



**T.C.**  
**BATMAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR DİZEL MOTORLU JENERATÖRÜN**  
**EGZOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDE FARKLI**  
**DİZEL YAKITLARIN ETKİSİ**

**İsmail SEVEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Şubat-2017**  
**BATMAN**  
**Her Hakkı Saklıdır**

**TEZ KABUL VE ONAYI**

İsmail SEVEN tarafından hazırlanan "BİR DİZEL MOTORLU JENERATÖRÜN EGZOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDE FARKLI DİZEL YAKITLARININ ETKİSİ" adlı tez çalışması 02/02/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

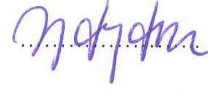
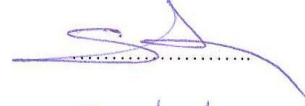
**Jüri Üyeleri**

**Başkan**  
Doç. Dr. Rasim BEHCET

**Danışman**  
Doç. Dr. Şehmus ALTUN

**Üye**  
Doç. Dr. Hüseyin AYDIN

**İmza**



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Bahattin İSÇAN

FBE Müdürü



## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

## **DECLARATION PAGE**

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

İsmail SEVEN

Tarih: 16.02.2017

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS

## BİR DİZEL MOTORLU JENERATÖRÜN EGZOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDE FARKLI DİZEL YAKITLARIN ETKİSİ

İsmail SEVEN

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Şehmus ALTUN**

**2017, 58 Sayfa**

**Jüri**

**Doç. Dr. Şehmus ALTUN**

**Doç. Dr. Rasim BEHCET**

**Doç. Dr. Hüseyin AYDIN**

Bu çalışmada biyoetanol, n-butanol ve biyodizel gibi alternatif yakıtların dizel motorlu bir jeneratör setinin performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Biyoetanol, n-butanol ve biyodizel sırasıyla petrol türevi dizel yakıtına hacimsel olarak %10, %16 ve %30 oranlarında katılarak benzer oksijen içeriğine sahip alternatif dizel yakıt karışımları elde edilmiştir. Bu karışım yakıtları ve petrol türevi dizel yakıtı 4-zamanlı ve 4-silindri doğa emişli dizel motorlu jeneratör setinde sabit devir (1500 dev/dak) ve farklı yük şartlarında test edilmiştir. Testlerde ayrıca her bir yakıt ve işletme şartı için silindir gaz basıncı ölçümü yapılmış ve bu değerler kullanılarak net ile toplam ısı salınımı hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlar biyodizel katkıli yakıt karışımı kullanımında özgül yakıt tüketiminde yaklaşık %10 oranında bir artış olduğunu, efektif verimin ise önemli bir şekilde değişmediğini göstermiştir. Bununla beraber alkol katkıli karışım yakıtları kullanımında özgül yakıt tüketimi petrol dizeli kullanımına göre %8-10 arasında daha düşük olurken; efektif verim ise yaklaşık %5 oranında artmıştır. Alternatif yakıtların kullanımında ortalama NO<sub>x</sub> emisyonları dizel kullanımına göre azalmış ve alkol katkıli yakıtların kullanımında bu azalma daha fazla olmuştur. Yanmamış HC emisyonlarında ise tersi bir durum gözlemlenmiştir. Biyodizel karışımı kullanımı ile %20 oranında daha düşük olurken; alkol katkıli yakıtların kullanımı ile yaklaşık %15 oranında artmıştır. Duman emisyonları düşük ve orta yük kademelerinde alternatif yakıtlar ile ölçülmeyecek derecede düşük çıkmıştır. Maksimum silindir gaz basıncı değerleri alternatif yakıtların kullanımında petrol dizeline göre daha yüksek ölçülmüştür. Bununla beraber alkol katkıli yakıtların kullanımı ile yanma dizele göre daha geç başlarken biyodizel karışımı kullanımı ile yanmanın başlaması daha erken olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Biyodizel;Biyoetanol;Dizel jeneratör;n-Butanol

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **THE EFFECT OF DIFFERENT DIESEL FUELS ON THE EXHAUST EMISSIONS OF A DIESEL ENGINE-POWERED GENERATOR**

**İsmail SEVEN**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
BATMAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN MECHANICAL ENGINEERING**

**Advisor: Assoc.Prof. Dr. Şehmus ALTUN**

**2017, 58 Pages**

#### **Jury**

**Assoc.Prof. Dr. Şehmus ALTUN**

**Assoc.Prof. Dr. Rasim BEHCET**

**Assoc.Prof. Dr. Hüseyin AYDIN**

In this study, the effect of alternative fuels like bioethanol, n-butanol and biodiesel on the performance and exhaust emissions of a diesel engine powered generator set was investigated. Bioethanol, n-butanol and biodiesel were added to petroleum based diesel fuel by 10%, 16 and 30% (v/v), respectively, to obtain the alternative fuels having similar oxygen content. The blended fuels obtained and petroleum based diesel fuel were tested in 4-stroke and 4-cylinder naturally aspirated diesel engine powered generator set at constant speed (1500 rpm) under different power outputs. In the tests, the measurements of cylinder gas pressure for each test fuel and operating conditions was performed and by using these data net and cumulative heat release were calculated. Experimental results have shown specific fuel consumption increased at the rate of about 10% by using biodiesel added fuel blends while no significant change was observed in the efficiency when compared with petroleum diesel. However, in case of using alcohol added blended fuels; specific fuel consumption reduced by about 8-10%, efficiency increased at the rate of 5%. In use of alternative fuels mean NO<sub>x</sub> emissions reduced in comparison to petroleum diesel and also this reducing was higher for alcohol blended fuels than for biodiesel added one. On the other hand, an opposite trend was observed for unburnt HC emissions; they reduced at the rate of 20% with biodiesel blended fuel while about 15% increase was observed by using alcohol blended fuels. Smoke emissions were not to be measurable levels at low-mid loads when alternative fuels were used. Maximum cylinder gas pressure was higher for alternative fuels than for petroleum diesel and the start of combustion was earlier for biodiesel blended fuel while it was later for alcohol blended fuels than for petroleum diesel.

