ve kimyasal özellikleri .....                 | 17 |
| <b>Tablo 4.1.</b> Deney yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....                | 25 |
| <b>Tablo 4.2.</b> Test motorunun temel özellikleri .....                                  | 26 |
| <b>Tablo 4.3.</b> Egzoz gazı cihazının doğruluğu ve ölçüm aralığı .....                   | 26 |
| <b>Tablo 5.1.</b> Tüm yüklerdeki maksimum silindir gaz basınç değerleri.....              | 33 |
| <b>Tablo 5.2.</b> Tüm yüklerdeki maksimum silindir içi gaz sıcaklığı değerleri.....       | 36 |
| <b>Tablo 5.3.</b> Tüm yüklerdeki maksimum silindir basıncı artış oranı değerleri.....     | 38 |
| <b>Tablo 5.4.</b> Tüm yüklerdeki maksimum net ısı salınım değerleri.....                  | 41 |
| <b>Tablo 5.5.</b> Tüm yüklerdeki maksimum kümülatif ısı salınım değerleri.....            | 44 |
| <b>Tablo 5.6.</b> Tüm yüklerdeki test yakıtlarının CO emisyon değerleri.....              | 45 |
| <b>Tablo 5.7.</b> Tüm yüklerdeki test yakıtlarının CO <sub>2</sub> emisyon değerleri..... | 46 |
| <b>Tablo 5.8.</b> Tüm yüklerdeki test yakıtlarının HC emisyon değerleri.....              | 48 |
| <b>Tablo 5.9.</b> Tüm yüklerdeki test yakıtlarının NO <sub>x</sub> emisyon değerleri..... | 49 |
| <b>Tablo 5.10.</b> Tüm yüklerdeki test yakıtlarının O <sub>2</sub> emisyon değerleri..... | 50 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Dört zamanlı dizel motorda zamanlar.....                                                                | 3  |
| Şekil 2.2. Dizel motorlarda yanma safhaları.....                                                                   | 5  |
| Şekil 2.3. Bir dizel motor çevriminin supap zaman ayar diyagramı.....                                              | 6  |
| Şekil 2.4. Biyodizel üretim yöntemleri.....                                                                        | 14 |
| Şekil 2.5. Bitkisel yağın metanol transesterifikasyonu.....                                                        | 16 |
| Şekil 2.6. Biyodizel üretim aşamaları.....                                                                         | 17 |
| Şekil 4.1. Etil proksitol katkılı deney yakıtlarının görüntüsü.....                                                | 24 |
| Şekil 4.2. Capalec Cap 3200 Kombi marka egzoz gaz analiz cihaz görüntüsü.....                                      | 27 |
| Şekil 4.3. Testler esnasındaki ICAEngineSoft_9.0 programının ekran görüntüsü.....                                  | 27 |
| Şekil 4.4. Testler esnasında silindir basınç verisinin alındığı ekran görüntüsü.....                               | 28 |
| Şekil 4.5. Deney test düzeneğinin görüntüsü.....                                                                   | 28 |
| Şekil 4.6. Deney setinin şematik görünümü.....                                                                     | 29 |
| Şekil 5.1. Test yakıtlarının 0 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir gaz basınç değişimi.....             | 31 |
| Şekil 5.2. Test yakıtlarının 2,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir gaz basınç değişimi.....           | 31 |
| Şekil 5.3. Test yakıtlarının 5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir gaz basınç değişimi.....             | 32 |
| Şekil 5.4. Test yakıtlarının 7,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir gaz basınç değişimi.....           | 32 |
| Şekil 5.5. Test yakıtlarının 0 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir içi gaz sıcaklığı değişimi.....      | 34 |
| Şekil 5.6. Test yakıtlarının 2,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir içi gaz sıcaklığı değişimi.....    | 34 |
| Şekil 5.7. Test yakıtlarının 5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir içi gaz sıcaklığı değişimi.....      | 35 |
| Şekil 5.8. Test yakıtlarının 7,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir içi gaz sıcaklığı değişimi.....    | 35 |
| Şekil 5.9. Test yakıtlarının 0 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir basıncı artış oranı değişimi.....    | 36 |
| Şekil 5.10. Test yakıtlarının 2,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir basıncı artış oranı değişimi..... | 37 |

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 5.11.</b> Test yakıtlarının 5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir basıncı artış oranı değişimi.....   | 37 |
| <b>Şekil 5.12.</b> Test yakıtlarının 7,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir basıncı artış oranı değişimi..... | 38 |
| <b>Şekil 5.13.</b> Test yakıtlarının 0 kg yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınımı değişimi.....               | 39 |
| <b>Şekil 5.14.</b> Test yakıtlarının 2,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınımı değişimi.....             | 40 |
| <b>Şekil 5.15.</b> Test yakıtlarının 5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınımı değişimi.....               | 40 |
| <b>Şekil 5.16.</b> Test yakıtlarının 7,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınımı değişimi.....             | 41 |
| <b>Şekil 5.17.</b> Test yakıtlarının 0 kg yükteki krank açısına bağlı olarak kümülatif ısı salınımı değişimi.....         | 42 |
| <b>Şekil 5.18.</b> Test yakıtlarının 2,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak kümülatif ısı salınımı değişimi.....       | 43 |
| <b>Şekil 5.19.</b> Test yakıtlarının 5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak kümülatif ısı salınımı değişimi.....         | 43 |
| <b>Şekil 5.20.</b> Test yakıtlarının 7,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak kümülatif ısı salınımı değişimi.....       | 44 |
| <b>Şekil 5.21.</b> Farklı yükler için CO emisyon değerlerinin değişimi.....                                               | 45 |
| <b>Şekil 5.22.</b> Farklı yükler için CO <sub>2</sub> emisyon değerlerinin değişimi.....                                  | 47 |
| <b>Şekil 5.23.</b> Farklı yükler için HC emisyon değerlerinin değişimi.....                                               | 48 |
| <b>Şekil 5.24.</b> Farklı yükler için NO <sub>x</sub> emisyon değerlerinin değişimi.....                                  | 49 |
| <b>Şekil 5.25.</b> Farklı yükler için O <sub>2</sub> emisyon değerlerinin değişimi.....                                   | 51 |

## 1. GİRİŞ

Dünyada fosil kaynakların tükeniyor olması, ülkemizin petrol ürünlerini ithal ediyor olması, dünyada oluşan krizlerden dolayı petrol fiyatlarının çok yükselmesi petrol temini konusunda belli sıkıntılar oluşmaktadır. Ayrıca petrol ürünlerinin yanması sonucu ortaya çıkan zararlı gazlar hem çevreyi hem de insan sağlığını ciddi anlamda etkilemektedir. Bu olumsuz etkilerden kurtulmak ya da en azından minimize etmek adına çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların başında bitkisel ya da hayvansal yağlardan elde edilen yakıtın uygun bir motorda ve her türlü hava şartlarında enerji haline dönüştürme çalışmalarıdır.

Doğamızda hava kirliliğine neden olan hidrokarbon içerikli yakıtların yanması sonucu meydana gelen egzoz emisyonlar atmosferi kirleterek insan sağlığını ciddi anlamda olumsuz etkilemektedir (Şener, 2020). Yapılan çalışmalar sonucu büyük şehirlerde motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği, toplam hava kirliliğinin yarısına yakınına oluşturmaktadır (Keck, 1982).

Yapılan çalışmalarda bitkisel veya hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel yakıtının bir dizel motorunda kullanımının mümkün olduğu anlaşılmış ve uygulanmıştır. Yapılan çalışmalara göre biyodizel ürününün dizel yakıtına oranla CO, CO<sub>2</sub>, HC, PM egzoz emisyonlarında azalmanın olduğu fakat NO<sub>x</sub> egzoz emisyonlarında ise artışın olduğu tespit edilmiştir (Sayın, 2004). Motor performansında belli miktarda azalma olmuştur. Ülkemizde TS 3082 EN 590 standardı gereğince dizel araçlarda azami binde beş oranında biyodizel katılmasına müsaade edilmiştir (Anonim, 2022).

Biyodizel, dizel motorda herhangi bir değişiklik yapmadan kullanılabileceği gibi dizel ile çeşitli oranlarda karıştırılarak da kullanılabileceği bilinmektedir. Sonuç olarak araştırmacıların biyodizel konusunda elde ettikleri sonuçlar şöyledir;

- Maksimum %5 verim kaybının aşırı yük durumlarında (Çanakçı, 2007),
- Yakıt filtrelerinde ya da pompalarında probleme rastlanmadığını, motor üzerinde pek değişiklik yapılmadan kullanılabileceğini (Çanakçı, 2007),
- Kış aylarında da biyodizelin kullanılabileceğini ilk çalışmada herhangi bir sıkıntı çıkmadığını (Sayın, 2004),
- Biyodizelin iyi yağlama özelliği olduğu ve motor ömrünün uzun olacağı ve aşınma oluşturmadığını (Sayın, 2004),
- Bitkisel yağlar çevrecidir. Doğada biyolojik olarak çözünebilir olduğu için gemilerde, koruma altındaki sulu bölgelerde, endüstri bölgelerinde

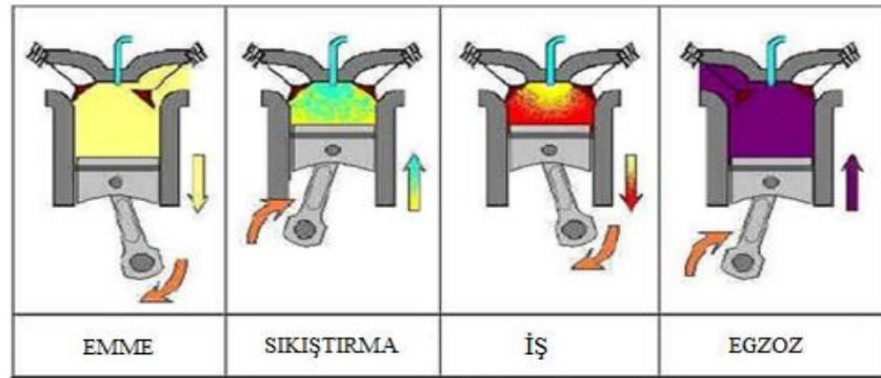
veya hassas yerlerde kullanılmasının mantıklı olduğu belirtilmiştir (Ejder, 2007).

Fakat yüksek oranlı biyodizel kullanılması durumunda gerek donma noktası ve gerekse soğuk filtre tıkama noktası bakımından hava sıcaklığının sıfırın altına düştüğü şartlarda birçok biyodizel çeşidinde sorunların meydana geldiği bildirilmiştir. Yapılan literatür çalışmasında hacimsel içerikleri ile uyumlu olarak belirlenen oranlardaki E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B30D45 etil proksitol (1-ethoxy-2-propanol) katkılı biyodizel-dizel yakıt karışımları ile yanma ve emisyon parametrelerinin yanında, soğuk filtre tıkanma noktası iyileştirici çalışmalara rastlanılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada, etil proksitol (1-ethoxy-2-propanol) katkısının biyodizel yakıt karışımlarının önemli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanında yakıtın yanma parametreleri ve emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Test motoru olarak, dört zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli, su ile soğutmalı ve Kirloskar TV1 isimli bir dizel araştırma motoru kullanılmıştır. Deneyler motorun sabit 1500 dev/dk' da ve Eddy Current dinamometrenin değişik yüklerinde (0 kg, 2,5 kg, 5 kg ve 7,5 kg) ve sabit deney şartlarında testler yapılarak yanma ve emisyon değerleri karışılaştırılmıştır.

## 2. DİZEL MOTORLAR

Günümüzde endüstrisinin birçok alanında dizel motorlar kullanılmaktadır. Dizel motoru binek araçtan, iş makinelerine uzanan geniş bir kullanım alanına sahiptir. Teknolojik gelişmelerle daha az gürültülü ve daha verimli dizel yakıt ile çalışan motorlar geliştirilmiştir.

Dört zamanlı çalışan bir dizel motoru sırası ile emme, sıkıştırma, ateşleme ve egzoz zamanlarından meydana gelir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Dört zamanlı bir dizel motorda zamanlar

Dizel motor, benzinli motordan yaklaşık birkaç yıl sonra 1878 yılında Rudolf Diesel tarafından bulunmuştur. Benzinli motor ile çalışma prensibi benzer olan bu araçlar benzinli motordan farklı olarak yakıt tipi ve yanma şekline sahiptir. Dizel motorlar silindir içerisine alınan havanın dizel ile herhangi bir elektriksel müdahaleye gerek olmaksızın yanması ile oluşan ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülerek hareket enerjisi meydana gelir (Heywood, 1988).

Dizel motorlar benzin ile çalışan motorlara göre daha ekonomiktir. Daha dayanıklıdır ve herhangi bir elektriksel ateşleme sistemine ihtiyaç duymazlar. Kullandıkları yakıtı oranla benzinli motora göre yüksek sıkıştırma oranına sahip olduklarından daha fazla tork elde edilir. Bundan dolayı ağır vasıtalarda kullanılmaya daha uygundur.

Günümüzde yaşanan petrol krizleri, petrol fiyatlarının yükselmesi vs. nedenlerden dolayı alternatif yakıt arayışları vardır. Alternatif yakıtların kullanılabileceği en uygun motor çeşiti dizel motorlardır. Dizel motorlarında kullanılabilecek birden fazla alternatif yakıt vardır. Bunlar: biyogaz, doğalgaz, biyodizel, bazı sentetik yakıtlar ve hidrojen yakıtı kullanılabilir. Ayrıca dizel yakıtın

belli yönlerini iyileştirmek için bünyesinde oksijen barındıran etanol ve metanol gibi alkoller ve dimetil eter, dietil gibi eterler belli oranlarda dizel yakıtına eklenebilmektedir (Hoçur, 2015).

Doğalgaz yakıtı yeryüzünün altında bulunan ağırlıklı metan ( $CH_4$ ) olmak üzere bazı hidrokarbonlardan oluşan son derece yanıcı ve gaz halinde bulunan bir yakıttır. Yanma sonucunda oluşan ısı değer (11.150 kcal/kg) benzinden (7.676 kcal/kg) yüksek olup dizel (11.200 kcal/kg) yakıtı yakındır. Doğalgaz çıkarıldığı gibi herhangi bir işlem yapılmadan kullanılabilir. Bu yüzden petrol kökenli yakıtlara göre daha ucuzdur. Yüksek oktan sayısı sayesinde motorun sessiz çalışmasını sağlar (Anonim).

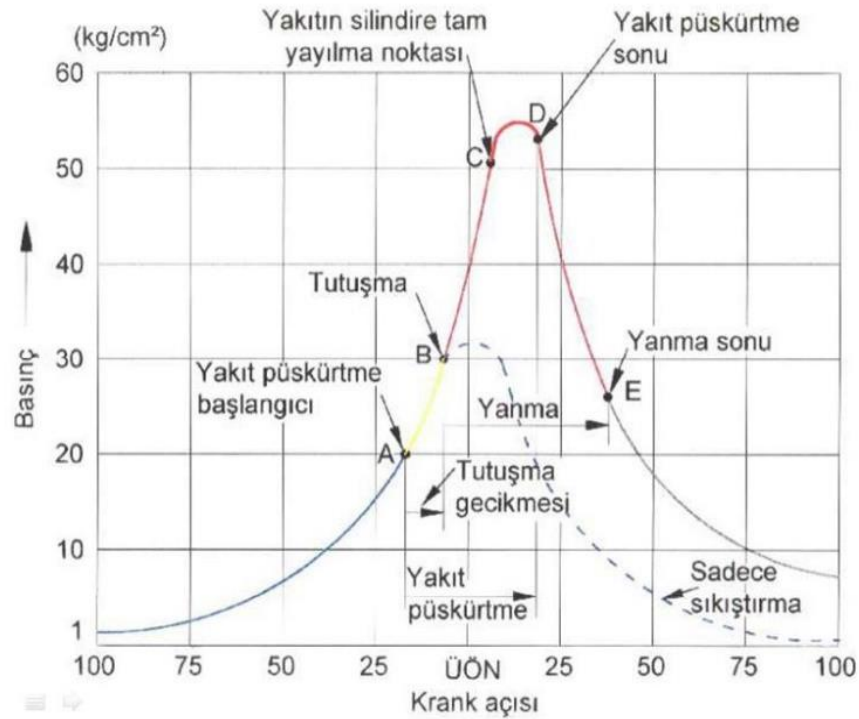
Biyogaz bitki ve hayvan atıkları gibi organik parçaların hava olmayan ortamda fermentasyon sonucu oluşan enerjidir. İçerisinde %60-70 metan, %30-40 karbon dioksit ve az miktarda hidrojen sülfür, hidrojen, karbon monoksit ve azot bulunan biyogaz, renksiz ve yanıcı bir gaz türüdür. Enerji ihtiyacımızı çok ve ucuz olarak bilinen özellikle kömür, petrol ve doğal gaz gibi klasik enerji kaynaklarından sağlarız. Bu fosil kaynakların bir gün biteceği açıktır. Yeryüzünde enerji konusu ile ilgilenen kurum ve kuruluşlar, tüm dünyanın enerji konusunda tasarruf yapmalarını ve bu arada her ülkenin kendi özelliklerine has yeni alternatif kaynaklar ortaya çıkarmaları konusunda uyarıda bulunmuşlardır. Benzer enerji kaynaklarından bir diğeri de biyogazdır (Gülen ve Çeşmeli, 2012).

Biyodizel ayçiçeği, kanola, soya, pamuk, mısır, aspir gibi tohumu yağlı olan bitkilerden temin edilen bitkisel veya hayvansal yağların katalizör kullanılarak metanol yada etanol gibi bir alkol ile tepkimeye girmesi sonucu açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan tekrardan elde edilebilmesi mümkün olan bir alternatif yakıt türüdür. Petrol ithal eden bir ülke olmamız nedeniyle biyodizel olan ilgi artırılmalıdır. Bu kullanımın yaygınlaşmasıyla çevre kirliliği azalacak ve özellikle büyükşehirlerde hava kirliliği önemli derecede düşecektir (Dizge, 2012).

Hidrojenin alternatif yakıt olarak kullanılması ile yanma sonucu oluşan ürünler su ve azotoksittir. Hidrojen sudan üretildiği için diğer petrol kökenli yakıtlarda yanma sonucu oluşan CO,  $CO_2$  ve HC emisyonlar açığa çıkmamaktadır. Bu da çevre dostu bir yakıt olarak geleceğin yakıtı olarak tanımlanmasını sağlamaktadır (Kahraman, 2007).

## 2.1. Dizel Motorlarında Yanma Safhaları

Yakıtın oksijen ile tepkimeye girmesi sonucunda yanma meydana gelir. Yanma sonucunda ortaya ısı, ışık, duman ve partikül parçacıkları açığa çıkar. Bu yanma sonucunda meydana çıkan ısı enerjisi motordaki mekanik parçalar ile hareket enerjisine çevrilir (Heywood, 1988). Dizel motorlarda emme zamanında silindire alınan hava sıkıştırma zamanında sıkıştırılır. Sıkışan hava yaklaşık olarak  $600^{\circ}\text{C}$  ile  $900^{\circ}\text{C}$  arasındaki sıcaklık değerlerine kadar ısınır. Piston ÜÖN'dan  $15^{\circ}$ - $30^{\circ}$  önce enjektör ile yakıt püskürtme işlemi meydana gelir. Buna yanma süreci denir ve dört safhada gerçekleşir (Çanakçı, 2007). Şekil 2.2.' de dizel motorlarda yanma safhaları verilmiştir.



Şekil 2.2. Dizel motorlarda yanma safhaları



### 2.1.3. Kontrollü Yanma

Silindir içerisindeki oluşan maksimum basınç ile maksimum sıcaklık arasında geçen zamandır. Kontrolsüz yanma sonucu oluşan basınç pistonun aşağı inmesi ile düşer ama silindir içerisinde yanma devam ettiği için sıcaklık yükselmeye devam eder. Bu safhada silindir içine püskürtülen yakıtın miktarı ayarlanarak ısı ve basıncı kontrol altına alınmak istenir (Heywood, 1988).

### 2.1.4. Art Yanma

Yanma sürecinde maksimum sıcaklığa ulaşıldığında art yanma safhası meydana gelir. Yakıtın silindire püskürtülmesi sona ermiş ve piston alt ölü nokta (AÖN)'ya doğru gelmektedir. Art yanmada, yanmanın hızı, difüzyonun hızı ve hava yakıt karışımı oluşum hızıyla belirlenmektedir. Art yanma sürecinde zengin karışımdan dolayı fazla kalan yakıtta bu safhada yanabilir. Pistonun AÖN'ya inmesi sırasında gerçekleşen art yanma üst ölü nokta (ÜÖN)'dan sonra 70-80° KMA kadar sürer. Art yanma safhasının egzoz zamanına geçilmeden hemen önce bitmesi beklenir (Heywood, 1988).

## 2.2. Dizel Yakıtının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

### 2.2.1. Vizkozite

Sıvıların akmaya karşı göstermiş oldukları dirençtir. Sıvıların akıcılığını sayısal olarak ifade edilmesini sağlar. Vizkozite değeri verildiğinde ise o anki sıcaklıkta verilmesi gerekmektedir. Çünkü sıvılar ısıtıldıkça daha akıcı olurlar yani daha ince olurlar. Isınan sıvının vizkozitesi düşer (Heywood, 1988).

Dizel motorlarda yakıtın vizkozitesinin düşük olması istenir. Vizkozitesi yüksek yakıt motorda farklı sıkıntılar çıkarabilir. Yakıt enjektöründen iri yakıt tanecikleri püskürtüldüğünde silindir içerisinde atomize olmaz ve iyi bir yanma meydana gelmez. Tablo 2.1'de uluslararası standartlara göre viskozite sınır değerleri verilmiştir. Ayrıca yakıt pompası yüksek viskoziteli yakıt kullanıldığında görevini iyi yerine getiremeyecek ve farklı sıkıntılar yaşanabilecektir (Çanakçı, 2007).

**Tablo 2.1.** Uluslararası standartlarda viskozite için verilen sınır değerleri (Çanakçı, 2007).

|      |        |                           |
|------|--------|---------------------------|
| ASTM | D6751  | 1.9–6.0 m <sup>2</sup> /s |
| DIN  | E51606 | 3.5–5.0 m <sup>2</sup> /s |
| PrEN | 14214  | 3.5–5.0 m <sup>2</sup> /s |

### 2.2.2. Özgül Ağırlık

Birim hacmin ağırlığı veya belirli bir hacimdeki yakıt ağırlığının aynı hacimdeki su ağırlığına oranına özgül ağırlık denilmektedir. Ham petrolün cinsine göre değişmekte olan özgül yakıt, kg/litre veya L/galon birimleri ile gösterilir. Dizel yakıt ile çalışan motorlarda özgül ağırlık 15,5°C’ de 0,835-0,934 g/cm<sup>3</sup> civarındadır (Heywood, 1988).

### 2.2.3. Uçuculuk Noktası

Sıvı durumunda bulunan yakıtların gaz haline geçtiği anda ki sıcaklığına denilmektedir (Heywood, 1988). Silindir içerisine gönderilen yakıtın yanma odasında en az %90’ının buhar halinde olması istenir (İlkılıç, 2005).

