



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İZOPROPANOL-BÜTANOL-ETANOL  
(İBE)'ÜN DİZEL VE BİYODİZEL YAKITLARI  
İLE KARIŞIMLARININ BİR DİZEL  
MOTORUNDA YANMA VE EMİSYON  
KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ**

**Kudbettin İLÇİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Kasım-2020**  
**BATMAN**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Kudbettin İLÇİN tarafından hazırlanan "izopropanol-bütanol-etanol (IBE)'ün dizel ve biyodizel yakıtları ile karışımlarının bir dizel motorunda yanma ve emisyon karakteristiklerine etkisi" adlı tez çalışması 30/11/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof. Dr. Yasin VAROL

#### Danışman

Prof. Dr. Şehmus ALTUN

#### Üye

Dr.Öğr.Üyesi Hasan DÜZ

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK  
FBE Müdürü

Bu tez çalışması ..... tarafından ..... nolu proje ile desteklenmiştir.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

## **DECLARATION PAGE**

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

İmza

Kudbettin İLÇİN

Tarih: 30/11/2020

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### İZOPROPANOL-BÜTANOL-ETANOL (IBE)'ÜN DİZEL VE BİYODİZEL YAKITLARI İLE KARIŞIMLARININ BİR DİZEL MOTORUNDA YANMA VE EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ

Kudbettin İLÇİN

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şehmus ALTUN

2020, 103 Sayfa

Jüri

Prof.Dr. Yasin VAROL

Prof.Dr. Şehmus ALTUN

Dr.Öğr.Üyesi Hasan DÜZ

Bu tez çalışmasında, izopropanol-butanol-etanol (IBE)'den oluşan karışım alkol yakıtının tek silindirli, dört zamanlı ve direk püskürtmeli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılmasının yanma ve egzoz emisyon karakteristiklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaç ile IBE'nin hacimsel olarak %10, %20 ve %30 oranlarında petrol kökenli ticari dizel yakıtı ile karıştırılması ile elde edilen IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları 2400 devir/dakika sabit motor hızında ve maksimum torkun %20, %40 ve %60'ına karşılık gelen farklı yük durumlarında, 300 bar püskürtme basıncı ve 19<sup>0</sup>KMA püskürtme avansında test edilerek yanma ve egzoz emisyonlarındaki değişim dizel yakıtı kullanımına göre karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlar ticari dizel yakıtına IBE eklenmesi ile düşük yük şartlarında yanmayı geciktirdiği ancak yükün artırılması ile bu gecikmenin azaldığını göstermiştir. Bununla beraber IBE'nin kullanılması silindir gaz basıncı değerlerinde düşük yük durumu hariç bir artışa neden olmuştur. Isı salınımı ise tüm yük kademelerinde artış göstermiş olsa da bu artış yakıttaki IBE miktarı ile orantılı olmamıştır. CO emisyonu yük ve IBE oranı ile önemli bir değişim göstermemiş ancak yanmamış HC emisyonları düşük yük koşullarında IBE'nin artması ile artarken %60 yükte azalmıştır. IBE'nin kullanılması ile duman yoğunluğu önemli bir derecede azalırken NO<sub>x</sub> emisyonlarındaki değişim karışım oranı ile orantılı olmamıştır. %20 yükte IBE10 kullanımı NO<sub>x</sub> emisyonlarında artışa sebep olurken; IBE20 ve IBE30 kullanımında ise NO<sub>x</sub> azalmıştır. Benzer bir durum %60 yük koşullarında da gözlenmiştir. %40 yükte ise IBE'nin artması ile NO<sub>x</sub> artmıştır. Bu durumda çalışmayı daha ileri getirilmesi adına IBE30 karışım yakıtı önce %60 yük koşullarında ancak farklı avans değerlerinde tekrar denenmiştir. Püskürtme avansının 19<sup>0</sup>KMA'dan sırası ile 15<sup>0</sup>KMA ve 17<sup>0</sup>KMA'ya getirilmesi basınç ve ısı salınımı değerlerinde aynı zamanda NO<sub>x</sub>'te azalmaya neden olmuş ancak 21<sup>0</sup>KMA ve 23<sup>0</sup>KMA'da yapılan testlerde bu değerlerin daha da arttığı görülmüştür. IBE30 yakıtı önceki koşullarda hacimsel olarak %80 ve %60 oranlarında biyodizel ile karıştırılarak testler tekrarlanmıştır. Biyodizel katılması basınç ve ısı salınımını artırmış bununla beraber yanmamış HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını düşürmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** IBE;Biodiesel;Yanma;Emisyon;Püskürtme avansı.

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **THE EFFECT OF THE BLENDS OF ISOPROPANOL-BUTANOL-ETHANOL (IBE) WITH DIESEL AND BIODIESEL FUELS ON COMBUSTION AND EMISSION CHARACTERISTICS IN A DIESEL ENGINE**

**Kudbettin İLÇİN**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
BATMAN UNIVERSITY**

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

**Advisor: Prof.Dr. Şehmus ALTUN**

**2020, 103 Pages**

**Jury**

**Prof.Dr. Yasin VAROL**

**Prof.Dr. Şehmus ALTUN**

**Dr.Öğr.Üyesi Hasan DÜZ**

In present thesis study, the effect of the blends of isopropanol-butanol-ethanol (IBE) with petroleum based diesel and biodiesel fuels on combustion and emission characteristics is investigated when they are used in a single-cylinder, four-stroke and direct injection diesel engine as fuel. With this purpose, IBE10, IBE20 and IBE30 blended fuels that obtained by the mixture of IBE at ratios of 10%, 20% and 30% with petroleum diesel fuel were tested under constant engine speed of 2400 rpm and different load cases which corresponds to 20%, 40% and 60% of max. Torque, 300 bar of injection pressure and 19<sup>0</sup>CA of injection timing, and the change in combustion and exhaust emissions was investigated in comparison with the use of diesel fuel. Experimental results have shown that the addition of IBE to diesel fuel at low load conditions delayed the combustion while an increase in load reduces this delaying. Besides, using IBE led to an increase in cylinder gas pressure values except for low load case. Despite heat release has shown an increase for all loads, this increase is not proportional with the amount of IBE in fuel. CO emissions have not shown an important change with the change in load and IBE rate in fuel, however despite unburned HCs have increased with the increase of IBE ratio at low load, decreased at 60%load. The change in NO<sub>x</sub> emissions is not proportional with the blending ratio while the use of IBE smoke opacity reduced considerably. While the use of IBE10 at 20% load caused the increase in NO<sub>x</sub>, it decreased when IBE20 and IBE30 were used. A similar case is observed at 60% load condition. For 40% load, NO<sub>x</sub> has increased with the increase of IBE in fuel. In this case, to improve the present study IBE30 was tested again at 60% load however at different injection timings including 15<sup>0</sup>CA, 17<sup>0</sup>CA, 21<sup>0</sup>CA and 23<sup>0</sup>CA. When IT was set as 15<sup>0</sup>CA and 17<sup>0</sup>CA, this caused to an decrease in the values of pressure and heat release as well as NO<sub>x</sub> however an opposite trend was observed with 21<sup>0</sup>CA and 23<sup>0</sup>CA that these values increased more than previous. The tests were repeated by the mixtures of IBE30 at the rates of 80% and 60% by volume with biodiesel under previous operating conditions. Adding biodiesel increased pressure and heat release, moreover unburned HC and NO<sub>x</sub> emissions reduced.

**Keywords:** IBE;Biodiesel;Combustion;Emissions;Injection Timing.

## ÖNSÖZ

Günümüzde enerjiye olan talebin giderek artması ve buna karşın en fazla kullanılan enerji kaynağı olan petrolün sınırlı bir rezerve sahip olması uzun zamandan beri araştırmacıları yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Bu bağlamda biyodizel ve biyoalkoller gibi biyoayakıtlar içten yanmalı motorlarda kullanılmaktadır. Bununla beraber teknolojideki gelişmeler ile birlikte bu tür yakıtların üretimi, özellikleri ve farklı motor teknolojilerinde kullanımları hala bir araştırma konusu olmaktadır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında standart alkol yakıtlara göre daha iyi yakıt özelliklerine sahip olan izopropanol-bütanol-etanol'den oluşan IBE yakıtının modern bir dizel motorunda kullanılması ve yanma ile emisyon karakteristiklerine etkisi araştırılmıştır.

Bu bağlamda çalışmanın planlanmasından sonuçlandırılmasına kadar tüm aşamalarda önemli katkıları olan ve ilgi ve desteğini eksik etmeyen, tez danışmanım ve hocam Sayın Prof. Şehmus ALTUN'a saygılarımı sunar ve teşekkürü bir borç bilirim. Motor deneyleri TÜBİTAK tarafından desteklenen 118M650 numaralı proje kapsamında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Motor Test Laboratuvarında kurulan deney setinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında desteğini gördüğüm Sayın Arş.Gör.Dr. Müjdat FIRAT'a ayrıca teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteklerini eksik etmeyen aileme en içten teşekkürlerimi sunar, bu çalışmanın bilim adına faydalı olmasını dilerim.

Kudbettin İLÇİN  
BATMAN-2020

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>SİMGELER</b> .....	<b>xii</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Alternatif Yakıt Olarak Alkoller.....	4
1.1.1. Metanol .....	6
1.1.2. Etanol .....	7
1.1.3. Bütanol.....	9
1.1.4. İzopropanol .....	12
1.1.5. Aseton-Bütanol-Etanol (ABE).....	13
1.1.6. İzopropanol-Bütanol-Etanol (IBE) .....	14
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>16</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>29</b>
3.1. Test Yakıtları ve Özellikleri .....	29
3.2. Motor Deney Seti.....	30
3.2.1. Deney motoru .....	32
3.2.2. Dinamometre ve yük hücresi (Load cell) .....	33
3.2.3. Yük kontrol ünitesi .....	35
3.2.4. Yakıt kontrol ünitesi .....	36
3.2.5. Egzoz gazı emisyon ölçüm cihazı.....	36
3.2.6. Duman koyuluğu (İs) ölçüm cihazı .....	38
3.2.7. Sıcaklıkların ölçülmesi .....	38
3.2.8. Ölçekli yakıt ölçüm tüpü ve kronometre .....	39

3.2.9. Anemometre.....	40
3.3. Yanma Analiz Yazılım Sistemi .....	40
3.4. Yöntem.....	43
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>45</b>
4.1.Motor Performans Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	45
4.2.Yanma Analizleri Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	48
4.2.1.Silindir içi basınç.....	48
4.2.2.Isı salınım oranı.....	53
4.2.3.Vuruntu yoğunluğu .....	57
4.3.Egzoz Emisyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	61
4.3.1. HC ve duman yoğunluğu emisyonlarının yük ve yakıt cinsine bağlı değişimi..	61
4.3.2. CO, CO <sub>2</sub> ve O <sub>2</sub> emisyonlarının yük ve yakıt cinsine bağlı değişimi .....	63
4.3.3. NO <sub>x</sub> ve duman yoğunluğu emisyonlarının yük ve yakıt cinsine bağlı değişimi	66
4.3.4.HC ve duman yoğunluğu emisyonlarının püskürtme avansına bağlı değişimi ...	68
4.3.5. NO <sub>x</sub> ve duman yoğunluğu emisyonlarının püskürtme avansına bağlı değişimi	70
4.3.6. CO, CO <sub>2</sub> ve O <sub>2</sub> emisyonlarının püskürtme avansına bağlı değişimi .....	72
4.3.7. IBE30 + Biyodizel karışımlarının HC ve duman yoğunluğu emisyonları .....	74
4.3.8. IBE30 + Biyodizel karışımlarının CO, CO <sub>2</sub> ve O <sub>2</sub> emisyonları .....	75
4.3.9. IBE30 + Biyodizel karışımlarının NO <sub>x</sub> emisyonları .....	77
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>79</b>
<b>5.1. Sonuçlar .....</b>	<b>79</b>
<b>5.2. Öneriler .....</b>	<b>84</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>86</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>92</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Biyokütleden elde edilebilen katı, sıvı ve gaz yakıtlar .....	2
Şekil 1.2. Bitkisel yağların dizel motorlarında kullanılma yöntemleri .....	3
Şekil 1.3. Metanol, Etanol ve n-Bütanol molekül yapısı .....	5
Şekil 1.4. Metanol üretim akış şeması .....	7
Şekil 1.5. Etanol üretim akış şeması .....	8
Şekil 1.6. Etanol üretim tesisinin genel şeması.....	9
Şekil 1.7. Bütanol izomerleri ve molekül yapısı.....	10
Şekil 1.8. Biyokütleden bütanol üretim akış şeması .....	11
Şekil 3.1. IBE karışım yakıtlar.....	30
Şekil 3.2. IBE30+Biyodizel karışım yakıtları.....	30
Şekil 3.3. Deney düzeneği .....	31
Şekil 3.4. Motor deney düzeneğinin şematik görünümü .....	31
Şekil 3.5. Deney motoru .....	32
Şekil 3.6. Common-Rail yakıt sistemi.....	32
Şekil 3.7. Elektrikli Dinamometre ve Yük Hücresi .....	33
Şekil 3.8. Yük kontrol ünitesi test cihazı.....	35
Şekil 3.9. Dinamometre yük göstergesi .....	35
Şekil 3.10. Yakıt kontrol ünitesi .....	36
Şekil 3.11. Egzoz gazı emisyon analiz cihazı .....	37
Şekil 3.12. Egzoz gazı duman koyuluğu ölçüm cihazı .....	38
Şekil 3.13. Dijital termometre.....	39
Şekil 3.14. Ölçekli Yakıt Ölçüm Tüpü .....	39
Şekil 3.15. Kronometre .....	39
Şekil 3.16. Dijital Anemometre .....	40
Şekil 3.17. Krank Enkoderi .....	41
Şekil 3.18. Basınç Sensörü .....	41
Şekil 3.19. Febris yanma analizi yazılımı.....	42
Şekil 3.20. Veri derleyici kart ve febris sensör arayüzü .....	42
Şekil 4.1. Yük ve yakıt cinsinin sıcaklıklara bağlı değişimi.....	45
Şekil 4.2. Püskürtme avansının sıcaklıklara bağlı değişimi.....	46
Şekil 4.3. IBE30 + Biyodizel karışımlarının sıcaklıklara bağlı değişimi.....	47
Şekil 4.4. %20 Yükte IBE yakıtların silindir gaz basıncının krank açısına bağlı değişimi .....	48
Şekil 4.5. %40 Yükte IBE yakıtların silindir gaz basıncının krank açısına bağlı değişimi .....	49
Şekil 4.6. %60 Yükte IBE yakıtların silindir gaz basıncının krank açısına bağlı değişimi .....	50

<b>Şekil 4.7.</b> %60 yükte IBE30-dizel yakıt karışımının farklı avans açılarına göre silindir gaz basıncının krank açısına bağlı değişimi .....	51
<b>Şekil 4.8.</b> %60 yükte IBE30+Biyodizel karışımlarının silindir gaz basıncının krank açısına bağlı değişimi .....	52
<b>Şekil 4.9.</b> %20 yükte IBE yakıtların ısı salınımının krank açısına bağlı değişimi .....	54
<b>Şekil 4.10.</b> %40 yükte IBE yakıtların ısı salınımının krank açısına bağlı değişimi .....	54
<b>Şekil 4.11.</b> %60 yükte IBE yakıtların ısı salınımının krank açısına bağlı değişimi .....	55
<b>Şekil 4.12.</b> %60 yükte IBE30 ile dizel yakıt karışımlarının farklı avans açılarına göre ısı salınımının krank açısına bağlı değişimi .....	56
<b>Şekil 4.13.</b> %60 yükte IBE30+Biyodizel karışımlarının ısı salınımının krank açısına bağlı değişimi .....	56
<b>Şekil 4.14.</b> %20 yükte IBE yakıtların vuruşu yoğunluğunun krank açısına bağlı değişimi .....	57
<b>Şekil 4.15.</b> %40 yükte IBE yakıtların vuruşu yoğunluğunun krank açısına bağlı değişimi .....	58
<b>Şekil 4.16.</b> %60 yükte IBE yakıtların vuruşu yoğunluğunun krank açısına bağlı değişimi .....	59
<b>Şekil 4.17.</b> %60 yükte IBE30-Dizel yakıt karışımının farklı avans açılarına göre vuruşu yoğunluğunun krank açısına bağlı değişimi .....	59
<b>Şekil 4.18.</b> %60 yükte IBE30+Biyodizel karışımlarının vuruşu yoğunluğunun krank açısına bağlı değişimi .....	60
<b>Şekil 4.19.</b> HC ve duman yoğunluğu emisyonlarının yük ve yakıt cinsine bağlı değişimi .....	61
<b>Şekil 4.20.</b> CO, CO <sub>2</sub> ve O <sub>2</sub> emisyonlarının yük ve yakıt cinsine bağlı değişimi .....	63
<b>Şekil 4.21.</b> NO <sub>x</sub> ve duman yoğunluğu emisyonlarının yük ve yakıt cinsine bağlı değişimi .....	66
<b>Şekil 4.22.</b> HC ve duman yoğunluğu emisyonlarının püskürtme avansına bağlı değişimi .....	68
<b>Şekil 4.23.</b> NO <sub>x</sub> ve duman yoğunluğu emisyonlarının püskürtme avansına bağlı değişimi .....	70
<b>Şekil 4.24.</b> CO, CO <sub>2</sub> ve O <sub>2</sub> emisyonlarının püskürtme avansına bağlı değişimi .....	72
<b>Şekil 4.25.</b> IBE30 + Biyodizel karışımlarının HC ve duman yoğunluğu emisyonları .....	74
<b>Şekil 4.26.</b> IBE30 + Biyodizel karışımlarının CO, CO <sub>2</sub> ve O <sub>2</sub> emisyonları .....	75
<b>Şekil 4.27.</b> IBE30+Biyodizel karışımlarının NO <sub>x</sub> emisyonları .....	77

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo 1.1.</b> Yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	6
<b>Tablo 1.2.</b> Bütanol izomerlerinin özellikleri .....	10
<b>Tablo 3.1.</b> Test yakıtının özellikleri.....	29
<b>Tablo 3.2.</b> Deney motorunun teknik özellikleri .....	33
<b>Tablo 3.3.</b> Elektrikli Dinamometre ve Yük Hücresinin teknik özellikleri.....	34
<b>Tablo 3.4.</b> Ayarlı Güç Kaynağı Test Cihazının teknik özellikleri .....	36
<b>Tablo 3.5.</b> Egzoz emisyon gaz analiz cihazın teknik özellikleri.....	37
<b>Tablo 3.6.</b> Duman koyuluğu (opasite) ölçüm cihazının teknik özellikleri.....	38
<b>Tablo 3.7.</b> Dijital Anemometrenin teknik özellikleri .....	40

## SİMGELER

<b>CH<sub>3</sub>OH</b>	:Metanol
<b>C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH</b>	:Etanol
<b>C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>OH</b>	:Bütanol
<b>CO</b>	:Karbonmonoksit
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>HC</b>	: Hidrokarbon
<b>KOH</b>	: Potasyum hidroksit
<b>kW</b>	: KiloWatt
<b>kVA</b>	: KiloVolt Amper
<b>n</b>	: Motor Devri (d/dk)
<b>N<sub>2</sub></b>	: Azot gazı
<b>NaOH</b>	: Sodyum hidroksit
<b>NO<sub>x</sub></b>	: Azot Oksit
<b>O<sub>2</sub></b>	: Oksijen
<b>ppm</b>	: Milyonda Bir Parçacık Sayısı (Parts Per Million)
<b>rpm</b>	: Dakikadaki Devir Sayısı (Revolutions Per Minute)
<b>SO<sub>2</sub></b>	: Kükürtdioksit

## KISALTMALAR

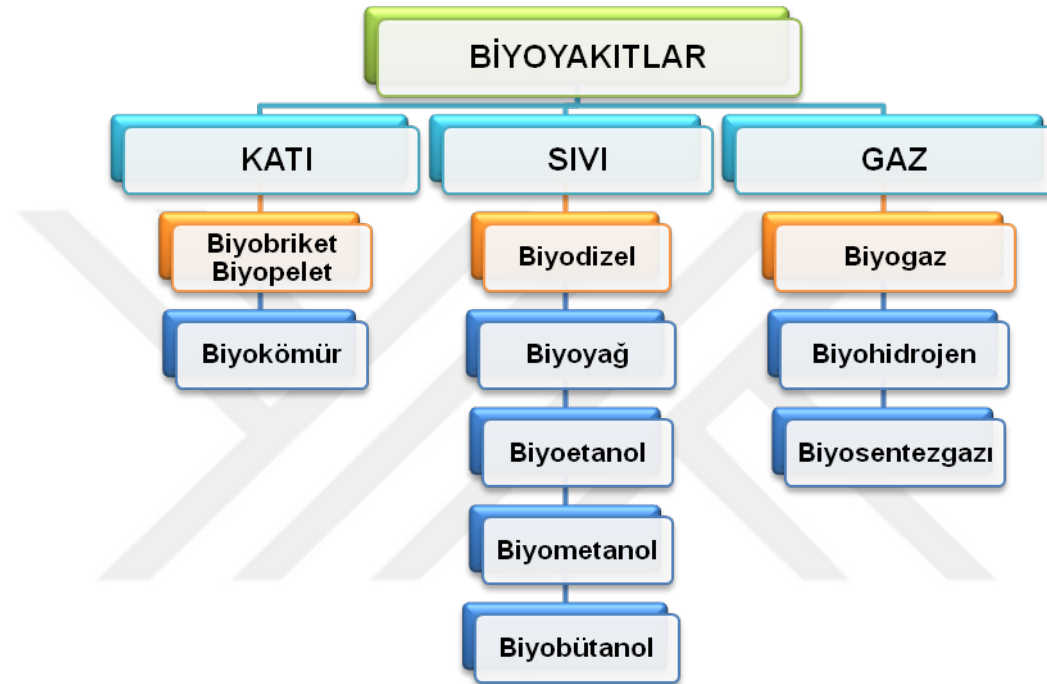
<b>ASTM</b>	: Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
<b>ABE</b>	: Aseton-Bütanol-Etanol
<b>ABE10</b>	: % 10 Aseton-Bütanol-Etanol+ %90 Dizel Yakıtı Karışımı
<b>ABE20</b>	: % 20 Aseton-Bütanol-Etanol+ %80 Dizel Yakıtı Karışımı
<b>ABE30</b>	: % 30 Aseton-Bütanol-Etanol%70 Benzin Karışımı
<b>B20</b>	: % 20 Biyodizel + % 80 Dizel Yakıtı Karışımı
<b>B40</b>	: % 40 Biyodizel + % 80 Dizel Yakıtı Karışımı
<b>BDE</b>	: Biyodizel-Dizel-Etanol Karışımı
<b>CA</b>	: Krank Mili Açısı (°)
<b>E10</b>	: % 10 Etanol + %90 Dizel Yakıtı Karışımı
<b>EN</b>	: Avrupa Standartları
<b>FÖYT</b>	: Fren Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)
<b>IBE</b>	: İzopropanol-Bütanol-Etanol Karışımı
<b>IBE0</b>	: % 100 Dizel Yakıtı
<b>IBE10</b>	: %10 İzopropanol-Bütanol-Etanol + % 90 Dizel Yakıtı Karışımı
<b>IBE20</b>	: %20 İzopropanol-Bütanol-Etanol + % 80 Dizel Yakıtı Karışımı
<b>IBE30</b>	: %30 İzopropanol-Bütanol-Etanol + %70 Dizel Yakıtı Karışımı
<b>(IBE30)80&amp;BD20</b>	: % 80 IBE30 + % 20 Biyodizel Karışımı
<b>(IBE30)60&amp;BD40</b>	: % 60 IBE30 + % 40 Biyodizel Karışımı
<b>KMA</b>	: Krank Mili Açısı (°)
<b>PAH</b>	: Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar
<b>PM</b>	: Partikül Madde
<b>TSE</b>	: Türk Standartları Enstitüsü

## 1. GİRİŞ

Taşımacılık, ulaşım, tarım, inşaat ve elektrik üretimi gibi birçok alanda içten yanmalı sıkıştırma ile ateşlemeli motorlar (dizel motorlar) yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Dizel motorların sahip olduğu yüksek yakıt dönüşüm verimi ile dayanıklılıkları gibi avantajlarının yanı sıra egzozlarından salınan yüksek miktardaki azotoksit ( $\text{NO}_x$ ) ve partikül madde (PM) emisyonları hala iyileştirilmesi gereken problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Dizel motorların bu emisyonlarının çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlardan dolayı 2020 yılı ve sonrasında ki yıllardan itibaren başta Avrupa ülkeleri olmak üzere, diğer ülkelerde de dizel taşıtların satışının ve büyükşehirliere girişinin yasaklanması gündeme gelmiştir (Dey ve ark., 2018). Öte yandan enerji ihtiyacının artmasına karşılık petrol rezervlerinin azalıyor olması ile çevresel sorunlardan dolayı günümüzde yenilebilir enerji kaynakları önemli araştırma konusu olmuştur. Ülkemizde nüfus ve sanayileşme hızında yaşanan artışlar enerji tüketiminde artışa neden olmakta ve yerli kaynakların yeterince kullanılamaması nedeniyle dış enerji kaynaklarına olan bağımlılık günden güne artmaktadır. Dünya genelinde petrole olan bağımlılığın yıllar geçtikçe artması tüm dünya ülkeleri için olduğu gibi AB ülkeleri ve Türkiye için de önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle petrole alternatif yakıt arayışları içerisinde biyoyakıtlar yenilenebilir ve ülke içerisinde üretilebilir olmaları ile ön plana çıkmaktadırlar (Dağdelen, 2015). Son yıllarda içten yanmalı motorlarda petrol kökenli yakıtlara alternatif olarak “biyoyakıt”ların kullanımı yaygınlaşmıştır. Örneğin, AB 2020 yılından itibaren taşımacılıktaki yenilenebilir enerji kaynaklarının (önemli bir kısmının biyoyakıtlardan oluşması beklenmektedir) payını %10'a çıkarmayı hedeflemektedir (AB direktif, 2009). Dizel motorlar için dikkat çeken en önemli biyoyakıtlar biyodizel ve alkol yakıtlardır (Prbakaran ve Viswanathan, 2018). Alkoller saf veya motor yakıtlarına karıştırılarak içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılmıştır. Alkol yakıtların motorlar üzerinde bir değişikliğe gidilmeden kullanılabilmesi alternatif yakıt olma potansiyellerini artırmaktadır. Bazı ülkelerdeki petrol rezervlerinin yetersiz olması, alkolün temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi alkol yakıtların kullanımını önemli ölçüde artırmaktadır.

İçten yanmalı motorlarda kullanılan alternatif yakıtların çoğunluğu biyokütle kaynaklarından sağlanmaktadır. Endüstriyel atıklar, orman artıkları, tarımsal ürün

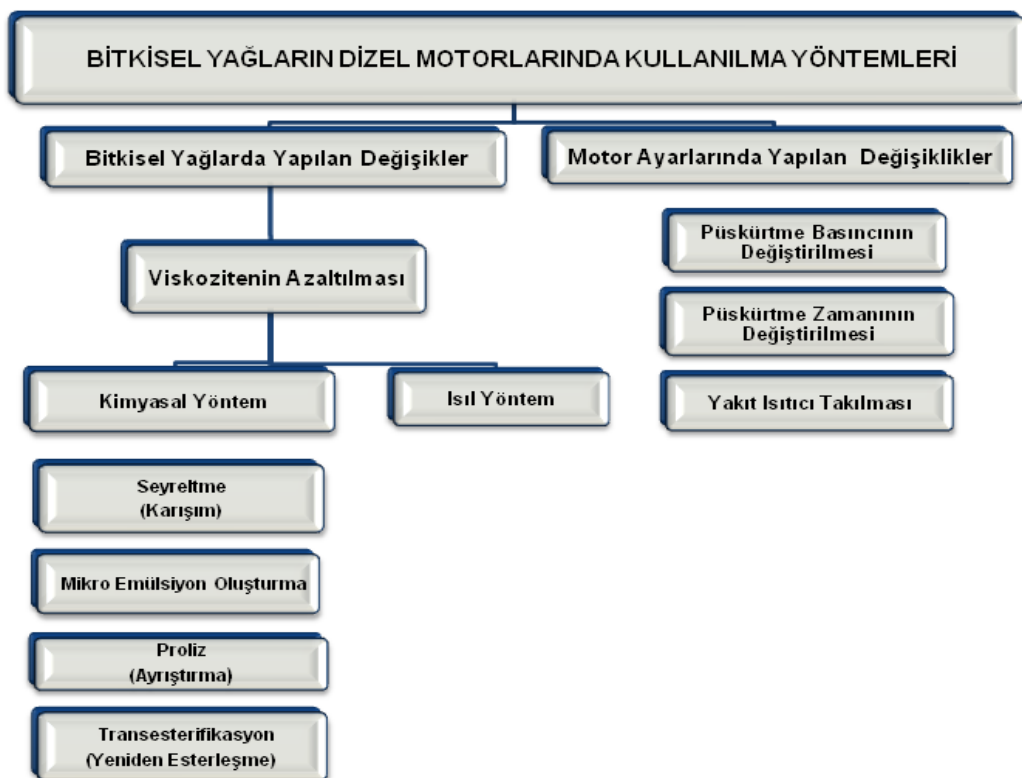
artıkları, çeşitli bitkiler, hayvan gübreleri ve katı atıklar biyokütle kaynakları olarak sıralanabilir. Ekonomisi tarıma dayalı ülkelerde biyokütle enerji kaynakları daha önem kazanmaktadır. Biyokütlenin enerji yakıtı olarak, tahılların ve şeker kamışının fermantasyonuyla alkol üretimi; hayvan dışkılarından metan ve biyogaz üretimi; termokimyasal dönüşüm yöntemiyle tarım ve odun artıklarından metanol, amonyak ve bitkisel yağların üretimi en çok tercih edilen yöntemlerdir (Gedik, 2015). **Şekil 1.1**'de biyokütleden elde edilen katı, sıvı ve gaz biyoyakıtlar gösterilmiştir.



**Şekil 1.1.** Biyokütleden elde edilebilen katı, sıvı ve gaz yakıtlar

Biyodizel; ayçiçeği, kanola, soya, aspir, pamuk, mısır, keten gibi yağlı tohum bitkilerinden ham veya rafine olarak üretilen bitkisel veya hayvansal yağların bir katalizör (asidik, bazik, enzimatik) eşliğinde bir alkol ile (metanol veya etanol) tepkimesi sonucunda oluşan ve yakıt olarak kullanılan temiz, yenilenebilir bir yakıt türüdür. Biyodizel orta uzunlukta  $C_{16}-C_{18}$  yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etilester tipi bir yakıttır. Dizel motorlarında saf veya motorine katılarak kullanılabilir (Gedik, 2015). Biyodizel, fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından petrol kökenli dizel yakıtıyla benzer özellikler göstermektedir. Biyodizel, dizel motorlarında saf olarak kullanıldığı gibi dizel yakıtıyla da karıştırılarak kullanılabilir. Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları motor üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan veya bazı değişiklikler yapılarak kullanılabilir. Saf olarak biyodizel kullanıldığında B100 olarak isimlendirilirken, %30 biyodizel ve %70 dizel

yakıtı içeren bir karışım B30 olarak isimlendirilir (Alptekin ve Çanakçı, 2006). Hayvansal yağlar ve evsel kızartma yağları da biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir. Biyodizel üretiminde atık yağların kullanılması hem yağların geri kazanılması hem de daha düşük emisyonlu dizel yakıt üretilmiş olması bakımından çevresel sorunlara önemli katkıda bulunmaktadır (Işıklı ve ark., 2011). Bitkisel ve hayvansal yağların dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanımı için seyreltme, mikro emülsiyon, proliz ve transesterifikasyon olmak üzere dört farklı yöntem kullanılmaktadır. Yüksek viskoziteli yağların uygun bir seyreltici kullanılarak viskozitelerini düşürme yöntemine seyreltme denir. Çoğunlukla seyreltme işlemi için dizel yakıtı kullanılır. Mikro emülsiyon oluşturma, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya getirilmesidir. Proliz veya kraking kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması işlemidir. Bu yöntemde yağ kapalı bir kaptaki veya standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutularak bağları kırılmaktadır. Bitkisel ve hayvansal yağların transesterifikasyonu en çok kullanılan yöntemdir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, kısa zincirli bir alkolle (etanol veya metanol), katalizör (NaOH veya KOH) varlığında yağ asidi esterleri ve gliserin oluşturmak üzere reaksiyona girer (Altun, 2009). **Şekil 1.2'**de Bitkisel yağların dizel motorlarında kullanılma yöntemleri gösterilmiştir (Ulusoy, 1999).



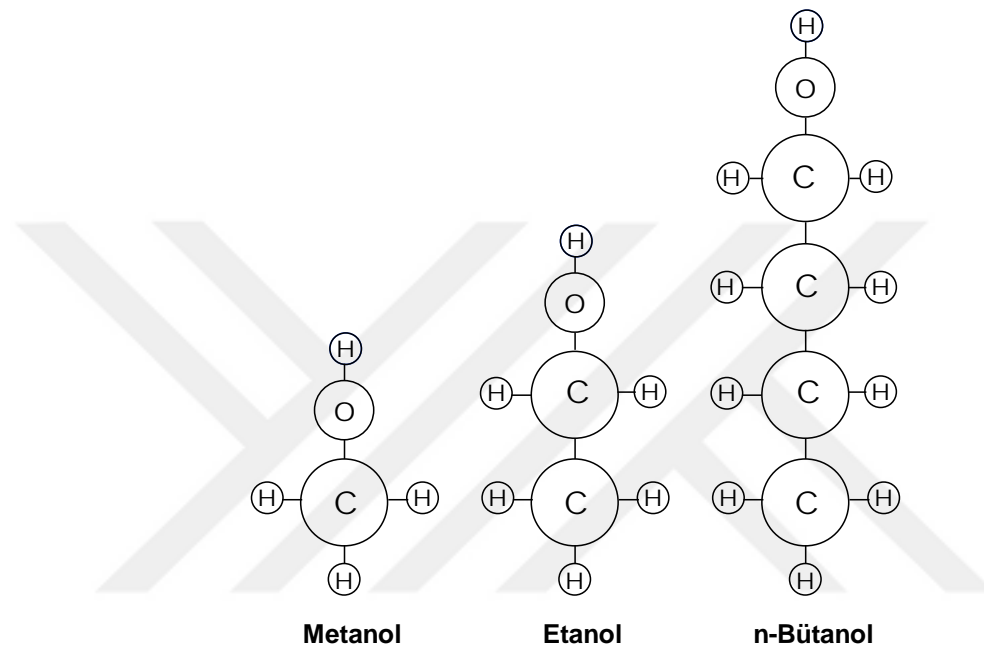
**Şekil 1.2.** Bitkisel yağların dizel motorlarında kullanılma yöntemleri



## 1.1. Alternatif Yakıt Olarak Alkoller

Alkol yakıtların yanma sonu ısılarının düşük oluşu ve vuruntu dayanımlarının diğer fosil yakıtlardan yüksek olması içten yanmalı motorlarda kullanımı tercih edilmektedir. Isıl değerleri düşük olmasının yanında hava ile karışımlarının ısıl değeri hidrokarbonlarla eşdeğerdir. Silindir içerisine giren dolgu sıcaklığının düşük olması motorların soğuk havalarda ilk çalışmasını zorlaştırmakta ve yüksek oranda su tutması, aşındırıcılık özelliğinin olması, motor yakıtı ile karışım oluşturma zorluğu, buhar tıkaçına yol açması gibi sebeplerden dolayı yakıt olarak kullanılmalarında bir dezavantaj olarak görülmektedir (Hansen ve ark, 2001). Alkol yakıtların ısıl değerleri, setan sayısı, viskoziteleri ve yoğunluklarının dizel yakıtından düşük olması ve yüksek gizli buharlaşma ısıları, dizel yakıt ile karışabilme ve kararlılık sorunları ve dizel yakıtına alkol ilave edilmesiyle dizel yakıtının setan sayısının düşmesine, bu da tutuşma gecikmesini etkilediğinden dolayı alkol yakıtların dizel motorlarında yakıt olarak kullanımını sınırlandırmaktadır (Li ve ark., 2019). Alkol yakıtlar ile dizel yakıtı karışımlarında yoğunluk ve viskoziteler düşmekte motor performansını ve emisyonları da etkilediğinden dolayı dizel motorlarında kullanımını sınırlıyan en büyük etkenlerden görülmektedir. Alkollerin dizel yakıtına göre yüksek polariteye sahip olmaları, motorinle tam karışmasını engellediğinden dolayı, yüksek oranlarda motorin alkol karışımlarında faz ayrışmasına neden olmakta ve faz ayrışması istenmeyen bir durum olarak belirtilmiştir (Özer, 2014). Alkollerin dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması egzoz emisyonlarının önemli oranda azalmasına sebep olmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda, dizel yakıtına alkol ilave edilmesiyle, CO, HC, NO<sub>x</sub>, is emisyonlarının azalmasına ve CO<sub>2</sub> emisyonunun artmasına neden olmaktadır. Alkollerin içerisinde bulunan yüksek oranda bulunan oksijen yanma sırasında silindir içerisinde bazı bölgelerde yanmayı iyileştirdiğinden dolayı, HC ve CO emisyonlarında azalma görülmektedir (Yeşilyurt, 2020). Alkol yakıtların setan sayılarının, ısıl değerlerinin, yoğunluklarının ve viskozitelerinin dizel yakıtından daha düşük olması, dizel motorlarına alkol yakıtların ilave edilmesiyle yanmayı kötüleştirmekte ve bu durum yanma sonu sıcaklığını azaltmaktadır. Alkollerin yüksek gizli buharlaşma ısılarından dolayı yanma odası sıcaklığı azalmakta ve böylece NO<sub>x</sub> emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır (Çelik ve ark.,2017).