**Keywords:** Biodiesel;Bioethanol;Diesel Generator;n-Butanol

## ÖNSÖZ

Taşımacılık, tarım, sanayi ve inşaat gibi birçok sektörde kullanılan dizel motorların bir diğer önemli kullanım alanı jeneratör setleridir. Dizel motorlu jeneratör setlerinde petrol kökenli dizel yakıtların kullanılması ve jeneratörlerin yerleşim yeri dâhilinde kullanılıyor olması dikkate alındığında; günümüzde dizel motorlar için dikkate alınan en önemli alternatif dizel yakıtları olan biyodizel ve etanol ve butanol gibi alkol yakıtlarının bu tür uygulamalarda emisyon azaltım potansiyellerinin araştırılması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada da bir dizel motorlu jeneratörün egzoz emisyonları üzerinde farklı dizel yakıtlarının etkisi incelenmiştir.

Bu tez çalışmasının her aşamasında katkı ve görüşlerini eksik etmeyen, değerli önerileri ve yorumları ile beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Şehmus ALTUN'a teşekkürü bir borç bilirim. Sayın Yrd. Doç. Dr. Selman AYDIN'a, Öğr. Gör. Fevzi YAŞAR'a, Arş. Gör. Raşit Koray ERGÜN'e ve Teknik Öğrt. Abdulkerim YILDIZ'a yardım ve desteklerinden dolayı ayrıca teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan aileme, eşime ve oğluma, beni bu günlere getiren, dualarını hiçbir zaman benden esirgemeyen, yüksek lisans yaptığım dönemde vefat eden canım Anneme sonsuz teşekkür ederim.

İsmail SEVEN  
BATMAN-2017

# 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>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Dizel Yakıtları (Motorin).....	3
1.2. Biyoetanol.....	4
1.3. Bütanol.....	5
1.4. Biyodizel.....	5
1.5. Dizel Motorlarda Yanma ve Emisyon Oluşumu.....	7
1.6. Jeneratörler.....	9
1.6.1. Dizel Motorlu Jeneratörlerin Çalışma Prensibi .....	9
1.6.2. Dizel Motorlu Jeneratör Çeşitleri ve Kullanım Alanları .....	10
1.6.3. Özel Tip Jeneratörler .....	11
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>12</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>18</b>
3.1. Test Yakıtları ve Özellikleri .....	18
3.2. Dizel Motor Deney Seti .....	19
3.3. Motor Performans Parametreleri .....	22
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>24</b>
4.1. Motor Performansı .....	24
4.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi .....	24
4.1.2. Efektif Verim .....	25
4.2. Egzoz Emisyonlarının İncelenmesi .....	27
4.2.1 Azot Oksit (NO <sub>x</sub> )Emisyonları.....	27
4.2.2 Hidrokarbon (HC) Emisyonlarının İncelenmesi.....	28
4.2.3 Duman Koyuluğunun Karşılaştırılması .....	30
4.3. Yanma Karakteristikleri.....	31
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>39</b>
5.1 Sonuçlar .....	39
5.2 Öneriler .....	40
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>41</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>49</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

B	:Yakıt tüketimi (gr/sn)
<i>be</i>	:Özgül yakıt tüketimi (gr/kW-saat)
Bu16	:% 16 butanol + %84 dizel karışımı
B30	:% 30 biyodizel + % 70 dizel karışımı
CO	:Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	:Karbon dioksit
E10	:% 10 biyoetanol + %90 dizel karışımı
Hu	:Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)
KOH	:Potasyum hidroksit
NaOH	:Sodyum hidroksit
NO <sub>x</sub>	:Azot oksit
NO	:Azot monoksit
NO <sub>2</sub>	:Azot dioksit
N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	:Diazot dioksit
O <sub>2</sub>	:Oksijen
P	:Silindir basıncı
Pe	:Etkin güç (kW)
SO <sub>2</sub>	:Kükürt dioksit
SO <sub>x</sub>	:Kükürt oksitler
$\eta_e$	:Etkin verim (%)
$\gamma$	:Özgül ısıları oranı
$\theta$	:Krank açısı



## Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AÖN	: Alt Ölü Nokta
BP	: British Petroleum
EN 590	: AB Dizel Yakıtının Standardı
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
KMA	: Krank Mili Açısı
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MHD	: Manyeto Hidrodinamik Jeneratörler
NIS <sub>max</sub>	: Maksimum Net Isı Salınımı
HPG	: Homopolar Generator
ÖYT	: Özgöl Yakıt Tüketimi
PM	: Partikül Madde
PTDY	: Petrol Türevi Dizel Yakıtı
RPM	: Revolution Per Minute
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜPRAŞ	: Türkiye Petrol Rafinerisi Anonim Şirketi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
ÜÖNÖ	: Üst Ölü Noktadan Önce
ÜÖNS	: Üst Ölü Noktadan Sonra
YB	: Yanma Başlangıcı
YS	: Yanma Sonu
YSü	: Yanma Süresi
HC	: Hidrokarbon
HCl	: Hidroklorik Asit