### 2.2.4. Parlama Noktası

Yanma noktasından çok daha küçük değere sahiptir. Parlama yüzeyi yakıt yüzeyinin yanıp sönmeye durumu gösterdiği andır. Parlama noktası ile yanma noktasının temel farkı parlama noktası, bir maddenin tutuşmasının başladığı en düşük sıcaklık iken yanma noktası ise iş zamanının başlaması ile yakıtın kısa bir süre yanmaya devam ettiği en düşük sıcaklık olarak ifade edilir. Yağlarda 300°C’ den fazla iken biyodizel de bu oran 220°C civarlarındadır (Heywood, 1988).

### 2.2.5. Donma Noktası

Sıvı yakıtlar soğuk havalarda kristalleşerek katılaşmaya başlarlar. Sıcaklık değerinin daha da düşmesiyle donma meydana gelerek motorun yakıt sistemini tıkar ve motoru çalışmayacak duruma düşürür. Bu nedenle sıvı yakıtın donma sıcaklığı çevre sıcaklığından en az 5°C derece daha düşük olması gerekir. Dizel yakıtın donma sıcaklığı ortalama -10°C ile -15°C arasındadır (Heywood, 1988).

### 2.2.6. Tortu Miktarı

Kum, küçük taş parçaları, toprak veya karbon kalıntısına genel olarak tortu denilmektedir. Artık yağların veya yağların içerisindeki hidrokarbonların oksijen ile reaksiyonu sonucu da meydana gelebilmektedir. Yakıtın içerisindeki tortu miktarının

fazlalaşması yanmayı kötüleştirecektir. Silindir içerisindeki tortu miktarının artması motor parçalarında aşınmaya ve bozulmalara sebebiyet verecektir (Heywood, 1988).

### 2.2.7. Buharlaşma Noktası

Sıvı yakıtların silindir içerisinde tam yanabilmesi için buhar haline gelmesi gerekir. Sıvı yakıtın buhar haline gelebilmesi için istenen ısı miktarı değeridir. Soğuk ülkelerde bu değer yaklaşık 315 °C iken, ekvatorial ülkelerde bu değer yaklaşık 379 °C'ye kadar çıkabilmektedir (Heywood, 1988).

### 2.2.8. Ateşleme Noktası

Dizel motorda kullanılan yakıtın silindirde kendiliğinden alevlenme noktasına ateşleme zamanına söylenir. Yüksek ateşleme noktasına sahip yakıt daha düşük sıcaklıkta tutuştuğundan motorun ilk çalışması daha kolay olur (İlkılıç, 2005).

### 2.2.9. Setan Sayısı

Dizel motorda kullanılan yakıtın kendiliğinden alevlenmesini artıran bir veridir. Dizel motorlar herhangi bir ateşleme sistemine ihtiyaç duymazlar. Bu yüzden kendiliğinden tutuşabilecek yakıtlara ihtiyaç duyulmaktadır (Çanakçı, 2007). Her ne kadar setan sayısı yakıtının kendiliğinden tutuşmasını ifade etse de etken olmadan yandığı için bu şekilde tanımlanmaktadır. Mevcut hiçbir yakıt ya da yanıcı özelliği olan bir madde kendi halinde yanmadığı gibi bu yanıcı maddelerin yanması için belirli dış bir müdahale olması istenmektedir (Heywood, 1988).

Yakıtın setan sayısı, yakıtın fiziksel özelliklerinin yanında, yakıtın aromatik içeriği ve kaynama noktası ile ilgilidir. Düşük setan sayılı yakıt, daha fazla aromatik ve ağır hidrokarbon bulundurur ve yakıt yoğunlukları fazladır. Yüksek yakıt yoğunluğu, aynı motor çıkış gücü için hacimsel yakıt tüketiminin düşmesi demektir. Dolayısı ile setan sayısının artışı, hacimsel yakıt tüketimini de fazlalaştırır (Çanakçı, 2007). Çok düşük setan sayısı olan yakıt ile çalışan motorlar, tutuşma gecikmesi uzar ve bu durum yanma süresince oluşan basıncın artış hızının da artmasına sebebiyet verir. Bu nedenle, düşük setan sayılı yakıtlarla çalışan motorlarda soğuk havada ilk çalıştırmada zorlanma, yanma gürültüsünde artış ve emisyonlarda olumsuzluklar oluşabilir. Ayrıca, düşük setan sayılı yakıt, tutuşma gecikmesini artıracığı için motorun püskürtme zamanında artıp azalabilir. Bu yüzden, çok yüksek veya çok düşük setan sayısı içeren dizel yakıtlar

motorun çalışmasını etkilediğinden, setan sayısının belli oranlarda olması gerekir (Çanakçı, 2007).

#### **2.2.10. Dizel İndeksi**

Setan sayısı bulmak zahmetli ve zordur onun için pratik olan dizel indeksi parametresi de kullanılabilir. Yakıtın dizel indeksi yükseldikçe yanma özelliğinin iyileştiği ve yanma veriminin arttığı görülmüştür. Ayrıca dizel indeksinin yükselmesi yakıtın tutuşma gecikmesini düşüreceği için dizel vuruntusunun düştüğü gözlenir (Çanakçı, 2007).

#### **2.2.11. Anilin Noktası**

Anilin, petrolün daha kaliteli olması için kendisinden ayrıştırılan  $C_nH_{2n+2}$  formülü ile, Latince ismi ‘Parafin afinis’ olan parafini sıcaklığın yükseltmesi durumunda çözülebilen aromatik hidrokarbonları daima eritebilen bir çözücü etkendir (Çanakçı, 2007). Anilin motorinle karıştırılıp ısıtıldıktan sonra motorin içerisinde tamamen homojen hale gelir (Aydın, 2011).

#### **2.2.12. Kükürt Miktarı**

Kükürt (S), yakıt için istenmeyen bir madde olup ham petrol içerisinde vardır. Yakıtlarda damıtma yoluyla çıkarılan kükürt, yakıt içerisinde çok az bir miktar da bulunabilmektedir. Yakıt içerisinde kalan kükürt, oksijenle reaksiyona girerek kükürt dioksit ( $SO_2$ ) ve kükürt trioksidi ( $SO_3$ ) meydana getirmektedir (Çanakçı, 2007).

#### **2.2.13. Kül Miktarı**

Yakıtların yanması sonucu ürün kısmında meydana gelen yanmamış yakıta kül denilmektedir. Küçük katı parçacıklardan oluşan küller, yakıtın içerisindeki suda ve motorun yağlama yağında ayrışabilmektedir. Yanma sonucunda meydana gelen kül miktarı, az miktar yakıtın içerisinde bulunan tüm yabancı maddelerin yanmasıyla ölçülür (Çanakçı, 2007). Dizel yakıtı için önemli bir etmen olan kül, enjeksiyon sisteminin bir parçası olan enjektör deliklerinin ve yakıt filtresinin tıkanmasına neden olabilir (Çanakçı, 2007).

#### 2.2.14. Karbon Atıkları

Yakıtın tam yanmama durumunda karbon ve is oluşumuna karbon atığı denir. Karbon artığı yüzdesi arttıkça is oluşumunda artış görünür. Bu durum enjektör memesinde karbon artığı birikmesine ve buna bağlı olarak enjektörlerde tıkanıklığa sebebiyet verir (İlkılıç, 2005).

#### 2.2.15. Yoğunluk

Yoğunluk sıcaklıkla az dahi olsa değişebilen, yakıt ve yağ türüne göre farklılık gösterebilen, yakıt ve yağlar için çok önemli olan bir parametredir. Teknik verilerde ölçüm sıcaklığı 20 °C belirlenmiş olsa da ticari zeminde yoğunlukla 15°C olarak kabul görmüştür (Çanakçı, 2007).

Bitkisel kökenli yağlardan elde edilen biyodizel yoğunlukları dizel yakıtına benzer olmakla beraber biraz daha yüksektir. Biyodizellerin normal dizel yakıtına göre daha yüksek yoğunluğa sahip olmasından dolayı pompadan gönderilen yakıt miktarı düşmekte ve sonuç olarak motorun volümetrik veriminde bir düşüş meydana geldiği görülmektedir (Aydın, 2011). Motorine göre daha yoğun olan biyodizel yakıtı, yoğunluğu karbon zinciri arttıkça düşen, içerdiği çift bağ miktarına göre ters özellik gösteren belirleyici bir parametredir (Çanakçı, 2007).

#### 2.2.16. Yağlayıcılık Özellikleri

Motor mekaniksel ağırlıklı çalıştığından sürtünmelerin en aza indirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle motorda kullanılan yağ büyük önem arz etmektedir. Bu yüzden motor yağlama yağının ve yakıtın içerisinde barındırdığı yağlama özelliğinin etkin biçimde görevini yapması için yağa belirli katkı maddeleri ilave edilmektedir. Motorin içerisinde bulunan kükürt miktarının azaltılması yağlama özelliğini düşürmektedir (İlkılıç, 2005). Kullanılan biyodizel vizkozitesi normal dizel yakıtı oranla yüksek olduğundan ve barındırdığı yağ oranı miktarıyla da yağlayıcılık özelliği dizel yakıtı oranla fazladır (Çanakçı, 2007).

#### 2.2.17. Isıl Değer

Genel olarak bitkisel yağlardan meydana getirilen biyodizellerin ısı değeri fosil yakıt olan dizel yakıtından daha azdır. Bundan dolayı biyodizel kullanımında aynı gücü elde edebilmek için tüketilen yakıt miktarının da fazla olması beklenir (Temizer ve Eskici, 2020). Dolayısıyla özgül yakıt tüketimi yükselir. Biyodizel yakıtlarının ısı

değerinin motorine nazaran daha düşük olması ayrıca motorun termik veriminin düşüş göstermesine sebep olmaktadır. Aynı motor şartları altında biyodizelin güç ve torku daha azdır (Aydın, 2011). Bir yakıtın ısı değeri ne kadar yüksek ise yakıttan yanma sonucu elde edilebilecek enerji miktarı da o kadar fazladır (Çanakçı, 2007).

### 2.3. Biyodizel

Biyodizel kavram olarak, kanola (kolza), aspir, soya, pamuk, ayçiçeği, keten tohumu, yerfıstığı, fındık, palmye ve bittim yağı gibi bitkisel yağlardan, bunun yanı sıra bitkisel veya hayvansal atık yağlardan (evsel ve sanayi kaynaklı atık yağlar) ve hayvansal yağlardan (balık yağı, tavuk yağı gibi) transesterifikasyon ve diğer bazı yöntemler ile üretilen yağ esterleri olarak tanımlanmaktadır. Biyodizel ismi 1992 senesinde Amerika Ulusal Soydiesel Geliştirme kuruluştan tarafından anılmıştır. Dünya devletleri arasında halen Biyodizel yakıtı için EN 14214 ve EN 14213 Avrupa birliği standartları ile ASTM D6751 Amerikan Standardı yürürlüğü devam etmektedir. Ülkemizde de EN Standartları temel alınarak Türk Standartları Enstitüsü tarafından taşıtlarda kullanılan biyodizel için TS EN 14214 standardı ortaya sunulmuştur (Tablo 2.2). Ayrıca TS 3082 EN 590 16 Türk Standardı dizel motorlu taşıtlarda kullanılan yakıtlara en fazla binde beş oranında biyodizel eklenmesine izin verilmiştir (Anonim, 2022).

Başlangıçta bitkisel yağların en az işlem ve hazırlıkla doğrudan kullanılabileceği inancı varsa da motorlar üzerinde yapılmış ayrıntılı deneyler ortaya koymuştur ki, tam yanmanın gerçekleşmemesinden dolayı pratikte pek çok problem meydana gelmektedir. Bu problemlere örnek olarak, enjektör memesinde karbon birikimi, aşırı miktarda motor tortusu, yağlayıcı yağ seyrelmesi, piston segmanı yapışması, silindir gömleğinin aşınması ve hatta bitkisel yağın polimerleşmesinden dolayı yağlamada oluşan aksaklıklar ortaya koyulabilir (Aydın, 2011). Bunun yanı sıra soğukta ilk çalışma problemi, ateşleme kalitesinin ve ısı verimin düşüklüğü gibi operasyonel sıkıntılar bitkisel yağların, direk püskürtmeli dizel motorlarda ve özellikle bu operasyonel sorunların daha ciddi olduğu bölünmüş yanma odalı dizel motorlarda, doğrudan kullanılmasının önündeki en büyük sorunlardan biridir (Altınsoy, 2007).

**Tablo 2.2.** Avrupa ve Amerika’da kabul edilen biyodizel standartları (Anonim, 2018)

| Biyodizel standartları | Birim              | Avrupa EN 14214 | ASTM6751    |
|------------------------|--------------------|-----------------|-------------|
| Yoğunluk 15°C          | g/cm <sup>3</sup>  | 0.86-0.90       | -           |
| Viskozite 40°C         | mm <sup>2</sup> /s | 3.5-5.0         | 1.9-6.0     |
| Damıtma                | % @ °C             |                 | %90, 360°C  |
| Alevlenme noktası (Fp) | °C                 | 101 min.        | 93 min.     |
| Karbon kalıntısı       | % kütlese          | 0.3 maks.       |             |
| Su                     | mg/kg              | 500 maks.       | Şartname    |
| Oksidasyon kararlılığı | saat               | 8 saat min.     | 3 saat min. |
| Setan sayısı           |                    | 51 min.         | 47 min.     |
| Metanol                | % kütlese          | 0.20 maks.      | <130°C, Fp  |

### 2.3.1. Biyodizelin Avantajları

- ✓ Yenilenebilir olduklarından yerli sermaye ve yatırım ile elde edilip geliştirilebilir (Sayın, 2004),
- ✓ Fosil yakıtlara olan talebi azaltır (Heywood, 1988),
- ✓ Zehirli olmayıp biyolojik olarak ayrıştırılabilir (İlkılıç, 2005),
- ✓ Biyodizel kullanılacağı dizel motorlarında herhangi bir değişikliğe gidilmesine gerek yoktur ayrıca motorun yağlamasına fayda sağlar (İlkılıç, 2005),
- ✓ Parlama noktası dizel yakıtı oranla daha yüksek olduğundan nakliye esnasında ve kullanımında güvenlik açısından dizel yakıtı göre daha güvenlidir (Sayın, 2004),
- ✓ Biyodizel emisyonlarında CO, partikül madde (PM) ve yanmamış HC miktarı dizel yakıtı oranla daha az ve aromatik bileşikler ile kükürt (S) çok düşüktür (Sayın, 2004).

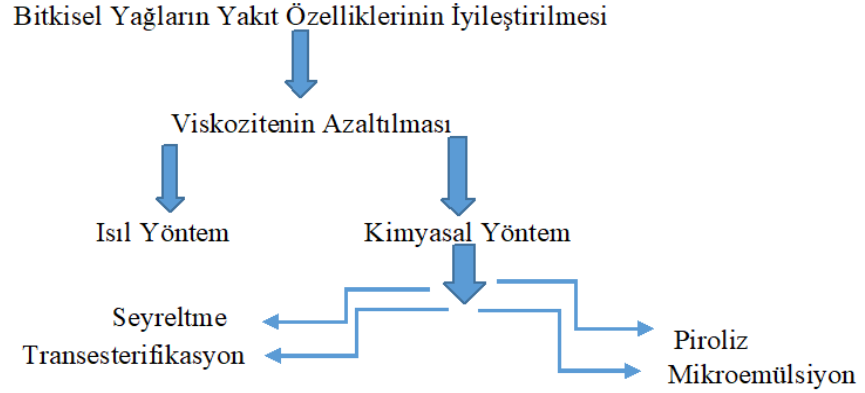
### 2.3.2. Biyodizelin Dezavantajları

- ✓ Biyodizelin viskozitesi dizel yakıtı göre daha fazladır (Çanakçı, 2007),
- ✓ Uçuculuğu dizel yakıtı göre daha azdır (Sayın, 2004),
- ✓ Biyodizeller yüksek bozunabilirliğe sahip olduğundan uzun süre depolanmaları sakıncalıdır (Çanakçı, 2007),
- ✓ Soğuk hava koşullarında akma ve bulutlanma noktalarının dizel yakıtı göre yüksek olmalarından dolayı kullanımı soğuk bölgelerde kullanımını sınırlayıcı önemli bir faktördür,

- ✓ Isıl değeri dizel yakıtı göre düşük olduğundan daha fazla yakıt tüketimi meydana gelir (Sayın, 2004),
- ✓ Piston başı, segman, segman yuvası, silindir başı, supaplar, supap kılavuzları ve enjektör memesi gibi elemanlarda karbon birikmesine neden olabilmektedir (Sayın, 2004),
- ✓ Biyodizel emisyonlarında NO<sub>x</sub> miktarı dizel yakıtı oranla daha yüksektir (Çanakçı, 2007).

#### 2.3.4. Biyodizel Üretim Yöntemleri

Hayvansal ve bitkisel yağların yakıt özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılan ıslah çalışmalarında yağların viskozitelerinin azaltılması hedeflenmektedir. Viskozitelerin azaltılmasında, kimyasal ve ısıl işlem olmak üzere başlıca iki yöntem vardır (Sayın, 2010). Isıl yöntemde, yağların ön ısıtma ile viskozitelerinin düşürülmesi hedeflenmektedir. Ancak ısıl yöntemin hareketli bir motorda kullanılmasında ortaya çıkan problemler sebebiyle kimyasal yöntemler daha çok uygulanmaya başlanmıştır (Şekil 2.4.) (Özdemir ve Mutlubaş, 2016).



Şekil 2.4. Biyodizel üretim yöntemleri (Behçet, R. ve ark., 2012).

Viskozitenin azaltılması amacıyla tercih edilen kimyasal yöntemlerden başlıcaları şöyledir;

- ✓ Seyreltme Yöntemi
- ✓ Micro-emülsiyon Oluşturma Yöntemi
- ✓ Piröliz Yöntemi
- ✓ Transesterifikasyon Yöntemi

Kullanılan yöntemlerin biyodizel üretiminde avantaj ve dezavantajları Tablo 2.3'te sunulmuştur.

**Tablo 2.3.** Kimyasal Yöntemlerle Üretilen Biyodizelin Karşılaştırılması (Özdemir ve Mutlubaş, 2016)

| Yöntem                      | Avantaj                                                                                                              | Dezavantaj                                                                               |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Seyreltme Yöntemi           | Doğal sıvı, yenilenebilir özellik, kullanıma hazırdır.                                                               | Yüksek derecede vizkozite, düşük miktarda uçuculuk, doymamış hidrokarbonların aktifliği. |
| Micro-emülsiyon Yöntemi     | Yanma esnasında iyi derecede spreyleme, az vizkozite. Petrol kökenli olan dizel ve benzine kimyasal yönden yakındır. | Düşük miktarda enerji içeriği ve fazla olmayan setan sayısı.                             |
| Piroliz Yöntemi             | Yüksek miktarda setan sayısı, yenilenebilir özellik, yüksek yanma verimi, düşük miktarda emülsiyon barındırır.       | Maliyetlidir.                                                                            |
| Transesterifikasyon Yöntemi |                                                                                                                      | Biyodizelden suyun ve gliserinin ayrıştırılması zahmetlidir.                             |

#### 2.3.4.1. Seyreltme Yöntemi

Seyreltme işlemi; bitkisel ve atık yağların belirli oranlarda bir çözücü veya bir dizel yakıtla karıştırılarak inceltilmesidir. Bu işlemlerden en yaygın olanı yağların dizel yakıt ile karıştırılması yoludur. Böylelikle yağın viskozitesi azaltılıp ve dizel yakıt kullanım oranı düşürülür (İlkılıç, 2005). Yapılan uygulamalarda yağların, dizel yakıtlarla karıştırılma oranları şu şekildedir: B20, B30, B40, B50, B80 şeklindedir. Kısacası %20, %30, %40, %50 ve %80 oranlarında bitkisel, hayvansal veya atık yağ içermektedir. Biyodizel üretiminin seyreltme yönteminde kullanılan yağlar; yer fıstığı yağı, kolza yağı, ayçiçeği yağı ve atık yağlar olarak sayılabilir (Özdemir ve Mutlubaş, 2016).

#### 2.3.4.2. Mikro-emülsiyon Yöntemi

Mikroemülsiyon, karışmayan iki sıvı ile iyonik ya da iyonik olmayan organik karışımların (1-150 nm boyutlarında) kendi arasında oluşturduğu kolloidal bir karışımdır. Bu yöntem ile alternatif dizel yakıtları meydana getirmek olasıdır. Bu yöntemde kullanılan organik maddeler kısa zincirli alifatik alkoller olarak bilinir (MeOH, EtOH) (Özdemir ve Mutlubaş, 2016). Bu yöntemde, alkollerin setan sayılarının az olması sebebiyle mikroemülsiyonunda setan sayısının az olması, düşük sıcaklıklarda

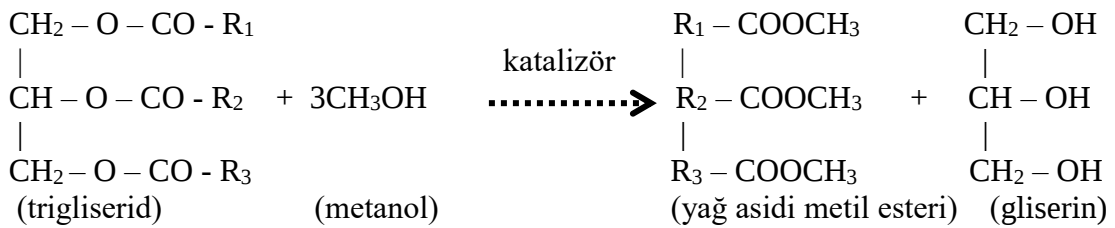
karışımın ayrışma eğilimi göstermesi sakıncaları olarak değerlendirilmektedir (Aydın, 2011).

#### 2.3.4.3. Piroliz Yöntemi

Piroliz yönteminde; moleküller fazla sıcaklıkta daha ufak moleküllere ayrılmaktadır. Bu yöntem sayesinde viskozite oldukça düşürülmekte fakat işlemler ek gider çıkmaktadır. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, bitkisel yağları ısı etkisi ile kapalı bir kapta parçalamak; diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma işlemine tabi tutmaktır (Çanakçı, 2007).