Alkoller, karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan bir bileşiktir. Bu üç maddenin değişik biçimlerde birleşmesiyle; şeker, nişasta gibi bitkisel ürünlerin, bitkisel artıkların fermantasyonuyla ve kömürden yapay olarak değişik yapı ve özellikte alkoller elde edilmektedir. İçten yanmalı motorlarda en çok etanol, metanol ve bütanol alkol yakıtları kullanılmaktadır (Karabektaş ve Hoşsöz,2009). **Şekil 1.3.**'te metanol, etanol ve n-bütanolün molekül yapısı görülmektedir (Jin ve ark.,2011).



**Şekil 1.3.** Metanol, Etanol ve n-Bütanol molekül yapısı

Alkollerin farklı oranlarda dizel yakıtına ilave edilerek yapılan deneysel çalışmalarda en çok metanol ve etanol kullanılmaktadır. Metanol kömür ve petrol gibi kaynaklardan elde edilirken, etanol ise yenilenebilir biyokütlenin fermantasyonu yoluyla elde edilmektedir. Bu nedenden dolayı etanol metanole göre kullanım alanı daha geniş, daha temiz ve yenilenebilir bir yakıt olarak tercih edilmektedir (Kumar ve ark., 2013). Dizel motorlarında, etanolün dizel yakıtı ile karışımlarında 10 °C'nin altındaki sıcaklıklarda faz ayrışması olduğundan dolayı, faz ayrışmasını önlemek için etanol ve dizel yakıtı ile çözünebilir ortak çözücülerin kullanılması homojen bir karışım sağlamaktadır (Altun ve ark., 2011). Dizel motorlarında etanol ve metanol alkol yakıtlarının oluşturduğu olumsuz özellikleri giderebilen ve bu alkollere göre daha avantajlı alkol yakıtı olarak biyobütanol tercih edilmektedir (Avcı ve ark., 2011). Bütanolün izomerlerinden biri olan n-bütanol etanol yakıtına göre, korozyon oluşturma

riskinin çok düşük, düşük polariteye sahip olması, ısıl değerinin, setan sayısının yüksek olması, faz ayrışmasını önleyici ortak çözücü özelliği sebebiyle dizel yakıtı ve bitkisel yağlarla çok iyi homojen bir karışım oluşturması gibi avantaj özelliklerinden dolayı dizel yakıtı ile karışımlarında, etanol yakıtına tercih edilmektedir. Dizel motorlarında yakıt olarak kullanılan biyoalkoller ile ilgili yapılan çalışmalarda alternatif yakıt olarak n-bütanol dizel motorları için önemli bir yere sahiptir (Kumar ve ark., 2013). Yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri **Tablo 1.1**'de verilmiştir (Lee ve ark., 2019).

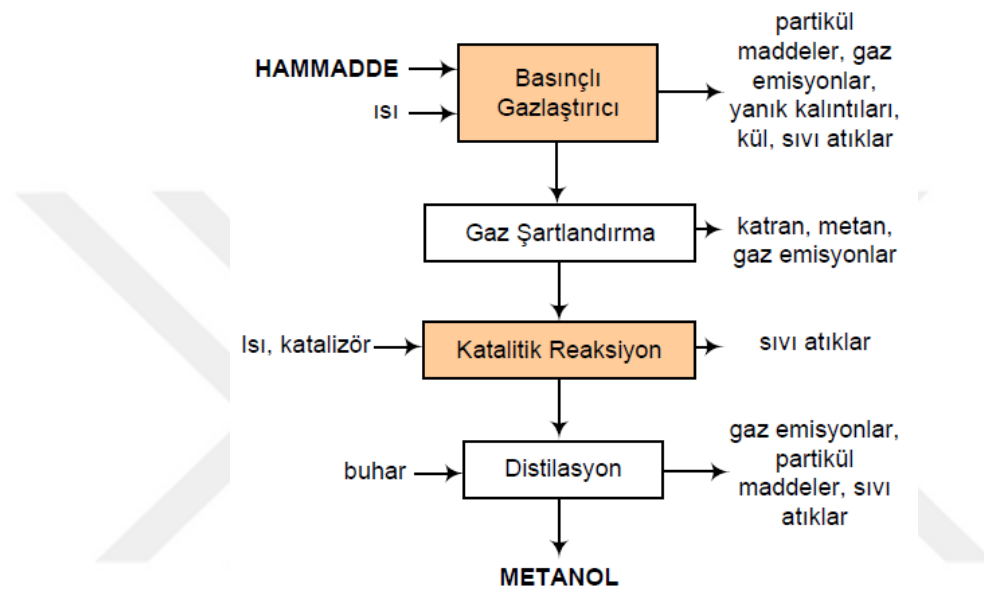
**Tablo 1.1.**Yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	Yakıtlar						Yakıt karışımları	
	Dizel	Etanol	Metanol	Bütanol	Aseton	İzopropanol	ABE	IBE
Kimyasal formülü	C <sub>10</sub> -C <sub>22</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	CH <sub>3</sub> OH	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	-	-
Setan sayısı	52.65	8	3	15.92	5-12	12	13.052	13.952
Oktan sayısı	-	100	111	87	110	112	95.2	95.8
Oksijen içeriği (%)	-	34.8	50	21.6	27.6	26.6	24.7	24.4
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	820-860	795	796	813	791	786	804.6	803.1
Alt ısıl değeri (MJ/kg)	42.7	26.8	19.9	33.1	29.6	30.4	31.4	31.7
Kaynama noktası (°C)	282-338	78	64.5	118	56	84	-	-
Buharlaşma ısısı(Kj/kg)	260	904	1109	582	518	758	595	667
Stokiyometrik Oranı	14.3	9.0	6.49	11.2	9.5	10.4	10.5	10.7
Otomatik ateşleme sıcaklığı°C	250	420	470	343	465	399	-	-

### 1.1.1. Metanol

Metanol; odun, kömür gibi fosil yakıtların yüksek ısı ortamında su buharı ile ısı işlemleri yoluyla, doğalgaza birtakım distilasyon işlemleri uygulanarak, CO ve H<sub>2</sub>'nin katalitik ortamda sentezleri sonucunda elde edilmektedir. Renksiz, saydam, hafif kokulu bir sıvı olan metanolün kimyasal formülü CH<sub>3</sub>OH'dır. İçten yanmalı motorlarda sadece saf metanol kullanıldığında motor yakıtına göre yakıt tüketimi artmaktadır. Metanolün petrol ürünü yakıtlara göre ısıl değeri ve kendi kendine tutuşma eğilimi düşük olmasına rağmen, buharlaşma ısısı yüksektir. Buharlaşma ısısının yüksek olması, motorlarda soğukta ilk çalışmayı zorlaştırmasına rağmen, volumetrik verimi artırmaktadır.

Metanolun nem tutma özelliğinin yüksek olmasından dolayı, yakıt donanımlarını korozyondan korumak amacıyla koruyucu maddelerle kaplanması gerekmektedir. Bundan dolayı yakıt tankları daha büyük ve ağır olacağından taşıt ağırlığı da artmaktadır. Yüksek nem tutması, metanol-motor yakıtı karışımlarında faz ayrışmasına neden olacağından, faz ayrışmasını önlemek amacıyla çözücü katkı maddeleri kullanılması gerekmektedir (Kumar ve ark., 2013). **Şekil 1.4.**'te metanol üretim akış şeması görülmektedir (Beşergil, 2009).



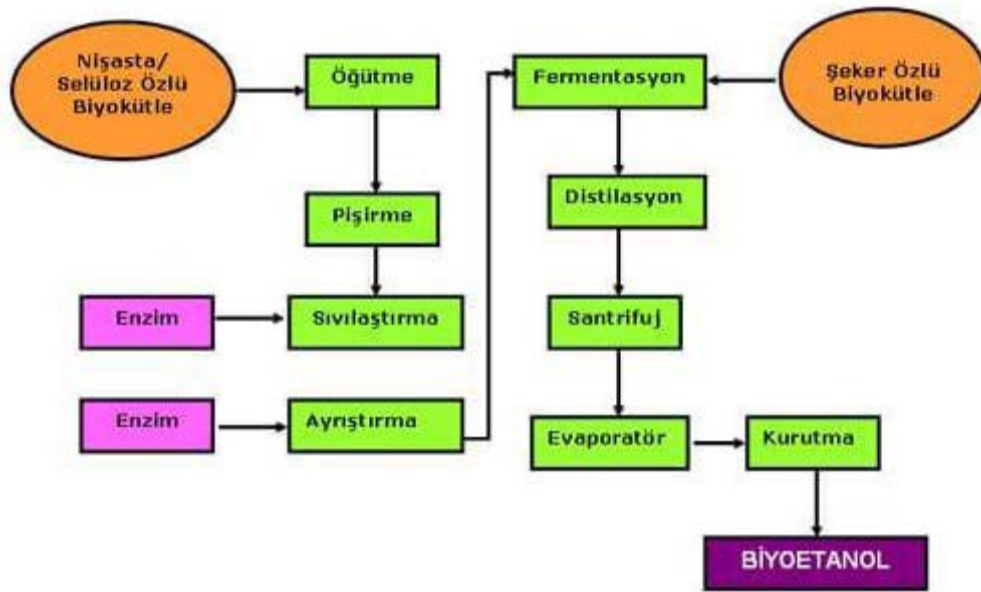
**Şekil 1.4.** Metanol üretim akış şeması

Metanol yakıtının yanması sonucunda, karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), azot oksit (NO<sub>x</sub>) gazları ve su buharı açığa çıkmaktadır. Metanolün yanma sonucu ısıları düşük olduğundan, yanma ürünleri içinde yanmamış hidrokarbonların (HC) oranı çok az olmakta ve daha az oranda karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO<sub>x</sub>) oluşmaktadır. Günümüzde metanolün içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmakta ve otomotiv firmaları tarafından birçok metanol yakıtlı taşıt modellerinin üretimleri yapılmaktadır (Yıldırım, 2003).

### 1.1.2. Etanol

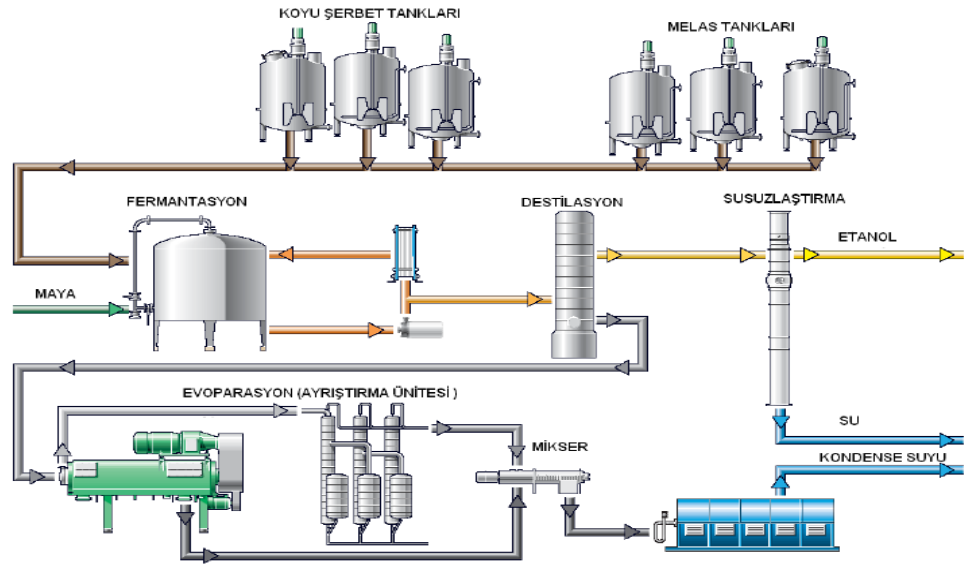
Biyoeanolün yenilenebilir temiz bir yakıt olması ve dizel yakıtı ile daha iyi karışabilme özelliğinin olmasından dolayı son yıllarda dizel motorlarında kullanımı artmıştır. Etanol; enzimler yardımı ile karbonhidratların (şeker ve nişasta) katalizlenerek

fermantasyon yolu ile elde edilebilen yenilenebilir bir yakıttır. Fermantasyonda seçilecek karbonhidratlar genellikle mısırdan ve şeker rafinasyonu artığı melastan (şeker pancarı, şeker kamışı); tarımsal ürünlerden patates, pirinç, çavdar, çeşitli meyveler kullanılarak ve kağıt endüstrisi artığı olan selülozdan da üretilmektedir. Isıl değeri petrolden düşük olmasına rağmen buharlaşma ısısı yüksektir. Nem tutma özelliğinden dolayı içerisindeki su nedeniyle yakıt donanımlarında korozyon oluşmakta ve yüksek nem tutmasından dolayı etanol motor yakıtı karışımlarında faz ayrışması oluşmaktadır (Ejder, 2007). **Şekil 1.5**'te etanol üretim akış şeması görülmektedir. (YEGM,2017)



Şekil 1.5. Etanol üretim akış şeması

Biyoetanolün oktan sayısının yüksek olması daha çok buji ile ateşlemeli motorlar için uygun olurken, dizel motorlarında da dizel yakıtına düşük oranlarda ilave edilerek kullanılabilir. Yenilenebilir temiz bir yakıt olan etanolün yoğunluğunun ve viskozitesinin düşük olmasından dolayı dizel yakıtı ile homojen olarak iyi karışabilmesi için, biyoetanol ile dizel yakıtı karışımlarında faz ayrışmasını önlemek amacıyla etanol ile dizel yakıtı karışımlarına n-bütanol ilave edilerek yakıt kararlılığı sağlanmaktadır (Huang ve ark., 2009). **Şekil 1.6**'da etanol üretim tesisinin genel şeması görülmektedir (Anonim, 2006).



Şekil 1.6. Etanol üretim tesisinin genel şeması

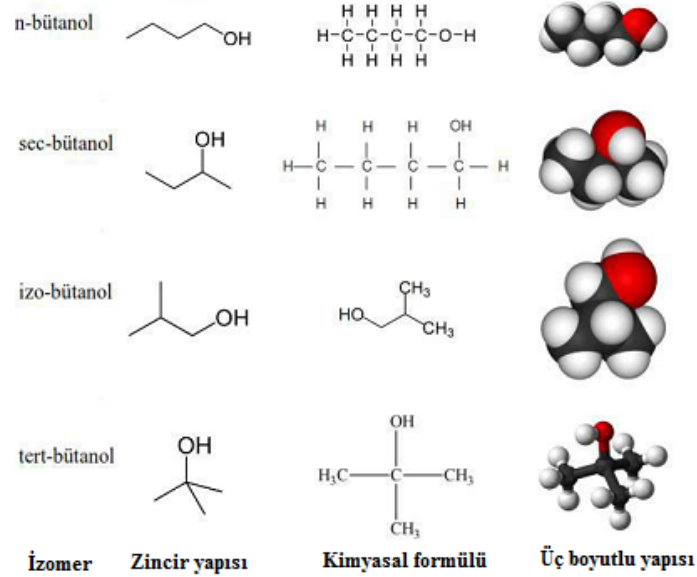
### 1.1.3. Bütanol

Bütanol, dört karbonlu, en karmaşık alkol yakıtı çeşididir. Bütanolün kaynama noktası 118 °C ve erime noktası -89 °C olup, metanol ve etanol alkol çeşitlerinden daha çok zehirlidir. Bütanol 0,81 g/mL yoğunluk değeriyle, etanol ve metanol alkol çeşitlerine göre çok daha yoğun, ama suya göre daha az yoğunluğa sahiptir. Bütanol, faz ayrışmasını önlemek için çoğunlukla bir çözücü olarak kullanılır. Aynı zamanda alternatif bir yakıt olarak kullanılmaya elverişlidir. Tarım ürünlerinin fermentasyonu yoluyla ve ham petrolden üretilmektedir (Minteer, 2006). Bütanol, renksiz, berrak, suyla karışmayan, orta dereceli bir kokuya sahip olan insan sağlığına zararlı olan zehirli bir alkoldür. Kimyasal formülü  $C_4H_{10}O$  olup, kapalı formülü  $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$ 'dır. Genellikle İzobütil asetat üretiminde, plastik, parfüm, yiyecek ve boya endüstrisinde çözücü olarak kullanılmaktadır. Ayrıca paslanmayı ve aşınmayı önlemek için motor yağlarına ve dizel yakıtının içerisine % 40'lara kadar eklenebilmektedir. Isıl değeri dizel yakıtına göre düşük olup yanma eğilimi gösteren bir alkol türüdür. Bütanol izomerlerinin özellikleri **Tablo 1.2'**de gösterilmiştir (Merck Kimya, 2016).

**Tablo 1.2.** Bütanol izomerlerinin özellikleri

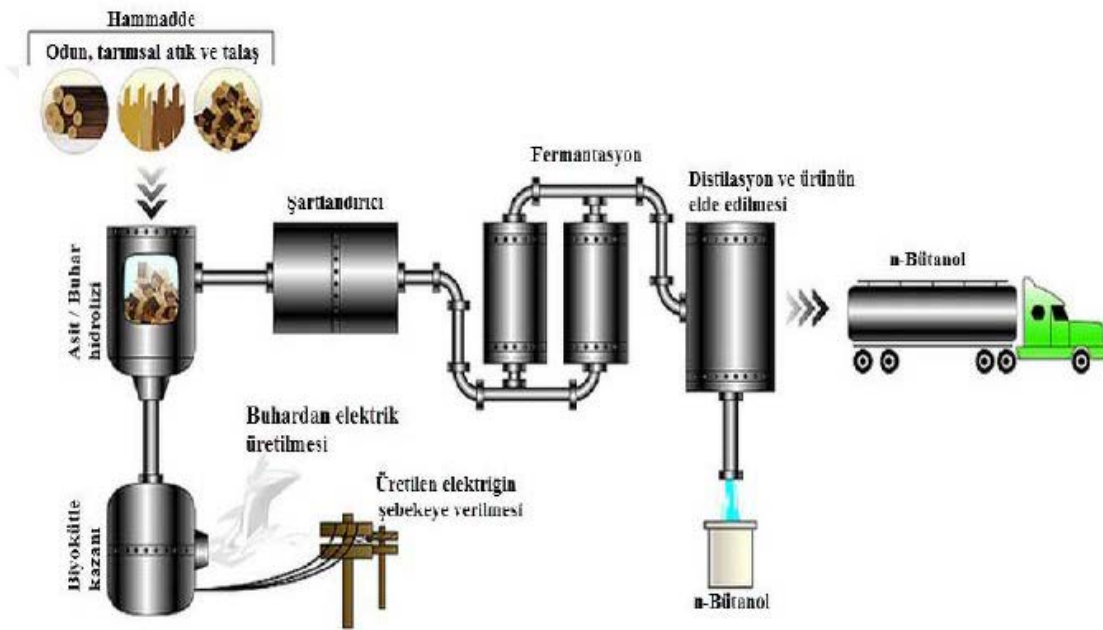
Özellik/ İzomeri	n-Bütanol	sec-bütanol	izo-bütanol	tert-bütanol
Moleküler ağırlığı (kg/kmol)	74,12	74,12	74,12	74,12
Diğer Adlandırmaları	1-Bütanol, Bütanol, Metil ol propan	2-Bütanol, sec-Bütanol	İzobütanol, IBA	t-Bütanol, t-Bütanol, tert-Bütanol
Kaynama Noktası (°C)	116-118	99-102	106-108	82
Donma Noktası (°C)	- 89	-114,7	-108	25
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )(20°C)	810	810	802	780,9
Viskozite (mPa s,30°C )	2,95	4,21	4	3,3
Patlama Sınırı (%)	1,4- 11,3	1,4- 9,8	1,5- 12	2,4- 8,0
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	340	390	430	490

Bütanol, 1-bütanol (n-bütanol), 2-bütanol (sec-bütanol), izo-bütanol ve tert-bütanol olmak üzere dört izomere sahiptir. Bütanol izomerleri ve molekül yapısı **Şekil 1.7**'de verilmiştir (Jin ve ark.,2011).

**Şekil 1.7.** Bütanol izomerleri ve molekül yapısı

Biyobütanol önceleri, ABE (Aseton-Bütanol-Etanol) fermantasyon yoluyla tarım ürünlerinden elde edilirken, günümüzde ise bütanol genellikle ham petrolden

üretilmektedir. Etanole göre daha uygun yakıt özelliklerine sahip olmasına rağmen maliyeti etanolden daha fazladır. Etanole göre daha yüksek enerji içermektedir. Bütanolün buhar basıncı, etanol, metanol ve benzine göre daha düşüktür. Biyobütanol motor yakıtlarına karıştırılarak kullanıldığı gibi, doğrudan yakıt pillerinde de kullanım olanakları araştırılmaktadır (Minteer, 2006). Bütanol, aseton-bütanol-etanol (ABE) ve izopropanol-bütanol-etanol (IBE) fermantasyonu yoluyla üretilmektedir (Jones ve Woods, 1986). Günümüzde izopropanolün asetona göre özelliklerinin daha iyi olması nedeniyle IBE fermantasyonu yolu ile bütanol üretimi daha ön planda olmuştur. **Şekil 1.8**'de biyokütleden bütanol üretim akış şeması gösterilmiştir (Atmanlı, 2013).



**Şekil 1.8.** Biyokütleden bütanol üretim akış şeması

Literatürde dizel motorlarında n-bütanol ile dizel yakıtı karışımlarının kullanılması ile ilgili yapılan çalışmalarda;

Bütanol alkol yakıtının kendiliğinden tutuşma sıcaklığının etanol ve metanol alkol çeşitlerine göre daha düşük olmasından dolayı dizel motorlarında kolaylıkla tutuşabilmektedir. Bununla beraber setan sayısının yüksek olması sayesinde ise dizel motorlar için daha uygun bir katkı maddesi olduğu, enerji değerinin yüksek, aşındırıcı etkisinin düşük olması ve dizel yakıtı ile herhangi bir faz ayrışmasının olmaması da etanol ve metanol alkol yakıtlarına göre önemli avantajları olarak sıralanabilmektedir (Doğan, 2011).



Biyobütanolün karbon sayısının yüksek olması ve çözücü özelliğinin çok iyi olmasından dolayı bir katkı maddesine ihtiyaç duyulmadan dizel yakıtı ile her oranda karışım oluşturabildiği için bitkisel yağların yüksek viskozitesini düşürme ve diğer akışkan özelliklerinin iyileştirmesinde de kullanılabilceği, duman emisyonlarında iyi iyileşmeler sağladığından dolayı n-bütanolün düşük oranlarda bile dizel yakıtı ile karışımlarında büyük bir yarar sağlayacağı belirtilmiştir (Siwale ve ark., 2013 ).

Bütanolün, metanol ve etanol alkol yakıtlarına göre nem tutma özelliğinin daha düşük, ısı değeri ve setan sayısının daha yüksek, buhar basıncının daha düşük ve dizel yakıtı ile daha iyi homojen karışabilme özelliklerine sahip olması gibi özelliklerinden dolayı, setan sayısını artıran ve çözünmeyi sağlayan ürünler kullanılmadan iyi bir motor performansı ve temiz emisyonlar için yüksek karışım oranlarında bile güvenle tercih edilen bir alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılabilceği vurgulanmıştır (Rakopoulos ve ark., 2010).

Geleneksel damıtma yöntemleri, adsorpsiyon, sıvı sıvı ekstraksiyonu, pervaporasyon, perstraksiyon, ters ozmoz ve gaz sıyırma yöntemleri biyobütanol için geri kazanım teknikleri olarak kullanılmaktadır (Ezeji ve ark., 2004).

#### **1.1.4. İzopropanol**

Propanol, düz zincirli, 3 karbonlu yapıda olan ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip bir alkol çeşididir. Propanol, metanol ve etanol alkollere göre dizel yakıtı ile karışım oluşturmada alternatif olabilecek bir yakıt olarak ön plana çıkmıştır. Propanol, genellikle daha maliyetli olan okso sentezi yoluyla petrokimyasallardan üretilmektedir (Cornils, 2004). Fosil yakıt kaynaklarının tükenme endişesi nedeniyle, propanolü üretmek için sürdürülebilir yeni yöntemler geliştirilmiştir. Propanol, biyokütle veya evsel katı atıklar gibi yöntemlerle de elde edilmektedir (Liu ve ark., 2014). Günümüzde ABE fermantasyonu yerine IBE fermantasyonu yoluyla bütanol elde edilmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Bunun sebebi IBE fermantasyonu ile ABE fermantasyonundan farklı olarak yan ürün olarak ortaya çıkan aseton yerine izopropanolün oluşmasıdır (Demirdelen, 2019). Rogers ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında, asetonun fenolün sentezi sırasında elde edildiğini ve bu üretimin piyasadaki aseton ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayabildiğini, fakat piyasadaki fenole ve asetona olan ihtiyaç değişmediği sürece asetonun çok da talep edilen bir ürün

olmadığını ve biyobütanol üretimi sırasında elde edilen izopropanolün daha kullanışlı bir yan ürün olduğunu belirtmişlerdir (Rogers ve ark., 2006).

İzopropanolü asetona göre daha kullanışlı bir yan ürün yapan nedenler; izopropanolün daha yüksek enerji içeriğine ve daha yüksek oktan sayısına sahip olması, içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlara karıştırılarak kullanıldığında enerji verimini artırma ve ortaya çıkan emisyonları önemli oranda azaltma potansiyelinin olması ve motor parçaları üzerinde daha az aşındırıcı etkisinin olması şeklinde sıralanabilmektedir (Li ve ark, 2018).Collas ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında, izopropanolün sanayideki en önemli uygulama alanlarından biri olan plastik gibi birçok ürünün üretiminde de kullanılan bir kimyasal madde olan propilen üretiminde esas madde olarak kullanıldığını belirtmişlerdir (Collas ve ark.,2012).

Literatürde dizel motorlarında propanol kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaların oldukça sınırlı olması, propanol yakıt çalışmalarına duyulan ilgiyi arttırmaktadır. Propanol, dizel yakıtı ile karıştırılabildiği gibi, bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel ile birlikte karıştırılıp, viskoziteyi düşürmek için seyreltici olarak da kullanılabilir. Avrupa dizel (motorin) yakıt kalite standartı EN590'a göre, propanol'ün diğer yakıtlarla %45 üzerindeki karışım oranlarında, kinematik viskozite ve kayganlık özelliklerini sağlayamadığı görülmüştür (Kumar ve Saravanan, 2016).

### **1.1.5.Aseton-Bütanol-Etanol (ABE)**

ABE'nin fermantasyonuyla oluşan ürünlerden bol miktarda su ile beraber aseton, bütanol ve etanol ortaya çıkmaktadır. ABE fermantasyonuyla oluşan ürünlerden; etanol ile su homojen azeotrop karışım oluştururken, bütanol ile su heterojen azeotrop karışım meydana getirmektedir. Aseton ise diğer ürünler ile herhangi bir azeotrop karışım oluşturmamaktadır (Demirdelen, 2019). ABE' nin fermantasyon yoluyla oluşan ürünlerinin ayrılmasında çeşitli ayırma yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar; distilasyon, adsorpsiyon, gaz sıyırma, sıvı-sıvı ekstraksiyonu, ters ozmoz, membran sistemleri ve pervoparasyon yöntemleridir (Kujawska, 2015). ABE-biyodizel-dizel yakıt karışımlarının kullanımında dehidrasyon ve yüzey aktif madde ilavesi gerekmediğinden, yakıt üretim süreçlerinin daha da kolaylaşacağı, enerji tüketiminin ve kirletici emisyonların önemli oranda azaltılabileceğini ve bu özelliklerinden dolayı ABE-biyodizel-dizel karışımlarının gelecek vaat eden çevreci bir yakıt olduğunu

vurgulamışlardır (Chang ve ark.,2014). Damıtma yöntemi kullanılarak aseton-bütanol-etanolün (ABE) fermantasyon yoluyla saf bütanol elde edilmesi, 118 °C kaynama noktasının olması nedeniyle pahalı bir yöntemdir. Bütanolü ayırmak yerine, başka bir yöntem olan ABE karışımını doğrudan bir biyoyakıt olarak kullanmak daha uygun olacaktır. Bu yaklaşım, ek damıtma maliyetini ortadan kaldırarak, bu yakıtın ticari olarak daha geniş bir alana uygulanmasını sağlayacaktır (Lee ve ark.,2019). ABE-dizel yakıt karışımlarının püskürtme ve yanma özellikleri sabit hacimli bir yanma odasında, birçok araştırmacı tarafından inceleme konusu olmuştur. ABE-dizel yakıt karışımlarında aseton içeriğinin artırılmasının, önceden karıştırılmış yanmayı artırarak ateşleme gecikmesini azalttığı, yanma süresinin daha da kısaldığı ve daha düşük doğal alev parlaklığına bağlı olarak termik verimin arttığı ve kurum emisyonlarının önemli oranda azalması görülmüştür (Wu ve ark., 2014).

#### **1.1.6. İzopropanol-Bütanol-Etanol (IBE)**

Araştırmacılar, tek bir biyokimyasal adım kullanarak ABE'deki asetonu izopropanole dönüştürmek için geliştirdikleri bir yöntem ile bir karışım elde etmişlerdir. Bu yeni karışım, İzopropanol-bütanol-etanol (IBE); bütanol üretiminde yüksek geri kazanım özelliklerini ve ayırma maliyetlerini ortadan kaldırmak, ayrıca aseton-bütanol-etanol (ABE)' nin aşındırıcılık özelliğini ve düşük parlama noktasını önlemek için içten yanmalı motorlarda alternatif bir yakıt olarak güvenle kullanılabilir (Lee ve ark.,2019). IBE' nin fermantasyonu sonucu ürün olarak oluşan bol miktarda su ile beraber izopropanol, bütanol ve etanol elde edilmektedir. IBE fermantasyonu ürünlerinden izopropanol, su ile homojen azeotrop karışım oluşturmaktadır. Azeotrop karışımların ayrılması ve saflaştırılması zorlu bir ayırma işlemi olmakla birlikte; IBE fermantasyonu ürünlerinin saflaştırılması, sahip olduğu azeotrop karışımlarının sayıca fazla olması sebebiyle ABE fermantasyon ürünlerinin saflaştırılmasına göre daha zorlayıcı bir süreç olmaktadır (Demirdelen, 2019). IBE ürünlerinin biyoyakıt özellikleri yönünden ABE ürünlerinden daha üstün özellikler gösterdiği ve izopropanolün ABE ürünlerinden farklı olarak asetona göre daha avantajlı bir ürün olduğu gözlenmiştir (Li ve ark, 2018). IBE'nin fermantasyon yoluyla elde edilen bir başka ara ürünün, yakıt kullanımı açısından ABE'den daha ilgi çekici olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, ABE'deki asetonun aşındırma probleminin olmasıdır. Ayrıca, IBE'deki izopropanolün,

parlama noktasının, enerji yoğunluğunun ve viskozitesinin daha yüksek olması, su ile karıştığında baz yakıttan ayrılma özelliğinin olması, aseton ile karışım oluşturduğunda fiziksel ve kimyasal özelliklerin daha uygun olduğu görülmektedir. Bu özellikler IBE'nin mevcut yakıt boru hatları ile kolayca taşınmasını sağlamaktadır (Lee ve ark., 2017).



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde etanol, metanol ve bütanol gibi alkol içerikli yakıtlarla ilgili yapılan çalışmalarda içeriğinde bulunan oksijenin yardımı ile dizel motorlarında zararlı emisyonları azalttığı yönünde sonuçlar bildirilmiştir. Yapılan çalışmalarda alkollerin saf olarak kullanıldığı çalışmalardan ziyade dizel yakıtı içerisine belirli oranlarda katılarak dizel motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerinin incelendiği çalışmalar yapılmıştır. Örneğin %10, %20 ve %30 oranlarında etanol-dizel yakıt karışımlarının kullanıldığı kapsamlı bir çalışmada %20 oranında etanol eklenmesi ile optimum çalışma şartlarının oluştuğunu ve bu şartlarda CO ve is gibi eksik yanma emisyonlarında %45 ve %55 gibi büyük oranlarda azalma olduğu belirtilmiştir (Hansen ve ark., 2001). Ayrıca, %5 ve %10 oranlarında metanol veya etanolün dizele katılarak test edildiği bir çalışmada; benzer şekilde eksik yanma emisyonlarının azaldığı ancak azot oksit emisyonlarında bir artış olduğu rapor edilmiştir (Sayın, 2010). Bununla beraber etanol-dizel karışımlarındaki faz ayrışması problemi nedeni ile bu karışımlara biyodizel eklenmesi ile oluşturulan üçlü yakıt karışımları ve son zamanlarda bütanolün etanol yerine tercih edildiği çalışmaların daha yoğun bir şekilde yapıldığı görülmektedir. Bütanolün kullanılması kapsamında elde edildiği aseton-bütanol-etanol (ABE) ile izopropanol-bütanol-etanol (IBE)'nin direk kullanılması ile ilgili çalışmalarda giderek artmaktadır.

Sonuç olarak, en fazla kullanılan ve araştırılan alkol yakıtı olan etanolün dizel yakıtı ile özellikle düşük sıcaklıklarda faz ayrışması nedeniyle yüksek oranlarda kullanılamaması araştırmacıları daha iyi karakteristiklere sahip olan bütanolün araştırılması ile ilgili çalışmalara yönlendirmiştir. Bu kapsamda bütanolün aseton-bütanol-etanol (ABE)'den elde edilerek kullanılması yerine maliyetin azaltılması amacı ile ABE'nin direk dizel veya buji ile ateşlemeli motorlarda yakıtı katılarak kullanılması giderek yaygınlaşan bir konu olmuştur. Bununla beraber ABE içerisinde bulunan aseton ile ilgili aşındırıcı olma özelliği ve bazı diğer dezavantajlarından dolayı ABE yerine izopropanol-bütanol-etanol (IBE)'ün kullanılması son zamanlarda daha ilgi çekici bir konu oluşturmuştur. Dolayısıyla tezin bu bölümünde metanol, etanol veya bütanolün farklı oranlarda dizel yakıtına katılarak farklı konfigürasyonda dizel motorlarında değişik işletme şartlarında kullanılmaları ile ilgili yapılmış çalışmalar ile ABE ve

IBE'nin karşılaştırıldığı çalışmalar araştırılmıştır. Çalışma sonuçları alkol yakıtlarının kullanılması sonucu özellikle egzoz emisyonları olmak üzere motor karakteristikleri üzerindeki etkilerinin anlaşılması ile bu yakıtların günümüzdeki durumunun daha iyi anlaşılması amacı ile özetlenerek sunulmuştur.

İlhan (2007), %5, %10 ve %15 oranlarındaki metanol-dizel yakıtı karışımlarını bir dizel motorunda, püskürtme avansının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelediği çalışmasında; püskürtme avansı, motor yükü ve karışım içerisindeki metanol miktarının artmasıyla, özgül yakıt tüketimi ve  $NO_x$  emisyonunda artış olduğu, efektif verim, CO ve HC emisyonlarında ise azalma olduğu gözlemlenmiştir. Püskürtme avansının azaltılması ile özgül yakıt tüketimi, CO ve HC emisyonlarında artış olduğu, efektif verim ve  $NO_x$  emisyonlarında ise azalma olduğu görülmüştür.