## 1. GİRİŞ

Dünya enerji ihtiyacının çok büyük bir kısmı petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil kaynaklarından karşılanmaktadır. Bu kaynaklar arasında petrol tüketimi en büyük pay ile ilk sırada bulunmaktadır (Anonim, 2015a). Petrol; birçok sektörde kullanılmakla birlikte, ulaştırma sektörü petrol tüketiminde ilk sırada olup bunu sanayi sektörü takip etmektedir. 2013 yılında dünya petrol ürünleri tüketiminin %52.8 ulaştırma ve taşımacılık sektöründe kullanılırken, bu oran doğalgaz için %6.7 olmuştur. 1970'li yıllarda bu oranların %45.4 ve %2.7'lerde olduğu göz önüne alındığında petrole dayalı enerji tüketiminin önemli bir oranda arttığı anlaşılmaktadır (iea.org/publications/freepublications/publication).

2013 yılında 53.3 yıl olan dünya petrol rezerv ömrü, 2014 yılında %2.1 azalarak 52.2 yıl olarak belirlenmiştir. Bu değerler ülkemiz için, 2015 yılı yurt içi üretilebilir petrol rezervi 388.5 milyon varil olup, yeni keşifler olmadığı takdirde, bugünkü üretim seviyesi ile yurt içi toplam ham petrol rezervinin 21 yıl olduğu belirtilmektedir (enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Petrol).

Petrol kökenli yakıtların yoğun bir şekilde kullanıldığı ulaştırma ve taşımacılık sektörlerinde yüksek verimleri ve dayanıklılıkları nedeni ile çoğunlukla dizel motorlar kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte dizel motorlar tarımsal ve endüstriyel işlerde ve elektrik üretimi gibi alanlarda da güç kaynağı olarak kullanılmaktadırlar (Kumar ve ark., 2005; Kumar ve ark., 2006). Bununla beraber gürültülü çalışmaları, birim güç başına ağırlıklarının ve ilk alım maliyetlerinin yüksek oluşu ve bakım zorluğu gibi nedenler ile otomobillerde güç kaynağı olarak fazla tercih edilmemiştir. Ancak son zamanlarda teknolojik ilerlemeler dizel motorların otomobillerde kullanımını yaygınlaştırmıştır. Bu durum son yıllarda petrol kökenli dizel yakıtların tüketiminin artmasına neden olmuştur. Örneğin, 2014 yılında petrol kökenli yakıtların satışları 2013'e göre %4.1 artarak 28.5 milyon m<sup>3</sup> olmuştur (Anonim, 2015a). Bu yakıtlar arasında %73.26'lık tüketim ile en büyük paya sahip olan dizel yakıtları tüketimi 2014'de bir önceki yıla göre %4.2 artarak 20.9 milyon m<sup>3</sup>, benzin tüketimi ise %3.2 artarak 2.5 milyon m<sup>3</sup> olmuştur (Anonim, 2015a). Motorin tüketiminin önümüzdeki yıllarda da artacağı beklenmektedir. 2016 Mart ayı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı toplam 20 milyon 252 bin 146 adet taşıtın %53.1'ini otomobil, %16.3'ünü kamyonet, %14.6'sını motosiklet, %8.5'ini traktör, %4'ünü kamyon, %2.2'sini minibüs, %1.1'ini

otobüs, %0.2'sini ise özel amaçlı taşıtlar oluşturdu. Otomobillerin %40.1'i LPG, %32,1'i dizel, %27.4'ü benzin yakıtlıdır (Anonim, 2015b).

Günümüzde en önemli çevre sorunlarından biri olarak kabul edilen küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarının büyük bir kısmı fosil enerji kaynaklarının kullanımından kaynaklandığı bilinmektedir (Karagöz, 2013). Petrol kökenli dizel yakıtların kullanıldığı dizel motorlarda çoğunlukla azot oksit (NO<sub>x</sub>) ve partikül madde (PM) emisyonları oluşmaktadır. Dizel motorlarda petrol esaslı yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının azaltılması için günümüzde alternatif yakıtların kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Şanlı ve Çanakçı, 2005).

Alternatif kaynaklar içerisinde en önemli bir potansiyele sahip olanlardan biri biyoyakıtlar olup; üretimi ve kullanımı her geçen yıl artmaktadır. 2004 yılında dünya biyoyakıt üretimi yaklaşık 6 milyon ton iken; 2014 yılına gelindiğinde 30 milyon ton civarında olmuştur (Anonymous, 2015). Ayrıca biyoyakıtlar ile ilgili yapılan projeksiyonlarda kullanımının artmaya devam edeceği ve 2023 yılında 200 milyon ton dolaylarına ulaşması beklenmektedir (navigantresearch.com).