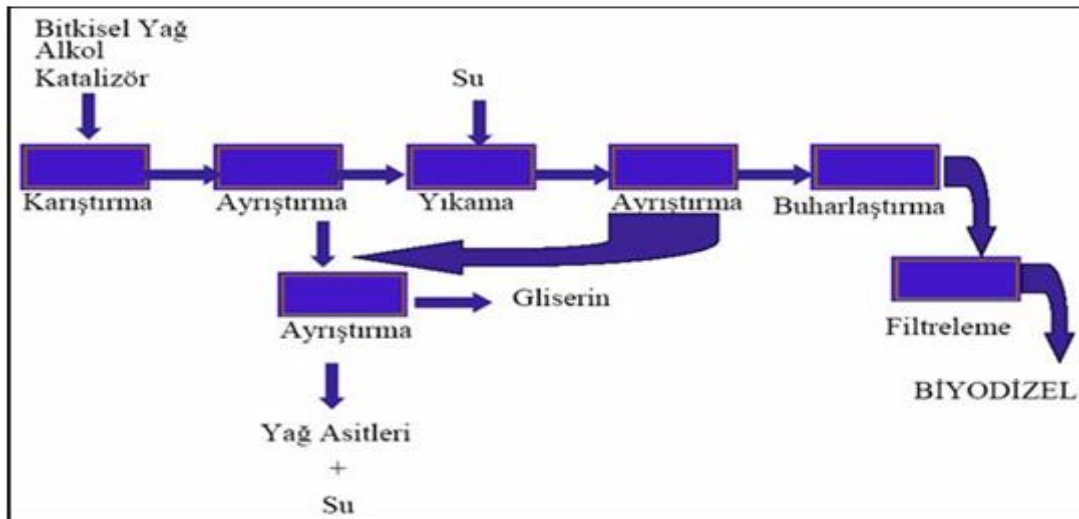
#### 2.3.4.4. Transesterifikasyon Yöntemi

Transesterifikasyon; Bitkisel yağların mono hidrik bir alkolle (metanol, etanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ve enzimler) varlığında esas ürün olarak yağ asidi esteri ve gliserin vererek yeniden esterleştirilmesi sürecidir. Bu yöntem viskoziteyi azaltmada en etkili yöntemlerden biridir. Reaksiyonda yan ürün olarak digliserid ve monogliseridler reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri meydana gelir (Şekil 2.5). Transesterifikasyon reaksiyonunun denklemi şu şekildedir (Heywood, 1988) ;



Şekil 2.5. Bitkisel yağın metanol transesterifikasyon denklemi (Srivastava, 2000)

Biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak kolza, ayçiçeği, soya, aspir ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum veya potasyum hidroksit) istenmektedir (Şekil 2.6). Biyodizel olarak genellikle, bitkisel yağlardaki trigliseridlerin metanol ile transesterifikasyonu neticesinde elde edilen yağ asidi metil esterleri ifade edilir (Çanakçı, 2007).



Şekil 2.6.Biyodizel üretim aşamaları

## 2.4. Etil Proksitol

Farklı kaynaklarda etil proksitol çözeltisi, 1-ethoxy-2-propanol ve etprox gibi isimler ile de adlandırılmaktadır. Etil proksitol içerisinde polisiklik aromatikler, ağır metaller ve klorlu bileşikler içermez ve propilen glikol eterler grubunda bulunur. Etil proksitol sıvı halde, renksiz ve uçucudur. Uygun depolama ve işleme önlemlerinin alınması durumunda etil proksitolün en az 12 ay boyunca stabil olarak bekletilebilir ([www.shell.com/chemicals](http://www.shell.com/chemicals)). Etil proksitol (1-ethoxy-2-propanol) çözeltisi ile ilgili fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 2.4’te verilmiştir.

Tablo 2.4 Etil proksitolün fiziksel ve kimyasal özellikleri ([www.shell.com/chemicals](http://www.shell.com/chemicals))

| Parametre                       | Etil Proksitol          |
|---------------------------------|-------------------------|
| Donma noktası                   | -90 °C                  |
| Kaynama noktası                 | 142 °C                  |
| Parlama noktası                 | 42 °C                   |
| Buhar basıncı (20°C)            | 1200 Pa                 |
| Yoğunluk (20°C)                 | 896 kg/m <sup>3</sup>   |
| Su içinde çözünürlüğü (20°C)    | Tamamen karışabilir     |
| Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı | 255°C                   |
| Vizkozite (20°C)                | 2,21 mm <sup>2</sup> /s |
| Molekül ağırlığı                | 104,1 g/mol             |
| Alt ısı değeri kj/kg            | 28500                   |
| Su içeriği %                    | 0,05                    |
| Buharlaşma ısısı kj/kg          | 412                     |

### 3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gomez ve ark. (2013) yapmış olduğu çalışmalarında, Dizel yakıtı eklenen propilen glikol etil eter (PGEE), propilen glikol metil eter (PGME) ve dipropilen glikol metil eter (DPGME) oksijenli katkı maddeleri eklenmesiyle test yakıtları oluşturulmuş ve bu yakıtlar dizel yakıt ile egzoz emisyon değerleri bakımından kıyaslanmıştır. Dizel motoru ile yapılan deneyler motorun 1000 dev/dk, 2500 dev/dk ve 4000 dev/dk'da çalıştırılmıştır. Bu bileşiklerin dizele eklenmesi hazırlanan yakıtta aromatik içeriği, kinematik vizkoziteyi, soğuk filtre tıkanma noktasını ve karbon kalıntısını azalttığı belirtilmiştir. Dizel yakıtı PGME eklenmesi setan sayısını biraz düşürürken, (PGEE) ve (DPGME) eklenmesi setan sayısını arttırmıştır. PGEE ve DPGME yakıtlarında CO ve NO<sub>x</sub> emisyonları azalmıştır. HC emisyonu 1000 dev/dk ve 2500 dev/dk'da değişmediği belirtilmiştir.

Aydın (2020) çalışmasında, aspir yağından elde edilen biyodizelin dizel motorlarında kullanılabilmesi her türlü mevsimsel şartlarda kullanılabilmesi için %10 oranında etil proksitol ve metil proksitol katkıları ile ayrı ayrı yakıt karışımları hazırlanarak jeneratörlü bir dizel motorunda sabit devir değişik yüklerde kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada motorda yanma, performans ve emisyon değerleri ele alınmıştır. Hazırlanan test yakıtlarında referans dizel yakıt ile benzer ölçüde yanma ve performans değerleri ölçülmüştür. Katkı eklenmiş test yakıtlarında HC ve CO emisyon değerleri önemli ölçüde azalırken, NO<sub>x</sub> benzer oranda çıkmış ve CO<sub>2</sub> oranının tüm yüklerde dizel yakıtı oranla arttığı tespit edilmiştir.

Devaraj ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan atık plastiklerin pirolizinden elde edilen yağa farklı oranlarda dietil eter katkısı eklenerek motorda performans, yanma ve emisyon değerleri incelenmiştir. Deneyler sonucu dumanda azalma meydana geldiği, setan derecesinin arttığı, yanma süreçlerinin iyileşip emisyon değerlerinin azaldığı gözlenmiştir.

Dumitrescu ve ark. (2016) çalışmalarında, hacimce %50 tripropilen-glikol monometil eter (TPGME) ve dizel yakıtı kullanılmıştır. Hazırlanan deney yakıtı 3 farklı enjeksiyon basıncında ve 3 seyreltme yöntemi seviyesinde elde edilmiştir. Tek silindirli ağır tip taşıtlarda kullanılan bir dizel motorda kullanılmıştır. TPGME ilavesi motordan çıkan emisyonlara doğrudan etki ettiği görülmüştür. TPGME ilaveli deney yakıtı farklı enjeksiyon basınçlarında yapılan deneyler sonucunda NO<sub>x</sub> emisyon değerinde düşüşler görülmüştür. HC ve CO emisyonlarını ise bir miktar arttırdığı görülmüştür.

Şimşek ve Uslu, (2020) çalışmalarında, kanola, aspir ve atık bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel (VEBD) ile hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel (AFBD) dört zamanlı, hava soğutmalı ve tek silindirli bir dizel motorda karşılaştırmalı olarak motor performansı ve emisyon değerleri incelenmiştir. D100, AFBD100, VEBD100, VEBD50 ve AFBD50 olarak hazırlanan deney yakıtları incelenmiştir. AFBD100 ve VEBD100 deney yakıtları CO, HC ve duman emisyonları D100 yakıtına kıyasla azaldığı söylenmiştir. NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonları ise biyodizelin içerisinde barındırdığı oksijen yoğunluğundan artmıştır. AFBD ve VEBD biyodizel içerikli deney yakıtlarında performans ve emisyon değerleri göz önüne alındığında VEBD değerleri AFBD değerlerinden daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Beş deney yakıtı kıyaslandığında en iyi emisyon değerlerini VEBD deney yakıtı vermiştir.

Lapuerta ve ark. (2008) çalışmalarında, biyodizelin dizel motorlarında kullanılması sonucu açığa çıkan emisyon değerleri araştırılmıştır. 4 zamanlı direk püskürtmeli bir dizel motor kullanılarak yapılan deneylerde öncelikle bitkisel kökenli saf biyodizel kullanılıp veriler alınmıştır. Daha sonra biyodizel-dizel karışımları hazırlanıp aynı motorda deneyler yapılmıştır. Tüm deneylerde motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan motor performansı sabit tutulmaya çalışılmıştır. Biyodizelin ısı değeri dizel yakıttan daha düşük olması sebebiyle harcanan yakıtta artış görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda egzoz emisyon değerlerinde farklılıklar ortaya çıkmıştır. CO, partikül molekülleri ve HC emisyonlarında düşüşler gözlenmiştir. NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinde ise dizel yakıtı oranla biraz fazla değer çıktığı gözlenmiştir.

Kanokkhanarat ve ark. (2022) çalışmalarında, Hurma meyvesinden elde edilen palm yağından elde edilen biyodizelin etanol eklenmesi ile oluşturulan test yakıtlarının ticari olarak kullanılan dizel ve biyodizel karışımı ticari biyodizel ile motordaki performans, yanma ve emisyon değerleri bakımından incelenmiştir. Test yakıtlarının ticari biyodizele oranla benzer motor performansı ve yanma özelliklerine sahip olduğu görülmüştür. Test yakıtları, ticari biyodizelden emisyon değerleri bakımından daha düşük değerler ortaya koyduğu görülmüştür.

Kandasamy ve ark. (2019) çalışmalarında, biyodizel kullanımının otomotiv parçalarının dayanıklılığı ve emisyon değerleri bakımından yapılan bu çalışmada motorun 500 saatlik bir çalışma ile yüzde 5 biyodizel oranlı B5 yakıtı ile yüzde 5 biyodizel ve yüzde 20 etanol eklenmiş B5E20 yakıtı kıyaslanmıştır. Yapılan dayanıklılık testinde tüm yakıtlarda düşük performans özellikleri görülmüştür. B5E20 yakıtı için duman ve CO emisyonlarında azalma olurken NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> artışı olmuştur.

Her iki yakıt içinde 500 saatlik çalışma sonucunda sonra tüm emisyon değerlerinde artış söz konusu olmuştur.

Sarıdemir ve ark. (2017) çalışmalarında, ayçiçeği yağından elde edilen 3 farklı oranda karıştırılmış biyodizel karışımlarının tek silindirli bir dizel motorda egzoz emisyon değerleri ve yakıt tüketimleri bakımından karşılaştırılıp incelenmiştir. Biyodizel içerikli yakıtlar  $\text{NO}_x$  emisyonu haricindeki diğer emisyon değerlerinin daha düşük değerde çıktığı deneysel veriler sonucunda görülmüştür. CO ve HC değerleri saf dizel yakıtla oranla içeriğindeki biyodizel oranına bağlı olarak azaldığı görülmüştür.

Venkateshmohan ve Kumar (2015) çalışmalarında, GT-Power motorda yanma simülasyonları çalışılmıştır. Silindir içi yanma verilerinin bilinmesi ve iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Valf zamanlaması, farklı enjeksiyon türleri ve türbülans teknikleri kullanılarak silindir içi yanma oranını saptamaya çalışılmıştır. Bu testlerin uygulanabilmesi için motorda iyi bir kalibrasyon yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Düşük yüklerde ve hızlarda  $\text{NO}_x$  oranının da düştüğü söylenmiştir.

Sener ve ark. (2020) çalışmalarında, dizel motorda egzoz emisyon değerlerini inceleyen bu çalışma bir dizel motorda akışkan hareketi, püskürtme, yanma süreci ve egzoz emisyonlarını analiz ederek bunları deneysel ve sayısal yöntemlerle incelemektedir. Motorda farklı püskürtme açıları ve enjeksiyon basınçları uygulanmıştır. Silindir içi girdap ve türbülans artırıldığında emisyon değerlerinin azalmasına katkı sağlamıştır. Ayrıca yanma süreçlerinin iyileştiği de vurgulanmıştır. Kurum emisyonları büyük oranda azaldığı belirtilmiş olup NO değerinin arttığı söylenmiştir. Kullanılan modifikasyon edilmiş dizel motorun gücünün artırılması durumunda  $\text{NO}_x$  emisyon oranında düşmelerin olacağı vurgulanmıştır.

Şener (2021) çalışmasında, atık yemeklik yağlardan elde edilen biyodizel ile yapılan bu çalışma çevre sağlığı ve maliyet avantajlarına sahip olduğundan bahsedilmiştir. Motor da herhangi bir değişiklik yapılmadan yapılan bu deneyde %20 oranında biyodizel %80 dizel ile karışım yapılmış ve B20 test yakıtı elde edilmiştir. Bu test yakıtı saf dizel yakıt ile motor performansı ve emisyon değerleri kıyaslanmıştır. B20 test yakıtı kullanımında CO emisyonu %10,5,  $\text{NO}_x$  emisyonlarını %2,3 ve kurum emisyonlarını %10,2 azalttığı gözlenmiştir. Silindir içerisinde oluşan maksimum basınç ise %2,5 azaldığı vurgulanmıştır.

Batmaz (2022) çalışmasında, motorda düşük sıcaklıklı yanmanın incelendiği bu çalışma saf biyodizel (BD100), biyodizel-etanol (BDE) ve biyodizel-etanol dietil eter karışımli yakıtlar farklı enjeksiyonlar kullanılarak kıyaslanmıştır. Biyodizel eklenen

yakıtlar tüm motor yüklerinde CO oranı artmış olup sadece %75 motor yükünde düştüğü gözlenmiştir. HC emisyonu azalmıştır. NO %75 motor yükünde artmış ancak diğer yüklerde azaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına bakıldığında düşük sıcaklı yanmalarda alınan sonuçlara bakıldığında geliştirilebilmesi açısından önemi vurgulanmaktadır.

Yeşilyurt ve ark. (2018) çalışmalarında, sarı hardal tohumundan transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel elde edilmiştir. Deneylerde %2 biyodizel, %20 biyodizel, %2 biyodizel - %5 etanol, %2 biyodizel - %10 etanol, %20 biyodizel - %5 etanol ve %20 biyodizel - %10 etanol içeren 6 adet yakıt kullanılmıştır. Deney yakıtları tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı, direk enjeksiyonlu bir dizel motorunda farklı devirlerde kullanılarak performans, yanma ve egzoz emisyon verileri incelenmiştir. Sonuç olarak, biyodizel yakıtta ısıl değer, kinematik vizkozite, su içeriği, yoğunluk azaldığı parlama noktasının ise iyileştiği gözlemlenmiştir. Alkol katkılı biyodizellerde kinematik vizkozite, yoğunluk, soğuk akış özelliklerinin olumlu etkilendiği, su içeriği parlama noktası ve ısıl değer özelliklerinin olumsuz etkilenmiştir. %2 biyodizel yakıtta performans değerlerinin olumlu etkilenmiştir. Biyodizel veya etanol miktarının artırılması ile performans değerlerinde düşme meydana gelmektedir. Alkol ilavesi egzoz gaz sıcaklığını, duman yoğunluğunu, CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını azalttığı ve O<sub>2</sub> emisyonlarını ise yükseldiği görülmüştür.

Özdemir ve Mutlubaş (2016) çalışmalarında, biyodizelin üretim aşamaları ve çevrel etkilerini alan bu çalışmada biyodizelin tarımsal ekonomiye olan katkılarından ve çevreye eksisi olmadan toprakta kolayca yok olabilecek toksit etkisi olmayan bir enerji kaynağı olduğu belirtilmiştir. Kullanıldığı dizel motorda herhangi bir modifikasyona gitmeden kullanılabileceği görülmüştür. Biyodizelin içerdiği yüksek oksijen miktarı yüzünden NO<sub>x</sub> salınımı referans dizel yakıtı oranla biraz yüksek çıkmaktadır. İçeriğinde pek karbon molekülleri barındırmadığından CO<sub>2</sub> salınımı yoktur ve sera etkisi yaratmamaktadır

Altınsoy (2007) çalışmasında, biyodizelin üretimi motorlarda kullanımını ve Türkiye’deki durumu hakkında çalışmalar yapmıştır. Dizel motorda herhangi bir değişikliğe gitmeden biyodizel kullanmış ve biyodizel oksidasyon kararlılığının düşük olmasından dolayı organik asitler oluştuğunu gözlemiştir. Bu asitler bakır, pirinç, bronz ve farklı alaşımlı yüzeylerde korozyona sebebiyet vermektedir. Biyodizel kullanımında yakıtın geçtiği bakır borular, pirinç regülatörler, bakır rekorlarında çinko ve kurşun kaplamalardan kaçınılması gerektiğini söylemektedir. Ayrıca zarar görmüş parçalarında

alüminyum ve çelik malzemelerden yapılmış olanı kullanmak gerektiğini vurgulamıştır. Ayrıca biyodizel kullanımının diğer çalışmaların çoğunda benzer sonuçlar verildiği gibi burada biyodizel kullanımı referans dizel yakıtı göre  $\text{NO}_x$  miktarı biraz yüksek, diğer emisyon oranları ise daha düşük çıktığı belirtilmiştir.

Aktaş (2009) çalışmasında, benzin ile biyodizel bir buji ile ateşlemeli motorda etanol katkısı ile olan çalışması incelenmiştir. Benzin-biyodizel ve Benzin-biyodizel-etanol iki karışım sabit devirde belli oranlarda karışımlar yapılarak motorda ki performans ve emisyon değerleri incelenmiştir. Benzine %10 biyodizel karıştırıldığında referans saf benzin yakıtına göre tork ve güçte %10 azalma, özgül yakıt tüketiminde ise %3 artış, CO de azalma, HC ve  $\text{NO}_x$  artış gözlenmiştir. %5 biyodizel içeren benzine %20 etanol eklendiğinde performans %50 artmış, CO %47 düşmüş,  $\text{NO}_x$  %46 yükseldiği gözlenmiştir. En iyi performans ve emisyon değerlerine %15-20 etanol içeren %10 biyodizel içeren benzin karışımı olduğu anlaşılmıştır.

Usta ve ark. (2005) çalışmasında, etanol ve iki farklı biyodizelin özellikleri  $\text{NO}_x$  katkılı dizel ile karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırmada etanol ve biyodizelin ön yanma odalı turbolu bir dizel motorda performans ve emisyon değerleri karşılaştırılmıştır. Kullanılan alternatif yakıtlarda CO, is,  $\text{SO}_2$  emisyonlarında azalma sağlanırken,  $\text{NO}_x$  emisyonunda ise diğer çoğu çalışmalarda görüldüğü üzere belli bir miktarda artış sağlanmıştır. Etanol ilavesi güçte bir miktar düşmeye neden olmuş, biyodizel ilavesi ise dizel yakıtı göre güçte bir miktar artış sağlamıştır

Uyumaz ve ark. (2018) çalışmasında, atık zeytinyağında elde edilen biyodizel bir dizel motorda performans, yanma ve emisyonları üzerinde çalışmışlardır. Sabit 2200 dev/dk devirde farklı yüklerde referans olarak dizel yakıt ile karşılaştırmalar yapmışlardır. Deneylerde elde edilen sonuçlar; motor yükü arttıkça silindir basıncı ve net ısı dağılımı artmıştır. Orta ve yüksek motor yüklerinde karışımlardaki biyodizel oranı arttıkça maksimum silindir basıncı artmış, ısı verim azalmış ve tüm karışımlarda sadece  $\text{NO}_x$  emisyonu artmış diğer emisyon değerleri ise belli miktarlarda azalmıştır.

Gürkan (2019) çalışmasında, kanola yağından elde ettiği biyodizele etanol çözeltisi katarak test etmiş bulduğu bu değerleri referans dizel yakıtı ile motor performans ve emisyon değerleri ile kıyaslamıştır. Bu çalışmada ki dezavantajlar kanola yağının vizkozitesinin yüksek olması ile beraber dizel motorda değişiklikler yapılmadan kullanılamayacağı ve etanolün fiyatının dizel yakıttan fazla olması yüzünden dezavantajlarının azaltılması ile kullanılabilir. Etanol ve kanola biyodizelin tek başlarına dizel motorda kullanılması kısa zamanda sorun teşkil etmemekte fakat

zamanla motorda önemli aksaklıklara yol açacağı aşikardır. Bunun için önlemler alınıp özellikle biyodizelin vizkozitesini azaltmak için farklı yollar denenmelidir.

Ayaz (2014) çalışmasında, farklı karışımlar yapılarak elde edilen biyoetanol, biyodizel ve saf dizel yakıtlarını sabit devir ve üç farklı yükte karşılaştırmıştır. Elde ettiği sonuçlarda ise mevcut biyoetanol ve biyodizelin farklı oranlarda kısa süreli performans testlerinde kullanılmaları durumunda dizel yakıtı yakın sonuçlar gözlenmiştir. Motor performansında bir miktar düşüklük yaşansa da emisyon değerlerinde NO<sub>x</sub> dışında diğer değerlerde ciddi iyileşmeler vardır. Kullanılan tüm yakıtlarda motor orta yükte çalıştırıldığında motor performansı ve emisyonları açısından daha uygun olacağı belirtilmiştir.

Dizge ve ark. (2012) çalışmasında, biyodizelin fosil kökenli yakıtı göre yanma ürünlerinin daha temiz olması nedeniyle özellikle büyükşehirlerde hava kirliliğinin azaltılmasında önemli rol oynadığı vurgulanmıştır. biyodizel üretiminde yan ürün olarak ortaya çıkan gliserin çevre için zararsız olup farklı yerlerde kullanımı uygundur. Çevremizde ki atık yağlar ise biyodizelin girdisidir yani atık yağlar kullanılarak biyodizel üretilir. Buda çevreye çok büyük faydası olur çünkü atık yağlar çevreye veya içme sularına çok büyük zararlar verir. Bu araştırma ile biyodizelin çevre için büyük avantajlar sunduğu görülür.