Kulakoğlu (2009), %5, %10 ve %15 oranlarındaki metanol-dizel yakıtı (M5, M10, M15) karışımlarını bir dizel motorunda farklı püskürtme basınçlarında, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelediği deneysel çalışmada, püskürtme basıncının motorun standart değerinin üzerine çıkarılması yada azaltılması durumunda, dizel yakıtı içerisindeki metanol oranının artmasıyla özgül yakıt tüketiminde artış olduğu, efektif verimde ise azalma görülmüştür. CO, HC ve is emisyonları önemli ölçüde azalırken  $NO_x$  emisyonlarının arttığı gözlemlenmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde alternatif yakıt olarak dizel-metanol karışimli yakıt kullanımında motor gücünün düştüğü, özgül yakıt tüketiminin arttığı, HC ve CO emisyonları azalırken  $NO_x$  emisyonlarında bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Çelikten (2004), etanol- dizel karışımının bir dizel motorunda motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelediği çalışmasında, dizel yakıtına %10 oranında etanol ilave edilmesi ile motor gücünde ve torkunda düşüş, yakıt tüketim miktarında da azalmalar olmuştur. Emisyonlar açısından  $NO_x$  ve CO emisyonları kısmen azalırken,  $CO_2$ ,  $SO_2$  ve duman emisyonlarında ise önemli ölçüde azalmalar olduğu gözlemlenmiştir.

Erkal (2010), dizel-etanol karışımlarının bir dizel motorunda performans ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelediği deneysel çalışmasında, karışım yakıtların kullanılmasıyla özgül yakıt tüketiminin arttığı ve termik veriminin azaldığı, bununla beraber dizel yakıtı içerisine etanol ilavesiyle NO<sub>x</sub> ve CO emisyonlarının arttığını belirtmiştir.

Uslu (2006), dizel yakıtı ile dizel-etanol karışımlarını sabit yüklerde, değişik motor hızlarında ve farklı yakıt püskürtme avanslarında yapmış olduğu çalışmasında, her bir avans değeri için etanol oranının artmasıyla HC, CO emisyonlarının azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise arttığını ve püskürtme avansının değiştirilmesiyle de özgül yakıt tüketiminin arttığını belirtmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde alternatif yakıt olarak dizel-etanol karışimli yakıt kullanımında motor gücü ve termik verimin azaldığı, özgül yakıt tüketiminin arttığı, HC, CO ve is emisyonları azalırken, NO<sub>x</sub> emisyonlarında bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Altun ve ark. (2011), biyodizel-dizel-etanol (BDE) yakıt karışımlarının bir dizel motorunda performans ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelediği deneysel çalışmada, biyodizel-dizel-etanol (BDE) ile biyodizel-dizel (B20) yakıt karışımlarını dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında karışım yakıtlar için fren özgül yakıt tüketiminin arttığını, CO emisyonunun karışım yakıtlar için düşük olduğu, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise dizel yakıtına göre B20 için biraz yüksek iken, BDE yakıtı için düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Örs (2016), dizel ile biyodizel yakıtına %5, %10 ve %15 bütanol eklenerek oluşan biyodizel-bütanol karışımlarının motor performansı ve emisyonlara etkisini incelediği deneysel çalışmada, biyodizel yakıtına bütanol ilavesiyle özgül yakıt tüketiminde bir artış olduğu, egzoz gaz sıcaklığı ve efektif verimde ise azalmalar olduğu görülmüştür. Biyodizel yakıtına bütanol eklenmesiyle NO<sub>x</sub>, CO ve is emisyonlarında azalmalar olurken, HC emisyonunda ise artış gözlenmiştir.

Altun ve ark. (2011), %20 biyodizel ve %80 dizel yakıtı (B20) karışımında n-bütanol kullanılmasının, bir dizel motorun performans ve egzoz emisyonlarına etkisini

inceledikleri çalışmada, %20 biyodizel ve %80 dizel (B20) yakıt karışımına sırasıyla %10 ve %20 n-bütanol ilave edilmiş, dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, yakıt karışımlarının fren özgül yakıt tüketiminin daha yüksek olduğu, B20 yakıt karışımına n-bütanol eklenmesi ile fren özgül yakıt tüketiminde ve fren termal verimliliğinde hafif bir artış gözlenmiştir. Egzoz emisyonları için, karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) emisyonlarının azaldığı ve is emisyonlarında da önemli oranda bir azalma olduğu görülmüştür. NO<sub>x</sub> emisyonları düşük motor yüklerinde değişmezken, yüksek motor yüklerinde azaldığı belirtilmiştir.

Asfar ve Al-Rabadi (2003), dizel yakıtı ile biyodizel yakıtına %5 ile %10 izobütanol eklenerek oluşan karışımın bir dizel motorunda performans ve egzoz emisyonlarına etkisini incelediği çalışmada, dizel yakıtı ve biyodizel yakıtına katılan izobütanol miktarı arttıkça; özgül yakıt tüketimi artarken, motor gücünde bir düşüşe neden olduğu, CO ve is emisyonlarında ise azalma olduğu gözlenmiştir.

Ballesteros ve ark. (2012), bir dizel motorunda %10 etanol ile dizel yakıtı (E10) ve %16 n-bütanol ile dizel yakıtı (nB16) karışımlarının kullanılmasının karbon bileşimlerinin oluşumuna etkilerini inceledikleri çalışmada, karbon bileşikleri emisyonu bakımından her iki karışımın dizel yakıtı yerine kullanılabileceği belirtilmiştir. n-bütanol karışım oranının etanole göre yüksek olmasının nedeni n-bütanolün (%21,6) etanole (%34,73) göre daha az oksijen içermesi olarak gösterilmiştir. Alkoller arasında dizel yakıtı ile karışım oluşturmada en çok etanolün kullanıldığı, ancak etanol yerine dizel yakıtı ile karışım oluşturabilecek ekonomik ve sürdürülebilir potansiyele sadece n-bütanolün sahip olduğu ve n-bütanolün yüksek karbon sayısı, ısıl değeri ve faz kararlılığı sayesinde dizel yakıtı ile yüksek oranlarda karışım oluşturma özelliğine sahip olduğu belirtilmiştir. Etanolün dizel yakıtı ile karışım oluşturmada setan sayısının düşük olması sebebiyle tutuşma gecikmesinin uzun olması, düşük sıcaklıklarda nem tutması, sınırlı karışım oluşturmada, ısıl değerinin düşük ve yağlama özelliğinin zayıf olması gibi olumsuz özellikleri olduğu vurgulanmıştır.

Karabektaş ve Hoşöz (2009), dizel yakıtının içerisine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında katılan izobütanolün motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelediği deneysel çalışmalarında; dizel yakıtıyla kıyaslandığında tüm karışımlar için



egzoz gaz sıcaklığında düşüş gözlemlenmiştir. Tüm yakıt karışımları için %10'un üzerindeki izobütanol miktarı motor gücünde bir düşüğe sebep olurken, ISB10 (%90 Dizel+%10 İzobütanol karışımı) en yüksek motor gücünü sağlamaktadır. CO emisyonları açısından; dizel yakıtı kullanıldığında, orta ve yüksek motor hızlarında azalırken, karışım yakıtlar kullanıldığında düşük motor hızlarında çok hafif bir görülmüştür.  $NO_x$  emisyonları azalırken, HC emisyonlarında ise tüm karışımlarda önemli bir artış gözlenmiştir.

Rakopoulos ve ark.(2010), %8, %16 ve %24 oranında n-bütanol içeren, n-bütanol-dizel karışımlarının sabit devir sayısı ile farklı yüklerde bir dizel motorunda motor performansı ve emisyonlarına etkilerini incelediği deneysel çalışmalarında, karışım içerisindeki n-bütanol oranının artmasıyla, özgül yakıt tüketimi ile ısı veriminin biraz arttığını, egzoz gaz sıcaklığı,  $NO_x$ , CO ve duman emisyonlarının azaldığını ve HC emisyonlarının ise arttığını belirtmişlerdir.

Al-Hasan ve Al-Momany (2008), %10, %20, %30, %40 oranında izobütanol ile dizel yakıt karışımının, özgül yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı, termik verim ve motor gücünün dizel yakıtına göre etkisini incelediği çalışmalarında, dizel yakıtına ilave edilen izobütanol miktarı arttıkça egzoz gazı sıcaklığının düştüğünü, motor gücünün iyice azaldığını, hava fazlalık katsayısının ( $\lambda$ ) küçüldüğünü,  $NO_x$  ve CO emisyonlarının da azaldığını vurgulamışlardır.

Rakopoulos ve ark.(2010), bir dizel motorunda %8 ve %16 n-bütanol ile dizel yakıtı karışımlarının motor performansı ve emisyonlara etkisini inceledikleri çalışmada, karışımların setan sayısının düşük olmasından dolayı tutuşma gecikmesi süresinin uzadığını, karışımdaki n-bütanol miktarı arttıkça; özgül yakıt tüketimi ve ısı veriminin çok az arttığı görülmüştür. CO,  $NO_x$  ve duman emisyonlarının azaldığı, HC emisyonunda ise artış olduğu gözlenmiştir.

Özer (2010), %3, %5, %8 ve %10 karışım oranlarında 2-bütanol ile dizel yakıtı karışımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelediği çalışmasında, karışım içerisindeki 2-bütanol oranı arttıkça; motor gücü ve ısı verim düşerken, özgül yakıt tüketiminde ise artış gözlenmiştir. CO,  $NO_x$  ve is emisyonları azalırken, HC

emisyonunda ise artış gerçekleşmiştir. Genel olarak 2-bütanolün yüksek oranlarda kullanılmasının motor performansını azalttığı, egzoz emisyonlarında ise iyileşme sağladığı görülmektedir.

Siwale ve ark. (2013), %5, %10 ve %20 oranlarında n-bütanol ile dizel yakıtı karışımlarının farklı püskürtme avans değerlerinde, farklı devirlerde ve farklı yüklerde bir dizel motorunda egzoz emisyonlarına etkisini incelediği deneysel çalışmalarında, motor yükü ve devir arttıkça  $NO_x$  emisyonunda artış olurken, CO emisyonunda ise düşme görülmüştür. HC emisyonunda 1500 d/dk'da %75 yük altında artış olurken, bu yük altında 3000 d/dk'da ise düşüş gözlenmiştir. Duman emisyonunda ise önemli oranlarda azalma gözlenmiştir.

Kılıçaslan (2010), izobütanol-dizel (ISB5, ISB10, ISB15) yakıt karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelediği deneysel çalışmasında; dizel yakıtına göre karışım içerisindeki izobütanol oranının artmasıyla; özgül yakıt tüketiminin arttığı ve egzoz gazı sıcaklıkları ile termik verimin azaldığı gözlenmiştir. Genel olarak CO,  $CO_2$ ,  $NO_x$  ve is emisyonları azalırken, HC emisyonlarının ISB5 karışımında azaldığı, ISB10 ve ISB15 karışımlarında ise arttığı görülmüştür.

Doğan (2011), %5, %10, %15, %20 karışım oranlarında n-bütanol-dizel yakıt karışımının bir dizel motorunda performans ve egzoz emisyonlarına etkisini incelediği çalışmasında, karışımdaki bütanol miktarının artmasıyla;  $NO_x$ , CO ve is emisyonları azalırken, HC emisyonlarının arttığı gözlemlenmiştir. Bütanol miktarının artmasıyla, özgül yakıt tüketimi ve ısı verimi arttırmış, egzoz gaz sıcaklığını da azalttığı gözlemlenmiştir.

Ayyılmaz (2012), %15 n-bütanol ile %85 dizel yakıtı karışımında püskürtme zamanının, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelendiği deneysel çalışmada, dizel yakıtına katılan bütanol miktarının artmasıyla; termik verim azalırken, özgül yakıt tüketimi ve egzoz gaz sıcaklığında artış gözlenmiştir. Egzoz emisyonları açısından dizel yakıtına göre;  $NO_x$ , CO ve is emisyonları azalırken, HC emisyonlarında artış gözlemlenmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde alternatif yakıt olarak dizel-bütanol karışimli yakıt kullanımında motor gücü ve egzoz gaz sıcaklığı düşerken, ısı verim ve özgül yakıt tüketiminin biraz arttığı,  $\text{NO}_x$ , CO ve is emisyonları azalırken, HC emisyonlarında bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Altun ve ark. (2010), %5 %10 izopropanol ve kurşunsuz benzin karışımlarının bir kıvılcım ateşlemeli motorun egzoz emisyonlarına etkisini araştırdıkları deneysel çalışmada, kurşunsuz benzine kıyasla, karışımdaki izopropanol miktarının artışıyla karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonlarının azaldığı, karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) emisyonunun ise arttığı gözlemlenmiştir. %5 izo-propanol-kurşunsuz benzin karışımının egzoz gazı sıcaklığının test edilen diğer yakıtlardan biraz daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Reşitoğlu ve Keskin (2019), %3 propan ile %97 dizel ve %6 propan ile %94 dizel içeren karışımları bir dizel motorunda kullanımının yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisini araştırdıkları deneysel çalışmada, karışım yakıt dizel yakıtıyla kıyaslandığında, viskozite, ısı değer, parlama noktası ve setan değerlerinde düşük oranlarda azalma olurken, özgül yakıt tüketimi değerlerinde ise düşme eğilimi görülmüştür. CO ve kurum emisyonları azalırken,  $\text{NO}_x$  emisyonunda ise bir değişim gözlemlenmemiştir.

Şimşek ve Çolak (2019), biyodizel içerisine ilave edilen %10, %20 propanol alkol karışımının bir dizel motorunda kullanımının performans ve emisyonlarına etkisini incelediği çalışmada, biyodizel içerisine belirli oranlarda propanol ilave edilmesi ile biyodizel yakıtına göre motor performansında az da olsa iyileşme olduğu, özgül yakıt tüketimi değerlerinde ise azalma olduğu görülmüştür. Karışım içerisindeki propanol oranının artması ile CO,  $\text{NO}_x$  ve is emisyonları azalırken, HC emisyonlarında ise artış gözlenmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde alternatif yakıt olarak dizel-izopropil alkol karışımları kullanıldığında dizel yakıtına göre motor performansında iyileşmeler olduğu, ısı verim, özgül yakıt tüketimi ve egzoz gazı sıcaklığında ise düşüş

olduğu, CO, NO<sub>x</sub> ve is emisyonları azalırken, HC emisyonlarında bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Li ve ark. (2016), izopropanol, n-bütanol, etanol, benzin karışımlarının (IBE10, IBE30, IBE60) buji ateşlemeli bir motorun yanma, performans ve emisyonlara etkisini inceledikleri deneysel çalışmada, IBE karışımları benzinle karşılaştırıldığında, IBE30'un fren termik verimliliği (%0.04–4.3) artarken, IBE10, IBE60 için azalmıştır. Fren özgül yakıt tüketimi tüm karışım yakıtlar için artmıştır. IBE60 diğer karışım yakıtlara göre ısı salınım oranı daha da artmış, en iyi yanma aşamasını, daha kısa yanma süresi ve en yüksek silindir içi tepe basıncını göstermiştir. CO emisyonları açısından; IBE30' da (%4) azalırken, IBE10, IBE60 için az artış görülmüştür. IBE10, IBE30, IBE60 karışımlarının HC emisyonlarında (%15.1–20.3) ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise (%3.3-18.1) azalma gözlenmiştir. Benzine IBE eklenmesiyle motorun termik verimliliğinin arttığını ve kirlenici emisyonlarının azaldığını belirtmişlerdir.

Nithyanandan ve ark. (2014), ABE-benzin karışımlarının buji ateşlemeli bir benzinli motorda kullanımının performans ve emisyonlara etkisini inceledikleri çalışmada, benzine az miktarda ABE ilavesinin verimliliği artırabileceğini ve emisyonları azaltabileceğini gözlemlemişlerdir. ABE-benzin karışım oranı %40' ın altında olduğunda motorun performans ve emisyonlarında önemli bir değişiklik olmadığını belirtmişlerdir.

Li ve ark. (2016), E30, B30, ABE30, IBE30 (%30 etanol, n-bütanol, ABE, IBE) benzinle karışımlarının buji ateşlemeli bir motorda yanma, performans ve emisyonlara etkisini inceledikleri deneysel çalışmada, diğer karışım yakıtlara kıyasla, E30'un ısı salınım oranı daha da artmış, en iyi yanma aşamasını, daha kısa yanma süresi ve en yüksek silindir içi tepe basıncını göstermiştir. Fren termik verimi; en yüksek IBE30 ve en düşük B30 için olurken, Fren özgül yakıt tüketimi; en yüksek E30 ve en düşük IBE30 için olmuştur. CO emisyonları açısından; E30' un CO emisyonu önemli oranda artarken, B30, ABE30 ve IBE30'a göre sırasıyla %25,9 , %47,8 ve %41,7 daha yüksek değerler göstermiş, en yüksek E30 ve en düşük ABE30 olmuştur. HC emisyonlarında; ABE30, E30, B30 ve IBE30'a göre sırasıyla % 13,1, % 9,0 ve % 12,4 daha yüksek

değerler göstermiş, en yüksek ABE30 ve en düşük E30 olmuştur. NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise en yüksek E30 ve en düşük B30 gözlenmiştir.

Chang ve ark. (2014), biyodizel-dizel karışımları ile dizel yakıtına ABE (aseton-bütanol-etanol) ekleyerek bir dizel motorunun emisyonlarının incelendiği deneysel çalışmada, biyodizel-dizel karışımı ile dizel yakıtına %25 ABE eklendiğinde, biyodizel-dizel karışımı ile dizel yakıtına kıyasla duman emisyonları, NO<sub>x</sub> emisyonları ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) emisyonlarının önemli oranlarda azaldığını ve enerji verimliliğinin arttığını belirtmişlerdir.

Lee ve ark. (2017), Aseton-bütanol-etanol (ABE), İzopropanol-bütanol-etanol (IBE) karışımları ile dizel yakıtını farklı motor yüklerinde ve enjeksiyon zamanlamalarında bir dizel motorunda yanma ve emisyon özelliklerine etkisini inceledikleri deneysel çalışmada, ABE ve IBE'nin yanma aşamasını önemli ölçüde etkilediğini, ABE ve IBE dizel yakıtı ile karıştırıldığında yanmanın başlamasının geciktiğini, ayrıca ABE-IBE-dizel karışımlarının dizel yakıtına göre ana enjeksiyon zamanlamasındaki değişikliklere karşı daha duyarlı olduğunu belirtmişlerdir. Ana enjeksiyon zamanlaması ilerlediğinde, ABE20 ve IBE20 karışımlarının silindir içi tepe basıncı ve ısı salınımı oranının başlangıçta dizel yakıtından daha düşük olduğunu, ancak sonunda yükseldiğini gözlemlemişlerdir. Dizel yakıtına ABE veya IBE ilavesi ile fren termik veriminin biraz azaldığını, ancak IBE20 karışımı için bir değişim olmadığını, NO<sub>x</sub> ve is emisyonlarında ise önemli oranda azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak ABE-IBE-dizel karışımlarının dizel motorların egzoz emisyonlarını önemli bir şekilde kontrol edebileceğini belirtmişlerdir.

Wu ve ark. (2014), %20 Aseton-Bütanol-Etanol ile %80 dizel yakıtı (ABE20) karışımlarının sabit hacimli bir yanma odasında farklı ABE20 (6:3:1), ABE20 (3:6:1) ve ABE20 (0:10:0) bileşen oranlarının yanma ve kurum emisyonlarına etkisini inceledikleri deneysel çalışmada, ABE'nin (6:3:1) en yüksek yanma verimliliğini gösterdiğini, ABE'nin önemli oranda NO<sub>x</sub> ve kurum emisyonlarını azalttığını, ABE-dizel yakıt karışımlarında aseton içeriğinin artırılmasının, önceden karıştırılmış yanmayı arttırarak ateşleme gecikmesinin azaldığı, yanma süresinin daha da kısaldığı ve daha düşük doğal alev parlaklığına bağlı olarak termik verimin arttığını belirtmişlerdir.

Chang ve ark. (2013), 4 silindirli dizel motorunda % 20ABE ve %0.5 su içeren (ABE20W0.5) ABE-dizel karışımlarının performans, yanma ve emisyonlara etkisini araştırdıkları çalışmada, su içeren ABE ve dizel karışımlarının fren termik veriminin arttığını, duman (PM) emisyonları, NO<sub>x</sub> emisyonları ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) emisyonlarının önemli oranlarda azaldığını vurgulamışlardır.

Lee ve ark., (2016) %10 ABE ile %90 dizel (ABE10) ve %20 ABE ile %80 dizel (ABE20) karışımlarının bir dizel motorunda performans, emisyon ve yanma özelliklerini inceledikleri deneysel çalışmada; test edilen yakıtlar dizel yakıtı, ABE10 (3:6:1), ABE20 (3:6:1), ABE10 (6:3:1) ve ABE20 (6:3:1) oranlarında karıştırılmıştır. Dizel yakıtına az miktarda ABE ilavesiyle, motor gücünde hafif düşme, ısı salınım oranında artış ve ısı verimliliğinde ise iyileşme olduğu gözlenmiştir. Kurum emisyonları önemli oranda azalmış ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise artış gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarına göre motordaki enjeksiyon miktarının ve enjeksiyon zamanlamasının uygun şekilde ayarlanmasıyla, ABE-dizel karışımlarının motor performansını düşürmeden, verimliliği arttırdığı ve emisyonları azalttığı görülmüştür.

Lin ve ark. (2016), %10 ABE ile %90 dizel (ABE10) , %20 ABE ile % 80dizel (ABE20) karışımlarının ve dizel yakıtının bir dizel motorunda farklı motor yüklerinde ve enjeksiyon zamanlamalarında motor performansı ve emisyonlarına etkisini araştırdıkları deneysel çalışmada; ABE karışımlarının yanma aşamasını geciktirdiğini ve ateşleme gecikmesini önemli ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir. ABE karışımlarının geç enjeksiyon zamanlamalarında HC emisyonlarının daha yüksek olduğunu ve enjeksiyon zamanlamasının ilerletilmesiyle bu sorunun çözüleceğini belirtmişlerdir. Enjeksiyon miktarının ve enjeksiyon zamanlamasının uygun şekilde ayarlanmasıyla ABE-dizel karışımlarının yanma verimliliğinin arttığını ve dizel motorlarında kirletici emisyonların da azaltılacağını belirtmişlerdir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde alternatif yakıt olarak Aseton-Bütanol-Etanol (ABE) karışimli yakıt kullanıldığında; motor gücü, ısıl verim, egzoz gaz sıcaklığı, özgül yakıt tüketiminin arttığı, NO<sub>x</sub>, CO ve kurum emisyonları azalırken, HC emisyonlarında bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Li ve ark. (2018), %15 izopropanol-bütanol-etanol ile %85 dizel (IBE15) ve %30 izopropanol-bütanol-etanol ile %70 dizel (IBE30) dizel yakıt karışımlarını common-rail bir dizel motorunda performans, emisyon ve yanma karakteristiklerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, karışım yakıtlar için yanmanın başlamasının oldukça gecikmeli olduğu görülmüştür. Fren ısı veriminin; IBE15 karışım yakıtı için daha yüksek olurken, IBE30 karışım yakıtının ise daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında; IBE15 ve IBE30 karışım yakıtlar için silindir içi tepe basıncı ve ısı salınım oranının önemli ölçüde arttığı, tüm yakıtlar için termik verimin ana enjeksiyon zamanlaması ilerledikçe önce arttığı ve daha sonra azaldığı gözlemlenmiştir. IBE15'in termik veriminin daha yüksek olduğu ve IBE30'un termik veriminin en düşük olduğu belirtilmiştir. Tüm yakıtların ana enjeksiyon zamanlaması ilerledikçe  $NO_x$  emisyonlarının azaldığı, ancak dizel yakıtı ile kıyaslandığında IBE15 ve IBE30 karışımları için  $NO_x$  emisyonları daha yüksek olurken, kurum emisyonlarının daha düşük olduğu görülmüştür. CO emisyonları için; IBE15 daha yüksek olurken, IBE30'un ise daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Motor performansı ve egzoz emisyonları açısından, dizel ve IBE15 için en uygun ana enjeksiyon zamanlaması üst ölü noktadan  $12^\circ$  krank açısı önce, IBE30 için üst ölü noktadan  $9^\circ$  krank açısı(CA) önce bulunmuştur. Sonuç olarak IBE15 ve IBE30 karışım yakıtları dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, karışım yakıtların kurum emisyonlarının daha düşük olduğu, HC ve  $NO_x$  emisyonlarının ise daha yüksek olduğu, IBE30 karışımı için CO emisyonlarının dizel yakıtından çok daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Li ve ark. (2018), seyreltik gazın motor performansı, yanma ve emisyonlar üzerindeki etkilerini değerlendirmek için IBE ve dizel yakıtı karışımlarının bir dizel motorunda kullanılmasıyla yaptıkları deneysel çalışmada ise; motor testini EGR benzeri çalışma koşullarını gerçekleştirmek ve düşük  $NO_x$  emisyonu elde etmek için motorun giriş portuna seyreltik bir gaz sistemi eklenmiş, EGR gazlarının ana bileşeni olan sıkıştırılmış azot ( $N_2$ ) seyreltik gaz olarak farklı oranlarda kullanılmıştır. Seyreltik gazın ( $N_2$ ) artmasıyla; dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, IBE15 ve IBE30 karışımlarının silindir içi basınç ve ısı salınım oranının artış gösterdiği, alev hızı ve yanma sürecinin yavaşladığı, yanma süresinin daha kısa olduğu ve ateşleme gecikmesinin uzadığı gözlemlenmiştir. Seyreltik gaz arttıkça tüm yakıtlar için termik verimin azaldığı, ancak

IBE15 ve IBE30 karışımlarının termik veriminin dizel yakıtından daha yüksek olduğu görülmüştür. Azot gazı arttıkça tüm yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin arttığı, IBE15 ve IBE30 karışımlarının özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtından daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Egzoz emisyonları açısından; seyreltik gazın artmasıyla tüm yakıtlar için HC ve CO emisyonları artış gösterirken, HC emisyonlarında IBE15 ve IBE30 karışımları dizel yakıtından daha yüksek olurken, CO emisyonları için, dizele kıyasla IBE15 karışımı daha yüksek, IBE30 karışımı ise daha düşük gözlenmiştir. Seyreltik gazın artmasıyla tüm yakıtlar için  $NO_x$  emisyonları önemli ölçüde azalırken, dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında IBE15 ve IBE30 karışımlarının  $NO_x$  emisyonları daha yüksek olmuştur. Kurum emisyonları dizel yakıtı ve IBE15 karışımında seyreltik gaz arttıkça önemli ölçüde artarken, IBE30 karışımında ise diğer yakıtlardan daha düşük olmaktadır. Pilot enjeksiyonun eklenmesiyle IBE karışımının  $NO_x$  emisyonlarını azaltabileceğini, ancak kurum emisyonlarının artmasına neden olduğunu, EGR benzeri çalışma koşulları oluşturmak için seyreltik gaz eklendiğinde, CO ve HC emisyonlarının arttığı, ancak kurum emisyonları üzerinde çok az etkisi olduğunu, uygun bir EGR oranı ile birleştirilmiş IBE30 karışımı,  $NO_x$  ve duman emisyonlarını aynı anda azaltabileceğini ifade etmişlerdir.

Lee ve ark. (2019), IBE'nin alternatif bir yakıt olarak potansiyelini değerlendirmek amacıyla IBE' nin dizel yakıtı ile karışımlarını sabit hacimli bir yanma odasında EGR seviyeleri altında yanma özelliklerini incelemek için üç farklı oksijen konsantrasyonu ve beş farklı ortam sıcaklığında inceledikleri deneysel çalışmada, IBE20 ve IBE40 karışımlarını I:B:E (3:6:1) hacimsel oranlarında karıştırmışlardır. IBE-dizel karışımlarının dizel yakıtına benzer yanma özelliklerini gösterdiğini, IBE20 ve IBE40 karışımlarının ısı salınım oranı ve yanma basıncı artışı, ortam sıcaklığının düşük olması hariç dizel yakıtıyla benzerlik gösterdiği, tüm yakıtların yüksek sıcaklıklarda ateşleme gecikmelerinin daha kısa ve benzer olduğu, IBE karışım miktarı arttığında düşük sıcaklık ve oksijen konsantrasyonlarında, yanmayı etkileyen ateşleme gecikmesinin daha da uzadığı gözlemlenmiştir. IBE miktarının artmasıyla karışımların doğal alev parlaklığının azaldığı, bu da dizel motorlardaki kurum emisyonlarını önemli ölçüde azaltacağını belirtmişlerdir.



Yüksek ortam sıcaklığında test edilen tüm yakıtların, püskürtülen sıvının boyutunun düşük ortam sıcaklığına göre çok daha küçük ve yakıtın penetrasyon uzunluğunun daha kısa olduğu, düşük oksijen konsantrasyonu koşullarında ise püskürtülen sıvının boyutunun daha büyük olduğunu gözlemlemişlerdir. IBE20 ve IBE40 karışımların penetrasyon (püskürtme) uzunluğu dizel yakıtına göre daha kısa olmasına rağmen, dizel yakıtı, IBE20 ve IBE40 karışımlarının yakıt püskürtmelerinin benzerlik gösterdiği, bu da IBE-dizel karışımlarının dizel yakıtından daha hızlı buharlaştığını belirtmişlerdir. IBE karışım oranının, yakıt özelliklerinde büyük farklılıklar olmasına rağmen, püskürtme ve yanma süreçleri üzerinde küçük bir etkisi olduğunu vurgulamışlardır.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde alternatif yakıt olarak izopropanol-bütanol-etanol (IBE) karışimli yakıt kullanıldığında; motor gücünün hafif düştüğü, ısı verim, egzoz gaz sıcaklığı ve özgül yakıt tüketiminin arttığı, egzoz emisyonları açısından, HC, NO<sub>x</sub> emisyonları artarken, CO ve is emisyonlarında azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, dizel motorlarında alkol yakıtlarının kullanımı sonucunda, motor gücü, motor momenti, egzoz gazı sıcaklığı azalmakta, özgül yakıt tüketimi ve ısı verim artmaktadır. Ayrıca CO, NO<sub>x</sub>, is emisyonlarında düşme, HC emisyonlarında ise artış görülmektedir. Genel olarak bakıldığında dizel motorlarda alkol kullanılmasının motor performansını azalttığını, fakat egzoz emisyonlarında olumlu iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

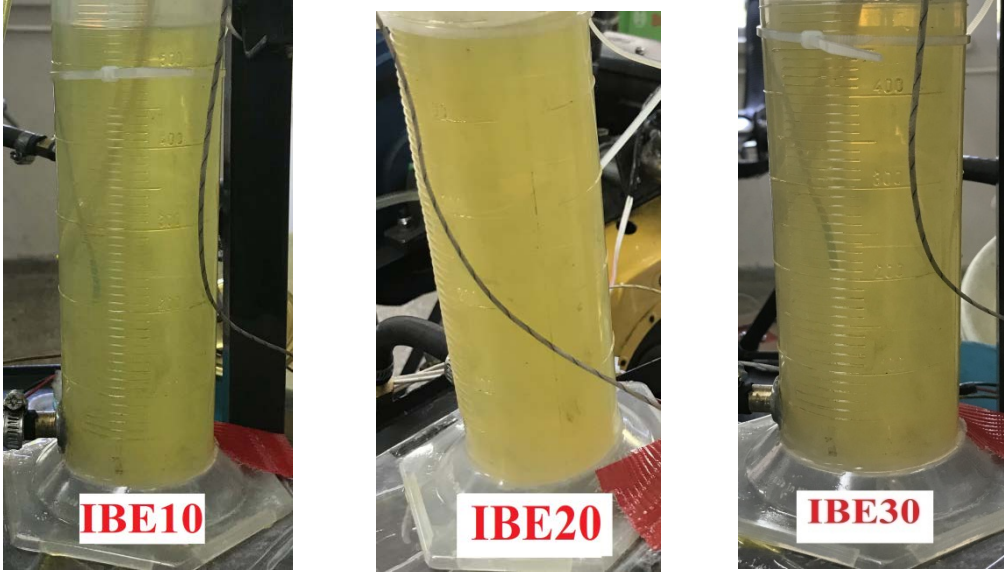
#### 3.1. Test Yakıtları ve Özellikleri

Bu çalışmada %99.5 saflıkta izo-propanol ve n-bütanol ile %99.8 saflıkta etanolün 3:6:1 (I:B:E) hacimsel oranlarından oluşan ve ticari olarak temin edilen IBE, yine yerel bir yakıt istasyonundan temin edilen ve hem referans yakıt olarak hem de IBE-dizel karışımları hazırlamak için kullanılan petrol kökenli dizel yakıtı ile atık yemeklik yağlardan üretiliş ticari biyodizel yakıt olarak kullanılmıştır. IBE %10, %20 ve %30 hacimsel oranlarında dizel ile karıştırılarak IBE10, IBE20 ve IBE30 alternatif yakıtları elde edilmiştir. Ayrıca, IBE30 yakıtı ile hacimsel olarak %20 ve %40 oranlarında biyodizel karışımları da hazırlanmıştır. Dolayısıyla deneylerde dizel (%100), IBE10 (%10 IBE + %90 Dizel), IBE20 (%20 IBE + %80 Dizel), IBE30 (%30 IBE + %70 Dizel), BD20 (%80 IBE30 + %20 Biyodizel) ve BD40 (%60 IBE30 + %40 Biyodizel) yakıt olarak kullanılmıştır. Test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri **Tablo 3.1**'de listelenmiştir.