Taşımacılık sektöründe de yaygınlaşan biyoyakıt kullanımı; 2010 yılında yaklaşık %3 iken; 2013 yılında ise %4 dolaylarına ulaşmıştır. 2015 yılında Brezilyada taşımacılık sektöründe kullanılan yakıtların yaklaşık %23'ü, ABD'de %5'i ve AB'de ise %4'ü biyoyakıtlardan karşılanmıştır (iea.org/topics/biofuels/). Bu yakıtlar arasında taşımacılık sektöründe kullanılan biyoyakıtlar çoğunlukla biyodizel ve biyoetanol olup; dünya sıvı biyoyakıt üretiminin yaklaşık %80'ini etanol oluşturmaktadır (Yaşar, 2009; Bengisu, 2014). 2013 yılında dünya genelinde 88 milyar litre etanol üretilirken, biyodizel üretimi 23 milyar litre kadar olmuştur (Üstün ve Genç, 2015). Bununla birlikte; biyodizel üretimi hızla artmakta ve aradaki fark azaltılmaktadır. Örneğin; 2013'de etanol üretimi %1.4 düşerken, biyodizel üretimi %3 artmıştır (bp.com/en/global/corporate/about-bp). Bitkisel ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan transesterifikasyon reaksiyonu ile üretilen biyodizel, dizel motorlarında kullanılırken; biyokütle kaynaklarından elde edilen biyoetanol hem dizel hem de benzinli motorlarda kullanılabilir. Bununla beraber dizel motorlarında kullanımı iki şekilde olabilmektedir. Biyodizel üretiminde alkol olarak değerlendirilebileceği gibi direkt dizel yakıtlara (motorin) katılarak da kullanılabilir (Usta ve Ark., 2005).

Biyolojik kaynaklardan elde edilen etil alkol "biyoetanol" olarak adlandırılır ve ulaştırma sektöründe 1800'lü yılların sonunda Henry Ford ve Nicholas Otto tarafından yapılan ilk arabalarda etanol yakıt olarak kullanılmıştır (Melikoğlu ve Albostan, 2010).

Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak dikkate alınan alkol yakıtlarından bir diğeri ise, molekül formülü  $C_4H_9OH$  ve molekül ağırlığı 74.14 olan 4 karbonlu, düşük viskoziteli, renksiz, yanıcı ve muz-benzeri bir kokuya sahip pirinç, saman, buğday, arpa gibi yenilenebilir tarımsal ürün ve atıklardan elde edilebilen primer bir alkol olan bütanoldür (Aksu, 2013;Avcı ve Dönmez, 2011). Benzin ile yüksek oranlarda karışabilen bütanol içten yanmalı motorlarda hiçbir değişiklik yapılmadan doğrudan kullanılabilir (Avcı ve Dönmez, 2011). Biyodizel yenilenebilir hammaddelerden elde edilir ve “biyo” kelimesi biyolojik olduğunu, “dizel” kelimesi ise dizel motorlarda kullanıldığını gösterir. Biyodizel genellikle 16-20 arasında C’ a sahip HC zincirlerinden oluşur ve ağırlığının yaklaşık %11’ini oksijen oluşturur (Demirbaş, 2003).

Bu çalışmada günümüzde dizel motorlar için dikkate alınan en önemli alternatif yakıtlar olan biyodizel ve alkol yakıtların dizel motorlu bir jeneratör setinde yanma ve egzoz emisyon karakteristiklerine etkisi incelenmiştir. Alternatif yakıt olarak biyodizel, biyoetanol ve n-butanol’ün petrol türevi dizel yakıtı ile uygulamada kullanılan karışım oranları dikkate alınarak hazırlanan karışım yakıtları kullanılmıştır.

### 1.1. Dizel Yakıtları (Motorin)

Dizel motorlarında yakıt olarak kullanılan motorin ham petrolün damıtılması sırasında 315-375 °C de elde edilen bir ürün olup; bir varil petrolün ortalama %15-%20’si kadarından motorin elde edilir ve kapalı formülü  $C_{15}H_{32}-C_{18}H_{38}$  genel formüllü hidrokarbonlardan oluşur (Anonim, 2013). Akaryakıt piyasası içerisinde 2012-2015 yılları arasında Türkiye’de en çok talep edilen yakıtların başında gelip; 2015’te 11.884.892 tonu ithal edilirken 8.509.777 ton ise üretilmiştir (Anonim, 2015c). 2015 yılında benzin ve dizele olan talep miktarı ise sırası ile 5.212.722 ton ve 20.601.315 ton olmuştur (Anonim 2015c). Rakamlardan anlaşılacağı üzere; akaryakıt piyasasında toplam akaryakıt miktarında motorin oranı, benzin oranından çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Motorinin bu kadar tüketilmesinin en önemli nedenlerinin başında Türkiye’de kullanılan dizel motorlu araç sayısının giderek artmasıdır. 2016 yılının mart ayında TÜİK verilerine göre kullanılan dizel motorlu araç sayısı 20.252.146 adet olduğu saptanmıştır. Yine TÜİK verilerine göre bu araçların büyük çoğunluğunun taşımacılık sektöründe kullanıldığı tespit edilmiştir (tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21603).

Türkiye, petrolün yaklaşık %7’sini kaynaklarından üretmekte geri kalanını ise ithal ettiğinden, petrol kökenli motorininde dışa bağımlılığı ve ithalatı söz konusu

olmaktadır. Küresel piyasalardaki dalgalanmalardan etkilenen petrol fiyatı motorin ve benzin gibi petrol kökenli yakıtların birim fiyatlarında değişimlere neden olmaktadır (Anonim, 2015a).