#### 4. MATERYAL VE YÖNTEM

##### 4.1. Deney Yakıtlarının Hazırlanması ve Özelliklerinin Belirlenmesi

Yapılan bu çalışmada, deneyler için Diyarbakır'da bulunan Shell akaryakıt istasyonundan alınan dizel yakıtı temin edilmiştir. Farklı bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel ise Niğde' de bulunan bir Biyodizel Üretim Tesisinden temin edilmiştir. Üretilen biyodizel içeriği yaklaşık olarak %40 soya yağı, %20 ayçiçeği yağı ve %40 kullanılmış evsel bitkisel yağlardan oluşmaktadır. İstanbul' da bulunan petrol kimya firmasından sıvı halde etil proksitol çözeltisi temin edilmiştir. Biyodizel ve dizel yakıtları belli oranlarda karıştırılıp uygun hacimde etil proksitol eklenerek test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileşmesi amaçlanmıştır. Test yakıtları hacimsel içerikleri ile uyumlu olarak isimlendirilmiştir. E5B10D85 (%10 biyodizel, %5 etil proksitol ve %85 dizel), E5B20D75 (%20 biyodizel, %5 etil proksitol ve %75 dizel), E15BD30 (%30 biyodizel, %15 etil proksitol ve %55 dizel) ve E15B40D55 (%40 biyodizel, %15 etil proksitol ve %45 dizel) karışımları analizler ve deney testleri için hazırlanmıştır. E5B10D85 ile E15B40D55 yakıtlarının alt ısı değerleri ve E15B40D45 yakıtının ise soğuk filtre tıkanma noktası (CPFF) değerleri TÜBİTAK MAM laboratuvarında analiz edilmiştir. Tablo 4.1'te hazırlanan ve analizleri yapılan test yakıtlarıyla ilgili kimyasal ve fiziksel parametre değerleri gösterilmiştir. Şekil 4.1'de ise biyodizel ve etil proksitol ilavesi yapılmış yakıtların görüntüleri gösterilmiştir. Tablo 4.3'teki diğer analiz sonuçları ise standart prosedürlere uygun olarak Batman Üniversitesi Petrokimya bölümü Yakıt Analiz laboratuvarında elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Etil proksitol katkılı deney yakıtlarının görüntüsü

**Tablo 4.1.** Deney yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri

| Parametreler                               | EP    | Biyodizel | D100   | E5B10D85 | E5B20D75 | E15B30D55 | E15B40D45 |
|--------------------------------------------|-------|-----------|--------|----------|----------|-----------|-----------|
| Setan indeksi                              | -     | -         | 52,78  | 52,70    | 51,11    | 51,91     | 53,95     |
| API                                        | -     | -         | 38,37  | 36,95    | 35,36    | 33,80     | 32,65     |
| CPFF °C                                    | -55   | -         | -15    | -        | -        | -         | -7        |
| Vizkozite<br>(mm <sup>2</sup> /s, 40°C'de) | 2,1   | 5,7       | 2,8553 | 3,1092   | 3,5273   | 3,3810    | 3,6671    |
| Yoğunluk<br>(kg/m <sup>3</sup> , 15°C'de)  | 0,896 | 0,892     | 0,8320 | 0,8390   | 0,8370   | 0,8450    | 0,8420    |
| Alt Isıl Değer<br>(kj/kg)                  | 28500 | 38325     | 42710  | 43048    | -        | -         | 39703     |
| İKN (°C)                                   | -     | -         | 164,0  | 125,9    | 87,10    | 82,80     | 87,80     |
| Damıtma T5                                 |       |           | 194,0  | 164,3    | 170,9    | 132,2     | 133,7     |
| Damıtma T10                                | -     | -         | 205,8  | 201,6    | 213,5    | 156,8     | 162,5     |
| Damıtma T15                                | -     | -         | 213,8  | 211,2    | 215,6    | 157,9     | 165,2     |
| Damıtma T20                                | -     | -         | 221,6  | 223,8    | 229,8    | 189,1     | 198,0     |
| Damıtma T30                                | -     | -         | 236,3  | 243,4    | 251,6    | 244,2     | 254,5     |
| Damıtma T40                                | -     | -         | 250,4  | 262,9    | 271,6    | 271,2     | 281,5     |
| Damıtma T50                                | -     | -         | 264,6  | 282,0    | 290,7    | 310,5     | 313,4     |
| Damıtma T60                                | -     | -         | 278,8  | 298,6    | 307,4    | 311,8     | 317,5     |
| Damıtma T70                                | -     | -         | 292,6  | 314,7    | 320,9    | 323,8     | 328,1     |
| Damıtma T80                                | -     | -         | 308,5  | 328,9    | 333,3    | 333,7     | 333,5     |
| Damıtma T85                                | -     | -         | 316,7  | 335,9    | 339,5    | 336,8     | 334,3     |
| Damıtma T90                                | -     | -         | 325,9  | 345,0    | 343,2    | 337,8     | 331,0     |
| Damıtma T95                                | -     | -         | 336,4  | 351,4    | 343,5    | 338,2     | 332,0     |
| SKN (°C)                                   | -     | -         | 355,8  | 358,8    | 348,0    | 337,2     | 318,1     |

#### 4.2. Deney düzeneği ve Deneysel Metot

Yapılan deneysel çalışma Batman Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Motor Laboratuvarında tek silindirli, dört zamanlı, değişken sıkıştırma oranlı, su soğutmalı ve direkt enjeksiyonlu dizel motor (Kirloskar TV1) ile gerçekleştirilmiştir. Test motorunun temel özellikleri Tablo 4.2'de listelenmiştir. Deneyler Eddy Current dinamometrenin farklı yüklerinde (0 kg, 2,5 kg, 5 kg, 7,5 kg) dizel motorun sabit 1500 dev/dk hızında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında motorun egzoz emisyonları CAPALEC CAP 3200 gaz analiz cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Egzoz gazı analizinin teknik özellikleri Tablo 4.2' de sunulmuştur. Kombi marka egzoz gaz analiz cihaz görüntüsü ise Şekil 4.2' de verilmiştir. Silindir içi basınç ölçümleri Oprand D33294-Q basınç transdüseri ile 1,35 mV/PSI hassasiyetinde yapılmıştır. Deneylere başlamadan

önce motor yağı, yağlayıcı ve hava filtrasyonu kontrol edilmiştir. Egzoz sıcaklıkları stabil koşullara ulaştıktan sonra motor ölçümlerine başlandı. Deneyler ilk önce dizel yakıtla (E0B0D100) ön veriler alındıktan sonra sırası ile E0B0D100, E5B10D85, E5B20D75, E15B40D55 ve E15B40D45 test yakıtları ile sabit deney şartlarında yanma ve emisyon parametre değerleri alınmıştır. Deney sırasında silindir basınç, ortalama gaz sıcaklığı, basınç artış oranı, net ısı salınımı ve kümülatif ısı salınımı verileri ICEEngineSoft\_9.0 yazılımı kullanılarak her parametre için 10 çevrimin ortalaması alınmıştır. Aynı deney şartlarında emisyon değerleri de ölçülmüştür.

**Tablo 4.2.** Test motorunun temel özellikleri

| Marka ve model        | Kirloskar TV1               |
|-----------------------|-----------------------------|
| Silindir hacmi        | 0,661 litre                 |
| Sıkıştırma oranı      | 17,5:1                      |
| Çap / Strok           | 87 / 110 mm                 |
| Enjeksiyon başlangıcı | 0-25° üst ölü noktadan önce |
| Biyel kolu uzunluğu   | 234 mm                      |
| Maksimum tork         | 4,5 kW @ 1500 devir/dk      |

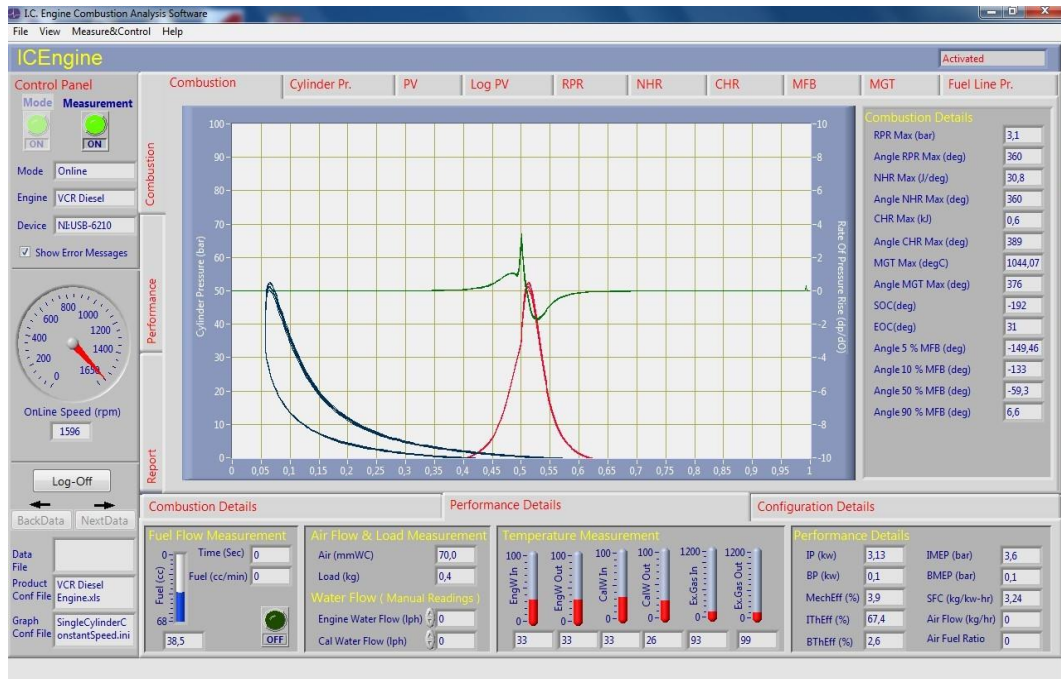
**Tablo 4.3.** Egzoz gazı cihazının doğruluğu ve ölçüm aralığı

| Parametre       | Ölçüm aralığı | Doğruluk |
|-----------------|---------------|----------|
| O <sub>2</sub>  | %0-21,7       | %0.01    |
| CO              | %0-10,0       | %0.001   |
| CO <sub>2</sub> | %0-21,0       | %0,1     |
| HC              | 0-20000 ppm   | 1 ppm    |
| NO <sub>x</sub> | 0-10000 ppm   | 1 ppm    |

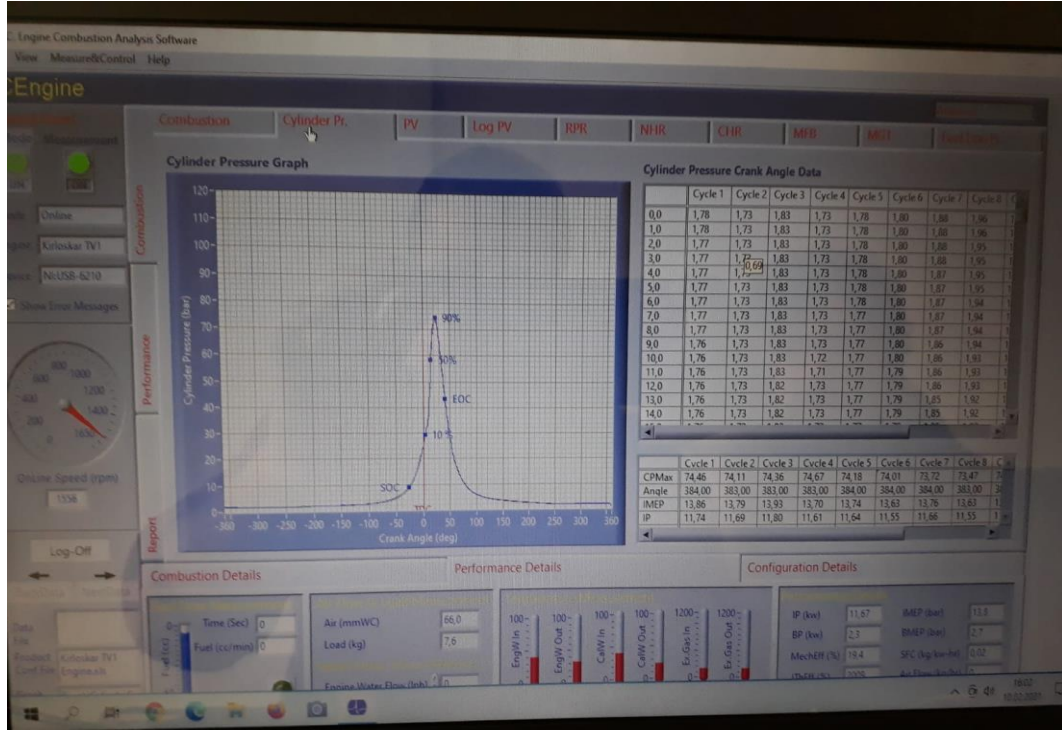


Şekil 4.2. Capalec Cap 3200 Kombi marka egzoz gaz analiz cihazı

Deney yakıtlarıyla yapılan testler esnasında yanma verilerin alındığı IEngineSoft\_9.0 programının ekran görüntüleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekil 4.5'te deney test düzeneğinin görüntüsü ve Şekil 4.6' da deney düzeneğinin şematik görünüşü verilmiştir.



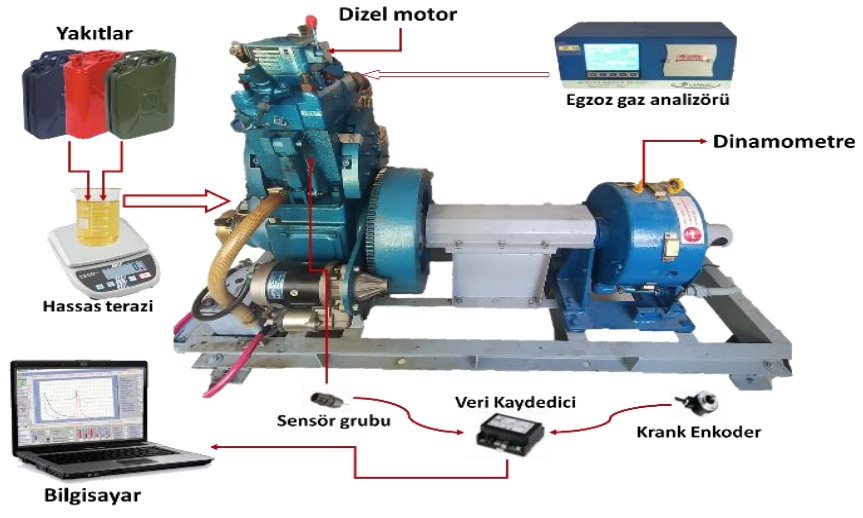
Şekil 4.3. Testler esnasında IEngineSoft\_9.0 programının ekran görüntüsü



Şekil 4.4. Testler esnasında silindir basınç verisinin ekran görüntüsü



Şekil 4.5. Deney test düzeneğinin görünümü



Şekil 4.6. Deney setinin şematik görünümü

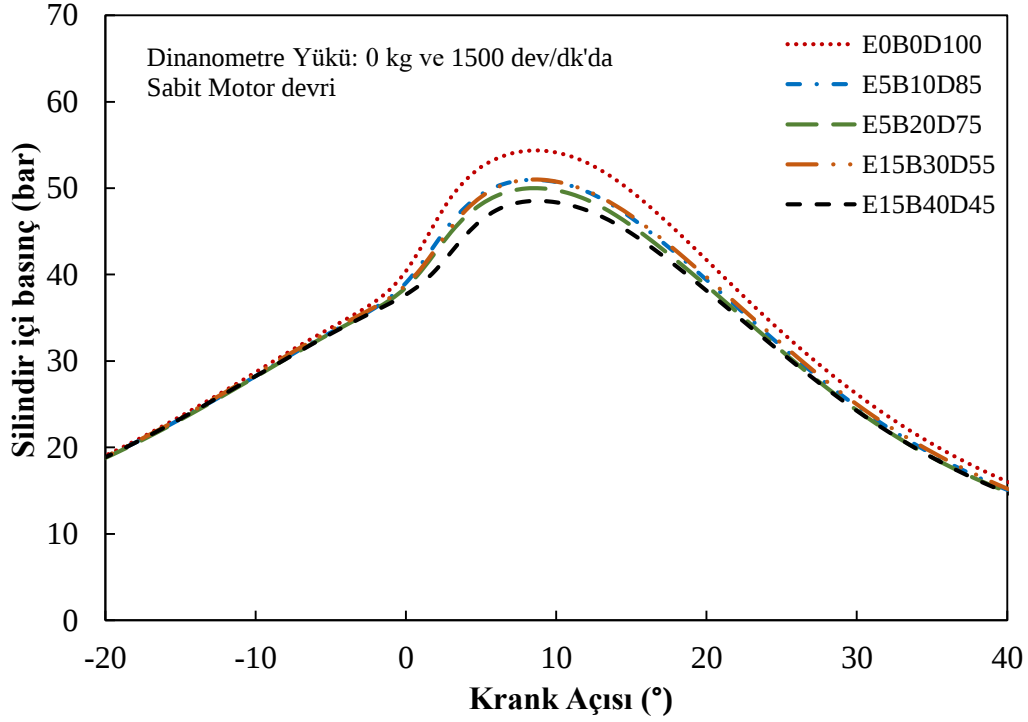
## 5. DENEYSEL ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Yapılan deneysel çalışmalarda dizel yakıtı ile farklı bitkisel yağlardan elde edilen biyodizele (%40 soya yağı, %20 ayçiçeği yağı, %40 kullanılmış yağ) etil proksitol (1-ethoxy-2-propanol) katılarak elde edilen yakıtlar bir dizel motorda tüm test yakıtları için sabit devirde (1500 dev/dk) ve Eddy Current dinamometresinin farklı yüklerinde 0 kg, 2,5 kg ve 7,5 kg testler yapılmış. Bu testler ile motoru yanma ve egzoz emisyon verileri, aynı deney şartlarında sırası ile E0B0D100, E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B40D45 yakıt karışımlarıyla test edilmiş ve referans dizel (E0B0D100) yakıtıyla karşılaştırılmıştır.

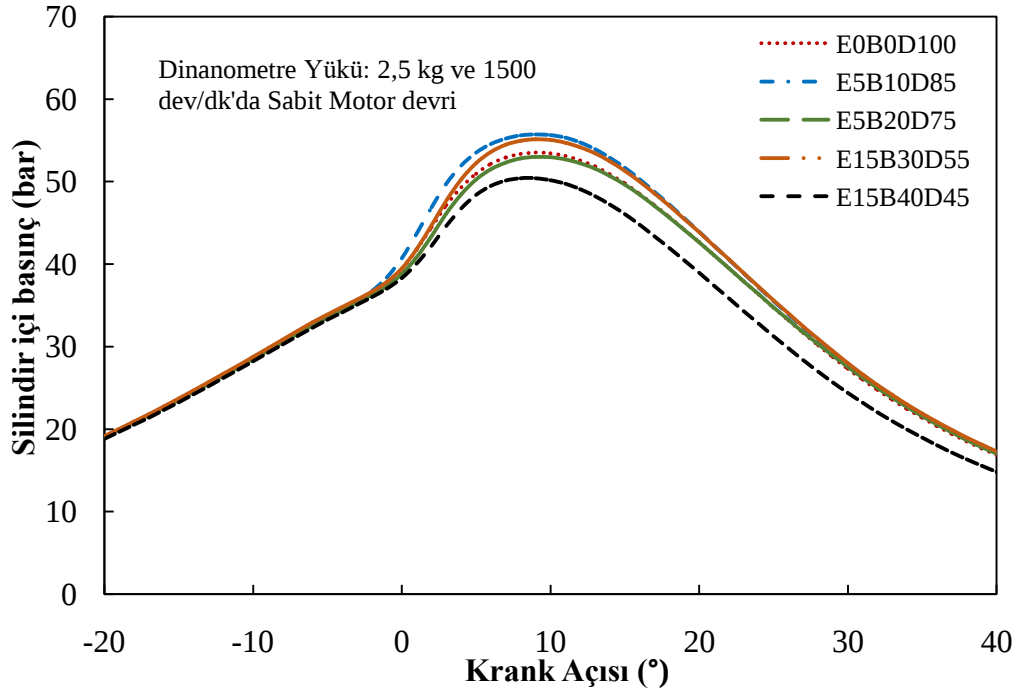
### 5.1. Silindir İçi Gaz Basınç Parametresi

Test yakıtları için sabit devir sayısında (1500 d/dk) ve farklı motor yüklerinde (0 kg, 2,5 kg, 5 kg ve 7,5 kg) ölçülen silindir içi gaz basınç değerlerinin krank mili açısına göre değişimleri Şekil 5.1, şekil 5.2, şekil 5.3 ve şekil 5.4'te gösterilmiştir. Ayrıca test yakıtlarına ait tüm yüklerdeki silindir gaz basınç değerleri Tablo 5.1'de de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde yük miktarı arttıkça silindir içi gaz basınç değerlerinin arttığı gözlenmektedir. Yük artışına bağlı olarak gönderilen yakıt miktarının artmasıyla silindir içi gaz basıncının doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Tüm testlerde maksimum basınç değerleri benzer çıkmıştır. Bunun nedeni 1-ethoxy-2-propanol katkılı biyodizel karışımı yakıtlar ile dizel yakıtının benzerliği biyodizelin içerisindeki oksijen miktarı ile açıklanabilir. Tüm test yakıtlarında 2,5kg, 5 kg ve 7,5 kg yüklerde şekillere bakıldığında etil proksitol (1-ethoxy-2-propanol) katkısı eklenen yakıtlardan E15B30D55, E15B40D45 ve E5B10D85 test yakıtlarının silindir içi gaz basıncının yükseldiği görülmektedir. Yüksüz durumda ise E0B0D100 yakıtına göre etil proksitol katkısı biyodizele eklendiği yakıtlara göre silindir içi gaz basıncının bir miktar düşürdüğü görülmüştür. Etil proksitol ve biyodizelin silindir içi basınca olan etkisi ısı değer miktarı dolayı ters orantılı olması nedeniyle bu farklılıklar az da olsa deneylerde ortaya çıkmıştır. 2,5 kg yükte E5B10D85 yakıtında, 5 kg ve 7,5 kg yüklerinde ise E15B30D55 yakıtında yanmanın erken başlaması ve maksimum basıncı ulaşması olumlu bir sonuç olarak değerlendirilebilir. Sonuç itibarıyla biyodizel karışımı yakıtlara etil proksitol (1-ethoxy-2-propanol) eklenmesi biyodizelin silindir içi gaz basıncındaki dezavantajını uygun oranlarda etil proksitol kullanımı ile kapatabileceği,

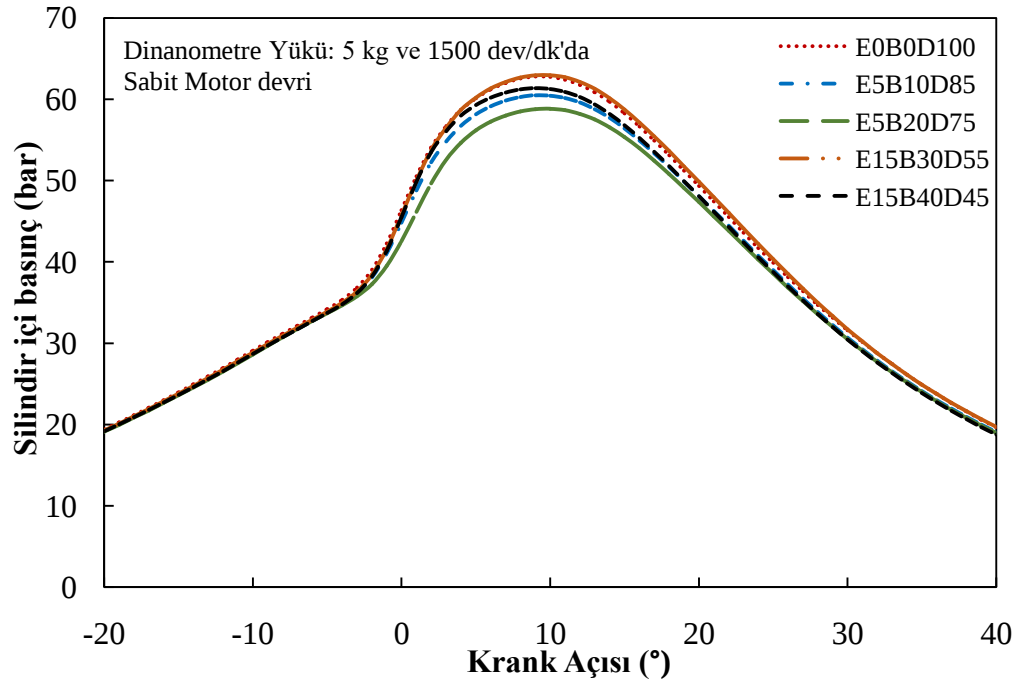
etil proksitolün silindir içi gaz basıncına 2,5 kg, 5 kg ve 7,5 kg yüklerinde olumlu etkisi olduğu söylenebilir.