**Tablo 3.1.** Test yakıtının özellikleri

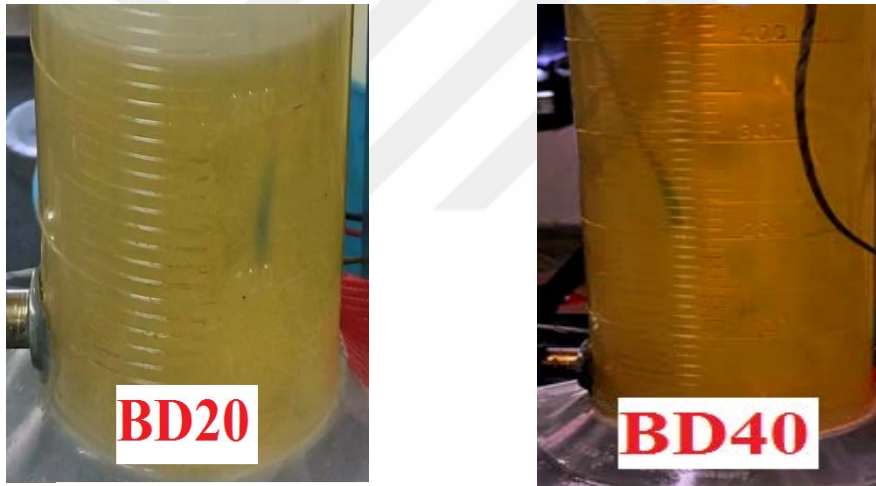
Özellik	Yakıtlar					
	Dizel	Biyodizel	Etanol	İzopropanol	Bütanol	IBE
Kimyasal formülü	C <sub>10</sub> -C <sub>22</sub>	C <sub>19</sub> H <sub>35,2</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	-
Setan sayısı	52.65	54	8	12	15.92	13.952
Oktan sayısı	-	-	100	112	87	95.8
Oksijen içeriği (%)	-	11	34.8	26.6	21.6	24.4
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	820-860	897	795	786	813	803.1
Alt ısı değeri (MJ/kg)	42.7	42.65	26.8	30.4	33.1	31.7
Kaynama noktası (°C)	282-338	190-280	78	84	118	-
Buharlaşma ısısı (kJ/kg)	260	429	904	758	582	667
Stokiyometrik Oranı	14.3	12.86	9.0	10.4	11.2	10.7
Otomatik ateşleme sıcaklığı (°C)	250		420	399	343	-

Hazırlanan IBE10, IBE20 ve IBE30 yakıtları **Şekil 3.1**'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. IBE karışım yakıtlar

BD20 ve BD40 karışım yakıtları da Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



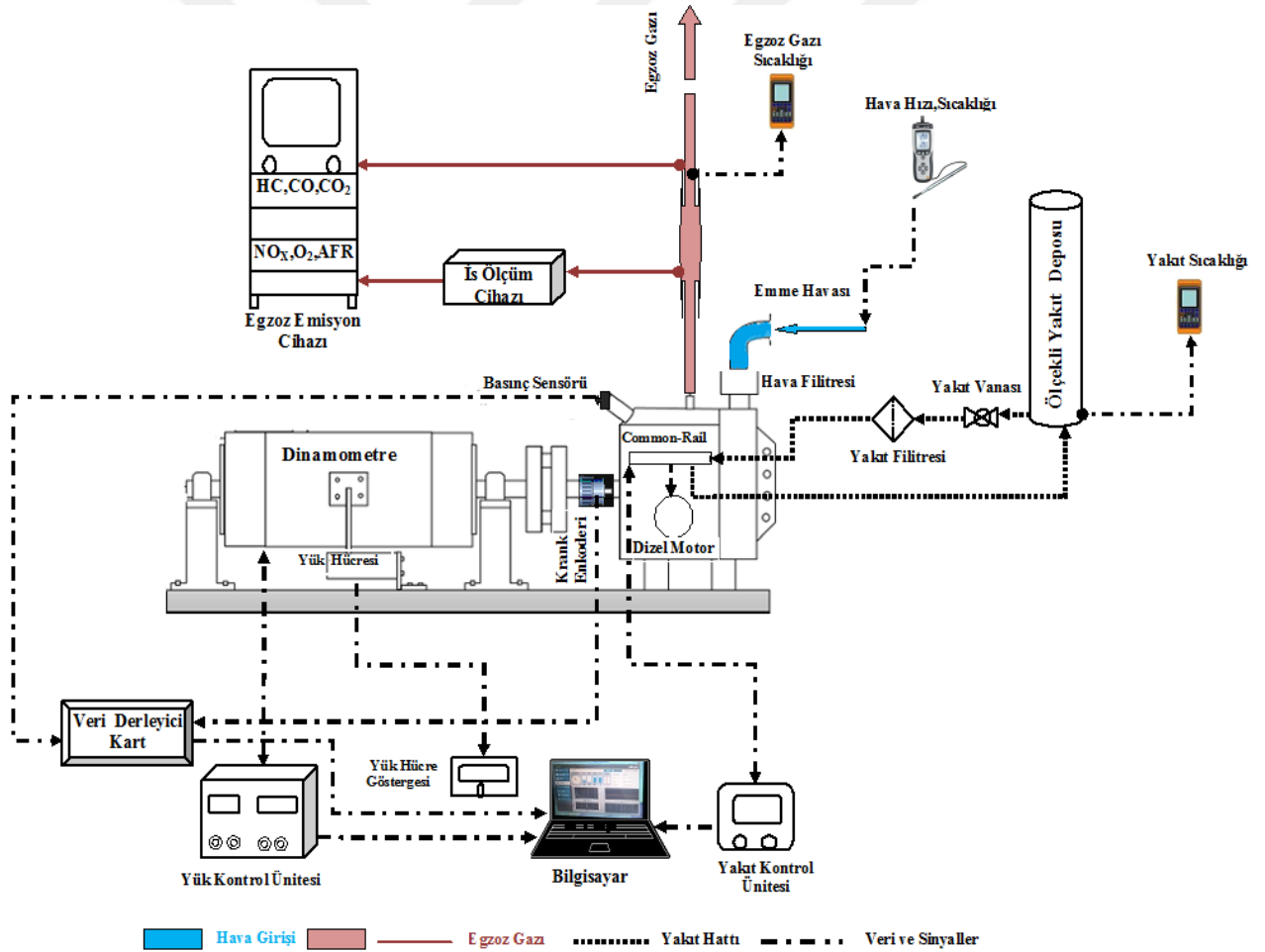
Şekil 3.2. IBE30+Biyodizel karışım yakıtları

### 3.2. Motor Deney Seti

Deneyler, Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı Motor Test Laboratuvarında yapılmıştır. Motor deneyleri Gensan GSA 271 S/4 model elektrikli dinamometrede gerçekleştirilmiştir. Deney setinde test motoru, egzoz emisyon ve duman ölçüm cihazı, dijital termometreler, kronometre, anemometre, elektrikli dinamometre, ölçekli yakıt deposu, yakıt kontrol ünitesi ve yük kontrol ünitesi bulunmaktadır. Şekil 3.3’te deney seti gösterilmektedir. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



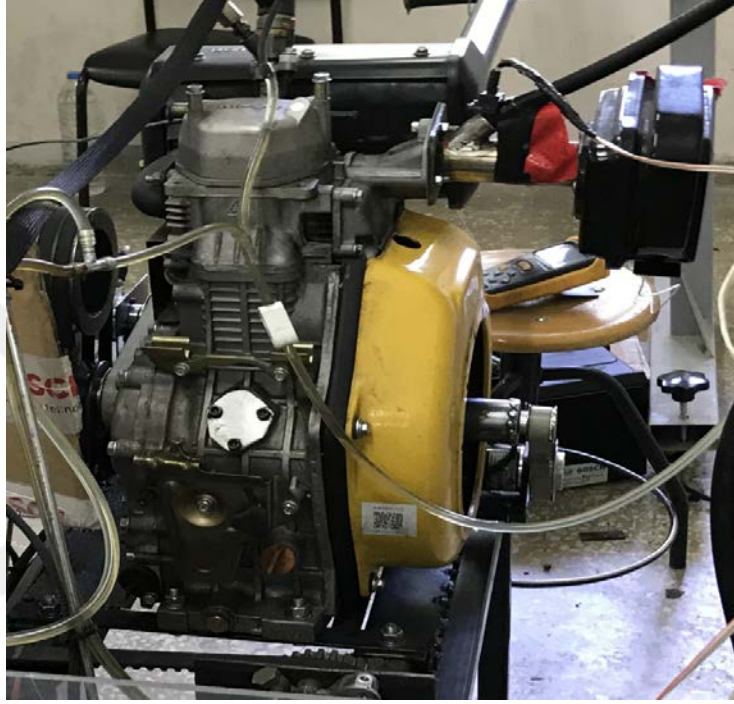
Şekil 3.3. Deney düzeneği



Şekil 3.4. Motor deney düzeneğinin şematik görünümü

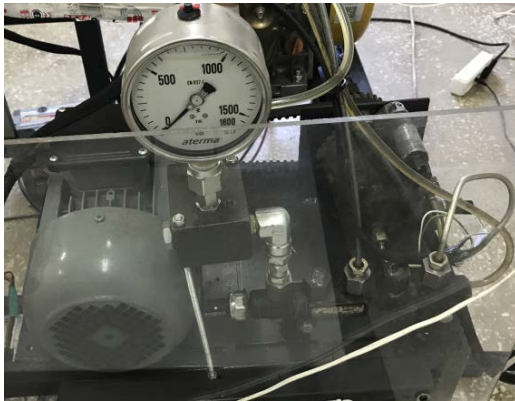
### 3.2.1. Deney motoru

Deneylerde motor olarak dört zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli, hava soğutmalı Kipor marka bir dizel motor kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan dizel motor Şekil 3.5'te gösterilmektedir. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.5. Deney motoru

Deney motorunda istenilen püskürtme basınçlarında çalışmalar yapmak için deney setine monte edilen common-rail yakıt sistemi Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6. Common-Rail yakıt sistemi

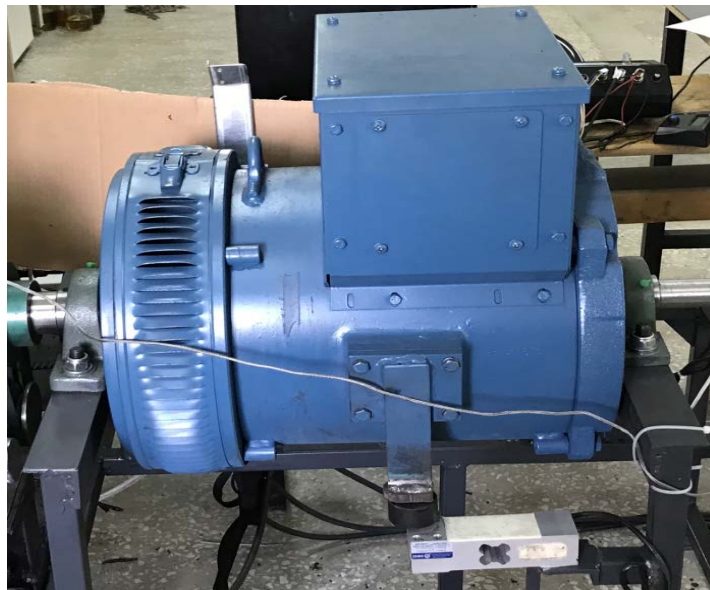


**Tablo 3.2.** Deney motorunun teknik özellikleri

Motor	Kipor Dizel Motor
Strok Sayısı	4 zamanlı
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	86 mm
Silindir Hacmi	406 cm <sup>3</sup>
Strok	70 mm
Sıkıştırma Oranı	18.1
Maksimum Motor Gücü	7.4 kW
Maksimum Tork	27.5 Nm
Maksimum Tork Devri	2400 dev/dk
Maksimum Motor Devri	3000 dev/dk
Yağlama Sistemi	Basınçlı ve çarpmalı yağlama
Karter Yağ Kapasitesi	1.65 Lt
Uygun Makine Yağı	SAE 10W30
Püskürtme Şekli	Direk enjeksiyonlu
Püskürtme Basıncı	300 bar
Yakıt Tankı Kapasitesi	5.5 Lt
Yakıt Tüketimi	1.8 Lt /Saat
Soğutma Sistemi	Basınçlı Hava ile Soğutma
Ağırlık	47 kg

### 3.2.2. Dinamometre ve yük hücresi (Load cell)

DeneySEL çalışmalarında motorun yüklenmesi için Gensan GSA 271 S/4 model 10 kW gücünde elektrikli dinamometre ve Zemic L6W marka yük hücresi kullanılmıştır. **Şekil 3.7**'de Elektrikli Dinamometre ve Yük Hücresi görülmektedir. **Tablo 3.3**'te ise Elektrikli Dinamometrenin ve Yük Hücresinin teknik özellikleri verilmiştir.



**Şekil 3.7.** Elektrikli Dinamometre ve Yük Hücresi

**Tablo 3.3.** Elektrikli Dinamometre ve Yük Hücresinin teknik özellikleri

Markası ve Modeli	GSA 271 S / 4 Elektrikli Dinometre		
Güç	10 kW (sürekli)		
Gerilim	400 volt		
Faz	3		
Akım	14.4 Amper		
Frekans	50Hz		
Devir	1500 d/dk		
Sıcaklık Artışı	125 °C		
Ortam Sıcaklığı	40 °C		
Koruma	IP		
İkaz	40 V dc 3 A dc		
İkaz Sistemi	Fırçasız		
Yükseklik	< 1000 m		
Ağırlık	110kg		
SAE	Çift Çıkışlı		
Markası ve Modeli	Zemic L6W Yük Hücresi		
Doğruluk sınıfı		OIML R60 C3	
Çıkış hassasiyeti (= FS)	mV/V	2.0 ± 0.2	
Maksimum kapasite (E <sub>max</sub> )	kg	50, 70, 100, 150, 200, 250, 300	500, 635
Maksimum yük hücresi aralığı sayısı (nLC)		3000	
Minimum LC doğrulama aralığının oranı $Y = E_{max} / v_{min}$		7000	10000
Birleşik hata	% FS	± 0.02	
Güvenli aşırı yükleme	of E <sub>max</sub>	120 %	
En son aşırı yükleme	of E <sub>max</sub>	150 %	
Sıfırlama dengesi	% FS	± 2.0	
Önerilen voltaj	V	5 ~ 12(DC)	
Maksimum voltaj	V	18( DC )	
Giriş direnci	Ω	406 ± 6	
Çıkış direnci	Ω	350 ± 3	
Yalıtım direnci	MΩ	≥ 5000 ( 50VDC )	
Dengelenmiş sıcaklık	°C	-10 ~+40	
Çalışma sıcaklığı	°C	-35 ~ +65	
Depolama sıcaklığı	°C	-40 ~ +70	
Eleman malzemesi		Alüminyum	
Sabitlenme için önerilen tork	N.m	M8: 25	
Giriş koruması (EN 60529'a göre)		IP65	

### 3.2.3. Yük kontrol nitesi

Dinamometre vasıtasıyla deney motoruna farklı kademedeki yüklemeler yapmak, dinamometre gerilimini ayarlamak ve kontrol etmek için Mervesan MS-305 DII Ayarlı Güç Kaynağı Test Cihazı ile motora ne kadar yük verildiğini ekranda görmek için dinamometre yk göstergesi kullanılmıştır. Test cihazı ve dinamometre yk göstergesi Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da verilmiştir. Tablo 3.4’te ise Ayarlı Güç Kaynağı Test Cihazının teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.8. Yük kontrol nitesi test cihazı



Şekil 3.9. Dinamometre yk göstergesi



Tablo 3.4. Ayarlı Güç Kaynağı Test Cihazının teknik özellikleri

Markası ve Modeli	<b>MS-305 DII</b>
Giriş ve Çalışma Voltajı	220 V/110V $\pm 10\%$ 50Hz/60Hz $\pm 2\text{Hz}$
Çıkış Voltajı	2x0 - 30V
Çıkış Akımı	2x0 - 5A
Sabit Çıkış	5V/3A
Akım Verimliliği	CV $\leq 1 \times 10^{-4} + 0.5\text{mV}$ CC $\leq 2 \times 10^{-3} + 6\text{mA}$
Yük Verimliliği	100 % Tam Yükte Çalışma CV $\leq 1 \times 10^{-4} + 2\text{mV}$ (çıkış akımı $\leq 3\text{A}$ ) $\leq 1 \times 10^{-4} + 5\text{mV}$ (çıkış akımı $> 3\text{A}$ ) CC $\leq 2 \times 10^{-3} + 6\text{mA}$
Dalga ve Gürültü	CV $\leq 0.5\text{mVr.m.s.}$ (çıkış akımı $\leq 3\text{A}$ ) $\leq 1.0\text{mVr.m.s.}$ (çıkış akımı $> 3\text{A}$ ) 0 CC $\leq 3\text{mAr.m.s.}$
Koruma	Akım limit koruması Kısa Devre / Aşırı Yük / Yüksek
Çevresel Koşullar	0-40°C Bağıl Nem $< 90\%$

### 3.2.4. Yakıt kontrol ünitesi

Deney motorunu istenilen motor devrinde, püskürtme basıncında ve püskürtme avansında ayarlamak ve kontrol etmek için kullanılan Yakıt kontrol ünitesi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Yakıt kontrol ünitesi

### 3.2.5. Egzoz gazı emisyon ölçüm cihazı

Deneylerde egzoz gaz emisyonu ve duman değerlerinin ölçümü için Bosch BEA 350 marka emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçüm cihazın probu egzoz borusuna

yerleştirilerek motor çalışma sıcaklığına geldikten sonra, yakıtların egzoz gazları ve duman ölçüm cihazı ile duman koyuluğu analiz edilerek cihazın okuduğu CO, HC, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, lambda (hava / yakıt oranı), O<sub>2</sub> ve duman değerleri yine cihaz üzerinde bulunan bir yazıcı ile çıktı şeklinde alınabilmektedir. Deney çalışmalarında kullanılan egzoz gazı emisyon analiz cihazı **Şekil 3.11**'de verilmiştir.



**Şekil 3.11.** Egzoz gazı emisyon analiz cihazı

Bosch BEA 350 egzoz gazı analiz cihazının teknik özellikleri **Tablo 3.5**'te görülmektedir.

**Tablo 3.5.** Egzoz emisyon gaz analiz cihazın teknik özellikleri

MARKA VE MODELİ	BOSCH BEA 350	
BİLEŞENLER	ÖLÇÜM ARALIĞI	HASSASİYETİ
CO	% 0.00 - 10.00 hacimsel	% 0.001 hacimsel
CO <sub>2</sub>	% 0.00 - 18.00 hacimsel	% 0.01 hacimsel
HC	0 - 9999 ppm hacimsel	1 ppm hacimsel
O <sub>2</sub>	% 0.00-22.00 hacimsel	% 0.01 hacimsel
NO <sub>x</sub>	0 - 5000 ppm hacimsel	1 ppm hacimsel

### 3.2.6. Duman koyuluğu (İs) ölçüm cihazı

Deney çalışmalarında kullanılan RT 430 duman koyuluğu (opasite) ölçüm cihazı **Şekil 3.12**'de verilmiştir.



**Şekil 3.12.** Egzoz gazı duman koyuluğu ölçüm cihazı

RT 430 duman koyuluğu (opasite) ölçüm cihazının teknik özellikleri **Tablo 3.6**'da görülmektedir.

**Tablo 3.6.** Duman koyuluğu (opasite) ölçüm cihazının teknik özellikleri

MARKA VE MODELİ	RTM 430	
BİLEŞENLER	ÖLÇÜM ARALIĞI	HASSASİYETİ
Bulanıklık Derecesi	0- 100 %	0.1 %
Emme Katsayısı	k 0 - 9,99 m <sup>-1</sup>	0.01 m <sup>-1</sup>

### 3.2.7. Sıcaklıkların ölçülmesi

Deney motorunun egzoz gaz sıcaklığını, yakıt sıcaklığını ve emme manifolduna giren hava sıcaklığını ölçmek için termokupl ve dijital göstergeler CEM DT- 612 dijital termometre kullanılmıştır. Termometrenin ölçüm ucu motorun egzoz çıkışına yerleştirilen termokupl, termometrenin gövdesi motor test düzeneği üzerine belli bir

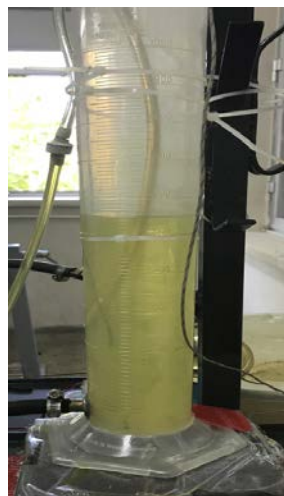
konumda sabitlenmiştir. Kullanılan termometrenin görüntüsü Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Dijital termometre

### 3.2.8. Ölçekli yakıt ölçüm tüpü ve kronometre

Deney çalışmalarında yakıt deposu olarak kullanılan 1000 ml ölçekli silindirik yakıt ölçüm tüpü kullanılmaktadır. Deneyde kullanılan motorun yakıt tüketim zamanını belirlemek için, ölçekli yakıt deposundaki yakıt belli bir süreyle Kenko KK-613D marka dijital kronometre yardımıyla ölçülerek belirlenmiştir. Kronometre 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilmektedir. Ölçekli yakıt ölçüm tüpü ile kronometre Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Ölçekli Yakıt Ölçüm Tüpü



Şekil 3.15. Kronometre

### 3.2.9. Anemometre

Deney motorunun emme havasının hızını, sıcaklığını ve debisinin ölçümleri için teleskobik, uzayan bir proba sahip, çok hassas ölçüm yapabilen CEM-DT 8880 Dijital anemometre kullanılmıştır. Anemometre cihazı **Şekil 3.16**'da gösterilmiştir. Dijital Anemometre cihazının teknik özellikleri **Tablo 3.7**' de görülmektedir.



**Şekil 3.16.** Dijital Anemometre

**Tablo 3.7.** Dijital Anemometrenin teknik özellikleri

MARKA VE MODELİ	CEM-DT 8880 Dijital Anemometre
Ölçüm aralığı	0,1 ile 25 m/s arası hava hızı 0 ile 500 °C arası sıcaklık 0 ile 99 999 m <sup>3</sup> /d hava debisi
Çözünürlük	0,01 m/s, 0,10 C, 1 m <sup>3</sup> /d
Ölçüm Birimi seçimi	m/s, ft/h, mph, knots, km/h, hız, m <sup>3</sup> /d, debi, °C sıcaklık ölçüm birimi seçebilme
Rüzgar Hızı	10 m/s - 30 m/s

### 3.3. Yanma Analiz Yazılım Sistemi

Yapılan deneylerde devir sayısı, silindir hacmi, silindir içi basınç, krank mili açısına bağlı olarak basınç değişimleri, ortalama indike basınç, ortalama efektif basınç, ısı salınımı ve vuruş yoğunluğu, güç değerleri tüm çalışma şartlarında görülebilmekte ve



yanma verilerinin analizleri için FEBRİS yanma analizi yazılımı kullanılmıştır. Deney motoruna krank açısı ve basınç sensörleri yerleştirilerek motor çalışmasına eş zamanlı ölçümler gerçekleştirilmiştir. Krank açısının konumunu belirleyen enkoder(krank açısı) sensörü ile silindir içerisine monte edilen basınç sensöründen alınan bilgiler veri kaydedici ile FEBRİS yazılımına aktarılmaktadır. Krank enkoderi ve basınç sensörü **Şekil 3.17.** ve **3.18'**de verilmiştir.

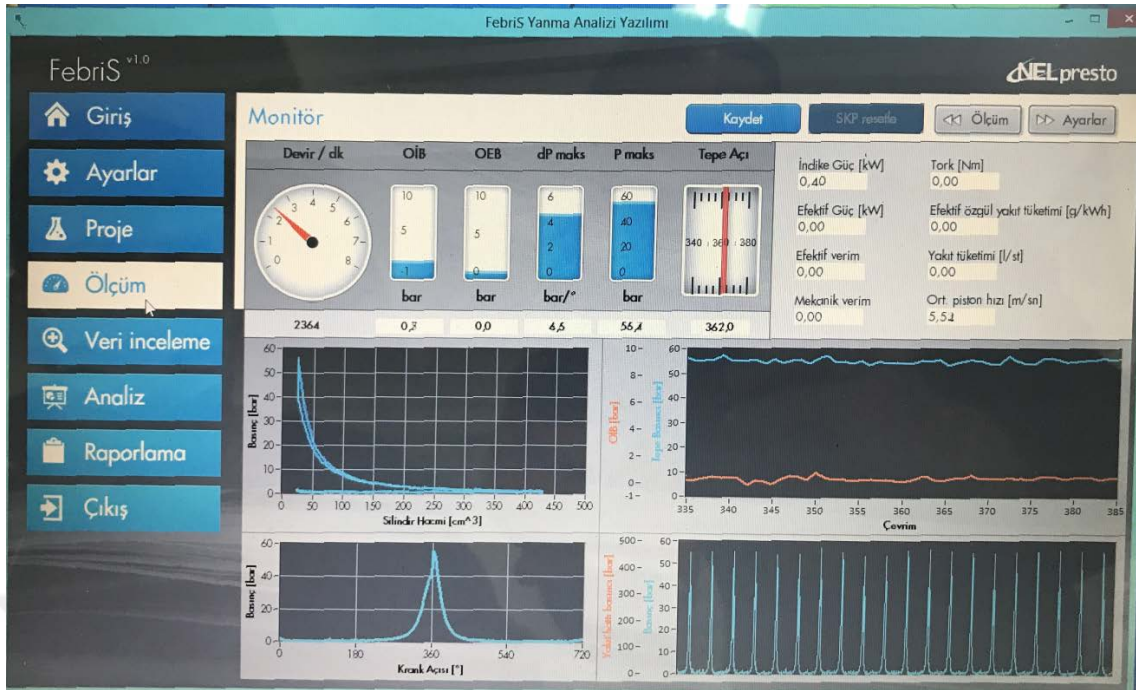


**Şekil 3.17.** Krank Enkoderi



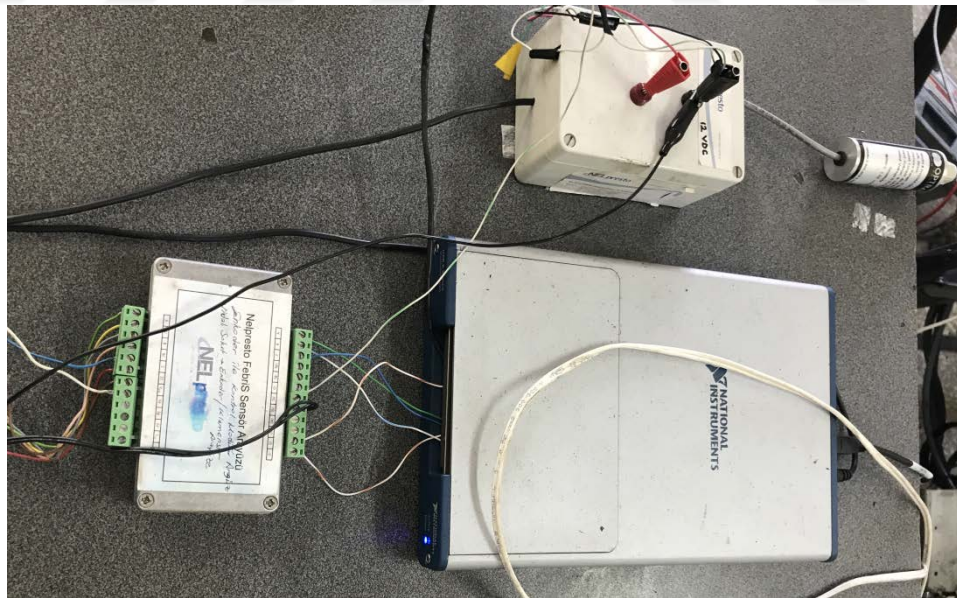
**Şekil 3.18.** Basınç Sensörü

Krank açısı sensörü motorun her çevrimi için bir sinyal olarak veri derleyici karta gönderen 360 sinyal sıklığında Kübler marka bir sensördür. Bu sensör (enkoder) bir kayış kasnak sistemiyle motor krank mili çıkışına monte edilmiştir. Silindir içinde bulunan basınç sensörü her 1° lik krank açısını 100 çevrim ortalaması olarak toplamaktadır. Basınç sensörü motorun kızdırma bujisine monte edilmiştir. Krank ve basınç sensörlerinden elde edilen veriler, veri derleyici kartta toplanarak FEBRİS yanma analizi yazılımı ile analiz edilerek anlık olarak bilgisayara aktarılıp kaydedilmekte ve bilgisayar ekranında bu çalışmalar anlık olarak takip edilmektedir. FEBRİS yazılımı ile istenilen veriler alınabilmekte ve grafikler haline dönüştürebilmektedir. FEBRİS yanma analiz yazılımının görüntüsü **Şekil 3.19'**da verilmiştir.



Şekil 3.19. Febris yanma analizi yazılımı

Krank açısı sensörü ile silindir basınç sensöründen alınan verilerin febris sensör arayüzü yardımıyla veri derleyici kartta toplanması Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.20. Veri derleyici kart ve febris sensör arayüzü

### 3.4. Yöntem

Motor deneylerine başlamadan önce deney setinin ve bağlı cihazların genel fiziki durumları, elektrik bağlantıları kontrol edildikten sonra motor yağının değişimi, hava filtresinin temizlenmesi gibi bir takım motor bakımları yapıldıktan sonra deneylere başlanmıştır. Testler için gerekli yardımcı aparatlar yerlerine yerleştirilmiştir. Deneylere başlamadan önce motorun ideal çalışma koşullarına, kararlı hale gelmesini sağlamak için dizel yakıtı ile 15 dk süre çalıştırılarak çalışma sıcaklığına ulaşması sağlanmıştır. Motor çalışma sıcaklığına geldikten sonra motora tam gaz verilerek dinamometre ile yükleme yapılmıştır. Motor çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra deney motoru dizel yakıtı ile çalıştırılıp ilk ölçümler alındıktan sonra IBE karışım yakıtları ile deneylere başlanmıştır. Dizel yakıtı baz alınarak ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Her bir test yakıtı için 2400 sabit motor devrinde, maksimum tork değerinin %20, %40 ve %60' na tekabül eden torklarda üç farklı kademedede 5 Nm, 10 Nm, 15 Nm yüklemeler yapılarak egzoz emisyonları ve yanma karakteristiklerine etkisi incelenerek deney yakıtları test edilmiştir. Motorun kararlı çalışma şartlarında ölçümler yapılmıştır. Bir yakıt türü için ölçümler tamamlandığında her test sonrasında yeni bir deneye başlamadan önce motor durdurulup, soğuması ve dinlenmesi için belirli bir süreden sonra diğer karışım yakıt türü ile çalışmaya geçilmiştir. Böylece motor sıcaklığı ortam sıcaklığında iken deneylere başlanmıştır. Bir önceki deneyde test edilen yakıtın tamamen tükenmesi için motor duruncaya kadar çalıştırılmaya devam edilmiş ve her test sonrası yakıt deposu boşaltılmış, yakıt borularındaki yakıt motordaki pompa ile boşaltıldıktan sonra yakıt deposu test edilecek yeni yakıt ile doldurularak yeni deneylere geçilmiştir.

Bu tez çalışması dört zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı, common-rail yakıt püskürtme sistemine sahip bir dizel motorunda 6 farklı yakıt kullanılarak, egzoz emisyonları ve yanma karakteristiklerine etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar 4 aşamadan oluşmaktadır. Herbir aşamada her yakıt için CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>, duman yoğunluğu, emme havası sıcaklığı, egzoz gazı sıcaklığı, yakıt sıcaklığı, emme havası hızı, silindir içi gaz basıncı ve krank mili konumu ölçümleri yapılmıştır. Bu değerlerden faydalanarak ısı salınım oranı ve vuruntu yoğunluğu değerleri elde edilmiştir.

Birinci aşamada, tek silindirli bir dizel motorunda, 2400 sabit motor devrinde , 300 bar enjeksiyon basıncında, motorun püskürtme avansı krank mili açısı cinsinden



19°KMA ÜÖNÖ referans alınarak, maksimum tork değerinin %20, %40 ve %60'ına tekabül eden torklarda üç farklı kademede 5 Nm, 10 Nm, 15 Nm üç farklı yükte saf dizel yakıtı (%100) kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

İkinci aşamada, aynı dizel motorunda, motorda herhangi bir yapısal değişiklik yapılmadan IBE karışım yakıtların testleri gerçekleştirilmiştir. 2400 sabit motor devrinde, 300 bar enjeksiyon basıncında, 19°KMA ÜÖNÖ avans değerinde, IBE10, IBE20 ve IBE30 yakıt karışımları maksimum tork değerinin %20, %40 ve %60'ına tekabül eden torklarda üç farklı kademede 5 Nm, 10 Nm, 15 Nm üç farklı yükte ayrı olarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

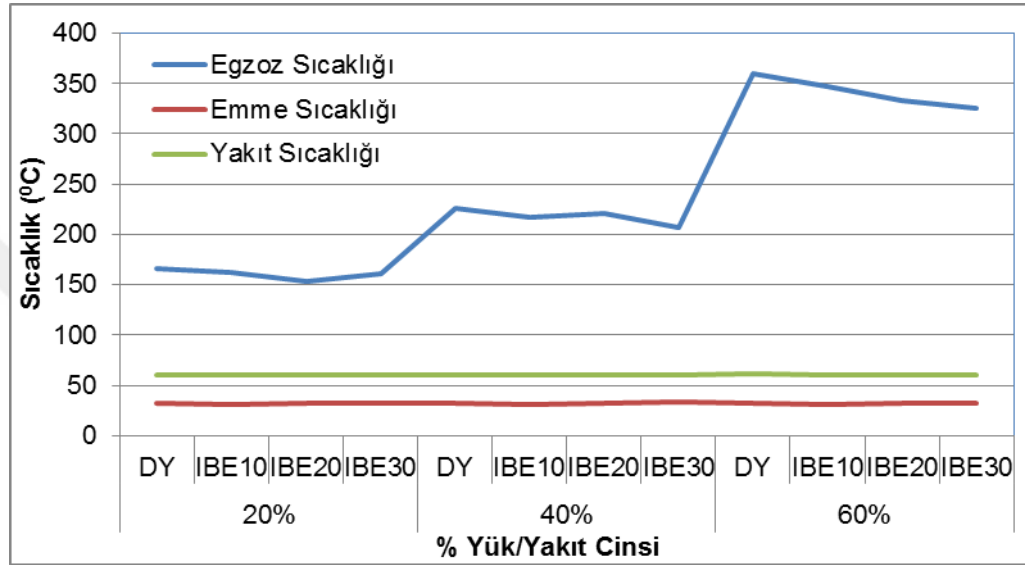
Üçüncü aşamada, aynı dizel motorunda, motorda herhangi bir yapısal değişiklik yapılmadan IBE30 karışım yakıtın testleri gerçekleştirilmiştir. 2400 sabit motor devrinde, 300 bar enjeksiyon basıncında, maksimum tork değerinin %60'ına tekabül eden torkda 15 Nm sabit yükte, 19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alınarak, 15°KMA, 17°KMA, 19°KMA, 21°KMA ve 23°KMA farklı püskürtme avans değerlerinde (enjeksiyon zamanı) deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Dördüncü aşamada, aynı dizel motorunda, motorda herhangi bir yapısal değişiklik yapılmadan %80 IBE30 + %20 Biyodizel ve %60 IBE30 + %40 Biyodizel BD20 ve BD40 karışım yakıtların testleri gerçekleştirilmiştir. 2400 sabit motor devrinde, 300 bar enjeksiyon basıncında, maksimum tork değerinin %60'ına tekabül eden torkda 15 Nm sabit yükte ve 19°KMA püskürtme avansında (enjeksiyon zamanı) deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Motor Performans Sonuçlarının Değerlendirilmesi

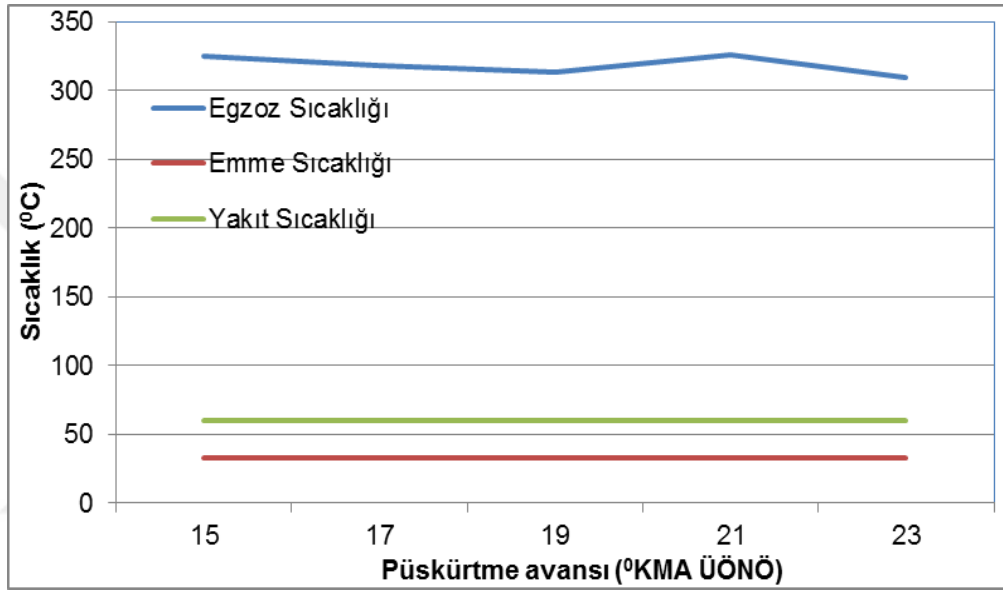
Şekil 4.1’de %20 ,%40 ve % 60 farklı yüklerde test yakıtlarının yanma sonucu egzoz manifoldundan çıkan gazların sıcaklıkları grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Yük ve yakıt cinsinin sıcaklıklara bağlı değişimi

Şekilde görüldüğü gibi yükün artmasıyla birlikte tüm test yakıtlarında egzoz sıcaklıkları artış göstermiştir. Tüm yüklerde saf dizel yakıtının egzoz sıcaklıkları karışım yakıtlardan daima yüksek gerçekleşmiştir. IBE karışımları ile saf dizel yakıtının egzoz gazı sıcaklıkları karşılaştırıldığında; %20 yük durumunda, en yüksek egzoz gazı sıcaklık değeri saf dizel yakıtında 166.75 °C olarak gerçekleşmiştir. En düşük egzoz gazı sıcaklık değeri ise IBE20 yakıtında 153.40 °C olarak ölçülmüştür. Karışım yakıtların egzoz gazı sıcaklık değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %2.40, %8 ve %3.60 oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. %40 yük durumunda, en yüksek egzoz gazı sıcaklık değeri saf dizel yakıtı ile 225.50 °C olarak gerçekleşmiştir. En düşük egzoz gazı sıcaklık değeri ise IBE30 yakıtında 207 °C olarak ölçülmüştür. Karışım yakıtların egzoz gazı sıcaklık değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %3.55, %1.81 ve %8.20 oranlarında egzoz gazı sıcaklıklarında azalmalar meydana gelmiştir. %60 yük durumunda ise, en yüksek egzoz

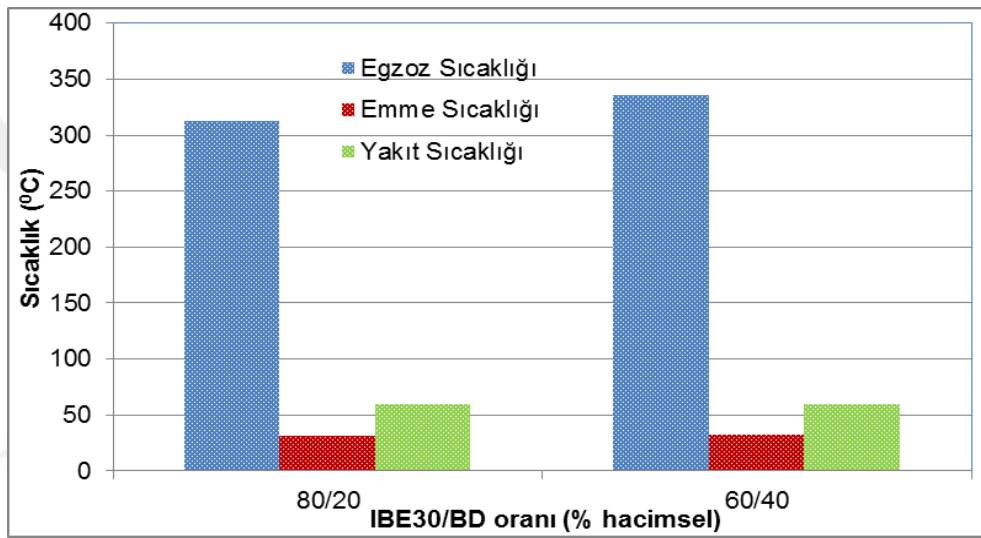
gazı sıcaklık değeri saf dizel yakıtında 359.50 °C olarak gerçekleşmiştir. En düşük egzoz gazı sıcaklık değeri ise IBE30 yakıtında 325 °C olarak gözlemlenmiştir. Karışım yakıtların egzoz gazı sıcaklık değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %3.34, %7.37 ve %9.60 oranlarında egzoz gazı sıcaklıklarında azalmalar meydana gelmiştir. Tüm yüklerde ortalama egzoz gazı sıcaklıkları ise IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için saf dizel yakıtına göre %3.19, %5.85 ve %7.85 oranında daha düşük gerçekleşmiştir. IBE karışımların kullanılmasıyla egzoz gazı sıcaklıklarında azalmalar gerçekleşmiştir.