## 1.2. Biyoetanol

Yenilenebilir bir yakıt olarak kullanılan ve fermantasyon yöntemi ile üretilen biyoetanol, günümüzde içten yanmalı motorlarda direkt yakıt olarak veya petrol kökenli yakıtlarla karıştırılarak kullanılmaktadır. Metanol, kömür ve petrolden üretilirken etanol üretiminde hammadde temini daha kolay ve daha ucuz olan, mısır, arpa, şeker pancarı gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi, düşük emisyonu sebep olması etanolü daha avantajlı kılmaktadır (Çelikten, 2004; Melikoğlu ve Albaştan, 2010). Biyoetanol, üretimi için tüm karbonhidrat molekülleri kullanılabilir ve günümüzde içerisinde glikoz bulunan veya glikoza dönüşebilen sukroz, lignoselülozik, nişasta gibi yenilenebilir hammaddelerden elde edilir (Meral ve Kanberoğlu, 2012). Sukroz; şeker kamışı, şeker pancarı, süpürge darısı şerbeti gibi, nişasta; arpa, buğday, mısır gibi, lignoselülozik; odun, saman, çimen gibi maddelerden elde edilir Biyoetanol, maya tarafından glikoz fermente edilerek üretilir (Melikoğlu ve Albaştan, 2010; Meral ve Kanberoğlu, 2012).

Biyoetanol üretimi hammaddeye bağlı olmakla birlikte genellikle aşağıda anlatıldığı gibi dört aşamada gerçekleştirilir (Adıgüzel, 2013). İlk aşamada, ikinci aşamada gerçekleştirilecek olan hidroliz işleminin verimini artırmak amacı ile nişasta veya sukroz içeren hammaddenin boyutunu daha küçük hale getirecek öğütme veya sınılaştırma işlemidir. İkinci basamaktaki hidroliz işlemiyle nişasta, selüloz gibi polimerler kimyasal ya da enzimatik yöntemlerle fermantasyon basamağında kullanılacak mikroorganizmanın fermente edebileceği daha basit şekerlere dönüştürülmektedir. Fermantasyon aşamasında ise elde edilen şekerler mikroorganizmalar tarafından etanole dönüştürülür. Elde edilen etanolde dördüncü aşamada dizel yakıtı ile karıştırılmasıdır. Etanolün moleküler bağ yapısı ile dizelin içerisinde bulunan hidrokarbon kompozisyonu, nedeni ile karışımları tam olarak sağlanamamaktadır. Karışım sağlansa bile sıcaklık değişimlerinde, faz ayrımı gibi, homojenliği bozan nedenlerden dolayı yakıtın kalitesi düşmektedir. Başta faz ayrışmasını engellemek ve homojen bir karışım oluşturarak karışımın kararlılığını sağlamak için hem etanol ile hem de dizel yakıtı ile çözünebilir co-solvent gibi ortak çözücüler kullanılır (Adıgüzel, 2015; Meral ve Kanberoğlu, 2012).

### 1.3. Bütanol

Kapalı formülü  $C_4H_9OH$  olan bütanol mısır, ot, yaprak gibi tarımsal atık büyükötlelerden fermantasyon yolu ile elde edilmekte ve biyoyakıtlar içerisinde ikinci nesil sıvı yakıtları olarak tanımlanmaktadır (Avcı ve Dönmez, 2011). Biyokütleden üretilen bütanolün benzin motorlarında hiçbir değişim yapmadan %11,5 oranında benzin ile karıştırılarak kullanılabilceği Amerikan çevre koruma ajansı (EPA) tarafından yapılan düzenlemede belirtilmiştir (Doğan, 2011). Dizel motorlar için ise bütanolün, dizel yakıtı ile benzer özellikleri bulunan ve karışım oluşturma yolu ile dizel yakıtı ile her oranda karışan ve dizel motorlarında kullanılabilen n-bütanol yakın gelecekte dizel motorlar için önemli bir biyoyakıt kaynağı olacağı öngörülmektedir (Nigam ve Singh, 2011). Dizel yakıtı ile karışımlarında n-bütanol, herhangi bir faz ayrışması olmadan ve dizel yakıtı içerisinde katkı maddesine gerek duyulmaksızın çok iyi bir çözünme gerçekleştirilmektedir (Kumar ve ark., 2013; Atmanlı ve ark., 2013).

1861 yılında mikroorganizmalar ile Pasteur tarafından ilk kez bütanol üretimi gerçekleştirildi (Avcı ve Dönmez, 2011). Biyobütanol *Clostridium*'ların aseton, bütanol ve etanol fermantasyonu ile oluşmakta, kısaca ABE veya solvent olarak da adlandırılırlar (Avcı ve Dönmez, 2011). Bilinen bütün mikroorganizmalar içinde ABE fermantasyonu yapan tek canlılar *Clostridium*'lardır (Avcı ve Dönmez, 2011).