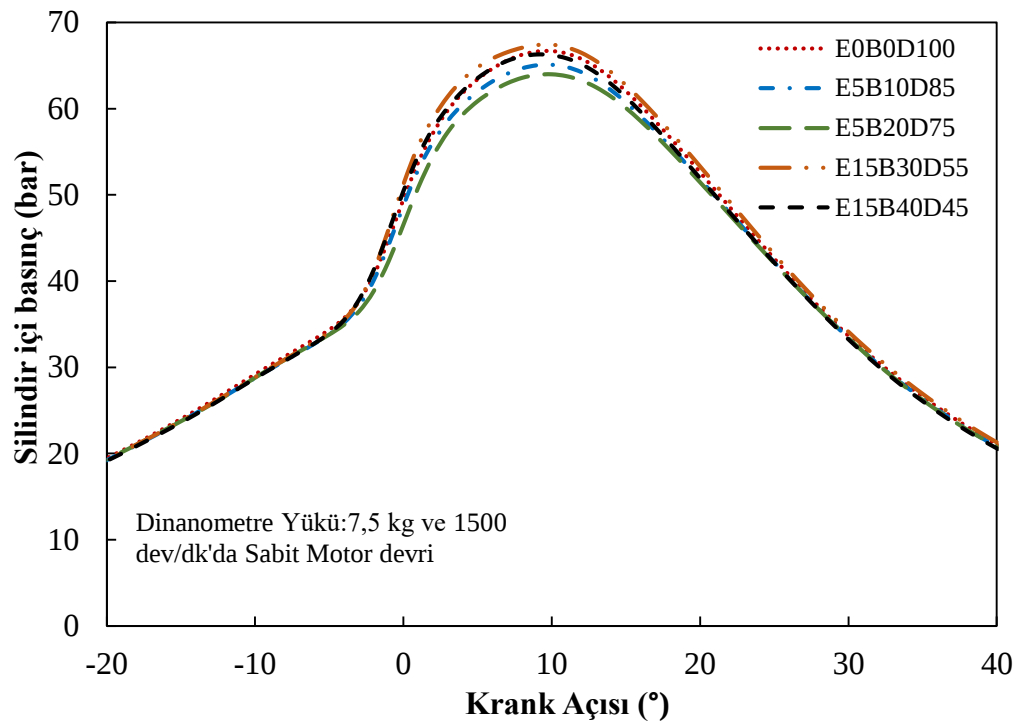
Şekil 5.1. Test yakıtlarının 2,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir içi gaz basınç değişimi



Şekil 5.2. Test yakıtlarının 2,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir içi gaz basınç değişimi



Şekil 5. 3. Test yakıtlarının 5 yükteki krank açısına bağlı olarak silindir içi gaz basınç değişimi



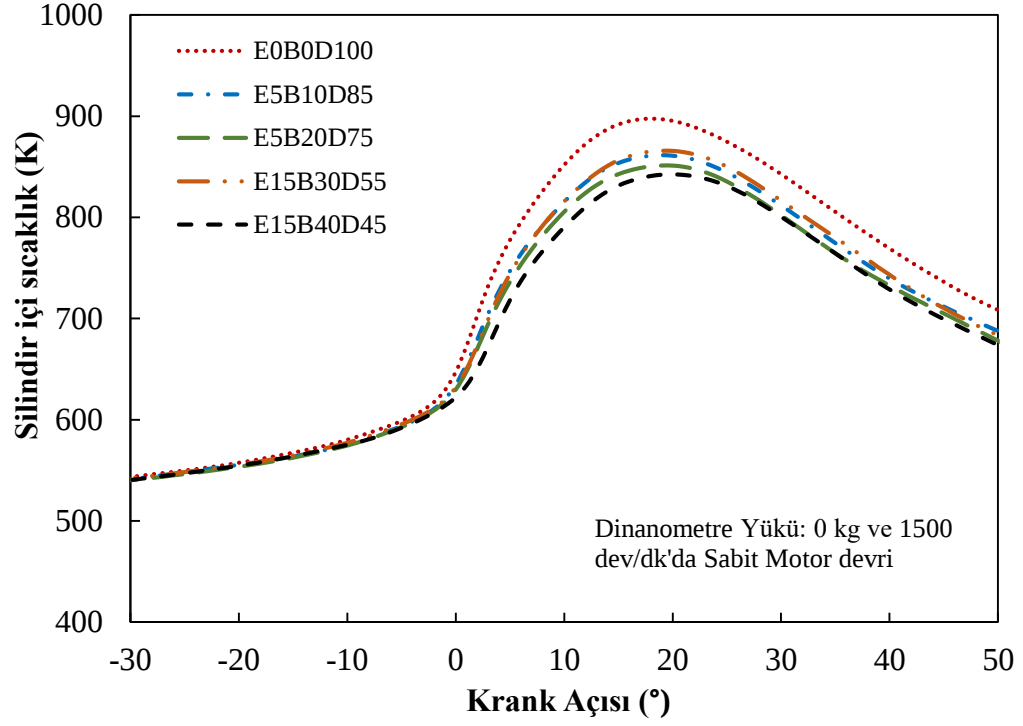
Şekil 5. 4. Test yakıtlarının 7,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir içi gaz basınç değişimi

**Tablo 5.1.** Tüm yüklerdeki maksimum silindir içi gaz basınç değerleri

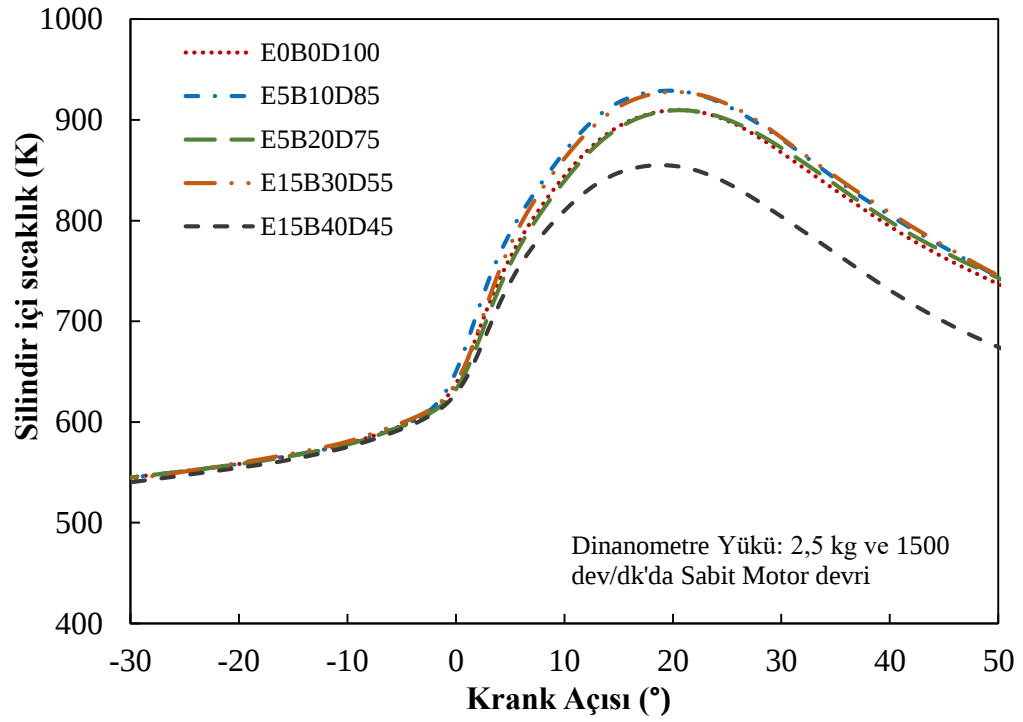
| <b>Dinamometre yüküne bağlı motordaki maksimum silindir gaz basıncı (bar)</b> |                 |                   |                 |                   |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
|                                                                               | <b>0 kg yük</b> | <b>2,5 kg yük</b> | <b>5 kg yük</b> | <b>7,5 kg yük</b> |
| <b>E0B0D100</b>                                                               | 54,36 / 369°    | 53,52 / 369°      | 62,80 / 369°    | 66,70 / 370°      |
| <b>E5B10D85</b>                                                               | 50,95 / 368°    | 55,73 / 369°      | 60,49 / 369°    | 65,08 / 370°      |
| <b>E5B20D75</b>                                                               | 49,99 / 369°    | 52,99 / 369°      | 58,83 / 370°    | 63,99 / 370°      |
| <b>E15B30D55</b>                                                              | 50,97 / 369°    | 55,13 / 369°      | 62,96 / 370°    | 64,40 / 370°      |
| <b>E15B40D45</b>                                                              | 48,54 / 369°    | 50,42 / 368°      | 61,36 / 369°    | 66,29 / 369°      |

## 5.2. Ortalama Silindir içi Gaz Sıcaklığı Parametresi

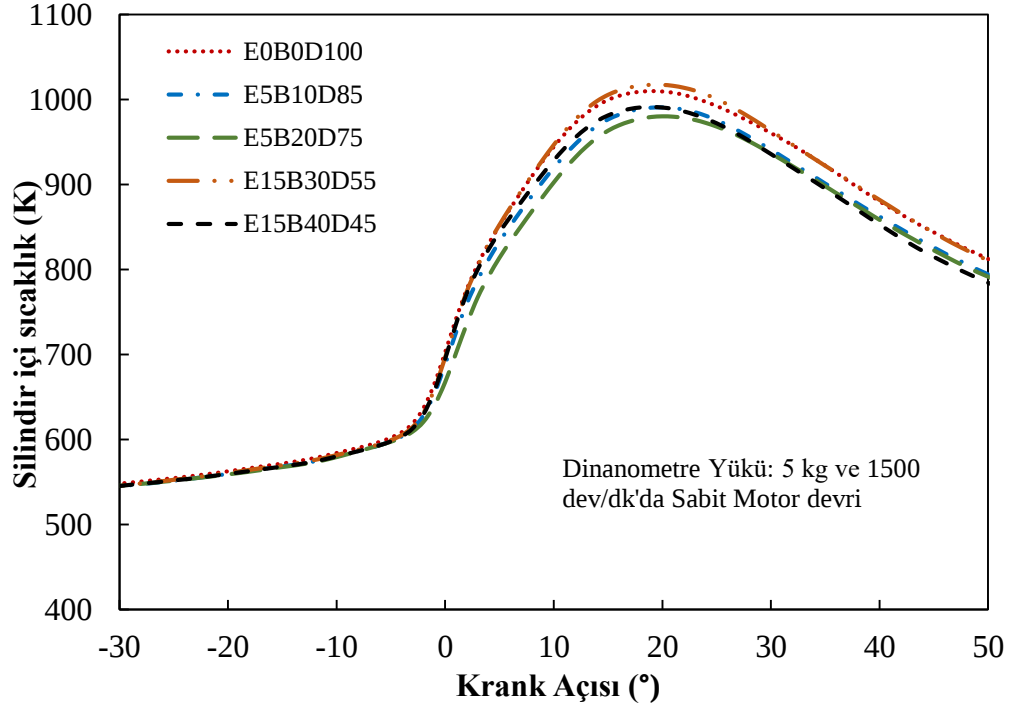
Test yakıtları için sabit motor devir sayısında (1500 d/dk) ve farklı yüklerde (0 kg, 2,5 kg, 5 kg ve 7,5 kg) ölçülen silindir içi gaz sıcaklığı değerlerinin krank mili açısına göre değişimleri Şekil 5.5, şekil 5.6, şekil 5.7 ve şekil 5.8’te gösterilmiştir. Ayrıca test yakıtlarına ait tüm yüklerdeki maksimum silindir içi gaz sıcaklık değerleri Tablo 5.2’de de verilmiştir. Şekiller ve tabloya bakıldığında motor yükünün artmasına bağlı olarak tüm test yakıtlarından elde edilen ortalama gaz sıcaklığının da yükseldiği görülmektedir. 0 kg yükte yani yüksüz durumda en yüksek ortalama gaz sıcaklığı E0B0D100 yakıtından alınırken en düşük gaz sıcaklığı da E15B40D45 yakıtında olduğu görülmektedir. Diğer şekillere baktığımızda 2,5 kg, 5 kg ve 7,5 kg yüklerinde ise en yüksek ortalama gaz sıcaklığı E15B30D55 yakıtında meydana gelmiştir. Şekil 5.5 incelendiğinde E0B0D100 yakıtına göre E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B40D45 yakıtlarının ortalama gaz sıcaklığını azaldığı görülmektedir. Diğer yüklerde ise etil proksitol katkılı yakıtların ortalama gaz sıcaklıkları E0B0D100 yakıtına göre uygun olduğu görülmektedir. Etil proksitol (1-ethoxy-2-propanol) katkı maddesinin ısıl değerinin düşük olması ve aynı zamanda biyodizelin ısıl değerinin etil proksitole göre iyi olması bu katkılı yakıtların ortalama gaz sıcaklıklarını genel olarak önemli derecede negatif yönde saptadığı görülmektedir.



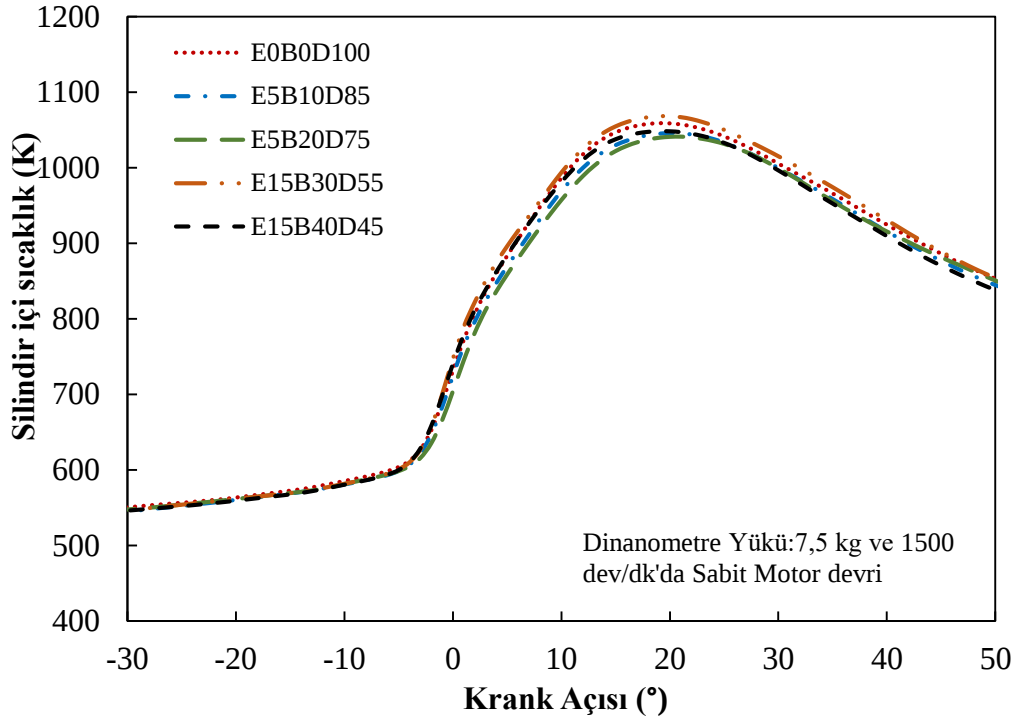
Şekil 5.5 Test yakıtlarının 0 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir içi gaz sıcaklığı değişimi



Şekil 5.6 Test yakıtlarının 2,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir içi gaz sıcaklığı değişimi



Şekil 5.7 Test yakıtlarının 5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir içi gaz sıcaklığı değişimi



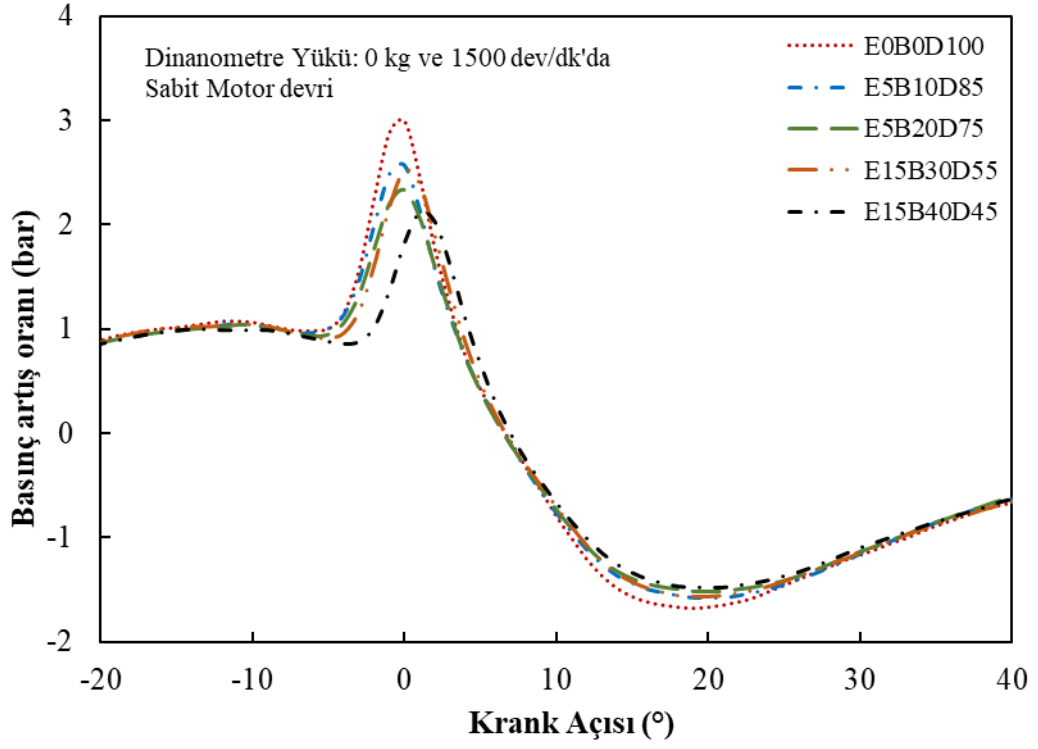
Şekil 5.8 Test yakıtlarının 7,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir içi gaz sıcaklığı değişimi

**Tablo 5.2.** Tüm yüklerdeki maksimum silindir içi gaz sıcaklığı değerleri

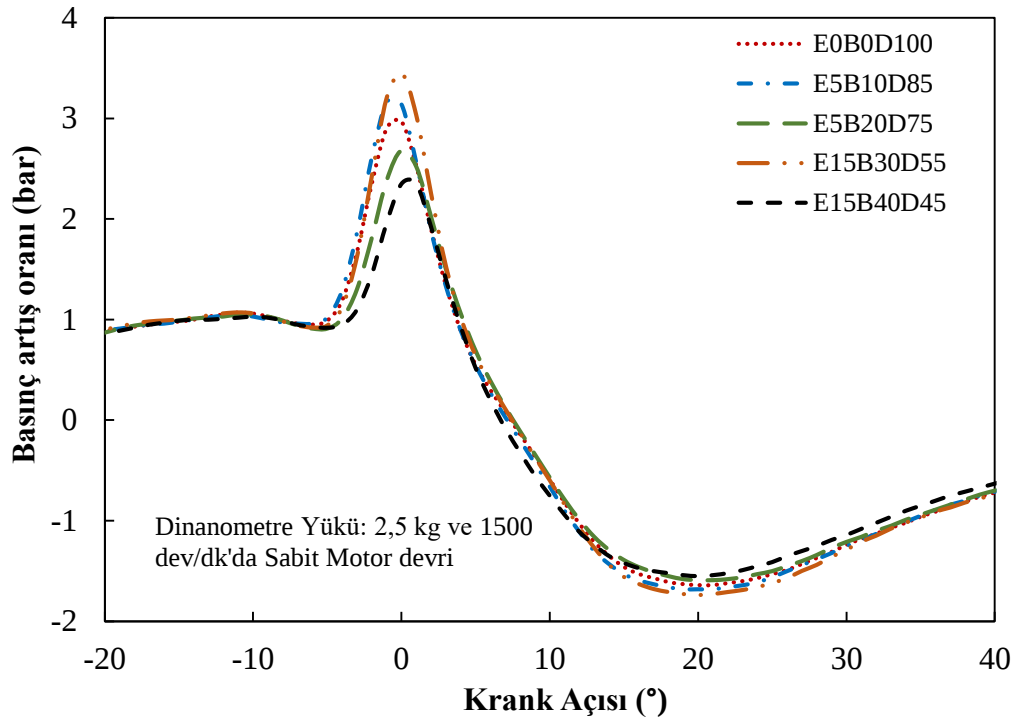
|                  | Dinamometre yüküne bağlı motorun silindir içi gaz sıcaklığı (°C) |            |           |            |
|------------------|------------------------------------------------------------------|------------|-----------|------------|
|                  | 0 kg yük                                                         | 2,5 kg yük | 5 kg yük  | 7,5 kg yük |
| <b>E0B0D100</b>  | 1025/376°                                                        | 1016/377°  | 1221/377° | 1284/377°  |
| <b>E5B10D85</b>  | 942/376°                                                         | 1020/377°  | 1134/376° | 1202/376°  |
| <b>E5B20D75</b>  | 884/377°                                                         | 982/377°   | 1113/377° | 1207/377°  |
| <b>E15B30D55</b> | 947/376°                                                         | 1054/377°  | 1258/378° | 1347/378°  |
| <b>E15B40D45</b> | 1019/378°                                                        | 1123/378°  | 1218/377° | 1327/377°  |

### 5.3 Basıncı Artış Oranı Parametresi

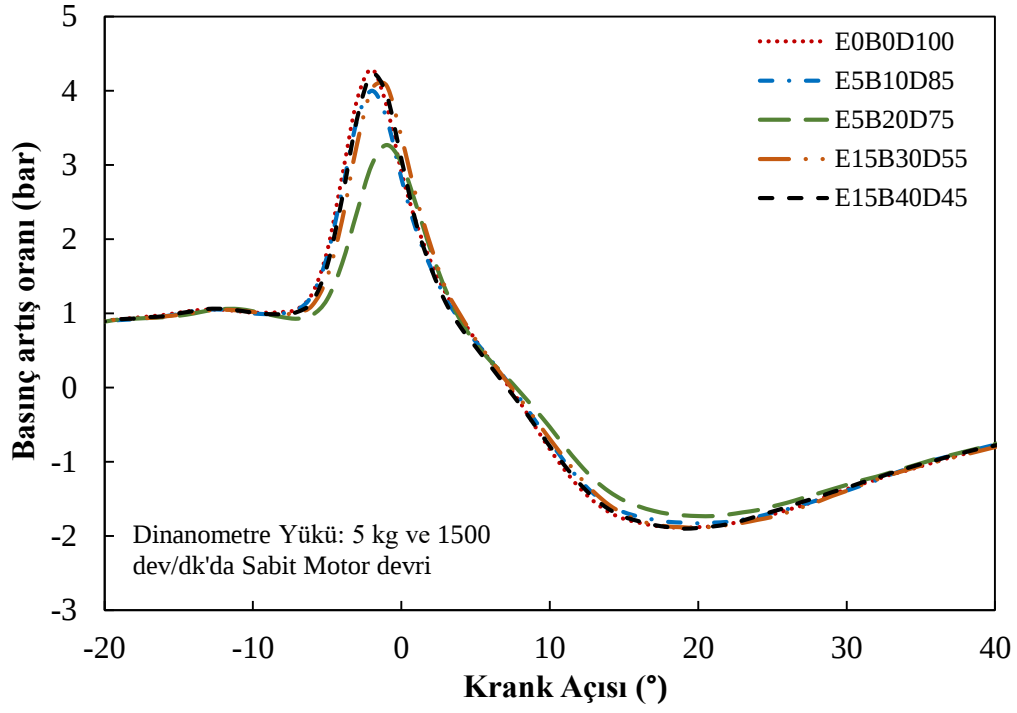
Test yakıtları için sabit devir sayısında (1500 d/dk) ve farklı motor yüklerinde (0 kg, 2,5 kg, 5 kg ve 7,5 kg) ölçülen silindir basıncı artış oranı değerlerinin krank mili açısına göre değişimleri bar/KMA cinsinden Şekil 5.9, şekil 5.10, şekil 5.11 ve şekil 5.12’ de gösterilmiştir. Ayrıca test yakıtlarına ait tüm yüklerdeki maksimum silindir basıncı artış oranı değerleri Tablo 5.3’ te de verilmiştir. Tüm test yakıtlarında yükün artmasına paralel olarak silindir basınç oranlarında artış görülmüştür. E0B0D100 yakıtına göre E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B40D45 yakıtlarının maksimum basınç artış oranlarının yüksüz deney şartı hariç olumlu olduğu görülmektedir. E15B30D55 ve E15B40D45 test yakıtlarında basınç artış oranının yüksek olması daha erken tutuşarak kontrolsüz yanma meydana gelmesi ile açıklanabilir.