Şekil 4.2. Püskürtme avansının sıcaklıklara bağlı değişimi

Şekilde 4.2’de püskürtme avansının egzoz gazı sıcaklıklarına göre değişimi verilmiştir. Püskürtme avansı açısından IBE30 ve dizel yakıtının egzoz gazı sıcaklıkları incelendiğinde, en düşük egzoz gazı sıcaklığı IBE30-23°KMA ÜÖNÖ 310 °C olarak gerçekleşirken, en yüksek egzoz gazı sıcaklığı dizel yakıtında 19°KMA ÜÖNÖ 359.50 °C olarak gözlemlenmiştir. Dizel yakıtı için 19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alındığında, püskürtme avansının azaltılması veya artırılması durumunda egzoz sıcaklıklarında azalmalar gözlenmiştir. IBE30 yakıtının püskürtme avansları dizel yakıtının standart avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-15°KMA, IBE30-17°KMA, IBE30-19°KMA, IBE30-21°KMA ve IBE30-23°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında sırasıyla %9.54, %11.54, %12.84, %9.25 ve %13.77 oranında egzoz gazı sıcaklıklarında azalmalar gerçekleşmiştir. IBE30 karışım yakıtının 19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alındığında, püskürtme avansının azaltılması

durumunda egzoz sıcaklıklarında artış gözlenmiştir. Püskürtme avansının artırılması durumunda ise önce bir artış gerçekleşmiş, daha sonra egzoz gazı sıcaklıklarında azalma gözlemlenmiştir. IBE30 yakıtının egzoz gazı sıcaklık değeri ise referans avans olan 19°KMA ÜÖNÖ 313.33 °C olarak gerçekleşmiştir. Püskürtme avansları IBE30 yakıtının standart avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-15°KMA, IBE30-17°KMA ve IBE30-21°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında sırasıyla %3.79, %1.49 ve %4.12 oranında egzoz gazı sıcaklıklarında artış gerçekleşirken, IBE30-23°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansında ise % 1.06 oranında azalma meydana gelmiştir. Dizel-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansında ise % 14.74 oranında artış gerçekleşmiştir.



Şekil 4.3. IBE30 + Biyodizel karışımlarının sıcaklığa bağlı değişimi

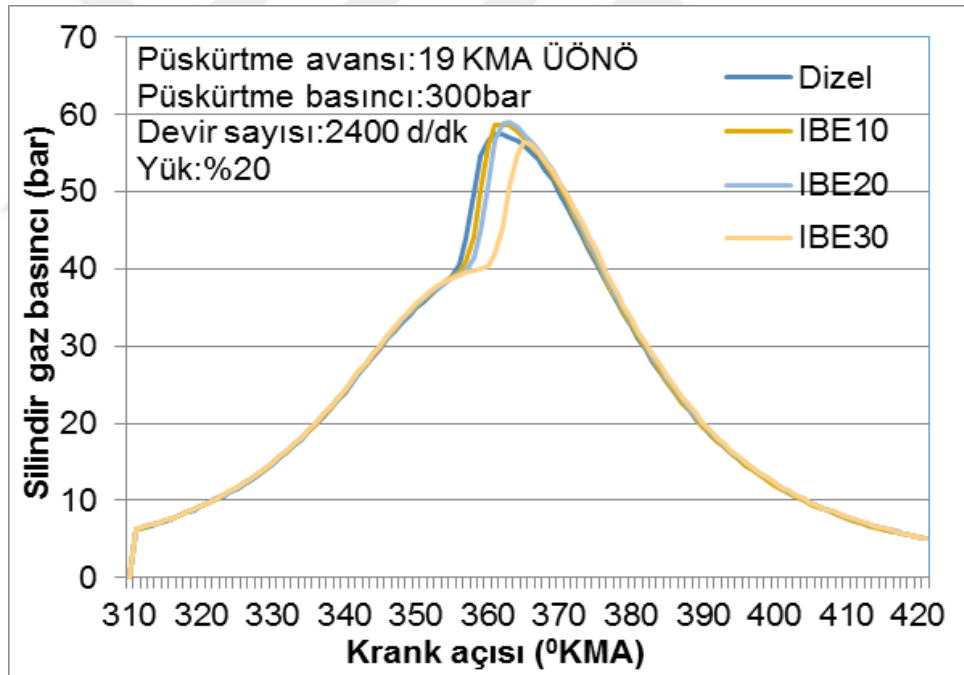
Şekil 4.3’de IBE30 + Biyodizel karışımları için sıcaklıklardaki değişim verilmiştir. IBE30 karışım yakıtı içerisine ilave edilen biyodizel oranları açısından egzoz gazı sıcaklıkları incelendiğinde; IBE30 + Biyodizel karışımları saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; biyodizel karışım oranının artırılması ve azaltılması durumunda egzoz sıcaklıklarında azalmalar gözlenmiştir. Biyodizel karışım oranları kıyaslandığında ise, biyodizel karışım oranının artmasıyla egzoz gazı sıcaklıklarında artış gerçekleşmiştir. IBE30 karışım yakıtı içerisine %20 oranında biyodizel eklendiğinde yani BD20 yakıtı için egzoz gazı sıcaklık değeri 313 °C olarak gerçekleşirken, %40 oranında biyodizel eklendiğinde ise BD40 yakıtı için egzoz gazı sıcaklık değeri 336 °C olarak gözlemlenmiştir. Biyodizel oranları karşılaştırıldığında, %40 oranında biyodizel eklendiğinde BD40 yakıtı için %7.35 oranında bir artış gerçekleşmiştir. IBE30 + biyodizel karışımlarının egzoz gazı sıcaklık değerleri saf dizel

yakıtı ile karşılaştırıldığında; IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtları için sırasıyla %9.60, %12.93 ve %6.54 oranında egzoz gazı sıcaklığında azalmalar meydana gelmiştir. IBE30 + Biyodizel karışımlarının kullanımıyla egzoz gazı sıcaklıkları azalma göstermiştir.

## 4.2.Yanma Analizleri Sonuçlarının Değerlendirilmesi

### 4.2.1.Silindir içi basınç

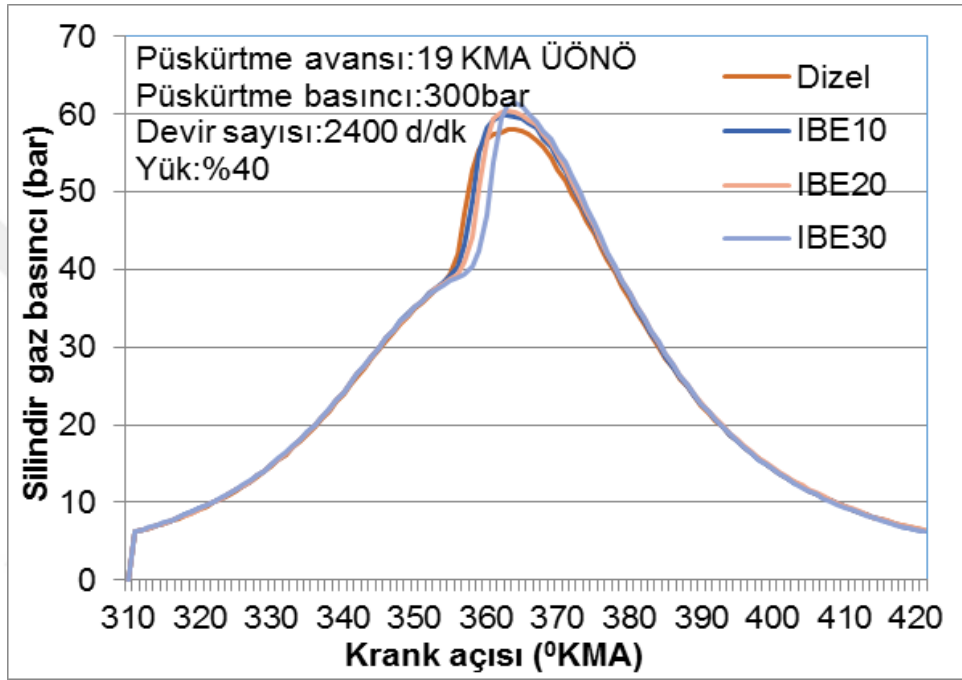
Test yakıtlarının maksimum tork değerinin %20, %40 ve %60'na tekabül eden torklarda üç farklı kademedede 5 Nm, 10 Nm, 15 Nm üç farklı yükte silindir gaz basıncının krank mili açısı ile değişimi sırası ile Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da sırasıyla verilmiştir. %20, %40 ve %60 yük durumlarındaki maksimum silindir içi basınç değerleri ÜÖN'dan sonra 361° KMA ile 365° KMA arası meydana gelmiştir.



Şekil 4.4. %20 Yükte IBE yakıtların silindir gaz basıncının krank açısına bağlı değişimi

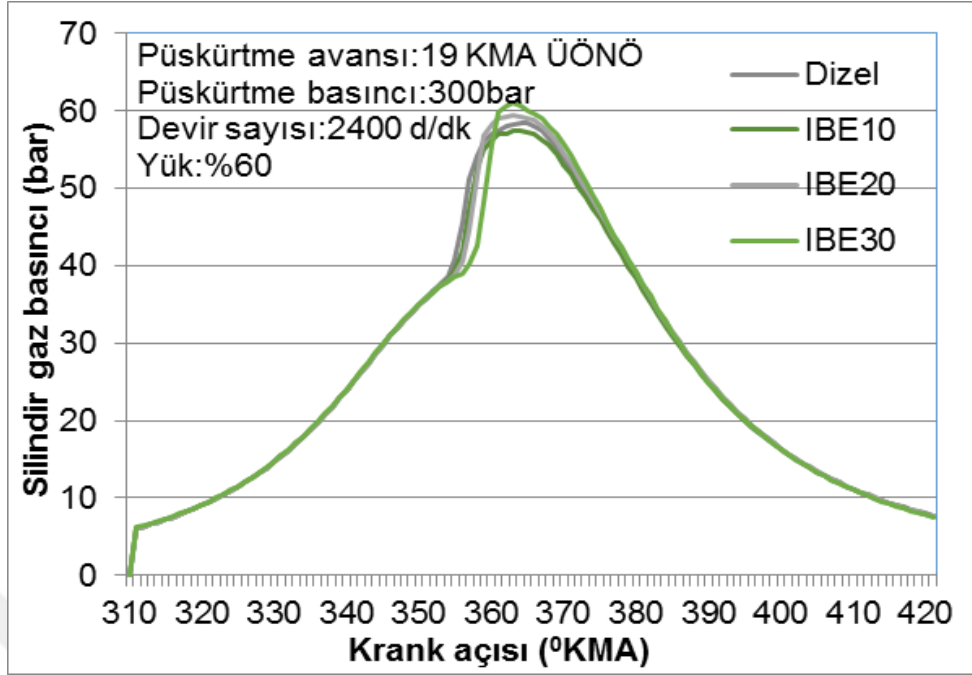
Şekil 4.4'te %20 yükte, 19°KMA, 2400 d/dk sabit hızda, IBE karışım yakıtlarının silindir gaz basıncının krank açısına göre değişimi verilmiştir. Grafığe göre %20 yük durumuna bakıldığında en çok saf dizel yakıtı ile IBE20 karışım yakıtı arasında bir basınç değeri görülmektedir. Maksimum silindir içi gaz basınç değerleri ÜÖN'dan sonra gerçekleşmiştir. %20 yükte, en yüksek maksimum silindir gaz basıncı IBE20

yakıtında ÜÖN'dan 3° sonra 59.01 bar olarak gözlenirken, en düşük maksimum silindir gaz basıncı IBE30 yakıtında ÜÖN'dan 5° sonra 56.43 bar olarak gerçekleşmiştir. Dizel yakıtında ise ÜÖN'dan 1° sonra 57.40 bar olarak gerçekleşmiştir. Karışım yakıtların maksimum silindir gaz basınçları dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE30 karışım yakıtı için %1.69 oranında silindir gaz basıncında azalma olurken, IBE10 ve IBE20 karışım yakıtları için %2.33 ve %2.80 oranında silindir gaz basınç artışları gerçekleşmiştir.



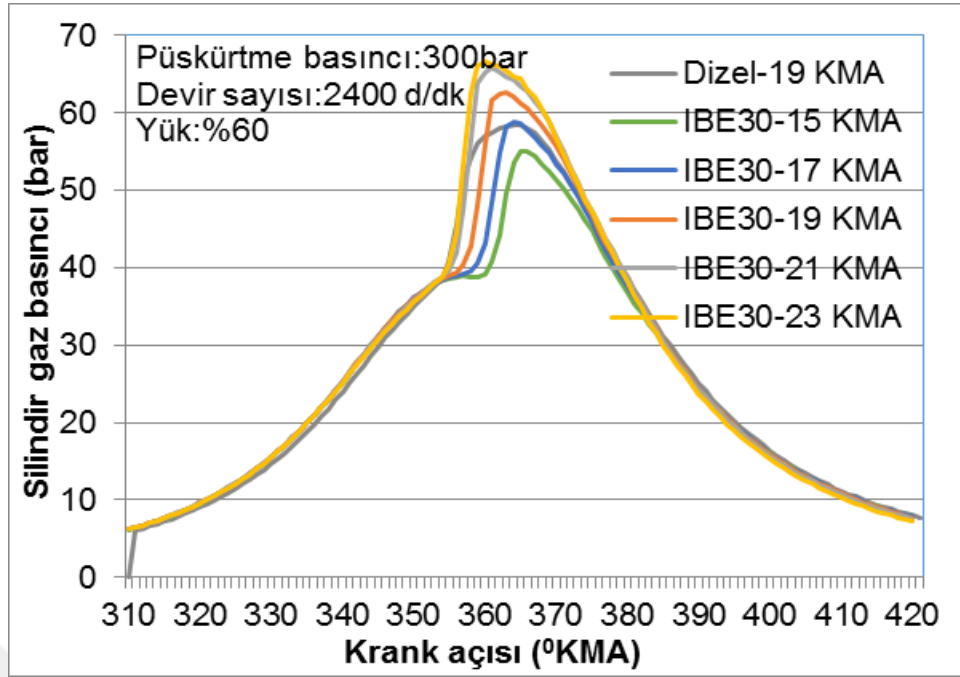
Şekil 4.5. %40 Yükte IBE yakıtların silindir gaz basıncının krank açısına bağlı değişimi

Şekil 4.5'te %40 yükte, 19°KMA, 2400 d/dk sabit hızda, IBE yakıtların silindir gaz basıncının krank açısına göre değişimi verilmiştir. %40 yük durumuna bakıldığında en çok saf dizel yakıtı ile IBE30 karışım yakıtı arasında bir basınç değeri görülmektedir. Motor yüklendikçe silindir içi basınç değerlerinin arttığı görülmektedir. Maksimum silindir içi gaz basınç değerleri ÜÖN'dan sonra meydana gelmiştir. %40 yükte gerçekleşen en yüksek maksimum silindir gaz basıncı IBE30 yakıtında ÜÖN'dan 4° sonra 61.39 bar basınçta gerçekleşirken, en düşük maksimum silindir gaz basıncı dizel yakıtında ÜÖN'dan 4° sonra 58.06 bar olarak gözlemlenmiştir. Karışım yakıtların maksimum silindir gaz basınçları dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %3.01, %4.06 ve %5.74 oranında silindir gaz basınç artışları gerçekleşmiştir.



Şekil 4.6. %60 Yükte IBE yakıtların silindir gaz basıncının krank açısına bağlı değişimi

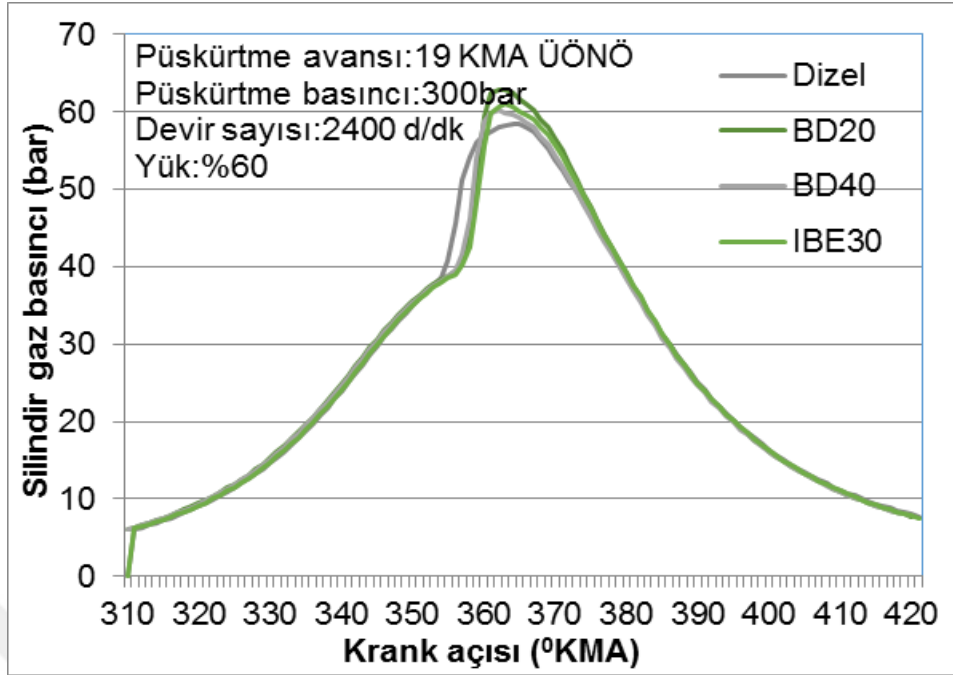
Şekil 4.6'da %60 yükte, 19°KMA 2400 d/dk sabit hızda, IBE yakıtların silindir gaz basıncının krank açısına bağlı değişimi verilmiştir. %60 yük durumunda ise en fazla IBE30 ile IBE10 karışım yakıtları arasında bir basınç değeri görülmektedir. Motor yüklendikçe silindir içi gaz basınç değerlerinde artış görülmektedir. Maksimum silindir içi gaz basınç değerleri ÜÖN'dan sonra gerçekleşmiştir. %60 yükte en yüksek maksimum silindir gaz basıncı IBE30 karışım yakıtında 60.98 bar basınçla ÜÖN'dan 3° sonra gerçekleşirken, en düşük maksimum silindir gaz basıncı IBE10 karışım yakıtında 57.52 bar basınçla ÜÖN'dan 3° sonra meydana gelmiştir. Dizel yakıtının maksimum silindir gaz basıncı ise ÜÖN'dan 4° sonra 58.50 bar basınç olarak gerçekleşmiştir. Karışım yakıtların maksimum silindir gaz basınçları dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10 karışım yakıtı için %1.68 oranında silindir gaz basıncında azalma olurken, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için %1.47 ve %4.24 oranında silindir gaz basınç artışları gerçekleşmiştir. Tüm yüklerde ortalama maksimum silindir gaz basınçları saf dizel yakıtına göre, IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için %1.21, %2.78 ve %2.78 oranında silindir gaz basınç artışları gerçekleşmiştir.



Şekil 4.7. %60 yükte IBE30-dizel yakıt karışımının farklı avans açılarna göre silindir gaz basıncının krank açısına bağlı değişimi

Şekil 4.7' de %60 yükte, 2400 d/dk sabit hızda, farklı püskürtme avanslarında IBE yakıtların silindir gaz basıncının krank açısına bağlı değişimi verilmiştir. Püskürtme avansları incelendiğinde, IBE30 karışım yakıtının IBE30-15°KMA ve IBE30-23°KMA avans açıları arasında fazla bir basınç değeri görülmektedir. Püskürtme avansının artmasıyla silindir gaz basınç değerlerinin arttığı görülmektedir. En yüksek maksimum silindir içi gaz basıncı IBE30-23°KMA püskürtme avansında 66.65 bar basınçla Ü.Ö.N.'a meydana gelirken, en düşük maksimum silindir gaz basıncı IBE30-15°KMA püskürtme avansında ÜÖN'dan 6° sonra 55.08 bar olarak gerçekleşmiştir. Dizel yakıtının maksimum silindir gaz basıncı ise Dizel-19°KMA püskürtme avansında ÜÖN'dan 4° sonra 58.50 bar olarak gerçekleşmiştir. Karışım yakıtların püskürtme avansları dizel yakıtının standart avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-15°KMA püskürtme avansında %5.85 oranında silindir gaz basıncında azalma olurken, IBE30-17°KMA, IBE30-19°KMA, IBE30-21°KMA ve IBE30-23°KMA püskürtme avansları için sırasıyla %0.55, %7.16, %12.50 ve %13.93 oranında silindir gaz basıncı artışları gerçekleşmiştir.





Şekil 4.8. %60 yükte IBE30+Biyodizel karışımlarının silindir gaz basıncının krank açısına bağlı değişimi

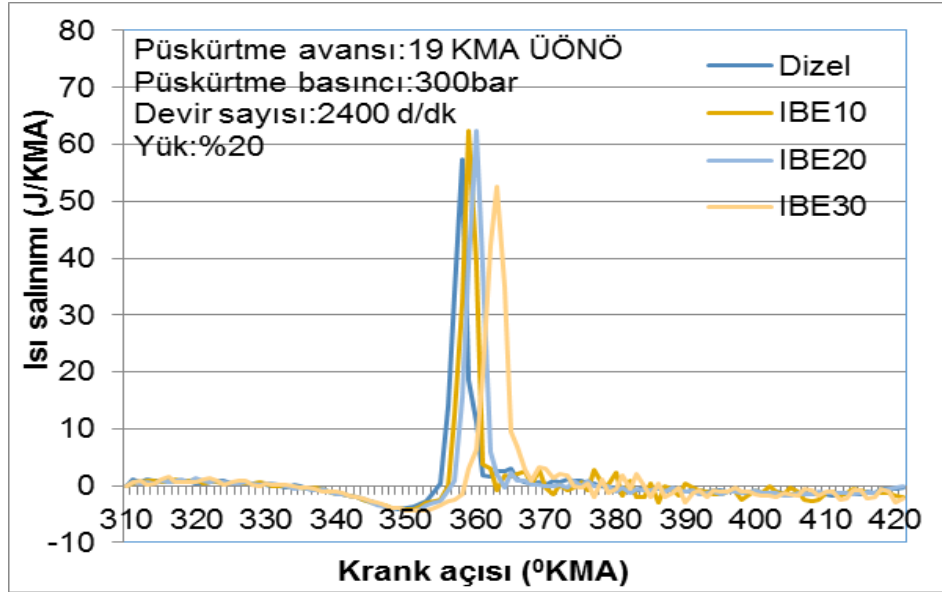
Şekil 4.8’de %60 yükte, 2400 d/dk sabit hızda, IBE30 + Biyodizel karışımlarının silindir gaz basıncının krank açısına bağlı değişimi verilmiştir. Motor yüklendiğinde silindir içi gaz basınç değerlerinin arttığı görülmektedir. Maksimum silindir içi gaz basınç değerleri ÜÖN’den sonra meydana gelmiştir. En yüksek maksimum silindir gaz basıncı BD20 karışım yakıtında 62.94 bar basınçla ÜÖN’den 3° sonra gerçekleşirken, en düşük maksimum silindir gaz basıncı ise dizel yakıtında 58.50 bar basınçla ÜÖN’den 4° sonra meydana gelmiştir. Karışım yakıtların maksimum silindir gaz basınçları dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtları için sırasıyla %4.24, %7.59 ve %3.06 oranında silindir gaz basınç artışları gerçekleşmiştir.

Grafiklerde de görüldüğü gibi tüm test yakıtları için %20, %40 ve %60 yüklerde krank açısına göre silindir içi gaz basınçları incelendiğinde, tüm yüklerde ortalama maksimum silindir gaz basınçları saf dizel yakıtına göre, IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için %1.21, %2.78 ve %2.78 oranında silindir gaz basıncında artışlar gerçekleşmiştir. Her çevrimin hemen hemen bir birinden farklı olduğu görülmektedir. Tüm yakıtlar için silindir içi gaz basınçları ÜÖN’den önce basınç artış hızının çok azaldığı noktada yakıtın silindire püskürtülmesinden sonra, yakıtın ortamdaki ısıyla buharlaşmasından dolayı silindir basıncında bir azalma meydana gelmiş ve yaklaşık olarak ÜÖN’den önce 345°KMA ile 355°KMA arasında tutuşma gecikmesi

gerçekleştiği varsayılmaktadır. Her bir çevrim için krank mili açısına göre basınç grafikleri incelendiğinde birbirini takip eden çevrimlerin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Çevrimsel farklar olarak adlandırılan bu durumun minimum miktarda tutulması deneysel çalışmalarda motor gücünde artış ve egzoz emisyonlarında olumlu sonuçlar alınmasını sağlayacaktır (Öner ve ark., 2014). Çevrimsel farklılıklarından dolayı silindir gaz basıncı verileri 1° krank açısı sıklığında ve 100 çevrimin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Çevrimsel farklılıkların oluşmasında birçok kimyasal ve fiziksel nedenler vardır. Silindir içerisinden bir önceki çevrimden kalan artık gaz oranı, hava-yakıt oranı, yakıtın bileşimi ve yanma odası içerisinde yanmamış gazların hareketi bu nedenler arasında sayılabilmektedir (Ceviz ve Yüksel, 2005).

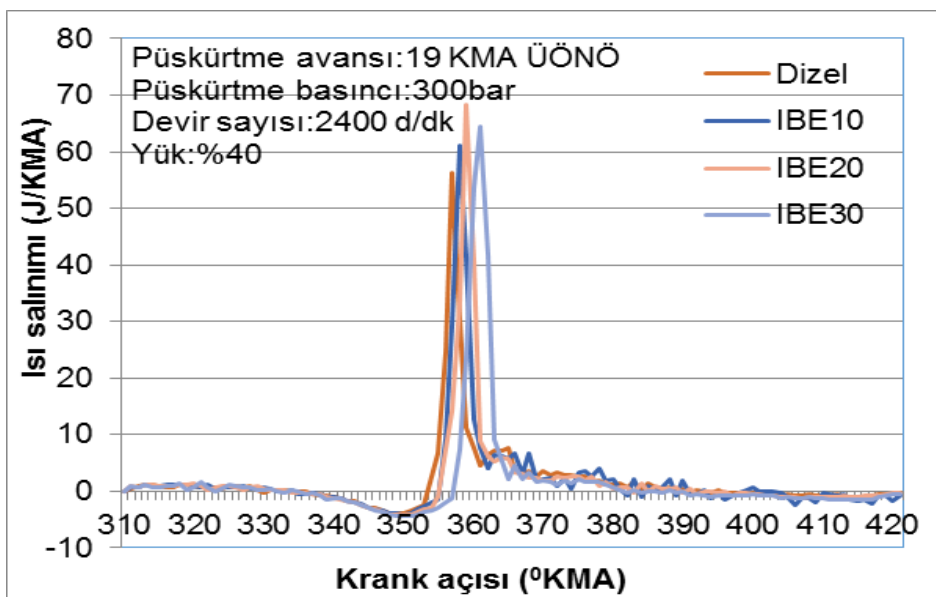
#### 4.2.2. Isı salınım oranı

Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11’de test yakıtlarının %20, %40 ve %60 üç farklı yükte ısı salınım hızının krank mili açısına bağlı değişimi verilmiştir. %20, %40 ve %60 yük durumlarındaki maksimum ısı salınım hızı değerleri ÜÖN’den önce ve sonra 356°KMA ile 363°KMA arasında gerçekleşmiştir. Isı salınım hızı grafiklerine bakıldığında, tüm test edilen yakıtlarda motor yükünün artmasıyla birlikte bir artış eğilimi gerçekleşmiştir. Bunun sebebi çevrimlerde tüketilen yakıt miktarının değişkenlik göstermesidir. Çevrimlerde yakılan yakıt miktarlarına bağlı olarak açığa çıkan ısı miktarlarında da değişimler gözlemlenmiştir. Her üç yük durumunda da bazı yakıt karışımlarında ÜÖN’den sonra da hafif bir artış görülmektedir. Bu noktalarda silindire yakıt püskürtmesi sona erdiğinden ve yakıt buharlaşması olmadığından dolayı tekrar bir ısı yükselişi görülmektedir. Silindir içindeki ani hacim değişimleri ısı salınım hızını etkilemektedir.



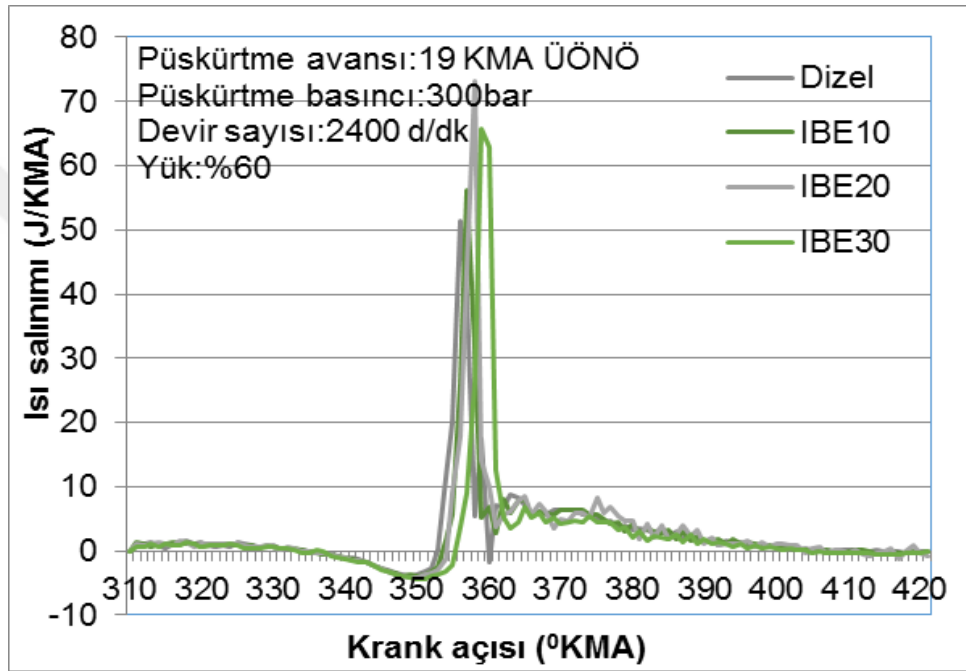
Şekil 4.9. %20 yükte IBE yakıtların ısı salınımının krank açısına bağlı değişimi

Şekil 4.9’da %20 yükte IBE yakıtların ısı salınım hızının krank açısına bağlı değişimi verilmiştir. %20 yükte, en yüksek maksimum ısı salınımı IBE20 karışım yakıtında tam ÜÖN’da 62.38 J/KMA olarak gerçekleşirken, en düşük maksimum ısı salınımı IBE30 karışım yakıtında ÜÖN’dan 3° sonra 52.51 J/KMA olarak gerçekleşmiştir. Dizel yakıtının maksimum ısı salınımı ise ÜÖN 2° önce 57.25 J/KMA olarak gerçekleşmiştir. Karışım yakıtların maksimum ısı salınım hızı dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında, IBE30 karışım yakıtı için %8.28 oranında ısı salınımında azalma olurken, IBE10 ve IBE20 karışım yakıtları için %8.79 ve %8.96 oranında ısı salınımında artışlar gerçekleşmiştir.



Şekil 4.10. %40 yükte IBE yakıtların ısı salınımının krank açısına bağlı değişimi

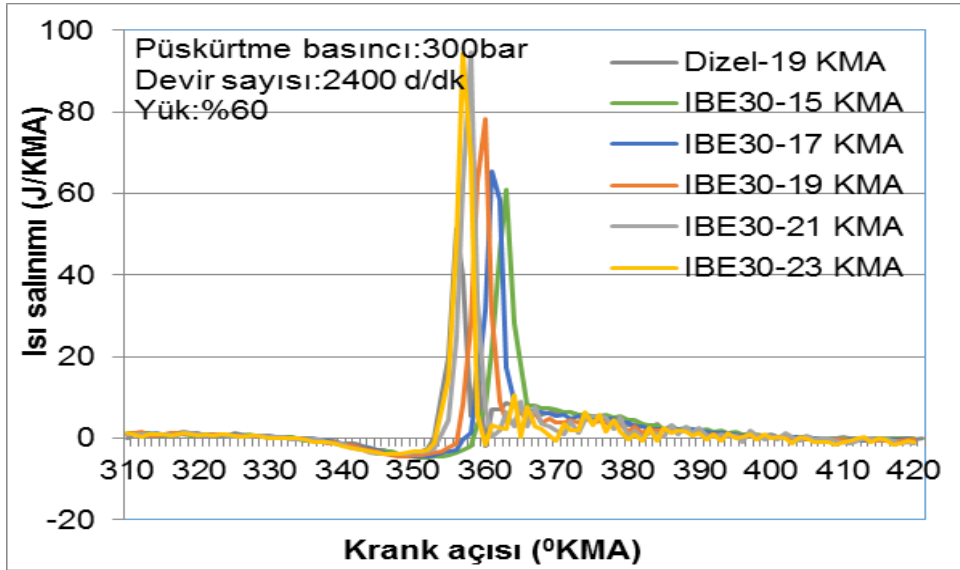
**Şekil 4.10'** da %40 yükte IBE yakıtların ısı salınımının krank açısına bağlı değişimi verilmiştir. %40 yükte en yüksek maksimum ısı salınım hızı IBE20 yakıtında ÜÖN'dan 1° önce 68.26 J/KMA olarak gerçekleşirken, en düşük maksimum ısı salınımı dizel yakıtında ÜÖN'dan 3° önce 56.32 J/KMA olarak gerçekleşmiştir. Karışım yakıtların maksimum ısı salınım hızı dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında, IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için %8.29, %21.20 ve %14.58 oranında ısı salınım artışı olmuştur.



**Şekil 4.11.** %60 yükte IBE yakıtların ısı salınımının krank açısına bağlı değişimi

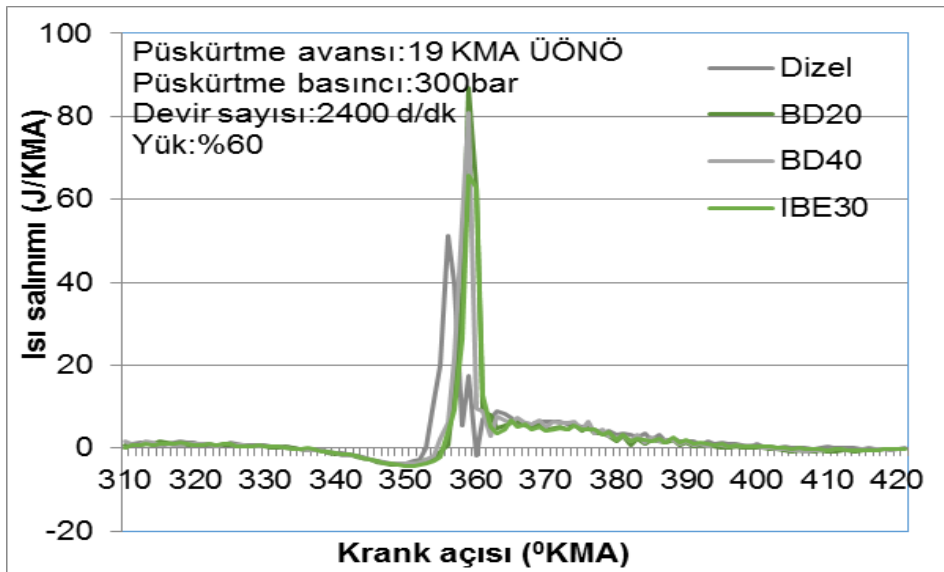
**Şekil 4.11'** de %60 yükte IBE yakıtların ısı salınımının krank açısına bağlı değişimi verilmiştir. %60 yükte en yüksek maksimum ısı salınımı IBE20 karışım yakıtında ÜÖN'dan 2° önce 73.06 J/KMA olarak gerçekleşirken, en düşük maksimum ısı salınımı dizel yakıtında ÜÖN'dan 4° önce 51.29 J/KMA olarak meydana gelmiştir. Karışım yakıtların maksimum ısı salınım hızı dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %9.67, %42.44 ve %28.03 oranında ısı salınımında artışlar gerçekleşmiştir.