### 1.4. Biyodizel

Hayvansal ve bitkisel yağların dizel motorlarında kullanılabilmesi için viskozitelerinin düşürülmesi gerekmektedir. Bunun için seyreltme, mikroemilsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon gibi çeşitli yöntemler kullanılabilir (Şanlı, 2005). Bunlardan Transesterifikasyon yönteminde bir alkol ve katalizör kullanılarak yağların yapısındaki trigliseritlerin parçalanarak içerisindeki gliserinin alınmasını içeren bir kimyasal reaksiyon uygulanır. Transesterifikasyon ile trigliseritler alkil monoesterlere dönüştürüldüğünde moleküler ağırlık üçte bir oranında azalırken büyük bir problem olan yüksek viskozite ise petrol kökenli dizelin viskozite değerine yaklaşmakta ve ayrıca uçuculuk bir miktar iyileşmektedir. Stokiyometrik bir transesterifikasyonda bir mol yağ için üç mol alkol kullanılır ve bunun sonucunda üç mol ester ve yan ürün olan bir mol gliserin elde edilir. Reaksiyonu hızlandırmak ve ester dönüşümünü artırmak için bir katalizör kullanılır (Alibaş ve Arslan, 2015). Bu katalizörler genellikle baz (NaOH, KOH), asit ( $H_2SO_4$ , HCl) kullanılır. Reaksiyondan

sonra ürünler ester, gliserol, artık alkol ve katalizör ve tri-, di- ve monogliseritlerin karışımıdır (Şanlı, 2005; Alibaş ve Arslan, 2015 ).

Bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel, tarım ülkesi olan ülkemiz için öncelikli olan alternatif yakıtlardan biridir. Temiz bir yakıt olması ve ekonomiye katkısına ek olarak çevre açısından büyük önem arz eder. Atık yağların biyodizele dönüştürülmesi ile yağların çevreye verdiği zarar ortadan kaldırılması ve biyodizelin dezavantajı olan yüksek maliyetleri azaltması açısından oldukça önemlidir. Türkiye’de biyodizelin kullanılması ve üretilmesi için AB kriterleri gereğince sürekli teşvikler ve değerlendirmeler yapmaktadır (Alptekin ve Çanakçı, 2005). Alternatif yakıtların karakteristik özelliklerinin dizel yakıtı ile karşılaştırılması Tablo 1.1’de verilmiştir (Giakoumis ve ark., 2015; Jin ve ark., 2011; Usta ve ark., 2005; Rakopoulos ve ark., 2010; Rakopoulos ve ark., 2015).

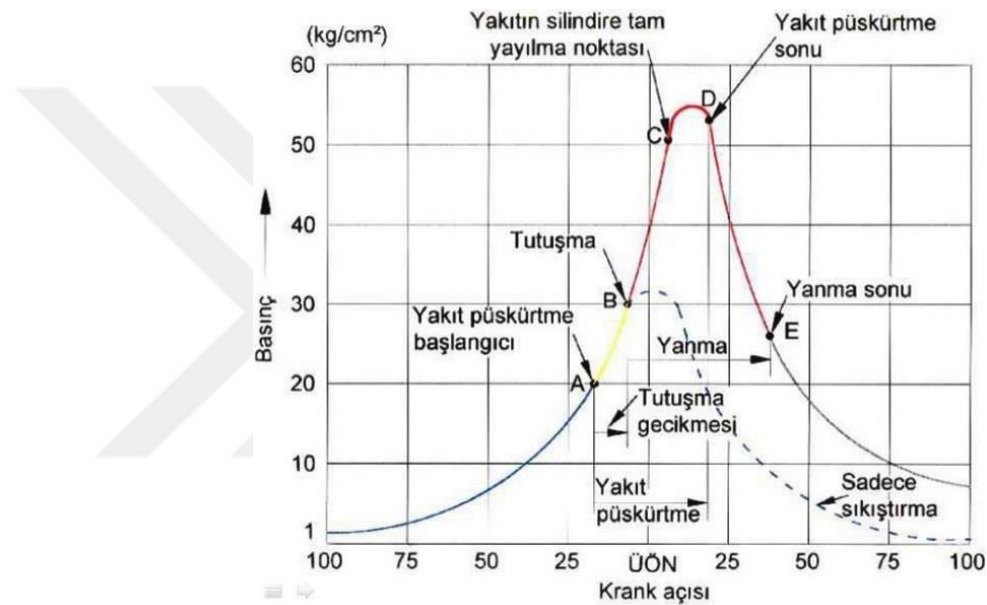
**Tablo 1.1.** Alternatif yakıtların karakteristik özelliklerinin dizel yakıtı ile karşılaştırılması

Özellikler	Dizel	Biyodizel	n-butanol	Biyoetanol
Kimyasal formülü	$C_{14}H_{30}$	$C_xH_yO_2$	$C_4H_9OH$	$C_2H_5OH$
Hava yakıt oranı	15	12.5	11.2	9
Parlama noktası ( $^{\circ}C$ )	70	174	37	13
Viskozite $40^{\circ}C$ 'de ( $mm^2/sn$ )	2.66	4.47	2.24	1.2
Setan sayısı	50	54.9	25	8
Oksijen oranı (% kütlese)	0	11	21.6	34.8
Isıl değeri (MJ/kg)	43	37	33	26.8
Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	835	881	810	789
Gizli buharlaşma ısısı (kJ/kg)	250	230	585	840