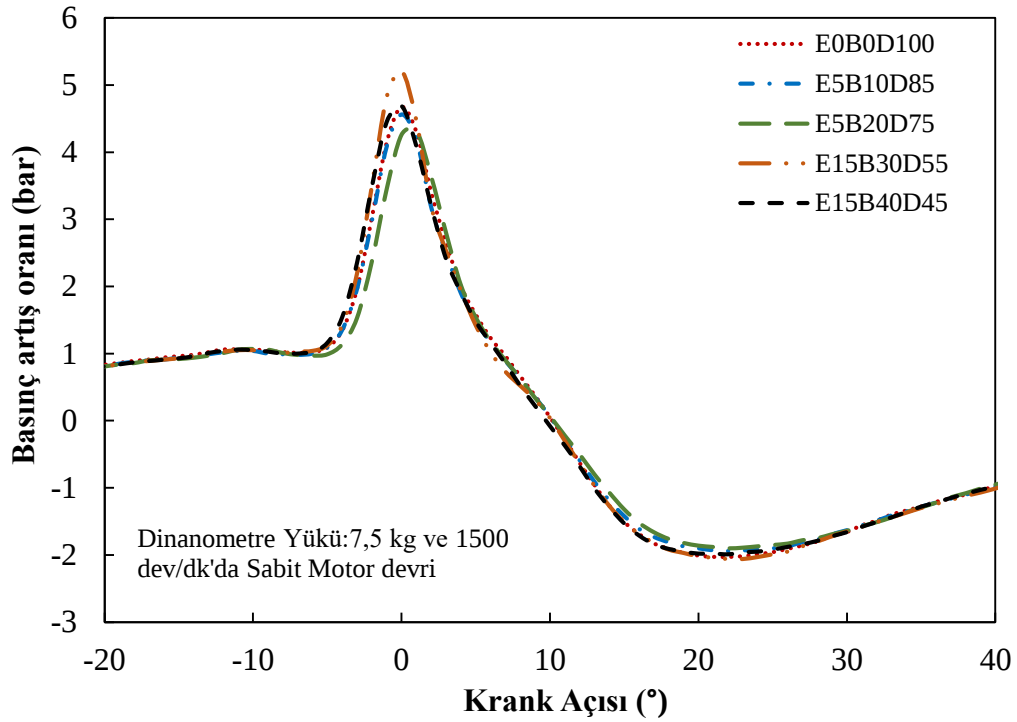
Şekil 5.9. Test yakıtlarının 0 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir basıncı artış oranı değişimi



Şekil 5.10. Test yakıtlarının 2,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir basıncı artış oranı değişimi



Şekil 5.11. Test yakıtlarının 5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir basıncı artış oranı değişimi



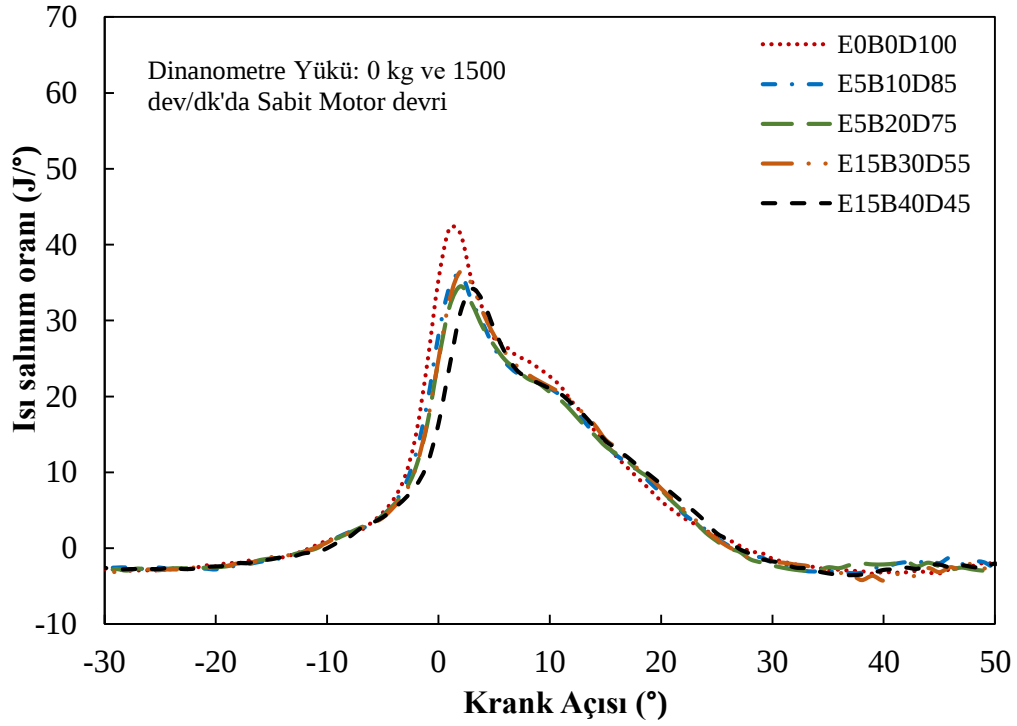
Şekil 5.12. Test yakıtlarının 7,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak silindir basıncı artış oranı değişimi

**Tablo 5.3.** Tüm yüklerdeki maksimum silindir basıncı artış oranı değerleri

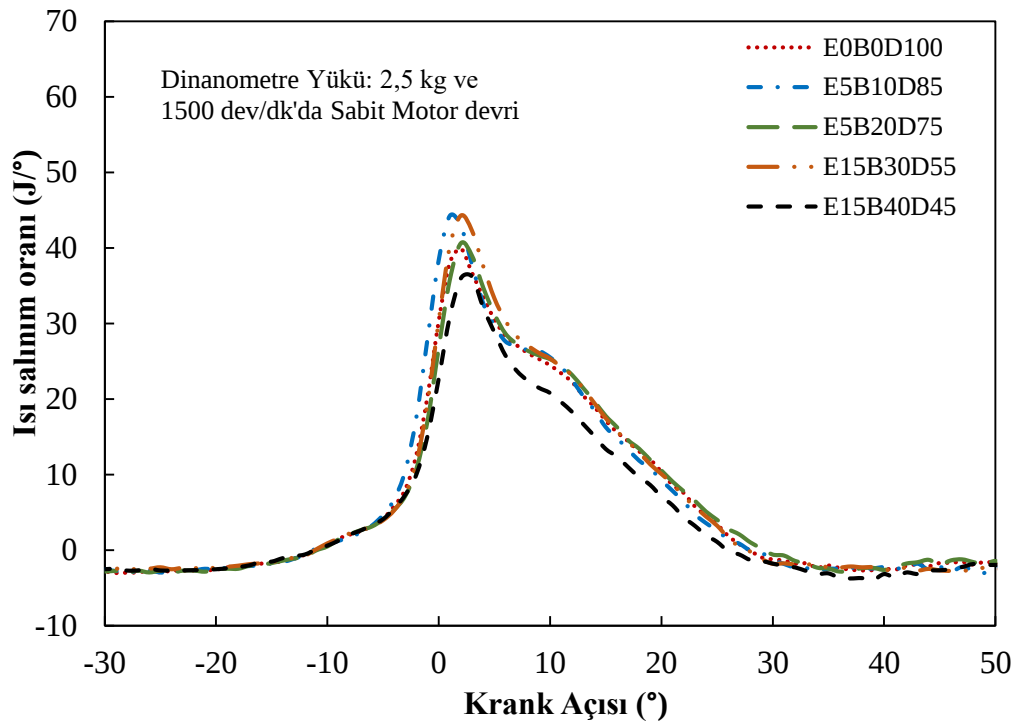
|                  | <b>Dinamometre yüküne bağlı motordaki maksimum silindir basınç artış oranı (bar)</b> |                   |                 |                   |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
|                  | <b>0 kg yük</b>                                                                      | <b>2,5 kg yük</b> | <b>5 kg yük</b> | <b>7,5 kg yük</b> |
| <b>E0B0D100</b>  | 3,06/362°                                                                            | 2,66/362°         | 4,16/361°       | 4,67/360°         |
| <b>E5B10D85</b>  | 2,46/362°                                                                            | 3,22/362°         | 3,98/361°       | 4,56/360°         |
| <b>E5B20D75</b>  | 2,26/363°                                                                            | 2,73/363°         | 3,62/361°       | 4,26/359°         |
| <b>E15B30D55</b> | 2,41/363°                                                                            | 3,00/363°         | 4,31/361°       | 5,21/360°         |
| <b>E15B40D45</b> | 2,03/363°                                                                            | 2,38/363°         | 4,33/361°       | 4,69/360°         |

#### 5.4. Net Isı Salınım Parametresi

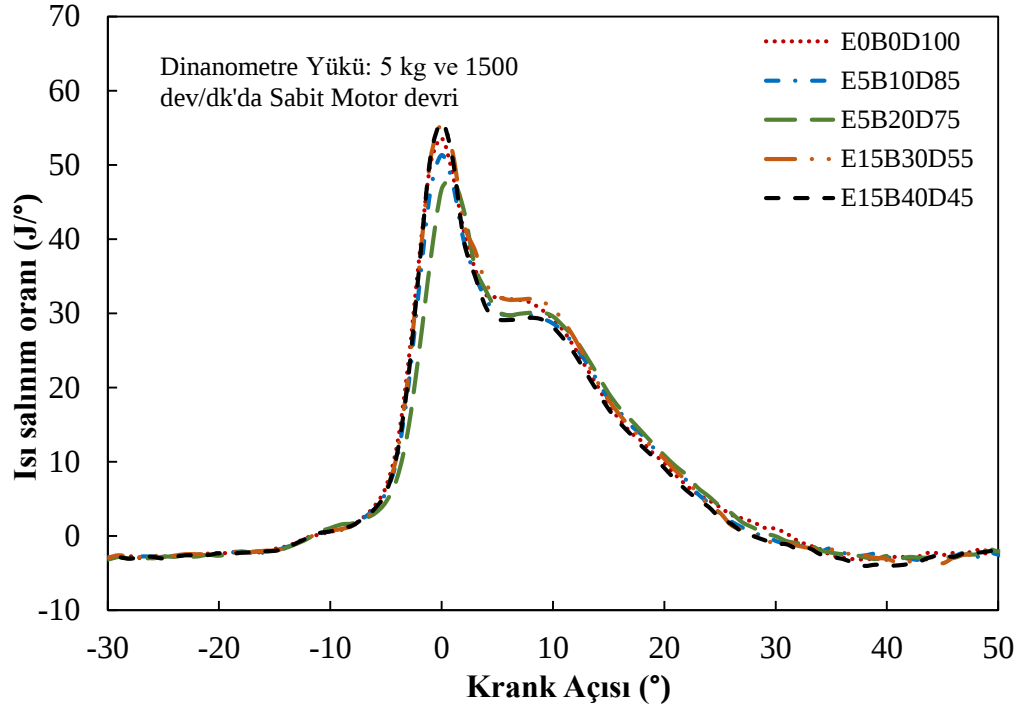
Test yakıtları için sabit devir sayısında (1500 d/dk) ve farklı motor yüklerinde (0 kg, 2,5 kg, 5 kg ve 7,5 kg) ölçülen net ısı salınım değerlerinin krank mili açısına göre değişimleri J/KMA cinsinden şekil 5.13, şekil 5.14, şekil 5.15 ve şekil 5.16’ da verilmiştir. Ayrıca test yakıtlarına ait tüm yüklerdeki maksimum silindir basıncı artış oranı değerleri Tablo 5.4’ te de gösterilmiştir. Tüm test yakıtlarında yük artışıyla birlikte net ısı salınım artmıştır. Net ısı salınım şekillerinde bütün yüklerde E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B40D45 yakıtlarının E0B0D100 yakıtına göre yanmanın dört önemli safhasının benzer olduğu görülmektedir. Fakat maksimum net ısı salınım oranı yüksüz deney şartlarında E0B0D100 yakıtında, 2,5 kg deney şartlarında E5B10D85 ve E5B20D75 yakıtlarında, 5 kg ve 7,5 kg yüklerinde ise E15B30D55 ve E15B40D45 yakıtlarında meydana gelmiştir. Katkı maddesi ve biyodizel oranının arttığı test yakıtlarında net ısı salınım değeri diğerlerine oranla fazla çıkmıştır. Bunun nedeni katkı değerlerin yükselmesiyle daha fazla yakıt harcamasına bağlanabilir.



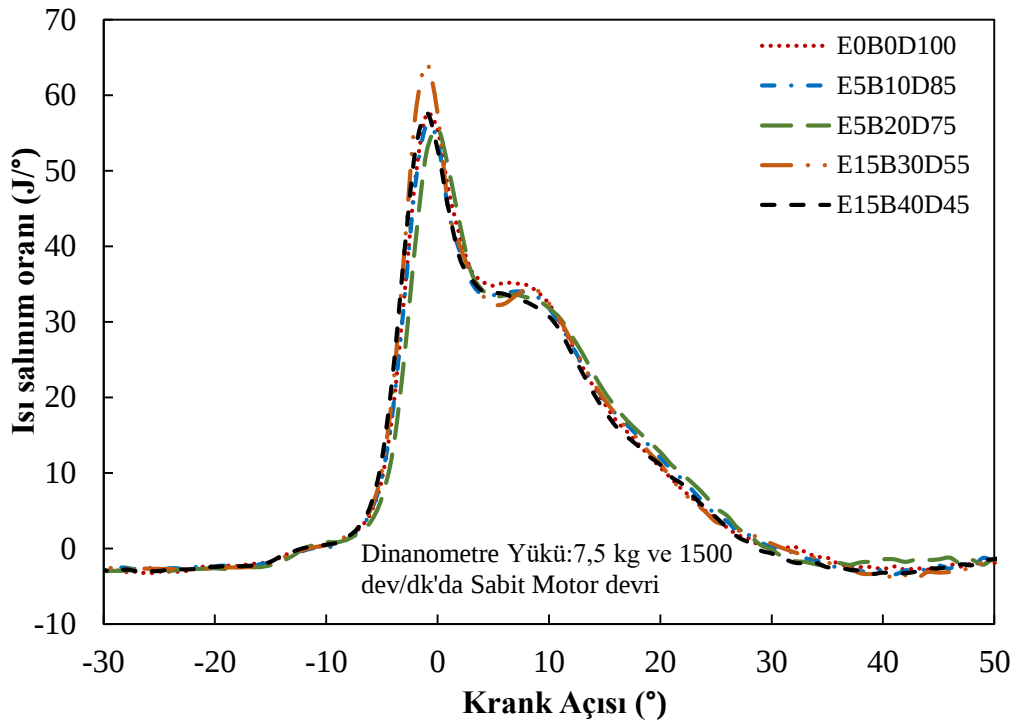
Şekil 5.13. Test yakıtlarının 0 kg yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınımı değişimi



Şekil 5.14. Test yakıtlarının 2,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınımı değişimi



Şekil 5.15. Test yakıtlarının 5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınımı değişimi



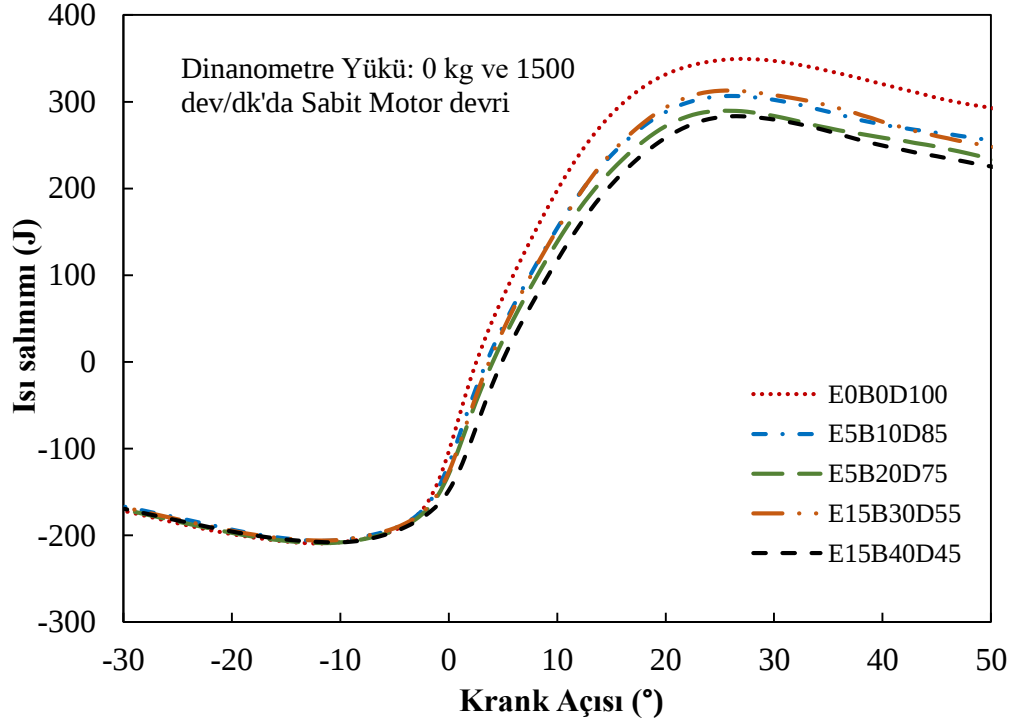
Şekil 5.16. Test yakıtlarının 7,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınımı değişimi

**Tablo 5.4.** Tüm yüklerdeki maksimum net ısı salınım değerleri

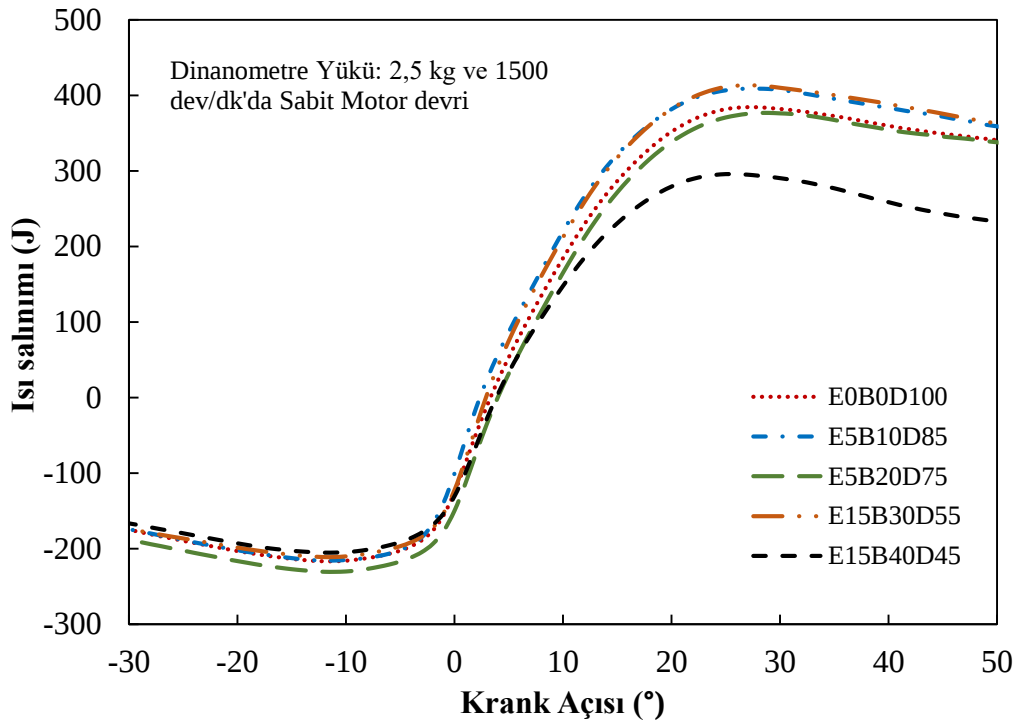
| <b>Dinamometre yüküne bağlı maksimum motordaki net ısı salınımı (J/°)</b> |                 |                   |                 |                   |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
|                                                                           | <b>0 kg yük</b> | <b>2,5 kg yük</b> | <b>5 kg yük</b> | <b>7,5 kg yük</b> |
| <b>E0B0D100</b>                                                           | 28,30/360°      | 28,23/360°        | 37,47/358°      | 42,03/357°        |
| <b>E5B10D85</b>                                                           | 24,03/360°      | 31,19/359°        | 35,59/358°      | 40,08/358°        |
| <b>E5B20D75</b>                                                           | 21,01/362°      | 28,67/360°        | 32,53/359°      | 38,37/358°        |
| <b>E15B30D55</b>                                                          | 24,85/361°      | 30,29/361°        | 40,27/358°      | 49,13/357°        |
| <b>E15B40D45</b>                                                          | 25,41/361°      | 31,30/360°        | 40,56/358°      | 41,78/357°        |

### 5.5. Kümülatif Isı Salınımı Parametresi

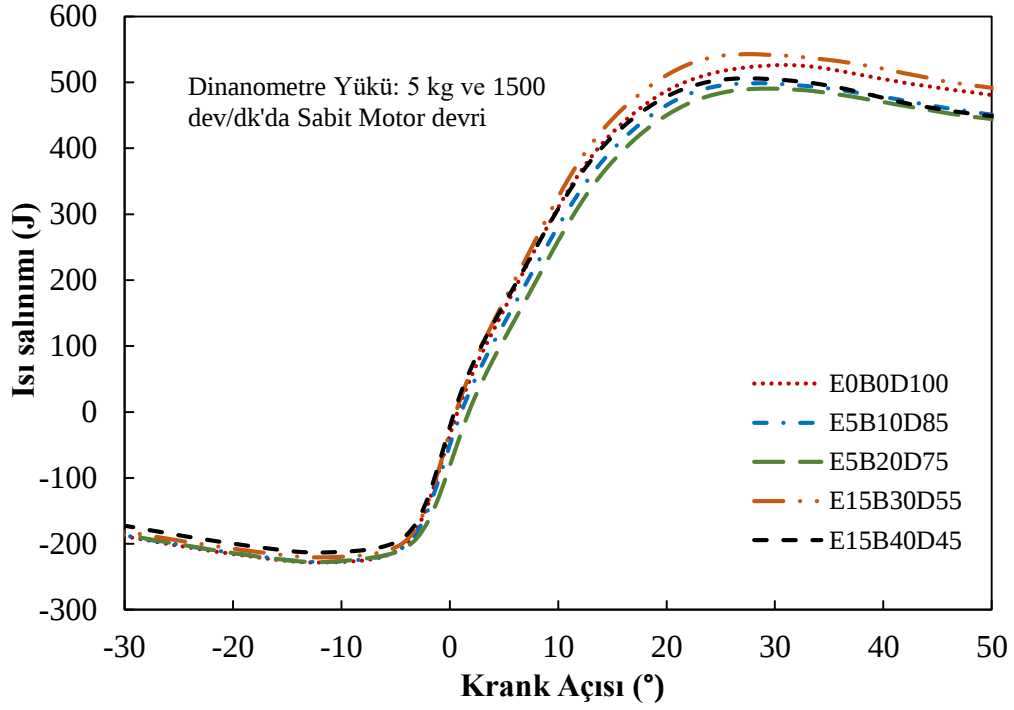
Test yakıtları için sabit devir sayısında (1500 d/dk) ve farklı motor yüklerinde (0 kg, 2,5 kg, 5 kg ve 7,5 kg) ölçülen kümülatif ısı salınım değerlerinin krank mili açısına göre değişimleri kJ/KMA cinsinden şekil 5.17, şekil 5.18, şekil 5.19 ve şekil 5.20’de verilmiştir. Ayrıca test yakıtlarına ait tüm yüklerdeki maksimum kümülatif ısı salınım değerleri Tablo 5.5’ te de gösterilmiştir. E0B0D100, E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B40D45 yakıtlarıyla yapılan deneylerde en yüksek kümülatif ısı salınım değeri 406°-417° arasında olduğu görülmüştür. Tüm test yakıtlarında yük arttıkça kümülatif ısı salınım değeri yükselmiştir. Bunun nedeni yük artışına bağlı olarak kullanılan yakıt miktarı arttığından elde edilen ısı miktarının artmasıyla ve biyodizel içerisindeki oksijen miktarıyla açıklanabilir. E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B40D45 test yakıtları E0B0D100 yakıtla kıyaslandığında çok az fark olduğu görülmektedir.