Tüm yüklerde ortalama maksimum ısı salınım hızları saf dizel yakıtına göre karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için %8.90, %23.57 ve %10.83 oranında ısı salınımında artışlar gerçekleşmiştir.



Şekil 4.12. %60 yükte IBE30 ile dizel yakıt karışımlarının farklı avans açlarına göre ısı salınımının krank açısına bağlı değişimi

Şekil 4.12' de %60 yükte IBE30 ile dizel yakıt karışımlarının farklı avans açlarına göre ısı salınımının krank açısına bağlı değişimi verilmiştir. Püskürtme avansı arttıkça ısı salınım hızında artış görülmektedir. En yüksek maksimum ısı salınımı IBE30-21°KMA püskürtme avansında 2° önce 94.61 J/KMA olarak gerçekleşirken, en düşük maksimum ısı salınımı Dizel-19°KMA ÜÖN'dan 4° önce 51.29 J/KMA olarak meydana gelmiştir. Karışım yakıtların püskürtme avansları dizel yakıtının standart avansı olan 19°KMA ile karşılaştırıldığında; IBE30-15°KMA, IBE30-17°KMA, IBE30-19°KMA, IBE30-21°KMA ve IBE30-23°KMA püskürtme avansları için sırasıyla %18.91, %27.49, %52.62, %84.46 ve %84.21 oranında ısı salınımında artış olmuştur.

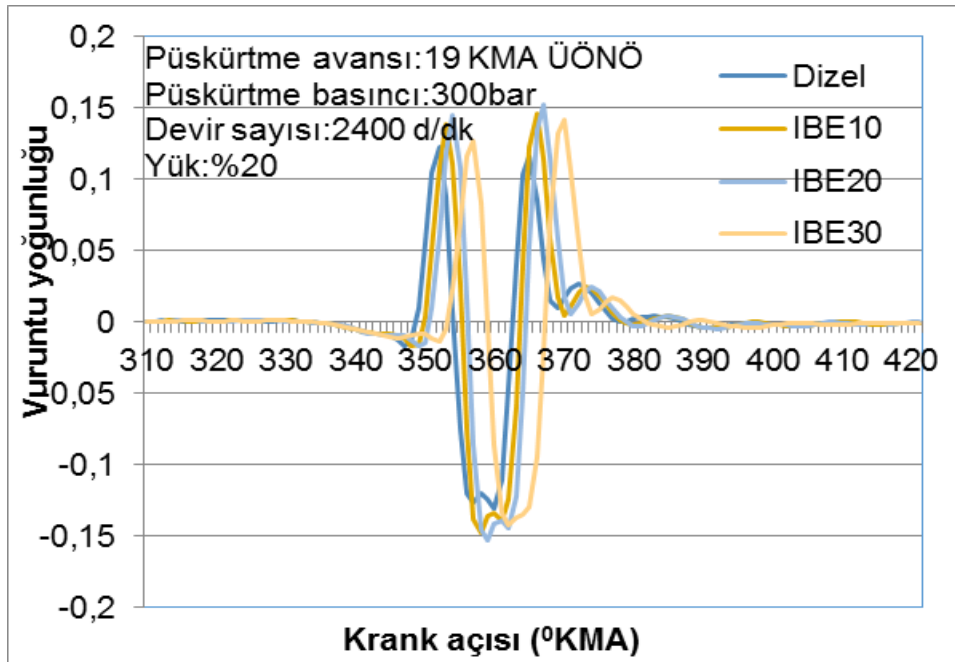


Şekil 4.13.%60 yükte IBE30+Biyodizel karışımlarının ısı salınımının krank açısına bağlı değişimi

**Şekil 4.13'** de %60 yükte IBE30 + Biyodizel yakıt karışımlarının ısı salınım hızının krank açısına bağlı değişimi verilmiştir. En yüksek maksimum ısı salınımı BD20 karışım yakıtında ÜÖN'dan 1° önce 86.96 J/KMA olarak gerçekleşirken, en düşük maksimum ısı salınımı dizel yakıtında ÜÖN'dan 4° önce 51.29 J/KMA olarak meydana gelmiştir. Karışım yakıtların maksimum ısı salınım hızı dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtları için sırasıyla %28.04, %69.55 ve %57.61 oranında ısı salınımında artışlar gerçekleşmiştir.

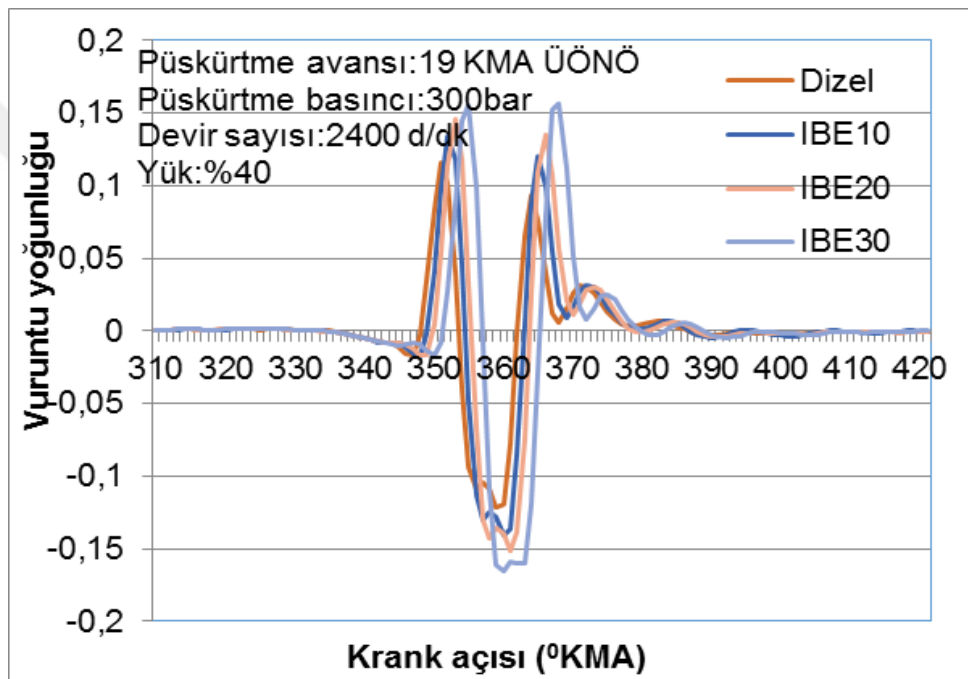
#### 4.2.3.Vuruntu yoğunluğu

**Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16'da** test yakıtlarının %20, %40 ve %60 üç farklı yükte vuruntu yoğunluğunun krank mili açısına bağlı değişimi verilmiştir. %20, %40 ve %60 yük durumlarındaki maksimum vuruntu yoğunluğu değerleri ÜÖN'dan önce ve sonra 350°KMA ile 370°KMA arasında gerçekleşmiştir. Tüm yüklerde ortalama maksimum vuruntu yoğunlukları saf dizel yakıtına göre karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için vuruntu yoğunlukları ÜÖN'dan önce %8.33, %16.66 ve %25 oranında artarken, ÜÖN'dan sonra ise %20, %40 ve %50 oranında vuruntu yoğunluklarında artışlar gerçekleşmiştir.



**Şekil 4.14.** %20 yükte IBE yakıtların vuruntu yoğunluğunun krank açısına bağlı değişimi

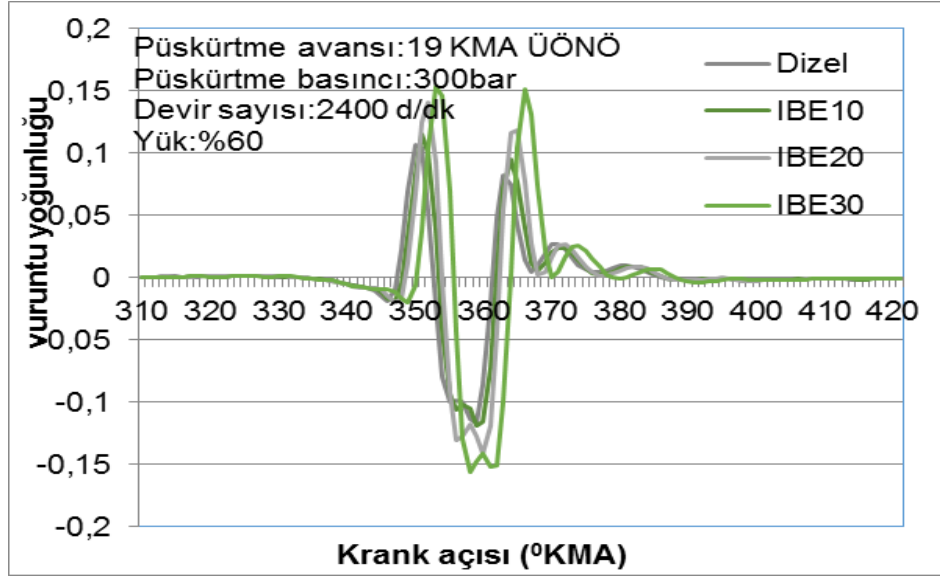
**Şekil 4.14'** te %20 yükte IBE yakıtların vuruntu yoğunluğunun krank açısına bağlı değişimi verilmiştir. %20 yükte, en yüksek maksimum vuruntu yoğunluğu değeri IBE20 karışım yakıtında ÜÖN'dan 6° önce 0.145 ve ÜÖN'dan 7° sonra 0.153 olarak gerçekleşmiştir. En düşük maksimum vuruntu yoğunluğu değeri ise dizel yakıtında ÜÖN'dan 8° önce 0.123 ve ÜÖN'dan 5° sonra 0.117 olarak gerçekleşmiştir. IBE karışım yakıtların vuruntu yoğunlukları dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında, IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla ÜÖN'den önce, %13, %17.89 ve %3.25 oranında artış olurken, ÜÖN'dan sonra ise %24.79, %30.77 ve %21.37 oranında vuruntu yoğunluklarında artışlar gerçekleşmiştir.



**Şekil 4.15.** %40 yükte IBE yakıtların vuruntu yoğunluğunun krank açısına bağlı değişimi

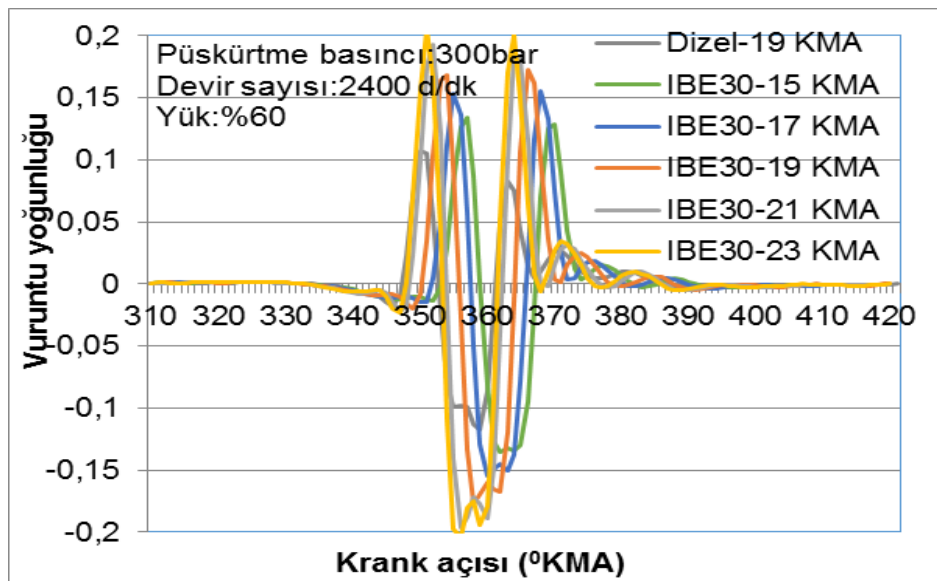
**Şekil 4.15'** te %40 yükte IBE yakıtların vuruntu yoğunluğunun krank açısına bağlı değişimi verilmiştir. %40 yükte, en yüksek maksimum vuruntu yoğunluğu değeri IBE30 karışım yakıtında ÜÖN'dan 5° önce 0.156 ve ÜÖN'dan 8° sonra 0.157 olarak gerçekleşirken, en düşük maksimum vuruntu yoğunluğu değeri ise dizel yakıtında ÜÖN'dan 9° önce 0.116 ve ÜÖN'dan 4° sonra 0.094 olarak gerçekleşmiştir. IBE karışım yakıtların vuruntu yoğunlukları dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında, IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla ÜÖN'den önce, %15.52, %25.86 ve %34.48 oranında artış olurken, ÜÖN'dan sonra ise %28.72, %43.62 ve %67.02 oranında vuruntu yoğunluklarında artışlar gerçekleşmiştir.





Şekil 4.16. %60 yükte IBE yakıtların vuruntu yoğunluğunun krank açısına bağlı değişimi

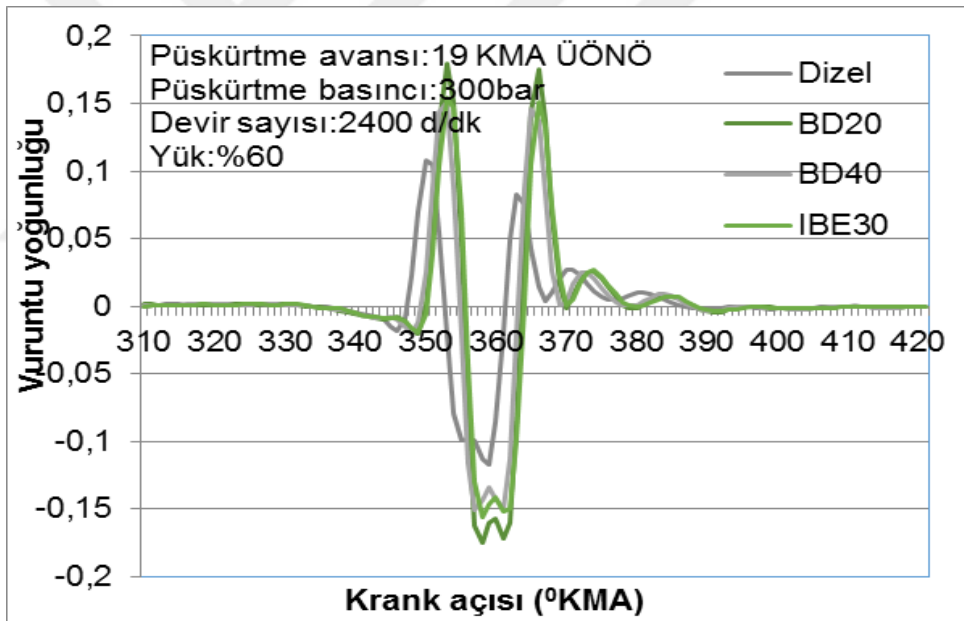
Şekil 4.16' da %60 yükte IBE yakıtların vuruntu yoğunluğunun krank açısına bağlı değişimi verilmiştir. %60 yükte, en yüksek maksimum vuruntu yoğunluğu değeri IBE30 karışım yakıtında ÜÖN'dan 7° önce 0.154 ve ÜÖN'dan 6° sonra 0.152 olarak gerçekleşirken, en düşük maksimum vuruntu yoğunluğu değeri ise dizel yakıtında ÜÖN'dan 10° önce 0.107 ve ÜÖN'dan 3° sonra 0.082 olarak meydana gelmiştir. IBE karışım yakıtların vuruntu yoğunlukları dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında, IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla ÜÖN'dan önce, %7.48, %31.78 ve %43.93 oranında artış olurken, ÜÖN'dan sonra ise %15.85, %45.12 ve %85.37 oranında vuruntu yoğunluklarında artışlar gerçekleşmiştir.



Şekil 4.17. %60 yükte IBE30-Dizel yakıt karışımının farklı avans açılara göre vuruntu yoğunluğunun krank açısına bağlı değişimi



**Şekil 4.17'** de %60 yükte IBE30 ile dizel yakıt karışımlarının farklı avans açılarına göre vuruğu yoğunluğunun krank açısına bağılı değışimi verilmiştir. Püskürtme avansı artıkça vuruğu yoğunluğunda artış görülmektedir. En yüksek maksimum vuruğu yoğunluğı değıeri IBE30-21°KMA püskürtme avansında ÜÖN'den 8° önce 0.193 ve ÜÖN'den 4° sonra 0.186 olarak gerçekteşirken, en düşük maksimum vuruğu yoğunluğı değıeri ise Dizel-19°KMA ÜÖN'den 10° önce 0.107 ve ÜÖN'dan 3° sonra 0.082 olarak meydana gelmiştir. IBE karışım yakıtların püskürtme avansları dizel yakıtının standart avansı olan 19°KMA ile karşılaştırıldığında; IBE30-15°KMA, IBE30-17°KMA, IBE30-19°KMA, IBE30-21°KMA ve IBE30-23°KMA püskürtme avansları için vuruğu yoğunlukları sırasıyla ÜÖN'dan önce, %26.17, %42.99, %57.94, %80.37 ve %55.14 oranında artış olurken, ÜÖN'dan sonra ise %57.32, %90.24, %110.98, %126.83 ve %81.71 oranında vuruğu yoğunluklarında artış gerçekteşmiştir.



**Şekil 4.18.** %60 yükte IBE30+Biyodizel karışımlarının vuruğu yoğunluğunun krank açısına bağılı değışimi

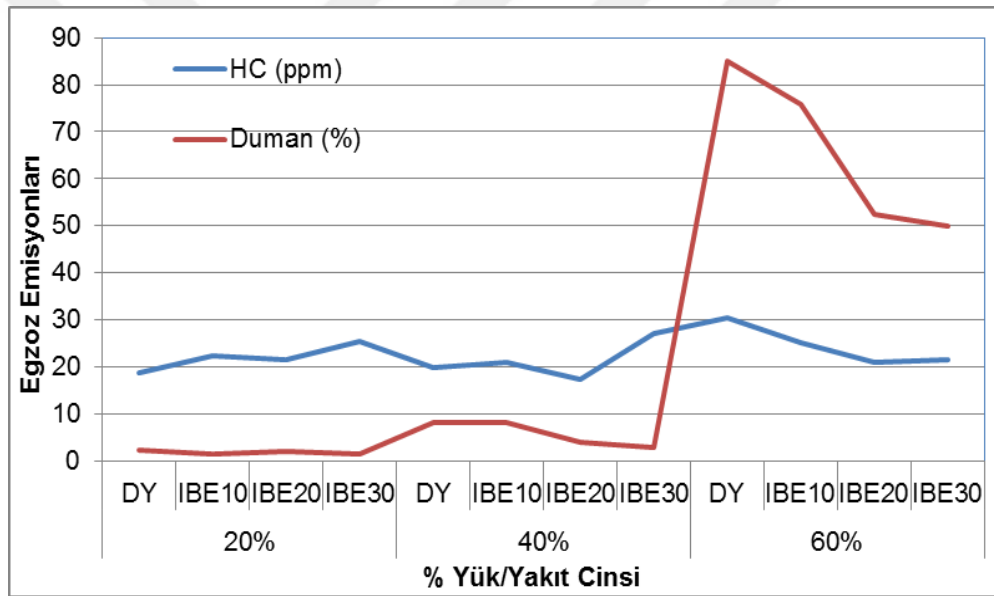
**Şekil 4.18'** de %60 yükte IBE30 + Biyodizel yakıt karışımlarının vuruğu yoğunluğunun krank açısına bağılı değışimi verilmiştir. En yüksek maksimum vuruğu yoğunluğı değıeri BD20 karışım yakıtında ÜÖN'dan 7° önce 0.180 ve ÜÖN'den 6° sonra 0.175 olarak gerçekteşirken, en düşük maksimum vuruğu yoğunluğı değıeri ise dizel yakıtında ÜÖN'dan 10° önce 0.107 ve ÜÖN'dan 3° sonra 0.082 olarak gerçekteşmiştir. Karışım yakıtların vuruğu yoğunlukları dizel yakıtıyla

karşılaştırıldığında, IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtları için sırasıyla ÜÖN'dan önce %43.93, %68.22 ve %41.12 oranında artış olurken, ÜÖN'dan sonra ise %85.37, %113.41 ve %78.05 oranında vuruğu yoğunluklarında artış gerçekleşmiştir.

#### 4.3.Egzoz Emisyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

2400 dev/dk, %20, %40 ve %60 değişken yük şartlarında IBE10, IBE20, IBE30 ile IBE30 + Biyodizel karışım yakıtlarının emisyon testlerinden ölçülen değerleri saf dizel yakıtın emisyon değerleriyle karşılaştırılmıştır.

##### 4.3.1. HC ve duman yoğunluğu emisyonlarının yük ve yakıt cinsine bağlı değişimi



Şekil 4.19. HC ve duman yoğunluğu emisyonlarının yük ve yakıt cinsine bağlı değişimi

Şekil 4.19' da Hidrokarbon (HC) ve duman yoğunluğu emisyonlarının yük ve yakıt cinsine bağlı değişimi gösterilmiştir. HC emisyonları bakımından grafikler incelendiğinde; %20 yük durumunda, test yakıtları içerisinde en yüksek HC emisyon değeri IBE30 yakıtında 25.25 ppm olarak gerçekleşmiştir. En düşük HC emisyonu ise dizel yakıtında 18.67 ppm olarak gözlemlenmiştir. Karışım yakıtları saf dizel yakıtının HC emisyon değerleriyle karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %19.1, %14.6 ve %35.2 oranlarında emisyonlarda artış meydana gelmiştir. %40 yük durumunda, test yakıtları içerisinde en yüksek HC emisyon değeri 27 ppm ile IBE30 yakıtında görülürken, en düşük HC emisyonu ise IBE20 yakıtında 17.33 ppm

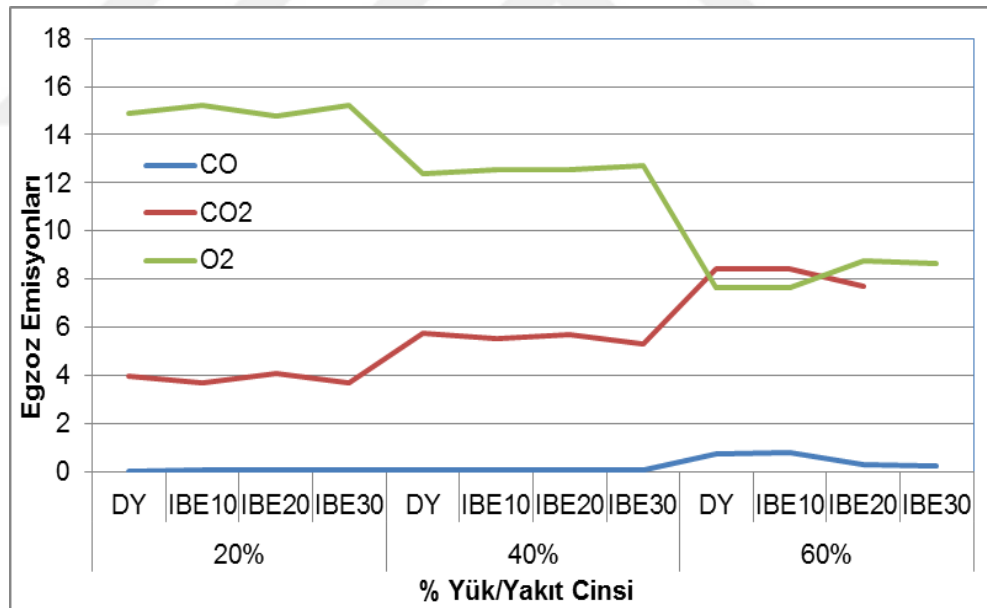
olarak gözlemlenmiştir. Dizel yakıtında ise 19.80 ppm olarak gerçekleşmiştir. Karışım yakıtlar saf dizel yakıtının HC emisyon değerleriyle karşılaştırıldığında; IBE10 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %5 ve %36 oranlarında artış olurken, IBE20 yakıtında ise %12.5 oranında emisyonlarda azalma gerçekleşmiştir. %60 yük durumunda ise, test yakıtları içerisinde en yüksek HC emisyon değeri saf dizel yakıtında 30.50 ppm ile görülürken, en düşük HC emisyonu değeri ise IBE20 yakıtında 21 ppm olarak gözlemlenmiştir. Karışım yakıtlar saf dizel yakıtının HC emisyon değerleriyle karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20, IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %18, %31.1 ve %29.1 oranlarında emisyonlarda azalmalar gözlemlenmiştir. Tüm yüklerde ortalama HC emisyonları saf dizel yakıtına göre, IBE10 ve IBE20 karışım yakıtları için %1.35 ve %13.40 oranında daha düşük olurken, IBE30 yakıtında ise %7.09 oranında artış gerçekleşmiştir. IBE karışım yakıtların kullanımı ile IBE10 ve IBE20 yakıtları için HC emisyonlarında düşüşler gerçekleşmiştir.

**Şekil 4.19.**'daki grafikler duman yoğunluğu emisyonları bakımından incelendiğinde; %20 yük durumunda, test yakıtları içerisinde en yüksek duman emisyon değeri saf dizel yakıtında %2.35 olarak gerçekleşmiştir. En düşük duman emisyon değeri ise IBE30 yakıtında %1.50 olarak gözlemlenmiştir. Karışım yakıtların duman emisyon değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %35.3, %18.3 ve %36.1 oranında emisyonlarda azalmalar meydana gelmiştir. % 40 yük durumunda, test yakıtları içerisinde en yüksek duman emisyon değeri IBE10 yakıtında %8.14 olarak gerçekleşmiştir. En düşük duman emisyon değeri ise IBE30 yakıtında %2.90 olarak gözlemlenmiştir. Saf dizel yakıtının duman değeri ise %8.13 olarak görülmüştür. Karışım yakıtların duman emisyon değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10 yakıtında %0.12 oranında hafif bir artış olurken, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %51.78 ve %64.33 oranlarında emisyonlarda önemli azalmalar gerçekleşmiştir. % 60 yük durumunda ise, test yakıtları içerisinde en yüksek duman emisyon değeri saf dizel yakıtında %85 olarak gerçekleşmiştir. En düşük duman emisyon değeri ise IBE30 yakıtında %50 olarak gözlemlenmiştir. Karışım yakıtların duman emisyon değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %10.82, %38.35 ve %41.18 oranlarında azalmalar gerçekleşmiştir. Tüm yüklerde ortalama duman yoğunluğu emisyonları ise, IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için saf dizel yakıtına göre %10.49, %39.02 ve %43.04 oranında daha düşük gerçekleşmiştir.

IBE karışım yakıtların kullanılmasıyla duman yoğunluğu emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir.

Duman yoğunluğu oluşmasının sebebi; silindir içinde yeterli oksijenin bulunmaması, yakıtın püskürtülmesi zamanında hava ile yakıtın iyice karışmaması, karışımın homojen olmaması ve yakıtın buharlaşmasından dolayı meydana gelmektedir. Motor yükü artıkça tüm test yakıtları için duman emisyonlarında artışlar gözlenmiştir. Bunun sebebi yakıtın yanması için gerekli zamanın olmaması, zengin yakıt karışımı ve oksijen yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. Saf dizel yakıtının duman emisyon değerleri karışım yakıtlardan daha yüksek olurken, karışım yakıtların emisyonları daha düşük olmuştur. Karışım yakıtların içerisindeki alkol oranının artmasıyla da duman emisyonlarında daha düşük değerler gözlemlenmiştir. IBE karışım yakıtlarının yüksek oksijen içermelerinden dolayı duman yoğunluğu emisyonlarında önemli azalmalar gerçekleşmiştir.

#### 4.3.2. CO, CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> emisyonlarının yük ve yakıt cinsine bağlı değişimi



Şekil 4.20. CO, CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> emisyonlarının yük ve yakıt cinsine bağlı değişimi

Şekil 4.20' de Dizel yakıtı, IBE10, IBE20 ve IBE30 yakıtlarının farklı yüklerde CO, CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> emisyonlarının değişimi verilmiştir. Karbonmonoksit (CO) emisyonları bakımından incelendiğinde; Karbon monoksit(CO) emisyonlarının bulunmasının nedeni, silindir içerisindeki oksijen miktarının yetersiz olması ve karışımın homojen

olmaması nedeniyle eksik yanma sonucu meydana gelmektedir. Özellikle yüksek yük durumlarında IBE karışım yakıtlarının yüksek oksijen içermeleri, C/H (Karbon/Hidrojen) oranının düşük olması ve yanmanın daha iyi gerçekleşmesinden dolayı CO emisyonları azalma göstermiştir. %20 yük durumunda, test yakıtları içerisinde en yüksek CO emisyon değeri IBE30 yakıtında hacimce %0.084 olarak gerçekleşmiştir. En düşük CO emisyon değeri ise saf dizel yakıtında hacimce %0.029 olarak gözlemlenmiştir. Karışım yakıtların CO emisyon değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %37.93, %79.31 ve %189.65 oranlarında emisyonlarda önemli artışlar meydana gelmiştir. %40 yük durumunda, test yakıtları içerisinde en yüksek CO emisyon değeri IBE20 yakıtında hacimce %0.052 olarak gerçekleşmiştir. En düşük CO emisyon değeri ise IBE10 yakıtında hacimce %0.039 olarak gözlemlenmiştir. Dizel yakıtında ise CO emisyon değeri hacimce %0.046 olarak görülmüştür. Karışım yakıtların CO emisyon değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10 karışım yakıtında %15.21 oranında azalma gerçekleşirken, IBE20 yakıtında %13 oranında artış ve IBE30 yakıtında ise bir değişiklik gözlenmemiştir. %60 yük durumunda ise, test yakıtları içerisinde en yüksek CO emisyon değeri IBE10 yakıtında hacimce %0.780 olarak gerçekleşmiştir. En düşük CO değeri ise IBE30 yakıtında hacimce %0.240 olarak gözlemlenmiştir. Dizel yakıtında ise CO emisyon değeri hacimce %0.725 olarak görülmüştür. Karışım yakıtların CO emisyon değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10 karışım yakıtında %7.58 oranında artış olurken, IBE20 ve IBE30 yakıtlarında sırasıyla %60 ve %66.89 oranlarında önemli azalmalar gerçekleşmiştir. Tüm yüklerde ortalama CO emisyonları ise, saf dizel yakıtına göre, IBE10 karışım yakıtında %7.41 oranında daha yüksek olurken, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için %51.85 ve %55.55 oranında çok daha düşük gerçekleşmiştir. IBE karışım yakıtların kullanımı ile IBE20 ve IBE30 yakıtları için CO emisyonlarında önemli azalmalar gerçekleşmiştir.

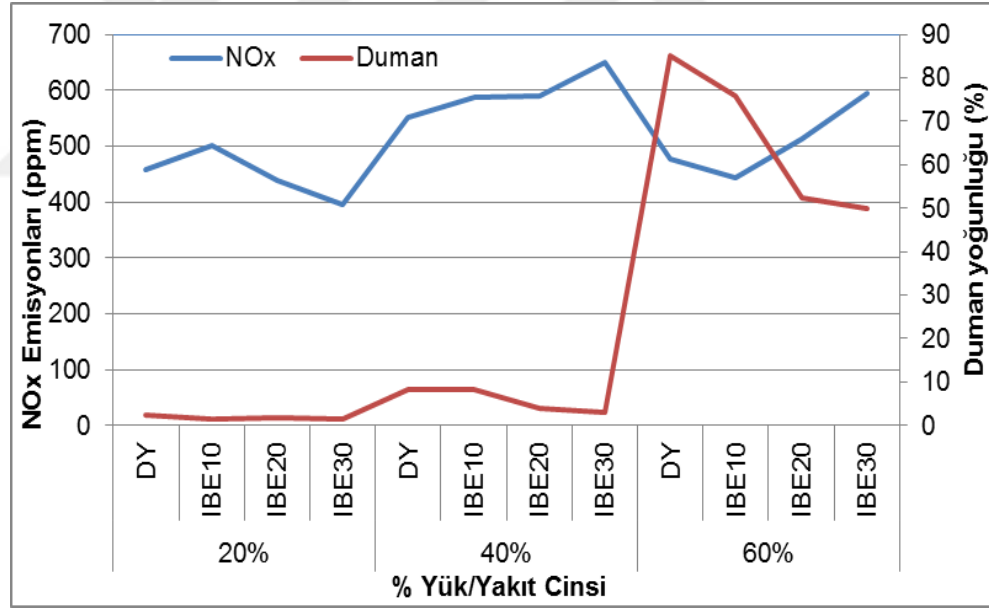
Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonları açısından değerlendirildiğinde; motor yükü arttıkça test edilen tüm yakıtlar için CO<sub>2</sub> değerlerinde artış gözlenmiştir. Yükün artmasıyla birlikte IBE karışım yakıtların oksijen içeriğinin yüksek olması nedeniyle CO<sub>2</sub> değerleri dizel yakıtından daha yüksek gerçekleşmiştir. Yanma ürünleri içerisinde CO<sub>2</sub> emisyonlarının bulunması tam yanmanın gerçekleştiğini göstermektedir. %20 yük durumunda , test yakıtları içerisinde en yüksek CO<sub>2</sub> emisyon değeri IBE20 yakıtında hacimce %4.06 olarak gerçekleşmiştir. En düşük CO<sub>2</sub> emisyon değeri ise IBE30

yakıtında hacimce %3.66 olarak gözlemlenmiştir. Dizel yakıtında ise CO<sub>2</sub> emisyon değeri hacimce %3.98 olarak görülmüştür. Karışım yakıtların CO<sub>2</sub> emisyon değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE20 karışım yakıtında %2.01 oranında artış olurken, IBE10 ve IBE30 yakıtlarında sırasıyla %7.54 ve %8.04 oranında azalmalar gerçekleşmiştir. %40 yük durumunda, test yakıtları içerisinde en yüksek CO<sub>2</sub> emisyon değeri dizel yakıtında hacimce %5.72 olarak gerçekleşmiştir. En düşük CO<sub>2</sub> emisyon değeri ise IBE30 yakıtında hacimce %5.30 olarak gözlemlenmiştir. Karışım yakıtların CO<sub>2</sub> emisyon değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20, IBE30 karışım yakıtlarında sırasıyla %3.85, %1.49 ve %7.34 oranında azalmalar gerçekleşmiştir. %60 yük durumunda ise, test yakıtları içerisinde en yüksek CO<sub>2</sub> emisyon değeri dizel yakıtında hacimce % 8.41 olarak gerçekleşmiştir. En düşük CO<sub>2</sub> emisyon değeri ise IBE20 yakıtında hacimce % 7.72 olarak gözlemlenmiştir. Karışım yakıtların CO<sub>2</sub> emisyon değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10 yakıtından değişiklik olmazken, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtlarında sırasıyla %8.20 ve %6.30 oranında azalmalar gerçekleşmiştir. Tüm yüklerde ortalama CO<sub>2</sub> emisyonları ise, IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için saf dizel yakıtına göre %2.98, %3.81 ve %7.12 oranında daha düşük gerçekleşmiştir. IBE karışım yakıtların kullanılmasıyla CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir.