Tablo 1.1 incelendiğinde; dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında dikkat çeken en önemli özelliklerden biri alternatif yakıtların yapısında bulunan oksijendir. Bu yakıtlar arasında ise en fazla oksijen içeriğine sahip yakıt biyoetanol’dür. Bununla beraber dizel yakıtına göre alternatif yakıtların teorik hava-yakıt oranı daha düşüktür. Bunların dizel motorlarında kullanılmaları sırasında içerdikleri ekstra oksijen ile birlikte fazla hava ortamında daha iyi bir yanma sergilemektedirler. Öte yandan alternatif yakıtların ısıl değeri dizel yakıtın ısıl değerinden düşüktür. Bu aynı güç çıkışı için daha fazla yakıtın kullanılması anlamına gelmektedir (Giakoumis ve ark., 2015). Ayrıca; biyodizel yakıtının viskozitesi ve yoğunluğu diğer yakıtlara göre oldukça yüksektir. Alkol yakıtlarının ise buharlaşma ısısının dizel ve biyodizel yakıtlarına göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

### 1.5. Dizel Motorlarda Yanma ve Emisyon Oluşumu

Dizel motorlarında emme zamanında silindire alınan hava piston üst ölü noktaya doğru  $15^\circ - 30^\circ$  krank açısına kadar sıkıştırarak sıcaklığı  $500-700^\circ\text{C}$ 'ye kadar yükseltilir ve bir enjektör vasıtasıyla yanma odasına yakıt püskürtülerek yanma işlemi gerçekleştirilir. Dizel motorlarda silindir içi basıncın krank mili açısına göre değişimi Şekil 1.1'de verilmiştir. Bu grafiğe göre dizel motorlarında yanmayı tutuşma gecikmesi, ani yanma, kumandalı yanma ve art yanma olarak dört safhada inceleyebiliriz (Anonim, 2006).



Şekil 1.1: Dizel motorlarında yanma safhaları

Şekil 1.1'de yakıtın püskürtülmeye başladığı zaman ile tutuşmanın başladığı nokta arasındaki zaman (veya krank açısı) tutuşma gecikmesi olarak gösterilmiştir (Anonim, 2006). bu süre içerisinde silindirde biriken yakıtın tutuşma başladığında aniden yanması ile basınç en yüksek değere ulaşır. Ancak, bu durumda basıncın aniden yükselmesi ile motor sesli çalışır. Yakıt püskürtülmeye devam ettiğinden ani yanma sonrası silindir içi sıcaklık ve basıncın yüksek olmasından dolayı püskürtülen yakıt hemen yanar ve yanma püskürtülen yakıt ile kontrol edilir. Püskürtme sona erdiğinde piston AÖN'ya inmekte ve egzoz başlamaktadır. Bu arada yanmaya katılmamış yakıt genişleme sürecinde yüksek ortam sıcaklığından dolayı yeterli oksijen bulması halinde yanar (Anonim, 2006).



Bilindiği gibi bu yanma olayında yanmanın tam gerçekleşmesi durumunda egzoz emisyonu olarak karbon dioksit, su buharı ve yanmamış azot oluşmaktadır. Ancak yanmanın tam olmaması, silindir içi sıcaklığın çok yüksek olması ve dizel yakıtların kükürt içermesi gibi durumlardan dolayı yanma sonrası dizel motorlarda karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbonlar (HC), kükürt oksitler (SO<sub>x</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>) ve partikül maddeler (PM) gibi emisyonlar oluşmaktadır. Bunların arasında günümüzde dizel yakıtların kükürt içeriği azaltıldığından kükürt oksit emisyonları çok az miktarda oluşurken azot oksit ve partikül madde emisyonları dizel motorların başlıca iki önemli kirleticisi olmaktadır. Azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonları yanma sırasında silindir içerisinde oluşan yüksek sıcaklıkta havanın içerisindeki azotun oksijen ile reaksiyonu sonucu oluşmaktadır. NO<sub>x</sub> emisyonları NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>2</sub> gibi bileşiklerin toplamı için kullanılan bir terim olup içerisinde en fazla NO bulunmakta ve atmosfere atıldıktan sonra bunların bir kısmı NO<sub>2</sub>'ye dönüşmektedir (Kutlar ve ark., 1998). NO oluşumunun ana nedenleri arasında yanma odası sıcaklığı ile yakıt/hava oranı önemli bir yer tutmaktadır. Daha yüksek sıcaklık ve basınç üreten dizel motorlar genellikle ön yanma odasına, direkt püskürtmeye ve yüksek sıkıştırma oranına sahip olduklarından buji ateşlemeli motorlara göre dizel motorların NO<sub>x</sub> oluşum seviyesi daha yüksektir (Kutlar ve ark., 1998). Hava içerisinde serbest halde bulunan azot atomları ve oksijen molekülleri yanma odasında yüksek basınç ve sıcaklık nedeni ile kimyasal bileşik oluşturarak azot oksitleri meydana getirir ve bu azot oksitlerde, atmosferde veya insanların solunum yolları gibi nemli yerlerde hidrojenle birleşerek nitrik asitleri oluştururlar (Anonim, 2011). Partikül madde (PM) emisyonları ise toplanmış katı karbonlar, kül, uçucu organik ve kükürt bileşiklerinden oluşur. İs (duman) emisyonları, yanma odasına yakıt içerisinde gönderilen karbonları, karbon dioksitte dönüştürecek kadar hava içerisinde oksijen molekülleri bulunmazsa yakıtça zengin bölgelerde katı karbon parçacıkları oluşmaktadır. Bu karbon parçacıkları egzozdan duman ve koku kirliliği olarak atmosfere salınmaktadır. Partikül salınımının yoğunluğu motor yükündeki artışa bağlı olarak artar. Yükleme arttıkça motora daha fazla yakıt gönderilir, yakıt içerisinde bulunan karbonlar yanma odasında yanma için gerekli oksijeni bulamadığından partikül emisyonunun yoğunluğunu artırır ve bu da egzoz gazlarındaki is miktarında artışa neden olur (Anonim, 2011).