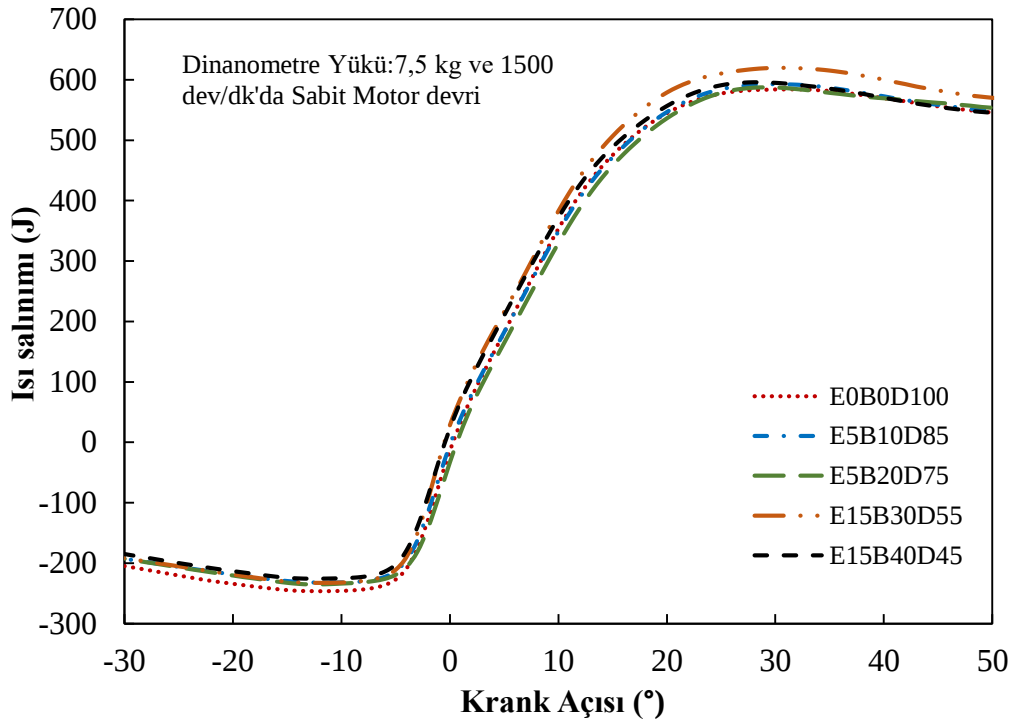
Şekil 5.17. Test yakıtlarının 0 kg yükteki krank açısına bağlı olarak kümülatif ısı salınımı değişimi



Şekil 5.18. Test yakıtlarının 2,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak kümülatif ısı salınımı değişimi



Şekil 5.19. Test yakıtlarının 5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak kümülatif ısı salınımı değişimi



Şekil 5.20. Test yakıtlarının 7,5 kg yükteki krank açısına bağlı olarak kümülatif ısı salınımı değişimi

**Tablo 5.5.** Tüm yüklerdeki maksimum kümülatif ısı salınım değerleri

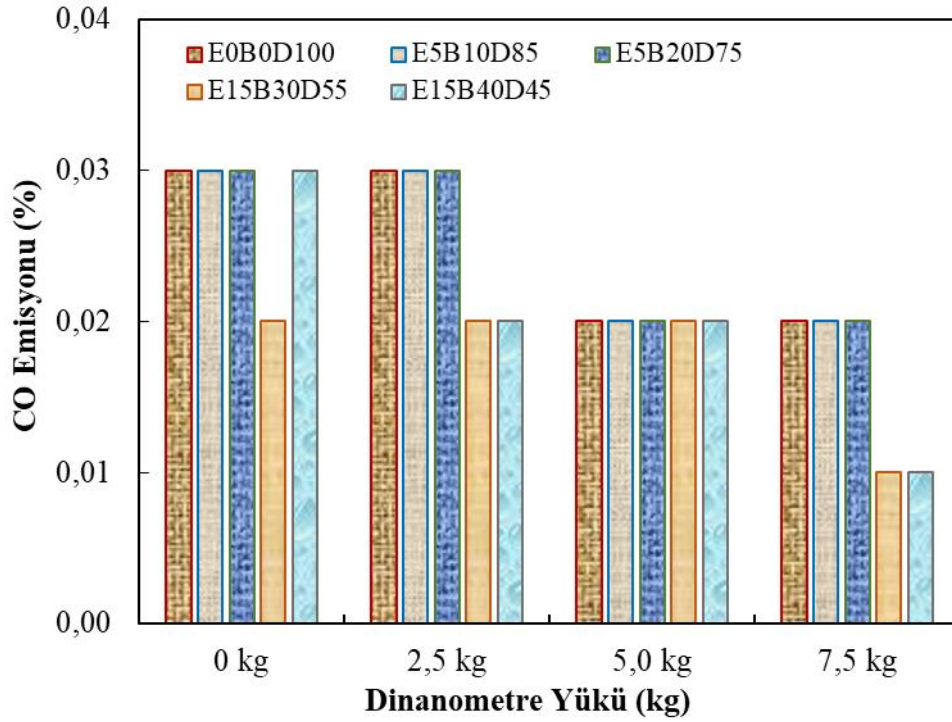
| <b>Dinamometre yüküne bağlı motordaki maksimum kümülatif ısı salınımı (kJ)</b> |                 |                   |                 |                   |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
|                                                                                | <b>0 kg yük</b> | <b>2,5 kg yük</b> | <b>5 kg yük</b> | <b>7,5 kg yük</b> |
| <b>E0B0D100</b>                                                                | 0,58/391-399°   | 0,56/385-390°     | 0,74/396-400°   | 0,79/394-400°     |
| <b>E5B10D85</b>                                                                | 0,50/381-392°   | 0,57/383-393°     | 0,66/386-391°   | 0,72/388-390°     |
| <b>E5B20D75</b>                                                                | 0,50/384-393°   | 0,57/387-394°     | 0,65/388-390°   | 0,71/385-395°     |
| <b>E15B30D55</b>                                                               | 0,50/381-392°   | 0,59/383-393°     | 0,79/401-425°   | 0,87/406-417°     |
| <b>E15B40D45</b>                                                               | 0,64/456-479°   | 0,68/406-430°     | 0,77/405-422°   | 0,85/407-421°     |

### 5.6. CO Emisyon Parametresi

Şekil 5.21' de farklı yükler için CO emisyon değerlerinin değişimi verilmiştir. CO emisyon değeri silindir içindeki oksijen miktarı ile ters orantılı olarak değişmektedir. Silindir içine alınan oksijen fazla olursa yanma sonrası ortaya çıkan CO miktarı az olur. Silindir içindeki oksijen yeterli miktarda olmazsa, yanma sonrası CO emisyonu açığa çıkar. Bu nedenle fakir karışımlarda yakıt oranla oksijen fazla olduğundan CO miktarının az olması beklenir. Zengin karışımda ise CO miktarı fazla olması beklenir. Oksijen fazla olması ile iyi bir yanma durumu söz konusu olduğunda CO<sub>2</sub> miktarının fazla olması beklenir (Heywood, 1988). Tüm veriler incelendiğinde E0B0D100, E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B40D45 yakıt türlerinde motor yükü artmasıyla CO salınımında azalma görülmüş olup yakıt türleri arasında çok düşük farklılıklar olduğu görülmüştür. Hemen hemen tüm yüklerde en düşük CO oranını E15B30D55 ve E15B40D45 test yakıtlarında görülmüştür (Tablo 5.6). Bunun nedeni karışımlarındaki biyodizel miktarının fazla olması ile açıklanabilir. E15B30D55 ve E15B40D45 yakıtları E0B0D100 yakıtına göre biyodizel miktarı ile orantılı olarak yüksek oksijen içerdiği bildirildiğinden silindir içerisinde daha fazla oksijen bulunmasını sağlamaktadır. Bu yüzden daha fazla yanma meydana gelerek CO oranının daha düşük çıkmasında doğrudan etkili değerlendirilmektedir.

**Tablo 5.6.** Tüm yüklerdeki test yakıtlarının CO emisyon değerleri

| <b>Dinamometre yüküne bağlı motordan açığa çıkan CO Emisyonu (%)</b> |                 |                 |                 |                  |                  |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| <b>Yük</b>                                                           | <b>E0B0D100</b> | <b>E5B10D85</b> | <b>E5B20D75</b> | <b>E15B30D55</b> | <b>E15B40D45</b> |
| 0 kg                                                                 | 0,03            | 0,03            | 0,03            | 0,02             | 0,03             |
| 2,5 kg                                                               | 0,03            | 0,03            | 0,03            | 0,02             | 0,02             |
| 5,0 kg                                                               | 0,02            | 0,02            | 0,02            | 0,02             | 0,02             |
| 7,5 kg                                                               | 0,02            | 0,02            | 0,02            | 0,01             | 0,01             |



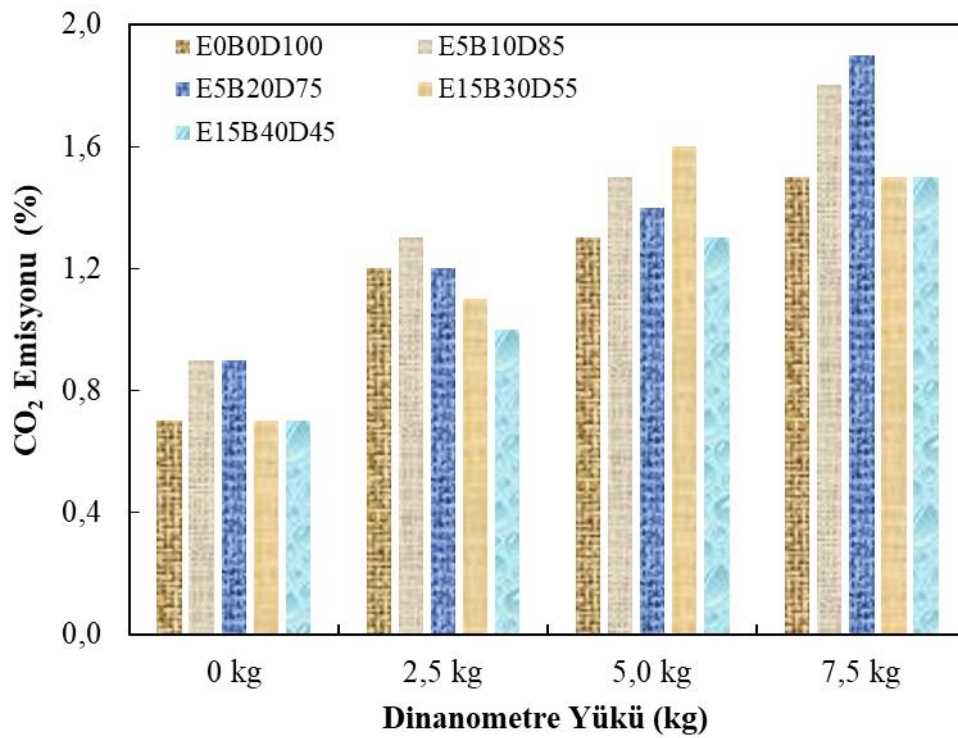
Şekil 5.21. Farklı yükler için CO emisyon değerlerinin değişimi

### 5.7. CO<sub>2</sub> Emisyon Parametresi

Atmosfer havasının yakıt ile yanması sonucu CO<sub>2</sub> emisyonu meydana gelir. CO<sub>2</sub> gazları Sera etkisi yapmasından dolayı düşürülmesi gerekmektedir. Silindir içerisinde iyi bir yanma olması durumunda CO emisyon miktarı azalır CO<sub>2</sub> emisyon miktarı artmaktadır. Dizel motorlarda hava yakıt karışım oranının kontrol edilmesiyle CO emisyonu düşürülüp CO<sub>2</sub> emisyonu artırılabilir. Şekil 5.22 incelendiğinde E0B0D100, E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B40D45 test yakıtlarının yük miktarı arttıkça artmaktadır. En yüksek CO<sub>2</sub> emisyon değeri 7,5 kg yükte %1,9 ile E5B20D75 test yakıtında ölçülmüş olup yakıt türleri arasında çok düşük farklılıklar olduğu ölçülmüştür (Tablo 5.7). Bununla beraber 0 kg yükte E0B0D100, E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B40D45 test yakıtlarında CO<sub>2</sub> emisyon değerleri düşük olduğu gözlenmektedir.

**Tablo 5.7.** Tüm yüklerdeki test yakıtlarının CO<sub>2</sub> emisyon değerleri

| <b>Dinamometre yüküne bağlı motordan açığa çıkan CO<sub>2</sub> emisyonu (%)</b> |          |          |          |           |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Yük                                                                              | E0B0D100 | E5B10D85 | E5B20D75 | E15B30D55 | E15B40D45 |
| 0 kg                                                                             | 0,7      | 0,9      | 0,9      | 0,7       | 0,7       |
| 2,5 kg                                                                           | 1,2      | 1,3      | 1,2      | 1,1       | 1         |
| 5,0 kg                                                                           | 1,3      | 1,5      | 1,4      | 1,6       | 1,3       |
| 7,5 kg                                                                           | 1,5      | 1,8      | 1,9      | 1,5       | 1,5       |

**Şekil 5.22.** Farklı yükler için CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinin değişimi

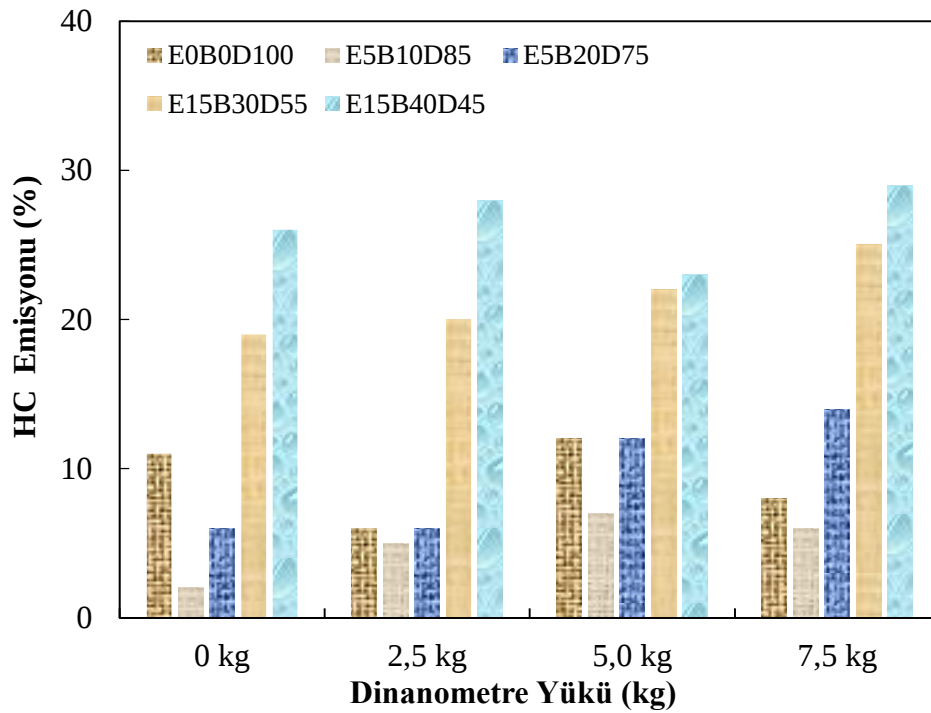
### 5.8. HC Emisyon Parametresi

Silindir içerisinde oksijenin az bulunması, alev sönme bölgelerinin meydana gelmesi ve düşük ortam sıcaklığı gibi durumlarda yakıtın tam olarak yanamaması sonucu hidrokarbon (HC) emisyonunda artışı söz konusu olmaktadır (Heywood, 1988). Şekil 5.23'te yüklere bağlı E0B0D100, E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B40D45 test yakıtlarından elde edilen HC emisyon oranları verilmiştir. Tüm yüklerde en düşük HC oranı E5B10D85 test yakıtında çıkmıştır. Tüm yüklerde en yüksek HC oranı E15B40D45 test yakıtından çıkmıştır. Literatür çalışmalarında yük arttıkça ortaya çıkan HC emisyon miktarının arttığı bildirilmiştir. Sabit motor hızında

E0B0D100, E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B40D45 test yakıtlarında yük miktarı arttıkça HC emisyonlarının arttığı tespit edilmiştir. Deney sonuçlarında 5 kg ve 7,5 kg yüklerinde HC emisyonlarındaki artışın muhtemel sebebi; sabit motor hızında sabit hava hareketlerinin olması ve yakıt miktarının artışı ile beraber zengin karışımli olması ile açıklanabilir. Ayrıca kısa zamanda yanmanın tamamlanması gerektiğinden ve yakıtın kısmi eksik yanmasından dolayı HC emisyon miktarının arttığı söylenebilir (Tablo 5.8).

**Tablo 5.8.** Tüm yüklerdeki test yakıtlarının HC emisyon değerleri

| Dinamometre yüküne bağlı motordan açığa çıkan HC emisyonu (ppm) |          |          |          |           |           |
|-----------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Yük                                                             | E0B0D100 | E5B10D85 | E5B20D75 | E15B30D55 | E15B40D45 |
| 0 kg                                                            | 11       | 2        | 6        | 19        | 26        |
| 2,5 kg                                                          | 6        | 5        | 6        | 20        | 28        |
| 5,0 kg                                                          | 12       | 7        | 12       | 22        | 23        |
| 7,5 kg                                                          | 8        | 6        | 14       | 25        | 29        |



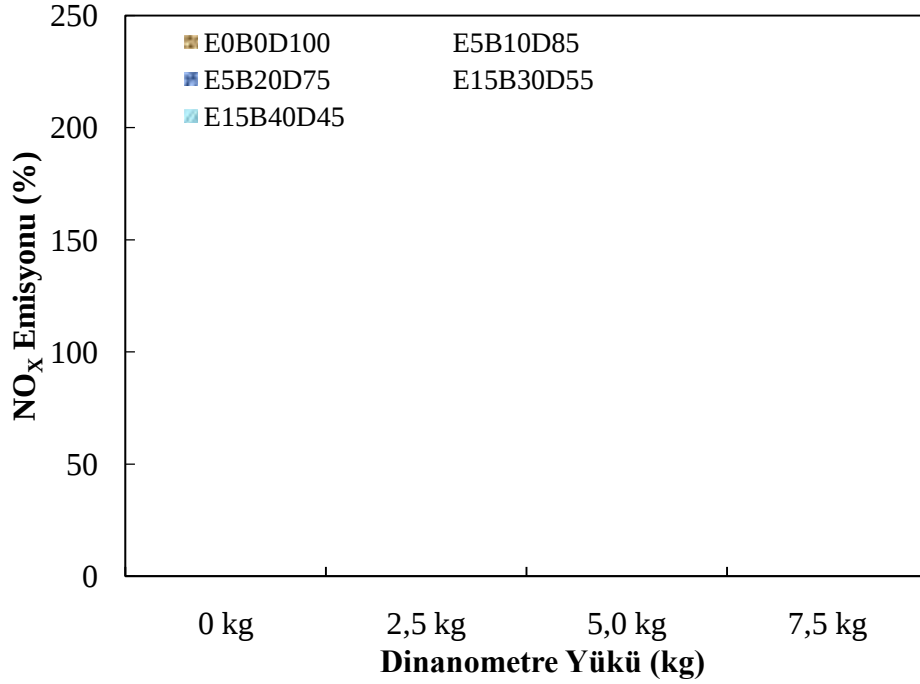
**Şekil 5.23.** Farklı yükler için HC emisyon değerlerinin değişimi

### 5.9. NO<sub>x</sub> Emisyon Parametresi

Azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonları dizel motordaki en zararlı emisyonlardan biridir. Dizel motorlardan NO<sub>x</sub> emisyon kirliliğinin meydana gelmesindeki önemli nedenlerden biri sıcaklıktır. Belli bir sıcaklık altında NO<sub>x</sub> ~~çok~~ oluşmaz. Silindir içerisindeki sıcaklık yaklaşık olarak 1600° üzerindeyken, yeterli miktarda O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> bulunması durumunda ve aynı zamanda reaksiyon süresinin uygun olduğu şartlarda NO<sub>x</sub> emisyonları oluşmaya başlar (Heywood, 1988). Silindir içerisindeki karışımın fakir olması durumunda yani düşük yüklerde NO<sub>x</sub> miktarında azalmalara neden olur. Bunun nedeni fakirleşmeyle silindir içerisindeki sıcaklığında düşmesidir. Fakir karışımında silindir içerisindeki yakıtın az olması ve fakir karışımındaki yakıtın tam olarak yanamaması sıcaklığı düşüren etkenlerdendir. E0B0D100, E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B40D45 test yakıtlarıyla farklı yüklerde 0 kg, 2,5 kg, 5 kg ve 7,5 kg ile yapılan deneylerde elde edilen NO<sub>x</sub> emisyon değişimleri Şekil 5.24'te verilmiştir. Şekle bakıldığında motor yüküne bağlı olarak NO<sub>x</sub> miktarının da arttığı görülmektedir. Bunun nedeni silindir içerisindeki sıcaklığın yükselmesidir. Tüm yakıtlarda en yüksek NO<sub>x</sub> emisyon değeri 7,5 kg yükte, en düşük emisyon değeri ise 0 kg yükte çıkmıştır. Tüm yüklerde en düşük emisyon değeri 31 ppm ile 0 kg yükte E5B10D85 test yakıtında ölçülmüştür. En yüksek emisyon değeri ise 204 ppm ile 7,5 kg yükte E5B20D75 test yakıtında ölçülmüştür. E0B0D100 yakıtı E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B40D45 yakıtlarına göre karşılaştırıldığında NO<sub>x</sub> emisyon değerleri hemen hemen bütün yük kademelerinde birbirlerine paralel çıktığı tespit edilmiştir (Tablo 5.9).