Oksijen (O<sub>2</sub>) emisyonları açısından değerlendirildiğinde; motor yükünün artmasıyla birlikte O<sub>2</sub> emisyonlarında azalma görülmüştür. Bunun sebebi motor hızı arttıkça silindire giren oksijen miktarında azalma gerçekleşmiştir. IBE karışımlarının yüksek oksijen içermelerinden dolayı O<sub>2</sub> değerleri dizel yakıtından daha yüksek gözlemlenmiştir. %20 yük durumunda, test yakıtları içerisinde en yüksek O<sub>2</sub> emisyon değeri IBE30 yakıtında hacimce %15.24 olarak gerçekleşmiştir. En düşük O<sub>2</sub> emisyon değeri ise IBE20 yakıtında hacimce %14.76 olarak gözlemlenmiştir. Dizel yakıtında ise O<sub>2</sub> emisyon değeri hacimce %14.89 olarak görülmüştür. Karışım yakıtların O<sub>2</sub> emisyon değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE20 karışım yakıtında %0.87 oranında azalma olurken, IBE10 ve IBE30 yakıtlarında sırasıyla %2.28 ve %2.35 oranında artış gerçekleşmiştir. %40 yük durumunda, test yakıtları içerisinde en yüksek O<sub>2</sub> emisyon değeri IBE30 yakıtında hacimce %12.71 olarak gerçekleşmiştir. En düşük O<sub>2</sub> emisyon değeri ise saf dizel yakıtında hacimce %12.37 olarak gözlemlenmiştir. Karışım yakıtların O<sub>2</sub> emisyon değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20 ve IBE30 yakıtlarında sırasıyla %1.46, %1.29 ve

%2.75 oranında artışlar gerçekleşmiştir. %60 yük durumunda ise, test yakıtları içerisinde en yüksek O<sub>2</sub> emisyon değeri IBE20 yakıtında hacimce %8.77 olarak gerçekleşmiştir. En düşük O<sub>2</sub> emisyon değeri ise IBE10 yakıtında hacimce %7.62 olarak gözlemlenmiştir. Dizel yakıtında ise O<sub>2</sub> emisyon değeri hacimce %7.63 olarak görülmüştür. Karışım yakıtların O<sub>2</sub> emisyon değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10 karışım yakıtında %0.13 oranında hafif azalma olurken, IBE20 ve IBE30 yakıtlarında sırasıyla %14.94 ve %13.63 oranında artış gerçekleşmiştir. Tüm yüklerde ortalama O<sub>2</sub> emisyonları ise, IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için saf dizel yakıtına göre %1.46, %3.35 ve %4.99 oranında daha yüksek gerçekleşmiştir. IBE karışım yakıtların kullanılmasıyla O<sub>2</sub> emisyonlarında artışlar gerçekleşmiştir. Bunun nedeni alkol yakıtların oksijen içeriğinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

#### 4.3.3. NO<sub>x</sub> ve duman yoğunluğu emisyonlarının yük ve yakıt cinsine bağlı değişimi



Şekil 4.21. NO<sub>x</sub> ve duman yoğunluğu emisyonlarının yük ve yakıt cinsine bağlı değişimi

Şekil 4.21' de NO<sub>x</sub> ve duman yoğunluğu emisyonlarının yük ve yakıt cinsine bağlı değişimi gösterilmiştir. Azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonları açısından değerlendirildiğinde; %20 yük durumunda, test yakıtları içerisinde en yüksek NO<sub>x</sub> emisyon değeri IBE10 yakıtında 500.50 ppm olarak gerçekleşmiştir. En düşük NO<sub>x</sub> emisyon değeri IBE30 yakıtında 395.75 ppm olarak gerçekleşmiştir. Dizel yakıtında ise NO<sub>x</sub> emisyon değeri

458.67 ppm olarak gözlemlenmiştir. Karışım yakıtları saf dizel yakıtının NO<sub>x</sub> emisyon değerleriyle karşılaştırıldığında; IBE10 yakıtında %9.12 oranında artış olurken, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %4.42 ve %13.71 oranında azalma meydana gelmiştir. %40 yük durumunda, test yakıtları içerisinde en yüksek NO<sub>x</sub> emisyon değeri IBE30 yakıtında 650.25 ppm olarak gerçekleşmiştir. En düşük NO<sub>x</sub> emisyon değeri dizel yakıtında 552 ppm olarak gerçekleşmiştir. Karışım yakıtları saf dizel yakıtının NO<sub>x</sub> emisyon değerleriyle karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %6.52, %6.88 ve %17.80 oranlarında artışlar meydana gelmiştir. %60 yük durumunda, test yakıtları içerisinde en yüksek NO<sub>x</sub> emisyon değeri IBE30 yakıtında 594 ppm olarak gerçekleşmiştir. En düşük NO<sub>x</sub> emisyon değeri IBE10 yakıtında 444.50 ppm olarak gerçekleşmiştir. Dizel yakıtında ise 476.67 ppm olarak gerçekleşmiştir. Karışım yakıtları saf dizel yakıtının NO<sub>x</sub> emisyon değerleriyle karşılaştırıldığında; IBE10 yakıtında %6.75 oranında azalırken, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %7.78 ve %24.61 oranlarında artışlar meydana gelmiştir. Tüm yüklerde ortalama NO<sub>x</sub> emisyonları ise, IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için saf dizel yakıtına göre %3.07, %3.69 ve %10.26 oranında daha yüksek gerçekleşmiştir. IBE karışım yakıtların kullanımı ile NO<sub>x</sub> emisyonlarında artışlar gerçekleşmiştir.

Motor yükünün artmasıyla birlikte tüm yakıtlar için NO<sub>x</sub> emisyonlarında artışlar gerçekleşmiştir. IBE yakıt karışımlarının, NO<sub>x</sub> emisyonları düşük yüklerde dizel yakıtından daha az olurken, yükün artmasıyla beraber dizel yakıtından daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonları gerçekleşmiştir. IBE karışım oranı arttıkça NO<sub>x</sub> emisyonları artış göstermiştir. Çünkü IBE karışımları, yüksek oksijen içeriğine sahip olmaları yanma verimini de arttırdığından dolayı yanma sonu sıcaklığı artmakta ve böylece NO<sub>x</sub> emisyonları oluşmaktadır. Azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonlarının oluşmasının sebebi, yanma odasındaki sıcaklık 1800 °C'nin üzerine çıktığında havanın içeriğinde bulunan azot oksijen ile birleşerek NO<sub>x</sub> emisyonlarını oluşturmaktadır.

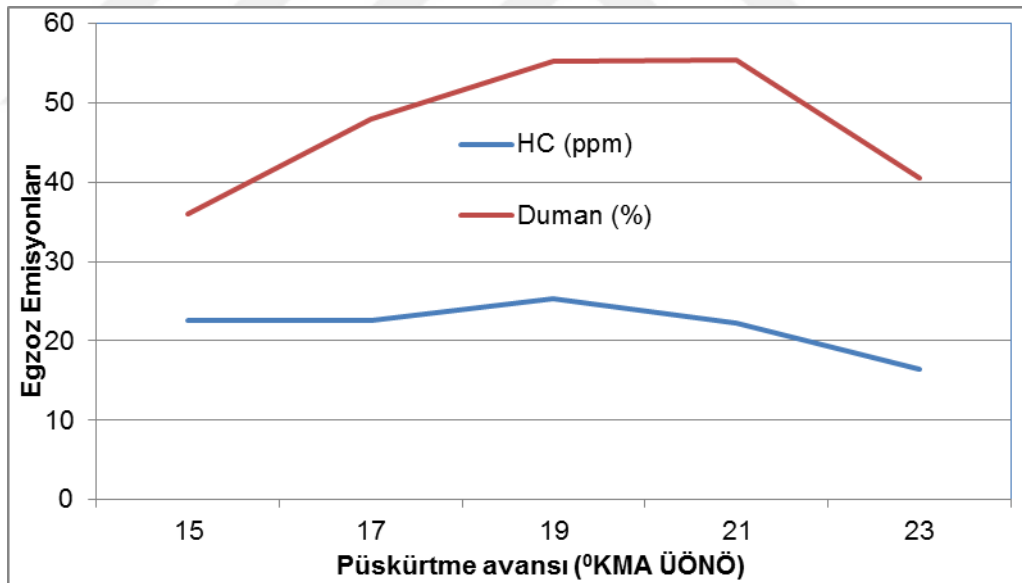
Duman yoğunluğu emisyonları bakımından incelendiğinde; %20 yük durumunda karışım yakıtların duman emisyon değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %35.3, %18.3 ve %36.1 oranında emisyonlarda azalmalar meydana gelmiştir. %40 yük durumunda, karışım yakıtların duman emisyon değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10 yakıtında %0.12 oranında hafif bir artış olurken, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için



sırasıyla %51.78 ve %64.33 oranında emisyonlarda önemli azalmalar gerçekleşmiştir. %60 yük durumunda ise, karışım yakıtların duman emisyon değerleri saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için sırasıyla %10.82, %38.35 ve %41.18 oranlarında duman emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. Tüm yüklerde ortalama duman yoğunluğu emisyonları ise, IBE10, IBE20 ve IBE30 karışım yakıtları için saf dizel yakıtına göre %10.49, %39.02 ve %43.04 oranında daha düşük gerçekleşmiştir. IBE karışım yakıtların kullanımı ile duman yoğunluğu emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir.

Saf dizel yakıtının duman emisyon değerleri karışım yakıtlardan daha yüksek olurken, karışım yakıtların emisyonları daha düşük gerçekleşmiştir. Karışım yakıtların içerisindeki alkol oranının artmasıyla da duman emisyonlarında daha düşük değerler gözlemlenmiştir. IBE karışım yakıtlarının yüksek oksijen içermelerinden dolayı duman yoğunluğu emisyonlarında önemli azalmalar gerçekleşmiştir.

#### 4.3.4.HC ve duman yoğunluğu emisyonlarının püskürtme avansına bağlı değişimi



Şekil 4.22. HC ve duman yoğunluğu emisyonlarının püskürtme avansına bağlı değişimi

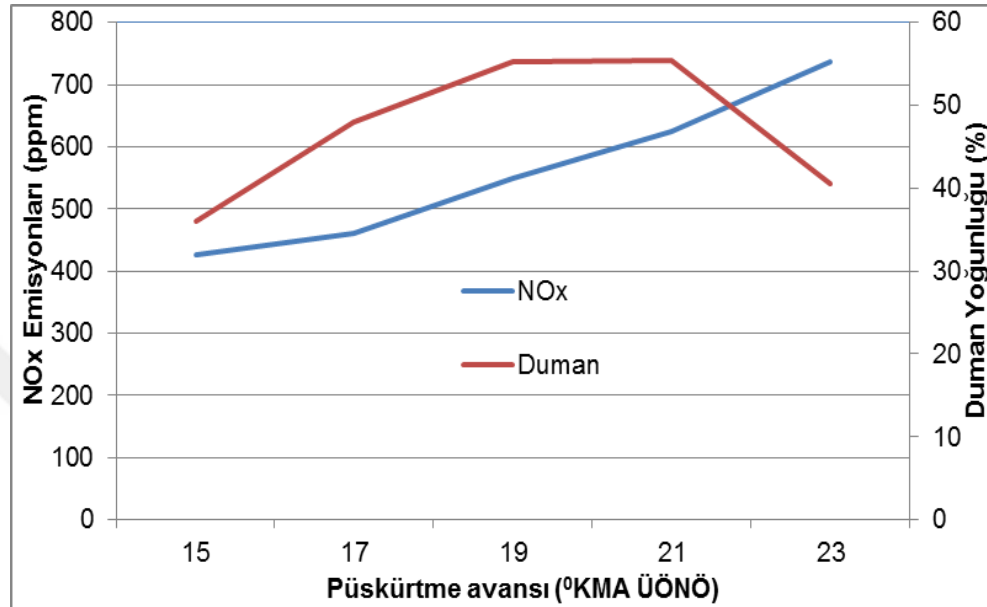
Şekil 4.22' de farklı püskürtme avans değerlerinde HC ve duman yoğunluğu emisyonlarının püskürtme avansına bağlı değişimi gösterilmiştir. HC emisyonları, IBE30 ve dizel yakıtının püskürtme avansları açısından incelendiğinde, en düşük HC emisyon değeri IBE30-23°KMA ÜÖNÖ 16.50 ppm olarak gerçekleşirken, en yüksek HC emisyon değeri dizel yakıtında 19°KMA ÜÖNÖ 30.50 ppm olarak gözlemlenmiştir.

Dizel yakıtı için 19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alınarak, püskürtme avansının azaltılması veya artırılması durumunda HC emisyon değerlerinde azalmalar gözlenmiştir. IBE30 yakıtının püskürtme avansları dizel yakıtının standart avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-15°KMA, IBE30-17°KMA, IBE30-19°KMA, IBE30-21°KMA ve IBE30-23°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında sırasıyla %26.23, %26.23, %17.21, %27.21 ve %45.90 oranında HC emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. IBE30 karışım yakıtının 19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alındığında, püskürtme avansının azaltılması ve artırılması durumunda HC emisyonlarında azalmalar gözlemlenmiştir. IBE30 yakıtının HC emisyon değeri referans avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ 25.25 ppm olarak gerçekleşmiştir. Püskürtme avansları IBE30 yakıtının standart avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-15°KMA, IBE30-17°KMA, IBE30-21°KMA ve IBE30-23°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında sırasıyla %10.89, %10.89, %12.08 ve %34.65 oranında HC emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. Dizel-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansında ise % 20.79 oranında artış gerçekleşmiştir. IBE karışım yakıtların kullanımı ile HC emisyonlarında azalmalar meydana gelmiştir.

Duman emisyonları, IBE30 ve dizel yakıtının püskürtme avansları açısından incelendiğinde; Dizel-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alındığında, püskürtme avansının azaltılması veya artırılması durumunda duman emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. En yüksek duman emisyon değeri %85 olarak Dizel-19°KMA ÜÖNÖ gerçekleşirken, en düşük duman emisyon değeri %36 olarak IBE-15°KMA ÜÖNÖ gözlemlenmiştir. IBE30 yakıtının püskürtme avansları dizel yakıtının standart avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-15°KMA, IBE30-17°KMA, IBE30-19°KMA, IBE30-21°KMA ve IBE30-23°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında sırasıyla, %57.65, %43.53, %35.06, %34.82 ve %52.24 oranında duman emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. IBE30-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alındığında, püskürtme avansının artırılması durumunda hafif bir artıştan sonra önemli düşüş olurken, püskürtme avansının azaltılması durumunda ise duman yoğunluğu emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. IBE30-19°KMA duman emisyon değeri %55.20 olarak gerçekleşmiştir. Püskürtme avansları IBE30 karışım yakıtının avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-21°KMA avansında 0.36 oranında hafif bir artış olurken, IBE30-15°KMA, IBE30-17°KMA ve IBE30-23°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında sırasıyla, %34.78, %13.04 ve %26.45 oranında duman

emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. Dizel-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansında ise % 53.99 oranında artış gerçekleşmiştir. IBE karışım yakıtların kullanımı ile genellikle duman yoğunluğu emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir.

#### 4.3.5.NO<sub>x</sub> ve duman yoğunluğu emisyonlarının püskürtme avansına bağlı değişimi



Şekil 4.23. NO<sub>x</sub> ve duman yoğunluğu emisyonlarının püskürtme avansına bağlı değişimi

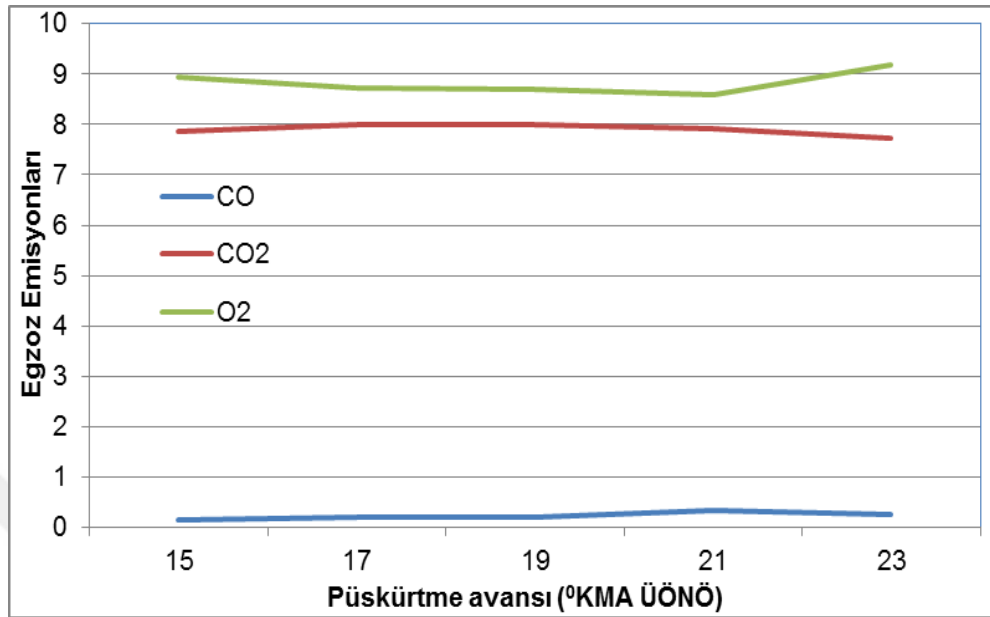
Şekil 4.23' de farklı püskürtme avans değerlerinde NO<sub>x</sub> ve duman yoğunluğu emisyonlarının püskürtme avansına bağlı değişimi gösterilmiştir.

NO<sub>x</sub> emisyonları, IBE30 ve dizel yakıtının püskürtme avanslarına göre değerlendirildiğinde, Dizel-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alındığında, püskürtme avansının azaltılması durumunda NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. Püskürtme avansının artırılması durumunda ise NO<sub>x</sub> emisyonlarında artış gözlemlenmiştir. En yüksek NO<sub>x</sub> emisyon değeri 737.50 ppm olarak IBE30-23°KMA ÜÖNÖ gerçekleşirken, en düşük NO<sub>x</sub> emisyon değeri 427.20 ppm olarak IBE30-15°KMA ÜÖNÖ gözlemlenmiştir. Dizel yakıtının NO<sub>x</sub> emisyon değeri ise 19°KMA ÜÖNÖ 476.67 ppm olarak gerçekleşmiştir. Püskürtme avansları dizel yakıtının standart avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-15°KMA ve IBE30-17°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında sırasıyla %10.38 ve %3.50 oranında emisyonlarda azalmalar olurken, IBE30-19°KMA, IBE30-21°KMA ve IBE30-23°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında ise %15.26, %31.20 ve %54.72 oranında NO<sub>x</sub> emisyonlarında artışlar gerçekleşmiştir. IBE30-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı

referans alındığında, püskürtme avansının artmasıyla birlikte NO<sub>x</sub> emisyonlarında artışlar gözlemlenmiştir. Püskürtme avansının azaltılması durumunda ise NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. IBE30-19°KMA NO<sub>x</sub> emisyon değeri 549.40 ppm olarak gerçekleşmiştir. Püskürtme avansları IBE30 karışım yakıtının avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-15°KMA ve IBE30-17°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında sırasıyla %22.24 ve %16.27 oranında emisyonlarda azalma olurken, IBE30-21°KMA ve IBE30-23°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında ise %13.83 ve %34.24 oranında NO<sub>x</sub> emisyonlarında artışlar gerçekleşmiştir. Dizel-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansında ise % 13.24 oranında NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma olmuştur. IBE karışım yakıtların kullanımı ile püskürtme avansının artırılması durumunda yükseliş olurken, avansın azaltılması durumunda ise NO<sub>x</sub> emisyonlarında düşüşler gerçekleşmiştir.

Duman emisyonları püskürtme avansı açısından incelendiğinde; Dizel-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alındığında, püskürtme avansının azaltılması veya artırılması durumunda duman emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. En yüksek duman emisyon değeri %85 olarak Dizel-19°KMA ÜÖNÖ gerçekleşirken, en düşük duman emisyon değeri %36 olarak IBE30-15°KMA ÜÖNÖ gözlemlenmiştir. Püskürtme avansları dizel yakıtının standart avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-15°KMA, IBE30-17°KMA, IBE30-19°KMA, IBE30-21°KMA ve IBE30-23°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında sırasıyla, %57.65, %43.53, %35.06, %34.82 ve %52.24 oranında duman emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. IBE30-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alındığında, püskürtme avansının artırılması durumunda hafif bir artıştan sonra önemli bir düşüş olurken, püskürtme avansının azaltılması durumunda ise duman yoğunluğu emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. IBE30-19°KMA duman emisyon değeri %55.20 olarak gerçekleşmiştir. Püskürtme avansları IBE30 karışım yakıtının avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-21°KMA avansında %0.36 oranında çok hafif bir artış olurken, IBE30-15°KMA, IBE30-17°KMA ve IBE30-23°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında sırasıyla, %34.78, %13.04 ve %26.45 oranında duman emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. Dizel-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansında ise % 53.99 oranında duman emisyonlarında artış gerçekleşmiştir. IBE karışım yakıtların kullanımı ile püskürtme avansının azaltılması veya artırılması durumunda çoğunlukla duman yoğunluğu emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir.

#### 4.3.6. CO, CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> emisyonlarının püskürtme avansına bağlı değişimi



Şekil 4.24. CO, CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> emisyonlarının püskürtme avansına bağlı değişimi

Şekil 4.24' te CO, CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> emisyonlarının püskürtme avansına bağlı değişimi gösterilmiştir. CO emisyonları, IBE30 ve dizel yakıtının püskürtme avanslarına göre değerlendirildiğinde; Dizel-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alındığında, püskürtme avansının azaltılması veya artırılması durumunda CO emisyonlarında önemli azalmalar gerçekleşmiştir. En yüksek CO emisyon değeri hacimce %0.725 olarak Dizel-19°KMA ÜÖNÖ gerçekleşirken, en düşük CO emisyon değeri hacimce %0.161 olarak IBE30-15°KMA ÜÖNÖ gözlemlenmiştir. Püskürtme avansları dizel yakıtının standart avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-15°KMA, IBE30-17°KMA, IBE30-19°KMA, IBE30-21°KMA ve IBE30-23°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında sırasıyla %77.79, %70.90, %70.62, %51.59 ve %63.86 oranında CO emisyonlarında önemli azalmalar gerçekleşmiştir. IBE30-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alındığında, püskürtme avansının artırılması durumunda CO emisyonlarında artışlar olurken, avansın azaltılması durumunda ise düşüşler gerçekleşmiştir. IBE30-19°KMA CO emisyon değeri hacimce %0.213 olarak gerçekleşmiştir. Püskürtme avansları IBE30 karışım yakıtının avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-21°KMA ve IBE30-23°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında %64.79 ve %23 oranında emisyonlarda artış olurken, IBE30-15°KMA ve IBE30-17°KMA ÜÖNÖ püskürtme

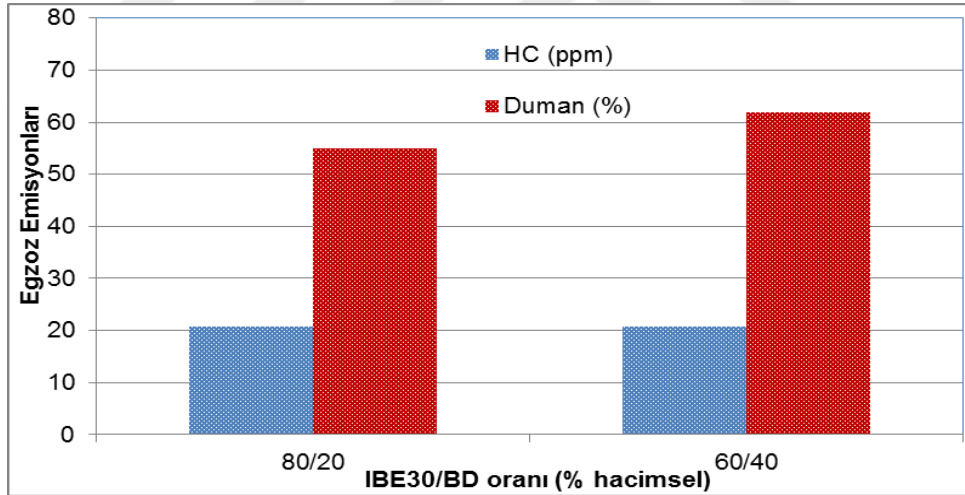
avanslarında ise sırasıyla %24.41 ve %0.94 oranında CO emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. Dizel-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansında ise % 240.38 oranında CO emisyonlarında çok önemli artış gerçekleşmiştir. IBE karışım yakıtların kullanımı ile dizel yakıtıyla kıyaslandığında; püskürtme avansının azaltılması veya artırılması durumunda CO emisyonlarında çok önemli azalmalar gerçekleşmiştir.

CO<sub>2</sub> emisyonları IBE30 ve dizel yakıtının püskürtme avanslarına göre değerlendirildiğinde; Dizel-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alındığında, püskürtme avansının azaltılması veya artırılması durumunda CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalmalar gözlemlenmiştir. En yüksek CO<sub>2</sub> emisyon değeri hacimce %8.41 olarak Dizel-19°KMA ÜÖNÖ gerçekleşirken, en düşük CO<sub>2</sub> emisyon değeri hacimce %7.73 olarak IBE30-23°KMA ÜÖNÖ gözlemlenmiştir. Püskürtme avansları dizel yakıtının standart avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-15°KMA, IBE30-17°KMA, IBE30-19°KMA, IBE30-21°KMA ve IBE30-23°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında sırasıyla %6.66, %4.76, %4.76, %5.83 ve %8.09 oranında CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. IBE30-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alındığında, püskürtme avansının artırılması ve azaltılması durumunda CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalmalar gözlemlenmiştir. IBE30-19°KMA CO<sub>2</sub> emisyon değeri hacimce %8,01 olarak gerçekleşmiştir. Püskürtme avansları IBE30 karışım yakıtının avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-17°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansında emisyonlarda değişiklik olmazken, IBE30-15°KMA, IBE30-21°KMA ve IBE30-23°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında ise sırasıyla %2, %1.12 ve %3.50 oranında CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. Dizel-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansında ise % 4.99 oranında CO<sub>2</sub> emisyonlarında artış gerçekleşmiştir. IBE karışım yakıtların kullanımı ile püskürtme avansının artırılması veya avansın azaltılması durumunda CO<sub>2</sub> emisyonlarında düşüşler gözlemlenmiştir.

O<sub>2</sub> emisyonları IBE30 ve dizel yakıtının püskürtme avanslarına göre değerlendirildiğinde; Dizel-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alındığında, püskürtme avansının azaltılması veya artırılması durumunda O<sub>2</sub> emisyonlarında artışlar gözlemlenmiştir. En yüksek O<sub>2</sub> emisyon değeri hacimce %9.17 olarak IBE30-23°KMA ÜÖNÖ gerçekleşirken, en düşük O<sub>2</sub> emisyon değeri hacimce %7.63 olarak Dizel-19°KMA ÜÖNÖ gözlemlenmiştir. Püskürtme avansları dizel yakıtının standart avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-15°KMA, IBE30-17°KMA, IBE30-19°KMA, IBE30-21°KMA ve IBE30-23°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında

sırasıyla %17.30, %14.42, %14.02, %12.71 ve %20.18 oranında O<sub>2</sub> emisyonlarında artışlar gerçekleşmiştir. IBE30-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alındığında, püskürtme avansının artmasıyla birlikte O<sub>2</sub> emisyonlarında önce azalma eğilimi göstermiş, daha sonra artış gerçekleşmiştir. Püskürtme avansının azaltılması durumunda ise O<sub>2</sub> emisyonlarında artışlar gözlemlenmiştir. IBE30-19°KMA O<sub>2</sub> emisyon değeri ise hacimce %8.70 olarak gerçekleşmiştir. Püskürtme avansları IBE30 karışım yakıtının avansı olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; IBE30-15°KMA, IBE30-17°KMA, ve IBE30-21°KMA ÜÖNÖ püskürtme avanslarında sırasıyla %2.87, %0.34 ve %5.40 oranında O<sub>2</sub> emisyonlarında artışlar gerçekleşirken, IBE30-21°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansında ise %1.15 oranında O<sub>2</sub> emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. Dizel-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansında ise % 12.30 oranında O<sub>2</sub> emisyonlarında azalma gerçekleşmiştir. IBE karışım yakıtların kullanımı ile genellikle püskürtme avansının artırılması veya azaltılması durumunda O<sub>2</sub> emisyonlarında artışlar gerçekleşmiştir.

#### 4.3.7. IBE30 + Biyodizel karışımlarının HC ve duman yoğunluğu emisyonları



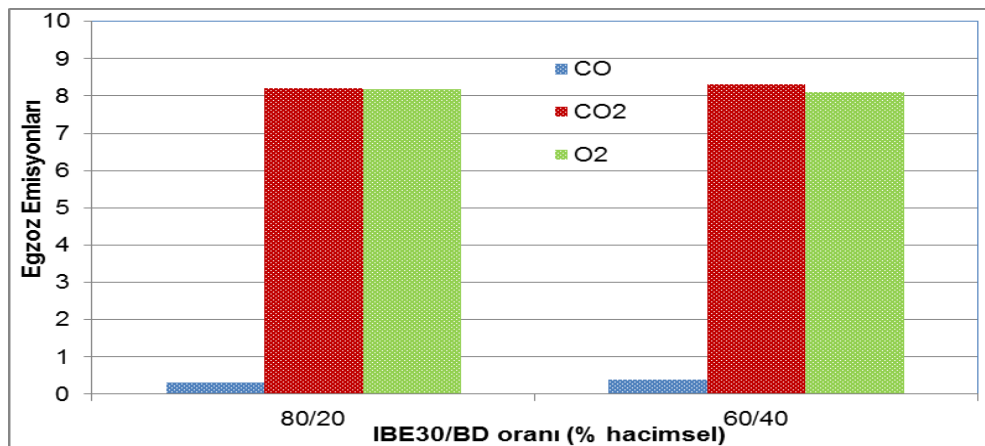
Şekil 4.25. IBE30 + Biyodizel karışımlarının HC ve duman yoğunluğu emisyonları

Şekil 4.25'te IBE30 + Biyodizel karışımlarının HC ve duman yoğunluğu emisyonları gösterilmiştir. IBE30 karışım yakıtı içerisine ilave edilen biyodizel oranları açısından HC emisyonları değerlendirildiğinde; IBE30 + Biyodizel karışımları saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; biyodizel karışım oranının artırılması ve azaltılması durumunda HC emisyonlarında azalmalar gözlenmiştir. Biyodizel karışım oranları karşılaştırıldığında ise, biyodizel karışım oranının artmasıyla HC emisyonlarında bir değişiklik gözlenmemiştir. IBE karışım yakıtı içerisine %20 ve %40 oranlarında

biyodizel eklendiğinde BD20 ve BD40 yakıtların HC emisyon değeri 20.80 ppm olarak gerçekleşmiştir. IBE30 karışım yakıtının HC emisyon değeri 21.60 ppm olurken, dizel yakıtının emisyon değeri ise 30.50 ppm olarak gözlenmiştir. IBE30 + biyodizel karışımlarının HC emisyon değerleri saf dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında; IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtları için sırasıyla %29.18, %31.80 ve %31.80 oranında azalmalar meydana gelmiştir. IBE30 + biyodizel karışımlarının oksijen içeriğinin fazla olmasından dolayı HC emisyon değerleri saf dizel yakıtından düşük gerçekleşmiştir.

Duman yoğunluğu emisyonları bakımından incelendiğinde; IBE30 + Biyodizel karışımları saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; biyodizel karışım oranının artırılması ve azaltılması durumunda duman yoğunluğu emisyonlarında azalmalar gözlenmiştir. Biyodizel karışım oranları kıyaslandığında ise, biyodizel karışım oranının artmasıyla duman emisyonlarında artış gözlenmiştir. IBE karışım yakıtı içerisine %20 oranında biyodizel eklendiğinde BD20 yakıtın duman emisyon değeri %55 olarak gerçekleşirken, %40 oranında biyodizel eklendiğinde BD40 yakıtın duman emisyon değeri %62 olarak gözlemlenmiştir. IBE30 karışım yakıtının duman emisyon değeri %50 olurken, dizel yakıtının emisyon değeri ise %85 olarak gözlenmiştir. Biyodizel oranları karşılaştırıldığında, %40 oranında biyodizel eklendiğinde BD40 yakıtında %12.72 oranında artış gerçekleşmiştir. IBE30 + biyodizel karışımlarının duman emisyon değerleri saf dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında; IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtları için sırasıyla %41.18, %35.29 ve %27.06 oranında duman emisyonlarında azalmalar meydana gelmiştir. IBE30 + biyodizel karışımlarının kullanımı ile duman yoğunluğu emisyonlarında önemli azalmalar gerçekleşmiştir.

#### 4.3.8. IBE30 + Biyodizel karışımlarının CO, CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> emisyonları



Şekil 4.26. IBE30 + Biyodizel karışımlarının CO, CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> emisyonları



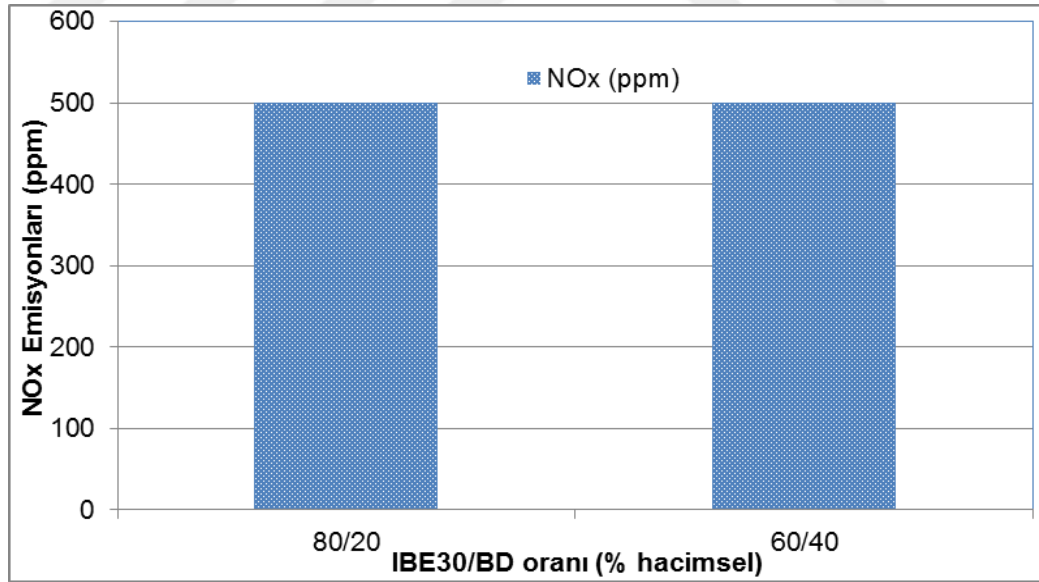
**Şekil 4.26**'da IBE30 + Biyodizel karışımlarının CO, CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> emisyonları gösterilmiştir. CO emisyonları bakımından değerlendirildiğinde; IBE30 + Biyodizel karışımları saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; biyodizel karışım oranının artırılması ve azaltılması durumunda CO emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. Biyodizel karışım oranları karşılaştırıldığında ise, biyodizel karışım oranının artmasıyla CO emisyonlarında artış gözlenmiştir. IBE karışım yakıtı içerisine %20 oranında biyodizel eklendiğinde BD20 yakıtın CO emisyon değeri hacimce %0.331 olarak gerçekleşirken, %40 oranında biyodizel eklendiğinde BD40 yakıtın CO emisyon değeri hacimce %0.403 olarak gözlemlenmiştir. Biyodizel oranları karşılaştırıldığında, %40 oranında biyodizel eklendiğinde BD40 yakıtında %21.75 oranında artış gerçekleşmiştir. IBE30 karışım yakıtın CO emisyon değeri hacimce %0.240 olurken, dizel yakıtın CO emisyon değeri hacimce %0.725 olarak gözlemlenmiştir. IBE30 + biyodizel karışımlarının CO emisyon değerleri saf dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında; IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtları için sırasıyla %66.90, %54.34 ve %44.41 oranında CO emisyonlarında azalmalar meydana gelmiştir. IBE30 + biyodizel karışımlarının kullanımı ile CO emisyonlarında önemli azalmalar gerçekleşmiştir.

CO<sub>2</sub> emisyonları bakımından incelendiğinde; IBE30 + Biyodizel karışımları saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; biyodizel karışım oranının artırılması ve azaltılması durumunda CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. Biyodizel karışım oranları karşılaştırıldığında ise, biyodizel karışım oranının artmasıyla CO<sub>2</sub> emisyonlarında artış gözlenmiştir. IBE karışım yakıtı içerisine %20 oranında biyodizel eklendiğinde BD20 yakıtın CO<sub>2</sub> emisyon değeri hacimce %8.21 olarak gerçekleşirken, %40 oranında biyodizel eklendiğinde BD40 yakıtın CO<sub>2</sub> emisyon değeri hacimce %8.33 olarak gözlemlenmiştir. Biyodizel oranları karşılaştırıldığında, %40 oranında biyodizel eklendiğinde BD40 yakıtında %1.46 oranında artış gerçekleşmiştir. IBE30 karışım yakıtın CO<sub>2</sub> emisyon değeri hacimce %7.88 olurken, dizel yakıtın CO<sub>2</sub> emisyon değeri hacimce %8.41 olarak gözlemlenmiştir. IBE30 + biyodizel karışımlarının CO<sub>2</sub> emisyon değerleri saf dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında; IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtları için sırasıyla %6.30, %2.38 ve %0.95 oranında CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalmalar meydana gelmiştir. IBE30 + biyodizel karışımlarının kullanımı ile CO<sub>2</sub> emisyonlarında düşüşler gerçekleşmiştir.