**Tablo 5.9.** Tüm yüklerdeki test yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyon değerleri

| <b>Dinamometre yüküne bağlı motordan açığa çıkan NO<sub>x</sub> emisyonu (ppm)</b> |          |          |          |           |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Yük                                                                                | E0B0D100 | E5B10D85 | E5B20D75 | E15B30D55 | E15B40D45 |
| 0 kg                                                                               | 38       | 31       | 40       | 35        | 33        |
| 2,5 kg                                                                             | 66       | 75       | 73       | 62        | 57        |
| 5,0 kg                                                                             | 112      | 133      | 131      | 150       | 110       |
| 7,5 kg                                                                             | 166      | 196      | 204      | 191       | 178       |



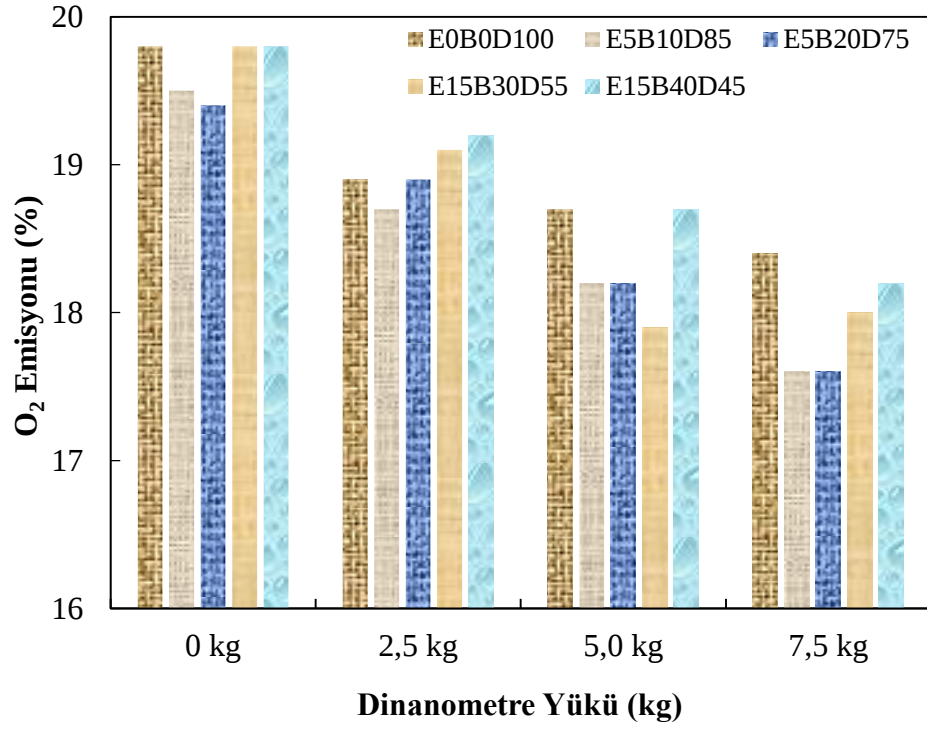
Şekil 5.24. Farklı yükler için NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinin değişimi

#### 5.10. O<sub>2</sub> Emisyon Parametresi

Tüm test yakıtlarıyla farklı yüklerde 0 kg, 2,5 kg, 5 kg ve 7,5 kg ile yapılan deneylerde elde edilen O<sub>2</sub> emisyon değişimleri Şekil 5.25'te verilmiştir. Şekle bakıldığında motor yükünün artmasıyla O<sub>2</sub> emisyon değerinde azaldığı görülmektedir. Ayrıca dinamometre yüküne bağlı motordan açığa çıkan O<sub>2</sub> emisyon değerleri Tablo 5.10'da verilmiştir. En yüksek O<sub>2</sub> emisyon değeri 0 kg'da %19,8 ile E15B30D55 ve E15B40D45 test yakıtlarından meydana gelmiştir. Dizel motorlarda hava yakıt oranı yüksek olduğundan silindir içerisine alınan hava miktarı dolayısı ile oksijen miktarı da fazla olur. En düşük O<sub>2</sub> emisyon değeri 7,5 kg'da %17,6 ile E5B10D85 ve E5B20D75 test yakıtlarından açığa çıkmıştır. Yakıtlar içerisinde O<sub>2</sub> emisyon değerleri arasında küçük farklar olup E5B10D85 ve E5B20D75 yakıt türleri bütün yüklerde en düşük O<sub>2</sub> emisyon değeri açığa çıkmıştır. Bu durum E5B10 D85 ve E5B20 D75 yakıt türlerinin yanma parametrelerinin diğer yakıtlardan daha iyi olduğunu göstermektedir. Yanma sonucunda O<sub>2</sub>'nin tam yanmaması durumunda O<sub>2</sub> emisyon değeri yükselmekte ve yanma parametrelerinin iyileştirilmesi durumunda ise yük artıkça E0B0D100 E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B40D45 O<sub>2</sub> emisyon değerinin düştüğü gözlemlenmektedir.

**Tablo 5.10.** Tüm yüklerdeki test yakıtlarının O<sub>2</sub> emisyon değerleri

| Dinamometre yüküne bağlı motordan açığa çıkan O <sub>2</sub> emisyonu (%) |          |          |          |           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Yük                                                                       | E0B0D100 | E5B10D85 | E5B20D75 | E15B30D55 | E15B40D45 |
| 0 kg                                                                      | 19,8     | 19,5     | 19,4     | 19,8      | 19,8      |
| 2,5 kg                                                                    | 18,9     | 18,7     | 18,9     | 19,1      | 19,2      |
| 5,0 kg                                                                    | 18,7     | 18,2     | 18,2     | 17,9      | 18,7      |
| 7,5 kg                                                                    | 18,4     | 17,6     | 17,6     | 18        | 18,2      |

**Şekil 5.25.** Farklı yükler için O<sub>2</sub> emisyon değerlerinin değişimi

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

Dünya da artan emisyon gazları, yenilenebilir olmayan petrolün giderek tükenmesi ve artan yakıt fiyatları insanların enerjiye olan ihtiyaçlarını farklı yönlerle çekmesine neden olmuştur. Bu sayede yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen biyodizellerin önemi giderek artmaktadır. Biyodizel kullanımı yenilenebilir kaynak olmasından ve atık ürünlerden de elde edilebilmesinden dolayı önemi artırmaktadır. Bu sayede bu sektörde istihdama olan katkısı artacağı düşünülmektedir. Ayrıca petrol rezervi olmayan ülkeler için de yakıt üretimi sağlaması önemli bir avantajdır.

Biyodizelin dizel motorlarda kullanılmasını engelleyen olumsuz etkilerinden; CFPP değerleri düşük olması, soğuk bölgelerde kullanılmasını sınırlamaktadır. Bu çalışmada, etil proksitol (1-ethoxy-2-propanol) katkısının biyodizel yakıt karışımlarının (E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B30D45) önemli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanında yakıtın yanma parametreleri ve emisyonları üzerindeki etkileri dizel motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan deneysel olarak araştırılmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Tüm yakıt türlerinde motor yükü artmasıyla CO emisyonunun azaldığı görülmekte olup yakıt türleri arasında çok düşük farklılıklar olduğu gözlenmiştir. En düşük CO oranı %0,01 ile 7,5 kg yükte E15B30D55 ve E15B40D45 test yakıtlarında ölçülmüştür. En yüksek CO oranı ise düşük yüklerde biyodizel oranı düşük olan tüm test yakıtlarında %0,03 oranında çıkmıştır. Hemen hemen tüm yüklerde en düşük CO emisyon miktarı E15B30D55 ve E15B40D45 test yakıtlarında görülmüştür. Bunun nedeni karışımlarındaki biyodizel miktarının fazla olması ile açıklanabilir. Biyodizelin oksijen içermesi nedeniyle, silindir içerisinde daha fazla oksijen bulunmasını sağlar. Bu yüzden CO oranının daha düşük çıkmasında doğrudan etkili olduğu düşünülmektedir.
- E0B0D100, E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B30D45 test yakıt karışımlarında yük arttıkça CO<sub>2</sub> emisyonu arttığı görülmektedir. En yüksek CO<sub>2</sub> emisyon değeri 7,5 kg yükte %1,9 ile E5B20D75 test yakıtında ölçülmüş olup yakıt türleri arasında çok düşük farklılıklar olduğu ölçülmüştür. 0 kg yükte tüm test yakıtlarında CO<sub>2</sub> emisyon değerleri oldukça düşük çıkmıştır.
- Tüm yüklerde en düşük HC oranı E5B10D85 test yakıtında elde edilmiştir. Deney sonuçlarında 5 kg ve 7,5 kg yüklerde HC artması daha fazla yakıt enjeksiyonuyla, zengin karışım meydana gelmesi ve kısa zamanda yanma tamamlanması

gerektiğinden yakıtın tam olarak yakılamamasından dolayı, HC emisyon oranı arttığı söylenebilir.

- E0B0D100, E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B30D45 yakıtlarıyla farklı yüklerde 0 kg, 2,5 kg, 5 kg ve 7,5 kg ile yapılan deneylerde motor yüküne bağlı olarak NO<sub>x</sub> miktarının da arttığı tespit edilmiştir. Bunun nedenlerinden biri silindir içerisindeki sıcaklığın yükselmesidir. Tüm yakıtlarda en yüksek NO<sub>x</sub> emisyon değeri 7,5 kg yükte, en düşük emisyon değeri ise 0 kg yükte çıkmıştır. Tüm yüklerde en düşük emisyon değeri 31 ppm ile 0 kg yükte E5B10D85 test yakıtında tespit edilmiştir. En yüksek emisyon değeri ise 204 ppm ile 7,5 kg yükte E5B20D75 test yakıtında tespit edilmiştir.
- E0B0D100, E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B30D45 test yakıtlarında düşük, orta ve yüksek yüklerde etil proksitol katkılı test yakıtlarının silindir içi gaz basıncını biraz yükselttiği görülmektedir. Biyodizel yakıt karışımlarına etil proksitol eklenmesi biyodizelin silindir içi gaz basıncındaki dezavantajını uygun oranlarda kapatabileceği, etil proksitolün silindir içi gaz basıncına düşük, orta ve yüksek yüklerde olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir.
- Motor yükünün artmasına bağlı olarak tüm test yakıtlarından elde edilen ortalama gaz sıcaklığının da arttığı tespit edilmiştir. Yapılan tüm yüklerdeki testlerde E15B30D55 ve E15B40D45 yakıt karışımlarının ortalama silindir içi sıcaklık değeri diğer yakıt karışımlarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- E0B0D100, E5B10D85, E5B20D75, E15B30D55 ve E15B30D45 test yakıtlarında yük artışıyla birlikte net ısı salınım oranının arttığı tespit edilmiştir. Katkı maddesi ve biyodizel oranının arttığı test yakıtlarında net ısı salınım değeri diğerlerine oranla fazla çıkmıştır.
- Genel olarak deneysel çalışmalar sonucunda; E15B30D55 ve E15B40D45 yakıt karışımları, E0B0D100 yakıtına göre orta ve yüksek yüklerde silindir gaz basıncı, net ısı salınımı, kümülatif ısı salınımı, basınç artış oranı ve ortalama gaz sıcaklığı değerleri bakımından daha olumlu etki ettiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda, E15B30D55 ve E15B40D45 test yakıtları, E0B0D100, E5B10D85, E5B20D75 test yakıtları ile karşılaştırıldığında; katkılı yakıtların CFPP değerinin iyileştirilmesinin yanında yanma ve emisyon parametreleri dizel yakıt eğrilerine göre paralellik göstermiştir. Belirlenen oranlarda etil proksitol (1-ethoxy-2-

propanol) katkısı, biyodizel karışımları ile dizel motorlarda kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

## **6.2. Öneriler**

Gelecek çalışmalarda daha yüksek oranlarda etil proksitol (1-ethoxy-2-propanol) katkı maddesi eklenmiş biyodizel yakıt karışımlarının CFPP değeri incelendikten sonra dizel motorun farklı çalışma koşullarında yanma, performans ve emisyon değerleri, dizel yakıtla karşılaştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Aktaş, A., 2009, Benzin-biyodizel ve benzin-biyodizel-etanol karışımlarının buji ateşlemeli motorda performans ve emisyonu etkisi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* , 43-53.
- Altınsoy, A. S., 2007, Biyodizel Üretimi, Motorlarda Kullanımı ve Türkiye’deki Kaynaklarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Ayaz, İ., 2014, Dizel Motorlarda Biyo-Etanol Biyo-Dizel ve Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Yüküne Bağlı Olarak Kullanılabileceğinin Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- İlkılıç, C., Aydın, S., Behçet, R., Aydın, H., 2011. Biodiesel from safflower oil and its application in a diesel engine. *Fuel Processing Technology*, 92: 356–362
- Aydın, S., 2020, Detailed evaluation of combustion, performance and emissions of ethyl proxitol and methyl proxitol-safflower biodiesel blends in a power generator diesel engine, *Fuel*, 270, 117492.
- Aydın, S., 2020, Comprehensive analysis of combustion, performance and emissions of power generator diesel engine fueled with different source of biodiesel blends, *Energy*, 205, 118074.
- Batmaz, B., 2022, Bir dizel motorda farklı enjeksiyon stratejileri altında dietil eter katkılı etanol/biyodizel yakıtlarının düşük sıcaklıklı yanmasının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Behçet, R., Aydın, S., ve Çakmak, A., 2012, Bitkisel ve Hayvansal Atık Yağlardan Üretilen Biyodizellerin Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Kullanılması, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* , 55-62.
- Çanakçı, M., 2007, Petrol dizel yakıtları ve biyodizel ile çalışan turboşarjlı bir DI sıkıştırma ateşlemeli motorun yanma özellikleri. *Biyokaynak teknolojisi*, 98 (6), 1167-1175.
- Devaraj, J., Robinson, Y., ve Ganapathi, P., 2015, Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of waste plastic pyrolysis oil blended with diethyl ether used as fuel for diesel engine. *Energy*, 85, 304-309.
- Dizge, N., Canlı, O., Karpuzcu, M., 2012, Biyodizel Kullanımının Çevre İçin Önemi, *Academia*, 1-5.
- Dumitrescu, C. E., Mueller, C. J., Kurtz, E., 2016, Investigation of a tripropylene-glycol monomethyl ether and diesel blend for soot-free combustion in an optical direct-injection diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 101, 639-646.

- Ejder, SB., 2007, Etanol-Biyodizel Üretimlerinin Motor Performansına Uygun Hale Getirilmesi, Doktora tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Gómez-Cuenca, F., Gómez-Marín, M., Folgueras-Díaz, M. B., 2013, The influence of propylene glycol ethers on base diesel properties and emissions from a diesel engine. *Energy conversion and management*, 75, 741-747.
- Gülen, J. ve Çeşmeli, Ç., 2012, Biyogaz Hakkında Genel Bilgi ve Yan Ürünlerinin Kullanım Alanları. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 5(1), 65-84.
- Gündüz, İ., 2017, Etanol Katkılı Atık Kızartma Yağlarının Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Gümüş, M. ve Kaşifoğlu, S., 2010, Biyodizel (kayısı çekirdeği yağı metil esteri) ve dizel yakıtla karışımlarını kullanan bir sıkıştırma ateşlemeli motorun performans ve emisyon değerlendirmesi. *Biyokütle ve biyoenerji*, 34 (1), 134-139.
- Gürkan, Y., 2019, Etanol Katkılı Kanola Biyodizelinin Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Heywood, J. B., 1988, Internal combustion engine fundamentals. McGraw-Hill Education.
- Hoçur, A., 2015, Yenilenebilir Alternatif Yakıtların Dizel Motorlarda Kullanımının Performans ve Emisyonlar Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gümüşhane.
- İlkiliç, C., & Yücesu, H. S. 2005, Investigation of the effect of sunflower oil methyl ester on the performance of a diesel engine. *Energy Sources*, 27(13), 1225-1234.
- Kahraman, N., Akansu, S. O., Albayrak, B. 2007, İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Hidrojen Kullanılması, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 48(569), 9-15.
- Kandasamy, S. K., Selvaraj, A. S., Rajagopal, T. K. R., 2019, Experimental investigations of ethanol blended biodiesel fuel on automotive diesel engine performance, emission and durability characteristics, *Renewable Energy*, 141, 411-419.
- Kanokkhanarat, P., Karin, P., Depaiwa, N., Wongpattharaworakul, V., Srisurangkul, C., ve Yamakita, M., 2022, Influence of ethanol biodiesel blends on a diesel engine's efficiency and exhaust emission characteristics, *Materials Today, Proceedings*.

- Kaya, C., 2006, Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır.
- Keck, JC., 1982, Kıvılcım ateşlemeli motorlarda türbülanslı alev yapısı ve hızı, *Yanma Sempozyumunda*, Uluslararası, Cilt 19, s. 1451-1466).
- Lapuerta, M., Armas, O., ve Rodriguez-Fernandez, J., 2008, Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Progress in energy and combustion science*, 34(2), 198-223.
- Özdemir, Z. Ö., ve Mutlubaş, H., 2016, Biyodizel üretim yöntemleri ve çevresel etkileri, *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 129-143.
- Sarıdemir, S., Mert, S. ve Mert, Ş., 2017, Ayçiçeği Metil Esteri ve Dizel Yakıt Karışımlarının Tek Silindirli Bir Dizel Motorun Egzoz Emisyonlarına Olan Etkisi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6 (2), 63-71.
- Sayin, C., 2010, Engine performance and exhaust gas emissions of methanol and ethanol–diesel blends. *Fuel*, 89(11), 3410-3415.
- Sayin, C., 2004, Oktan sayısı ve LPG karışımının buji ateşlemeli bir motorun performans ve emisyonuna etkisinin deneysel incelenmesi, Doktora tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Sathyamurthy, R., Balaji, D., Gorjian, S., Muthiya, S. J., Bharathwaaj, R., Vasanthaseelan, S., ve Essa, F. A., 2021, Performance, combustion and emission characteristics of a DI-CI diesel engine fueled with corn oil methyl ester biodiesel blends, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43, 100981.
- Srivastava, A., Prasad, R., 2000, Triglycerides-based diesel fuels. *Renewable and sustainable energy reviews*, 4(2), 111-133.
- Srivastava, V., 2000, A unified view of the orthogonalization methods. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 33(35), 6219.
- Şener, R., 2020, Development of a single cylinder high performance and low emission compression ignition engine with advanced experimental and numerical simulation methods, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Şener, R., 2021, Experimental and Numerical Analysis of a Waste Cooking Oil Biodiesel Blend used in a CI Engine, *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 33(2), 299-307.
- Şener, R., Yangaz, M. U., Gul, M. Z., 2020, Effects of injection strategy and combustion chamber modification on a single-cylinder diesel engine, *Fuel*, 266, 117122.

- Simsek, S., Uslu, S., 2020, Comparative evaluation of the influence of waste vegetable oil and waste animal oil-based biodiesel on diesel engine performance and emissions. *Fuel*, 280, 118613.
- Temizer, İ., ve Eskici, B., 2020, Tek Silindirli Dizel Bir Motorun Performans ve Emisyonları Üzerinde Biodizel Karışımli Yakıtların Etkisinin Deneysel ve Sayısal İncelenmesi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi* , 733-746.
- Usta, N., Can, Ö., ve Öztürk, E., 2005, Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biyodizel ve Etanolün Karsılaştırılması, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 325 - 334.
- Uyumaz, A., Fahrettin, B. O. Z., ve Baydır, Ş. A., 2018, Direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda atık zeytinyağı biyodizelinin yanma, performans ve emisyon karakteristikleri, *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 6(1), 55-66.
- Venkateshmohan, V., Kumar, M., 2015, *Predictive diesel combustion using DI-pulse in GT-power* (Yüksek Lisans Tezi).
- EPDK, <http://epdk.gov.tr/Detay/Icerik/5-11439/motorin-turlerine-biodizel-harmanlanmasi-hakkinda> [Erişim tarihi: 25.07.2022].
- [www.shell.com/chemicals](http://www.shell.com/chemicals) [Erişim tarihi: 24.08.2022]

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Mahmut BEYAZ  
**Uyruğu** : T.C.

### EĞİTİM

| Derece        | Adı                                             | Bitirme Yılı |
|---------------|-------------------------------------------------|--------------|
| Lise          | : Süleyman Demirel Lisesi                       | 2009         |
| Üniversite    | Fırat üniversitesi Otomotiv Mühendisliği        | 2014         |
|               | Dicle Üniversitesi Pedagojik Formasyon          | 2016         |
| Yüksek Lisans | : Batman Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği ABD | Devam Ediyor |

### İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl       | Kurum                   | Görevi          |
|-----------|-------------------------|-----------------|
| 2013-2014 | Diyarbakır Ford Servisi | Teknik Servis   |
| 2018-.... | MEB                     | Teknik Öğretmen |

### UZMANLIK ALANI

İçten Yanmalı Motorlar, Alternatif Yakıtlar, Yakıtlar ve Yanma, Egzoz Emisyonları

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLAR

Beyaz, M., Aydın, S., Şener, R., Yaşar, F. (2021) Etil Proksitol Katkılı Biyodizelin Sıkıştırma Ateşlemeli Bir Motorda Yanma ve Emisyonlara Etkisi, Uluslararası Mühendislik, Doğa ve Sosyal Bilimler Sempozyumu: ISENS-21.