O<sub>2</sub> emisyonları bakımından incelendiğinde; IBE30 + Biyodizel karışımları saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında; biyodizel karışım oranının artırılması ve azaltılması

durumunda  $O_2$  emisyonlarında artışlar gerçekleşmiştir. Biyodizel karışım oranları karşılaştırıldığında ise, biyodizel karışım oranının artmasıyla  $O_2$  emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir. IBE karışım yakıtı içerisinde %20 oranında biyodizel eklendiğinde BD20 yakıtın  $O_2$  emisyon değeri hacimce %8.20 olarak gerçekleşirken, %40 oranında biyodizel eklendiğinde BD40 yakıtın  $O_2$  emisyon değeri hacimce %8.10 olarak gözlemlenmiştir. Biyodizel oranları karşılaştırıldığında, %40 oranında biyodizel eklendiğinde BD40 yakıtında %1.22 oranında azalma gerçekleşmiştir. IBE30 karışım yakıtın  $O_2$  emisyon değeri hacimce %8.67 olurken, dizel yakıtın  $O_2$  emisyon değeri hacimce %7.63 olarak gözlemlenmiştir. IBE30 + biyodizel karışımlarının  $O_2$  emisyon değerleri saf dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında; IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtları için sırasıyla %13.63, %7.47 ve %6.16 oranında  $O_2$  emisyonunda artışlar meydana gelmiştir. IBE + biyodizel karışımlarının oksijen içeriğinin fazla olmasından dolayı  $O_2$  emisyon değerleri saf dizel yakıtından daha yüksek gerçekleşmiştir. IBE30 + biyodizel karışımlarının kullanımı ile  $O_2$  emisyonlarında artışlar gerçekleşmiştir.

#### 4.3.9. IBE30 + Biyodizel karışımlarının NO<sub>x</sub> emisyonları



Şekil 4.27. IBE30+Biyodizel karışımlarının NO<sub>x</sub> emisyonları

Şekil 4.27’de IBE30 + Biyodizel karışımlarının NO<sub>x</sub> emisyonları gösterilmiştir. IBE30 karışım yakıtı içerisinde ilave edilen biyodizel oranları açısından NO<sub>x</sub> emisyonları değerlendirildiğinde; IBE30 + Biyodizel karışımları saf dizel yakıtıyla kıyaslandığında;

biyodizel karışım oranının artırılması ve azaltılması durumunda  $\text{NO}_x$  emisyonlarında artışlar gerçekleşmiştir. Biyodizel karışım oranları karşılaştırıldığında ise, biyodizel karışım oranının artmasıyla  $\text{NO}_x$  emisyonlarında %0.040 oranında çok hafif bir artış gözlenmiştir. IBE karışım yakıtı içerisinde %20 oranında biyodizel eklendiğinde BD20 yakıtı için  $\text{NO}_x$  emisyon değeri 501 ppm, %40 oranında biyodizel eklendiğinde BD40 yakıtı için de  $\text{NO}_x$  emisyon değeri 501.20 ppm olarak ölçülmüştür. IBE30 karışım yakıtının  $\text{NO}_x$  emisyon değeri 594 ppm olurken, dizel yakıtın  $\text{NO}_x$  emisyon değeri 476.67 ppm olarak gözlemlenmiştir. IBE30 + biyodizel karışımlarının  $\text{NO}_x$  emisyon değerleri saf dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında; IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtları için sırasıyla %24.61, %5.10 ve %5.15 oranında  $\text{NO}_x$  emisyonunda artışlar meydana gelmiştir. IBE30+biyodizel karışımlarının oksijen içeriğinin fazla olmasından dolayı  $\text{NO}_x$  emisyon değerleri saf dizel yakıtından daha yüksek gerçekleşmiştir. IBE30 + biyodizel karışım oranı arttıkça  $\text{NO}_x$  emisyonları artış göstermiştir. Çünkü yüksek oksijen içeriğine sahip olmaları, adyabatik alev sıcaklığı ve setan sayısının yüksek olması yanma verimini de artırdığından dolayı yanma sonu sıcaklığı artmakta ve  $\text{NO}_x$  emisyonları oluşmaktadır. IBE30 + biyodizel karışımlarının kullanımı ile  $\text{NO}_x$  emisyonlarında artışlar gerçekleşmiştir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, izopropanol-butanol-etanol (IBE)'nin petrol kökenli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %10, %20 ve %30 oranlarındaki karışımları ile %30 oranındaki karışımın biyodizel ile %80 ve %60 oranlarındaki karışımlarından oluşan test yakıtları tek silindirli, dört zamanlı ve direk püskürtmeli bir dizel motorunda 2400 devir/dakika sabit motor hızında ve farklı yük şartlarında yakıt olarak kullanılmış yanma ve egzoz emisyonlarındaki üzerindeki etkileri incelenmiştir. IBE'nin %30 oranındaki dizel ile olan karışımı ayrıca farklı püskürtme avanslarında tekrar kullanılmıştır.

### 5.1. Sonuçlar

Ticari dizel yakıtına IBE eklenmesi ile düşük yük şartlarında yanmayı geciktirdiği ancak yükün artırılması ile bu gecikmenin azaldığını göstermiştir. Bununla beraber IBE'nin kullanılması silindir gaz basıncı değerlerinde düşük yük durumu hariç bir artışa neden olmuştur. Isı salınımı ise tüm yük kademelerinde artış göstermiş olsa da bu artış yakıttaki IBE miktarı ile orantılı olmamıştır. Tüm yük kademelerinde ısı salınımı IBE20 için diğer yakıt türlerine göre daha yüksek gerçekleşmiştir. Buna karşın IBE30 kullanımında ise ısı salınımının daha düşük gerçekleştiği ve üst ölü noktadan uzaklaştığı gözlenmiştir. Tüm yük kademelerinde her bir yakıt türü için maksimum silindir gaz basınç değerleri ÜÖN'dan sonra gerçekleşmiştir. %20 yük durumunda IBE20 ile ölçülen maksimum silindir basıncı %40 ve %60 yük durumlarında IBE30 ile ölçülmüştür.

Farklı püskürtme avanslarında IBE30 kullanılması ile elde edilen silindir gaz basıncı ve ısı salınımı değerleri incelendiğinde; püskürtme avansının artmasıyla silindir gaz basıncı ile ısı salınımının arttığı görülmektedir. Ancak referans avans değeri olan 19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında; avansın sırası ile azaltılması silindir gaz basıncı ve ısı salınımının düşmesine neden olurken; avansın artırılması ise basınç ve ısı salınımının yükselmesine neden olmuştur. Avans arttıkça tutuşma gecikmesi arttığından, böylece yanma odasına püskürtülen karışım miktarı da artacağından dolayı daha fazla yakıtın bir anda hızlıca yanmaya başlaması silindirdeki maksimum basıncın yükselmesine neden olmaktadır.

Tüm yüklerde maksimum vuruñu yoğunluğu değerlerinin 350°KMA ve 370°KMA arasındaki konumlarda gerçekteşmiş olduğu ve yükteki artış ile önemli bir derecede değişmediği gözlemlenmiştir. Tüm yük kademeleri için yakıttaki IBE miktarının artması ile vuruñu yoğunluğu artmış ve vuruñu yoğunluğunun artmaya başlaması dizel ile karşılaştırıldığında ÜÖN'ya yaklaştırmıştır. Maksimum basıncın olduğu durumlarda vuruñu yoğunluğunun da yüksek olması basınç artışının vuruñu yoğunluğu oluşumunda etkili olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, dizele katılan IBE karışımının düşük setan sayısı gibi özelliklerden dolayı tutuşma gecikmesinin uzaması gibi etkilerden dolayı maksimum basınç artışı ve buna bağlı olarak da vuruñu yoğunluğunun arttığı söylenebilir.

IBE karışımların kullanılmasıyla egzoz gazı sıcaklıklarında azalmalar gerçekteşmiştir. IBE yakıt karışımlarının egzoz gazı sıcaklıkları tüm yüklerde saf dizel yakıtının egzoz sıcaklıklarından daima daha düşük gerçekteşmiştir. Yüklere göre en düşük egzoz gazı sıcaklık değerleri %20 yükte IBE20, %40 ve %60 yüklerde ise IBE30 yakıtı ile ölçülmüştür.

IBE30 ve dizel yakıtının farklı püskürtme avanslarında egzoz gazı sıcaklıkları incelendiğinde; Dizel-19°KMA ÜÖNÖ ile karşılaştırıldığında, püskürtme avansının azaltılması veya artırılması durumunda egzoz sıcaklıklarında azalmalar gözlenmiştir. IBE30-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alındığında ise, püskürtme avansının azaltılması durumunda egzoz sıcaklıklarında artış gözlenirken, avansın artırılması ile önce artış olmuş, daha sonra da egzoz gazı sıcaklıklarında azalma gerçekteşmiştir.

HC emisyonları yük durumlarına göre incelendiğinde; düşük yüklerde tüm IBE karışım yakıtlar için HC emisyonlarında artışlar olurken, maksimum %60 yükte ise tüm karışım yakıtların HC emisyonlarında düşüş gözlemlenmiştir. IBE karışım yakıtının buharlaşma ısısının yüksek olmasından dolayı yanma sıcaklığını düşürmekte ve yanmamış HC emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Maksimum yükte HC emisyonlarının azalmasının sebebi, yük artışına bağlı alev sönme bölgelerinin azalması ve yanma sıcaklıklarının artmasıdır. Yüklere göre en düşük HC emisyon değerleri %20 yükte dizel yakıtı, %40 ve %60 yükte ise IBE20 yakıtı ile ölçülmüştür.

HC emisyonları, IBE30 ve dizel yakıtının farklı püskürtme avanslarına göre incelendiğinde; Dizel-19°KMA ile IBE30-19°KMA püskürtme avansları referans alındığında; püskürtme avansının düşürülmesi veya artırılması durumunda HC emisyon değerlerinde azalmalar gerçekteşmiştir. Püskürtme avansının artırılmasıyla yakıtın

buharlaşması için yeterli zaman oluştuğundan dolayı iyi bir yanma sağlanmaktadır. Böylece silindir içi basınç ve sıcaklıkların artmasıyla yanmamış HC emisyonlarının oksitlenmesi gerçekleştiğinden dolayı HC emisyon değerleri azalma eğilimi göstermiştir.

Duman yoğunluğu emisyonları yük durumlarına göre değerlendirildiğinde, genellikle tüm yüklerde IBE karışım yakıtların duman emisyonları saf dizel yakıtından daha düşük gerçekleşmiştir. IBE karışım oranının artmasıyla birlikte önemli azalmalar göstermiştir. Bununla beraber tüm test yakıtları için yükün artması ile duman yoğunluğu da artış göstermiştir. IBE içeren yakıt karışımlarının yanma odasında oksijen konsantrasyonunu artırarak duman öncülerini etkin bir şekilde oksitleyebilmeleri ile duman oluşumunun azalttığı söylenebilir. Tüm yüklerde IBE30 karışım yakıtı ile en düşük duman yoğunluğu emisyonları elde edilmiştir.

Duman yoğunluğu emisyonları IBE30 ve dizel yakıtının farklı püskürtme avanslarına göre incelendiğinde; Dizel-19°KMA ÜÖNÖ referans alındığında, püskürtme avansının düşürülmesi veya artırılması durumunda duman emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir. IBE30-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansına göre ise, püskürtme avansının artırılması durumunda hafif bir artıştan sonra önemli düşüş olurken, püskürtme avansının düşürülmesi durumunda ise duman yoğunluğu emisyonlarında azalmalar gerçekleşmiştir.

CO emisyonları yük durumlarına göre incelendiğinde; düşük IBE karışım oranında yüksek olurken, IBE karışım oranının artmasıyla birlikte CO emisyonlarında önemli azalmalar gerçekleşmiştir. Düşük yüklerde tüm IBE karışım yakıtları için CO emisyonlarında önemli artışlar olurken, maksimum yükte ise IBE20 ve IBE30 karışım yakıtların CO emisyonlarında önemli azalmalar gözlemlenmiştir. Yüklere göre en düşük CO emisyon değerleri %20 yükte dizel yakıtı, %40 yükte IBE10 ve %60 yükte ise IBE30 yakıtı ile ölçülmüştür.

CO emisyonları IBE30 ve dizel yakıtının farklı püskürtme avanslarına göre incelendiğinde; Referans avans değeri olarak Dizel-19°KMA ÜÖNÖ alındığında, püskürtme avansının düşürülmesi veya artırılması durumunda CO emisyon değerlerinde önemli azalmalar gerçekleşmiştir. IBE30-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansına göre ise, püskürtme avansının düşürülmesiyle azalmalar gözlenirken, avansın artırılması durumunda ise CO emisyonlarında artışlar gerçekleşmiştir. Avansa göre CO emisyonlarının azalmasının sebebi, IBE karışımlarının yapısındaki karbon atomlarının

az olması ve yüksek oksijen içeriğine sahip olmaları nedeniyle yanma sırasında silindir içerisinde karbon atomlarıyla birleşerek tam yanmasını sağlamalarıdır.

NO<sub>x</sub> emisyonları yük durumlarına göre incelendiğinde; motor yükünün artmasıyla birlikte tüm yakıtların NO<sub>x</sub> emisyonlarında artışlar gerçekleşmiştir. IBE içeren karışım yakıtlar kısmen düşük yük koşullarında dizel yakıtına göre IBE20 ve IBE30 daha düşük NO<sub>x</sub> emisyonuna sahip olurken, yükün artmasıyla beraber daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonları gerçekleşmiştir. Ayrıca, düşük yük hariç yakıttaki IBE oranı artıkça NO<sub>x</sub> emisyonları da artış göstermiştir. Yüklere göre en düşük NO<sub>x</sub> emisyon değerleri %20 yükte IBE30, %40 yükte dizel yakıtı ve %60 yükte ise IBE10 yakıtında ölçülmüştür.

NO<sub>x</sub> emisyonları IBE30 ve dizel yakıtının farklı püskürtme avanslarına göre incelendiğinde; Dizel-19°KMA ile IBE30-19°KMA püskürtme avansları referans alındığında; püskürtme avansının düşürülmesiyle azalmalar gözlenirken, avansın artırılması durumunda ise NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinde artışlar meydana gelmiştir. Püskürtme avansının azaltılmasıyla kontrollü yanma fazında karışım yakıtın büyük bir bölümü yandığından dolayı hacim genişlemesiyle silindir içi sıcaklıkların da düşmesinden dolayı NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma gerçekleşmektedir.

CO<sub>2</sub> emisyonları yük durumlarına göre incelendiğinde; IBE karışım oranının artmasıyla azalmalar olurken, motor yükünün artmasıyla birlikte CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinde artışlar gerçekleşmiştir. Yüklere göre en düşük CO<sub>2</sub> emisyon değerleri %20 ve %40 yükte IBE30 yakıtı, %60 yükte ise IBE20 yakıtı ile ölçülmüştür.

CO<sub>2</sub> emisyonları IBE30 ve dizel yakıtının farklı püskürtme avanslarına göre incelendiğinde; Dizel-19°KMA ile IBE30-19°KMA püskürtme avansları referans alındığında; püskürtme avansının azaltılması veya artırılması durumunda CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir.

O<sub>2</sub> emisyonları yük durumlarına göre incelendiğinde; düşük motor yüklerinde ve IBE karışımların oksijen içeriğinin yüksek olmasından dolayı IBE karışım oranının artmasıyla O<sub>2</sub> emisyonlarında artışlar gerçekleşmiştir. Fakat motor yükünün artmasıyla birlikte O<sub>2</sub> emisyon değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Bunun nedeni motor hızı artıkça silindire giren oksijen miktarının azalmasıdır. Yüklere göre en yüksek O<sub>2</sub> emisyon değerleri %20 ve %40 yükte IBE30 yakıtı, %60 yükte ise IBE20 yakıtı ile ölçülmüştür.

O<sub>2</sub> emisyonları IBE30 ve dizel yakıtının farklı püskürtme avanslarına göre incelendiğinde; Dizel-19°KMA ÜÖNÖ püskürtme avansı referans alındığında, püskürtme avansının düşürülmesi veya artırılması durumunda O<sub>2</sub> emisyonlarında artışlar gözlemlenmiştir. IBE30-19°KMA ÜÖNÖ referans alındığında ise, püskürtme avansının düşürülmesi ile artışlar gerçekleşirken, avansın artırılmasıyla önce düşme eğilimi göstermiş, daha sonra da O<sub>2</sub> emisyonlarında artış gerçekleşmiştir.

IBE30 + biyodizel karışımlarının egzoz gazı sıcaklık değerleri saf dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında; IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtları için egzoz gazı sıcaklığında azalmalar gözlemlenmiştir. Karışımdaki biyodizel oranının artmasıyla birlikte BD40 karışım yakıtının egzoz gazı sıcaklıkları BD20 yakıtına göre artış göstermiştir. Bunun nedeni biyodizelin setan sayısı ve viskozitesinin yüksek olması tutuşma gecikmesini kısalttığından dolayı kontrollü yanma fazı uzamakta ve böylece egzoz gazı sıcaklıkları artış göstermektedir.

HC emisyon değerleri IBE30 + biyodizel karışımlarının kullanımı ile saf dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtları için daha düşük değerler elde edilmiştir. Karışımdaki biyodizel oranının artmasıyla BD20 ve BD40 yakıtının HC emisyonlarında bir değişiklik gözlenmemiştir.

Duman emisyon değerleri IBE30 + biyodizel karışımlarının kullanımı ile saf dizel yakıtına göre IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtlarının duman yoğunluğu emisyonlarında çok daha düşük değerler gerçekleşmiştir. Karışımdaki biyodizel oranının artmasıyla birlikte BD40 karışım yakıtının duman emisyon değeri BD20 yakıtına artış göstermiştir.

CO emisyon değerleri IBE30 + biyodizel karışımları saf dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtları için daha düşük CO emisyonları elde edilmiştir. Karışımdaki biyodizel oranının artmasıyla birlikte BD40 karışım yakıtının CO emisyon değeri BD20 yakıtına göre artış göstermiştir.

NO<sub>x</sub> emisyon değerleri, IBE30 +biyodizel karışımları saf dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtları için NO<sub>x</sub> emisyonunda artışlar meydana gelmiştir. Karışımdaki biyodizel oranının artmasıyla birlikte BD40 karışım yakıtının NO<sub>x</sub> emisyon değeri BD20 yakıtına çok hafif artış göstermiştir.

CO<sub>2</sub> emisyon değerleri, IBE30 + biyodizel karışımları saf dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtları için CO<sub>2</sub> emisyonlarında



düşüşler gerçekleşmiştir. Karışımdaki biyodizel oranının artmasıyla birlikte BD40 karışım yakıtının CO<sub>2</sub> emisyon değeri BD20 yakıtına göre artış göstermiştir.

O<sub>2</sub> emisyon değerleri, IBE30 + biyodizel karışımları saf dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında IBE30, BD20 ve BD40 karışım yakıtları için O<sub>2</sub> emisyonunda artışlar meydana gelmiştir. Karışımdaki biyodizel oranının artmasıyla birlikte BD40 karışım yakıtının O<sub>2</sub> emisyon değeri BD20 yakıtına göre azalma göstermiştir.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda, dizel motorlarında IBE karışım yakıtların (IBE10, IBE20, IBE30) kullanımı sonucunda, tüm yüklerde egzoz gazı sıcaklığı azalmakta, yükün artmasıyla birlikte silindir gaz basıncı, ısı salınımı ve vuruntu yoğunluğu değerlerinde artışlar gerçekleşmiştir. Egzoz emisyonlarında, CO<sub>2</sub> ve duman yoğunluğu emisyonlarında azalma gözlenmiştir. HC ve CO emisyonlarında düşük yüklerde artışlar olurken, maksimum yük durumunda azalmalar gerçekleşmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise düşük yüklerde azalma olurken, yükün artmasıyla birlikte artış görülmüştür. Püskürtme avansının düşürülmesiyle NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, HC ve duman yoğunluğu emisyonlarında azalmalar meydana gelirken, avansın artırılması durumunda CO, CO<sub>2</sub>, HC ve duman yoğunluğu emisyonlarında azalmalar gözlenmiş, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise artış gerçekleşmiştir.

IBE30 karışımına biyodizel yakıtı eklenmesiyle maksimum silindir basıncı, ısı salınımı ve vuruntu yoğunluğu değerlerini artırmış, egzoz gazı sıcaklıklarını da azaltmıştır. Bununla beraber CO, CO<sub>2</sub>, HC ve duman yoğunluğu emisyonları dizele göre daha düşük olurken, NO<sub>x</sub> emisyonları ise artış göstermiştir.

Genel olarak bakıldığında dizel motorlarında IBE ve IBE+Biyodizel yakıt karışımlarının kullanılmasının egzoz emisyonlarında olumlu iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir. IBE karışımlarında, uygun karışım oranı ve püskürtme avansı kullanıldığında dizel motorlar için çok önemli bir sorun haline gelen egzoz emisyonlarına köklü bir çözüm getirebileceği düşünülmektedir.

## 5.2. Öneriler

- IBE karışımlarını dizel motorlarında güvenli ve çevreci bir yakıt olarak kullanımı için en uygun karışım oranında ve püskürtme avansında IBE karışım oranının belirlenmesi için deneysel olarak incelenmesi

- IBE yakıt karışımlarının farklı motor çalışma parametrelerinde motor performansına olan etkilerinin incelenmesi
- IBE yakıt karışımlarının setan sayıları açısından emisyonlar üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesi
- Motorun en ideal verimli çalışma şartlarında, kullanılan alkol yakıt türlerine göre farklı püskürtme avansı, farklı püskürtme basıncı, farklı devirlerde ve hava miktarının değiştirilerek deneysel olarak incelenmesi
- Alkol yakıtların pahalı olmasından dolayı, içten yanmalı motorlarda yaygın olarak kullanımı için IBE fermantasyonu üretimine yönelik ucuz yöntemlerin ve biyokütle kaynaklarının araştırılması
- Dizel motorlarında emisyonu azaltıcı sistemler kullanılarak motor parametrelerinin deneysel olarak incelenmesi
- IBE karışımlarının motor parçaları ve yakıt sistemi üzerindeki aşındırıcı etkilerinin incelenmesi

## KAYNAKLAR

- AB direktif, 2009, Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council, 23 April 2009, L 140/16:1-97.
- Altun, Ş., Öner, C., Yaşar, F., Fırat, M., 2011, Dizel Motoru Emisyonlarında Yakıt Olarak Biyodizel-Dizel-Etanol Karışımının Etkisi, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3: 1-6.
- Altun, Ş., Öner, C., Yasar, F., Adin, H., 2011, "Effect of n-butanol blending with a blend of diesel and biodiesel on performance and exhaust emissions of a diesel engine", Industrial, Engineering Chemistry Research, 50, 9425-9430.
- Altun, Ş., Öner, C., Fırat, M., 2010, "Exhaust emissions from a spark-ignition engine operating on iso-propanol and unleaded gasoline blends", Technology, 13 (3): 183-188.
- Altun, 2009, Hayvansal Yağlardan Biyo-Yakıt Üretimi ve Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Deneysel Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 12-13.
- Al-Hasan, M. I., Al-Momany, M., 2008, The effect of iso-butanol-diesel blends on engine performance, Transport, 23 (4): 306-310.
- Alptekin, E., Çanakçı, M., 2006, Biyodizel ve Türkiye'nin Durumu, Mühendis ve Makine Dergisi, 47(561), 57-64.
- Anonim, 2006, Pankobirlik, Konya Şeker Fabrikası Yayınları, Konya Şeker Toprağın Tadı Dergisi , Yıl:3, Sayı:7: 14-18.
- Asfar, K. R., Al-Rabadi T. H., 2003, Fuel blends in compression ignition engines, 1st International Energy Conversion Engineering Conference, 6027-6035.
- Atmanlı A., 2013, Dizel Motorunda Dizel Yakıtı-Alkol-Bitkisel Yağ Karışımları Kullanımının Motor Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 47-79.
- Avcı, A. ve Dönmez, S., 2011, Biyoyakıt Olarak Bütanol ve Fermantasyonla Üretimi , Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi, 2: 1-12.
- Ayyılmaz, N., 2012, Bütanol/Dizel Yakıt Karışımı İle Çalışan Bir Motorda Püskürtme Zamanının Performans ve Emisyonlara Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 24-66.
- Ballesteros, R., Hernández, J. J. and Flores, J. G., 2012, "Carbonyls speciation in a typical European automotive diesel engine using bioethanol/butanol-diesel blends", Fuel, 95, 136-145.
- Beşergil, 2009, Yakıtlar Yağlar, Ege Üniversitesi Yayını, İzmir, 249-277.

- Çelik, M., Örs, İ., Bayındırlı, C., Demiralp, M., 2017, Experimental investigation of impact of addition of bioethanol in different biodiesels, on performance, combustion and emission characteristics. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(11):5581-5592.
- Çelikten, İ., 2004, Tam Yükte Çalışan Endirekt Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Dizel ve Dizel-Etanol Yakıt Karışımlarının Motor Performansı ve Emisyon Değişimlerine Etkilerinin İncelenmesi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi*, 7 (1): 11-18.
- Ceviz, M.A., Yüksel F., 2005, Etanol-kurşunsuz benzin karışımlarının bir SI motorundaki döngüsel değişkenlik ve emisyonlar üzerindeki etkileri, *Applied Thermal Engineering*, 25(5-6): 917-925.
- Chang, YC., Lee, WJ., Wu, TS., Wu, CY., Chen, SJ., 2014, Use of water containing acetone–butanol–ethanol for NOx-PM (nitrogen oxide-particulate matter) trade-off in the diesel engine fueled with biodiesel, *Appl Energy*, 64:678-687.
- Chang, YC., Lee, WJ., Lin, SL., Wang. LC., 2013, Green Energy: Water-Containing Acetone–Butanol–Ethanol Diesel Blends Fueled In Diesel Engines, *Appl Energy*, 109:182–191.
- Collas, F., Kuit, W., Clément, B., Marchal, R., López-Contreras, A. M., Monot, F., 2012, Simultaneous Production Of İsoopropanol, Butanol, Ethanol and 2,3-Butanediol By *Clostridium Acetobutylicum* ATCC 824 Engineered Strains, *AMB Express*, 2:45.
- Cornils, B., 2004, *Handbook of Commercial Catalysts. Heterogeneous Catalysts*, By Howard F. Rase, 2324-2325.
- Dağdelen, D., 2015, "Küresel Biyoyakıt Politikalarının AB ve Türkiye Açısından Değerlendirilmesi", GIDA, TARIM VE HAYVANCILIK BAKANLIĞI Avrupa Birliği Ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü, AB Uzmanlık Tezi, 1-79.
- Demirdelen, S., 2019, İBE Fermantasyonundan Bütanol ve İzopropanol Saflaştırma Prosesinin Tasarımı ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 43-52.
- Dey, S., Caulfield, B., Ghosh, B. Potential health and economic benefits of banning diesel traffic in Dublin, Ireland, *Journal of Transport & Health*, 10, 2018, 156-166.
- Doğan, O., 2011, The influence of n-Butanol Diesel Fuel Blends Utilization on a Small Diesel Engine Performance and Emissions, *Fuel*, 90: 2467-2472.
- Ejder, S. B., 2007, Etanol - Dizel, Biyodizel - Dizel Yakıt Karışımlarının Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Erkal, G., 2010, Comparison Of Engine Performance and Emissions For Conventional Petroleum Diesel Fuel and Diesel-Ethanol Blends, Master of Science in Mechanical Engineering Department, Middle East Technical University, Ankara.1-80.
- Ezeji, T., Qureshi, N., Blaschek, H. P., 2004, Butanol fermentation research: upstream and downstream manipulations, *Chemical Record*, 4(5):305-314.
- Gedik Ö.T., 2015, Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 65-68.
- Hansen, A. C., Hornbaker, R. H., Zhang, Q., 2001, Ethanol-Diesel Blends: A step towards a bio- based fuel for diesel engines, *ASAE*, 01: 6002-6048.
- Huang, J., Wanga, Y., Li, S., Roskilly, A. P., Yu, H. and Li, H., 2009, Experimental Investigation On The Performance and Emissions Of A Diesel Engine Fuelled With Ethanol-Diesel Blends, *Applied Thermal Engineering*, 29: 2484-2490.
- Işıklı, İ., E. Açıkkalp, E., Yamık, H., Kurban, M., 2011, Biyodizelin Dizel Santrallerde Kullanım Analizi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), Elazığ, Turkey
- İlhan, M., 2007, Çift Yakıtlı (Dizel Metanol) Bir Dizel Motorda Püskürtme Avansının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 59-110.
- Jin,C., Yao, M., Liu, H., Leed, C. F. ve Ji, J., 2011, Progress in the production and application of n-butanol as a biofuel, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,15: 4080-4106.
- Jones D.T.,Woods D.R., (1986). Acetone–butanol fermentation revisited, *Microbiology Reviews*, 50: 484-524.
- Karabektaş, M., Hoşsöz, M., 2009,Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends, *Renewable Energy*, 34 (6):1554–1559.
- Kılıçaslan,K., 2010, İsobütanol-Dizel Karışımlarının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 43-52.
- Kujawska, A., Kujawski, J., Bryjak, M. ve Kujawski, W., 2015, ABE fermentation products recovery methods-A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48: 648–661.

- Kulakoğlu T., 2009, Dizel-Metanol Karışımı Kullanılan Bir Dizel Motorda Püskürtme Basıncının Performans ve Emisyonlara Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,57-75.
- Kumar, B.R., Saravanan. S., 2016, Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60: 84-115.
- Kumar, S., Cho, J. H., Park, J. and Moon, I., 2013, Advances in diesel-alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22: 46-72.
- Lee, T., Hansen, A., Li, G., Lee, T., 2019, Effects of isopropanol-butanol-ethanol and diesel fuel blends on combustion characteristics in a constant volume chamber, *Fuel*, 254: 115613.
- Lee, T., Wu, H., Hansen, A., Lee T., 2017, "Comparison study on combustion and emission characteristics of ABE/IBE-diesel blends in a common-rail diesel engine", SAE technical paper, 01-2321.
- Lee, T., Lin, Y., Meng, X., Li, Y., 2016, Combustion characteristics of acetone, butanol, and ethanol (ABE) blended with diesel in a compression-ignition engine. SAE technical paper, 01-0884
- Li, F., Yi, B., Fu, W., Song, L., Liu, T., Hu, H., Lin, Q. (2019). Experimental study on spray characteristics of long-chain alcohol-diesel fuels in a constant volume chamber. *Journal of the Energy Institute*, 92(1):94-107.
- Li, G., Liu, Z., Lee, TH., Lee, CF., Zhang, C., 2018, 'Effects of dilute gas on combustion and emission characteristics of a common-rail diesel engine fueled with isopropanol-butanol-ethanol and diesel blends, *Energy Conversion and Management*, 373–381.
- Li, Y., Chen, Y., Wu, G., Lee, C. Liu, J., 2018, Experimental comparison of acetone-n-butanol-ethanol (ABE) and isopropanol-n-butanol-ethanol (IBE) as fuel candidate in spark-ignition engine, *Applied Thermal Engineering*, 133: 179–187.
- Li, Y., Meng L., Nithyanandan K., Lee T.H., Lin Y., Chia-fon F.L., Liao S., 2016,' Combustion, performance and emissions characteristics of a spark-ignition engine fueled with isopropanol-n-butanol-ethanol and gasoline blends, *Fuel*, 184: 864-872.
- Lin, Y., Lee, T., Nithyanandan,K., Zhang, J., 2016, Experimental investigation and analysis of combustion process in a diesel engine fueled with acetone-butanol-ethanol/diesel blends, SAE technical paper, 01-0737.
- Liu, K., Atiyeh, H. K., Stevenson, B.S., Tanner, R.S., Wilkins, M.R., Huhnke, R.L., 2014, Continuous Syngas Fermentation for the Production of Ethanol, n-propanol and n-butanol, *Bioresource Technology*, 151: 69-77.
- Merck İlaç Ecza ve Kimya, 2016, Bütanol Güvenlik Formu, 1–14.

- Minteer S., 2006, *Alcoholic Fuels*, Taylor&Francis Group, Missouri, 1-296.
- Nithyanandan K., Wu H., Huo M., Lee CF., 2014, A preliminary investigation of the performance and emissions of a port-fuel injected SI engine fueled with acetone–butanol–ethanol (ABE) and gasoline, SAE Paper, 01-1459.
- Öğüt, H., Oğuz, H ., 2006, Üçüncü Milenyum Yakıtı, Biyodizel, NobelYayınevi, Ankara, s: 1-80.
- Öner, İ.V.,Ceviz, M.A., Güner, E.,Köksal, H., 2014, İçten Yanmalı Motorlarda Çevrimsel Farkların Önemi,*Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg.*, Cilt:4, Sayı:1,27-35.
- Örs, 2016, Biyodizel-Bütanol Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük,43-47.
- Özer, S., 2014, Alkollerin İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 19, Sayı 1.
- Özer, S., 2010, Bütanol Kullanımının Dizel Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük,1-27.
- Prbakaran, B., Viswanathan, D., 2018, “Experimental investigation of effects of addition of ethanol to bio-diesel on performance, combustion and emission characteristics in CI engine”, *Alexandria Engineering Journal*,57(1):383-389.
- Rakopoulos, C.D., Dimaratos, M.A., Giakoumis, G.E., 2010, Investigating the emissions during acceleration of a turbocharged diesel engine operating with bio-diesel or n-butanol diesel fuel blends, *Fuel*,35: 5173-5184.
- Rakopoulos, D. C., Hountalas, D.T., Kakaras E. C., Giakoumis, E. G. and Papagiannakis, R. G., 2010, “Investigation of the performance and emissions of bus engine operating on butanol/diesel fuel blends”, *Fuel*, 89: 2781-2790.
- Reşitoğlu, A. İ., Keskin, A., 2019, Propanın Dizel Yakıtıyla Kullanımı: Dizel Motor Yakıt Tüketimi İle Egzoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, 372-377.
- Rogers, P., Chen, J. S. ve Zidwick, M. J., 2006, Organic acid and solvent production. Part III: Butanol, acetone and iso-propanol; 1,3 and 1,2 propanediol production; and 2,3 butanediol production, *Applied Microbiology*, 1: 67-755.
- Sayın, C. 2010. Engine performance and exhaust gas emissions of methanol and ethanol–diesel blends, *Fuel*, 89(11) 3410-3415.

- Siwale, L., Kristof, L., Adam, T., Bereczky, A., Mbarawa, M., Penninger, A., Kolesnikov, A., 2013, Combustion and emission characteristics of n-butanol/diesel fuel blend in a turbo-charged compression ignition engine, *Fuel*, 107: 409-418.
- Şimşek, D., Çolak, N.Y., 2019, “Biyodizel/Propanol Yakıt Karışımlarının Dizel Motor Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi”, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(1): 166-174.
- Ulusoy, Y., 1999, Ayçiçeği, Pamuk ve Soya Yağlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 6-11.
- Uslu, K., 2006, Dizel Motorlarında Farklı Püskürtme Avanslarında Dizel Yakıtı Etanol Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 72-73.
- Wu, H., Huo, M., Zhou, N., Nithyanandan, K., 2014, An experimental investigation of the combustion characteristics of acetone-butanol-ethanol-diesel blends with different ABE component ratios in a constant volume chamber, *SAE technical paper*, 01-1452.
- Hatunoğlu, E. E., 2010, Biyoyakıt Politikalarının Tarım Sektörüne Etkileri, Devlet Planlama Teşkilatı Uzmanlık Tezleri, Planlama Uzmanlığı Tezi, Ankara, 1-18.
- YEGM, 2017, T.C. Enerji ve Tabii Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye, <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx> [4 Nisan 2020].
- Yeşilyurt, M. K., 2020, Dizel Yakıtına Farklı Ağır Alkoller (1-Bütanol, 1-Pentanol ve 1-Hekzanol) İlave Edilmesinin Tek Silindirli Bir Dizel Motorunun Performans, Yanma ve Egzoz Emisyon Karakteristiklerine Etkileri, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, Cilt:12, Sayı:2, 397-426
- Yıldırım, S., 2003, “Dünyada ve Türkiye’de Petrol”, T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Ekonomik Araştırmalar ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Petrol Raporu, 3-11.



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Kudbettin İLÇİN  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Batman - 08.07.1977  
**Telefon** : 0 545 361 96 77  
**Faks** :  
**e-mail** : kilcin72@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Batman Endüstri Meslek Lisesi	1994
Yüksekokul	: Dicle Üniversitesi Batman Meslek Yüksek Okulu	1997
Üniversite	: Dicle Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi	2007
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2002-2005	MEB	Mot.Araç.Tek.Öğrt.
2005-2011	Kamu	Öğretmen
2011-	MEB	Mot.Araç.Tek.Öğrt.

### UZMANLIK ALANI

Alternatif Yakıtlar, İçten Yanmalı Motorlar, Otomotiv

### YABANCI DİLLER

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

### YAYINLAR