İs, siyah duman olarak da bilinir, yanma olayı sırasında hava miktarının yetersiz olmasından ortaya çıkmaktadır. İs oluşumuna, oksijence fakir ortamda bulunan yakıt moleküllerinin ısıl parçalanması (termal kraking) şeklinde bakılabilir. Hidrojenleri

ayrılan, karbonca zengin büyük moleküller, birleşmektedirler (polimerizasyon), bu birleşmeler fazlalaştıkça is zerrecikleri ortaya çıkmaktadır (aglomerizasyon). Bu is zerrecikleri hava ile yeterli bir zaman ve sıcaklık içinde temasa geçebilirlerse yanabilmektedirler (Borat ve ark., 1995).

## 1.6. Jeneratörler

Buhar türbinleri, gaz türbinleri, su türbinleri, rüzgar türbinleri ve içten yanmalı motorlar gibi kaynaklardan elde edilen mekanik enerjiyi, elektrik enerjisine çeviren makinelere jeneratör denir ([en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_generator](http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_generator)). Günümüzde kullanılan elektromanyetik jeneratörlerin prensipleri 1831-32 yılları arasında Michael Faraday tarafından bulundu. Michael Faraday, manyetik bir alana dik olarak hareket eden bir elektrik iletkeninin uçları arasında bir potansiyel farkın olduğunu gördükten sonra, bir at nalı mıknatısının kutupları arasında dönen bir bakır diski kullanarak ilk elektromanyetik jeneratörü yaptı ve bu jeneratörle doğru akım üretmeyi başardı ([solar-academy.com/menu\\_detay.asp?id=993](http://solar-academy.com/menu_detay.asp?id=993)). Üretim tipleri, kullanım yerleri, tükettiği yakıtlar göz önüne alındığında jeneratör setleri birkaç sınıf altında toplanabilir. Tükettiği yakıt tipine göre jeneratörler doğalgazlı, LPG'li, dizel ve benzinli olarak sınıflandırılabilir (Korkmaz, 2011). Jeneratör setleri genel olarak mekanik ve alternatör olmak üzere iki kısımdan oluşur ([elektrikrehberiniz.com/jenarator/jenerator-nedir-1567/](http://elektrikrehberiniz.com/jenarator/jenerator-nedir-1567/)).

### 1.6.1. Dizel Motorlu Jeneratörlerin Çalışma Prensibi

Dizel motorlu jeneratör setleri; motor, alternatör, voltaj regülatörü, yakıt sistemi, soğutma ve egzoz sistemi, yağlama sistemi, kontrol paneli ve montaj kasasından oluşmakta; sistem çalışması için gerekli mekanik enerjinin üretildiği kısım motor olup; dizel, benzinli veya doğal gazlı olabilir ([dieselserviceandsupply.com/How\\_Generators\\_Work.aspx](http://dieselserviceandsupply.com/How_Generators_Work.aspx)). Alternatör ise motorun çıkışından alınan mekanik enerjiyi alternatif akıma çeviren bir elektrik motoru olup; bir iletkenin çevresindeki manyetik alanın değişmesiyle iletkende akım üretilmesi prensibine dayanır ([wikipedia.org/wiki/Alternat%C3%B6r](http://wikipedia.org/wiki/Alternat%C3%B6r)). Günümüz alternatörlerinde rotor adı verilen mıknatıslar demir nüvesine sarılmış olan stator denilen sabit iletken sargıların içinde ya da çevresinde dönerler. Mekanik enerjinin rotorları döndürmesi ile iletkenin

çevresindeki manyetik alan değişir ve elektrik akımı üretilir. Stator, rotor ve diyet olmak üzere üç kısımdan oluşur ([elektrikrehberiniz.com/jenarator/alternator-nedir-4451/](http://elektrikrehberiniz.com/jenarator/alternator-nedir-4451/)).

Voltaj Regülatörü: Alternatörden alınan akımı düzenler ve yükte meydana gelen değişimleri ayarlayarak akımı sabit hale getirir ([cevir.gen.al/elektrik-akimi-birimleri/elektrik-akimi-birimleri-cevir.php](http://cevir.gen.al/elektrik-akimi-birimleri/elektrik-akimi-birimleri-cevir.php)).

Yakıt Sistemi: Jeneratörü 6 ile 8 saat arasında çalıştıracak kapasiteye sahip yakıt tankı ve dizel motorlarda bulunan yakıt pompası, filtre, enjektör gibi elemanlardan oluşur ([dieselserviceandsupply.com/How\\_Generators\\_Work.aspx](http://dieselserviceandsupply.com/How_Generators_Work.aspx)).

Soğutma ve Egzoz Sistemi: Jeneratörün sürekli çalışması, birçok hareketli parçanın sürtünmelerden dolayı ısınmasına neden olur. Küçük kapasiteli jeneratör setlerinin soğutma sistemlerinde genellikle radyatör ve fan bulunurken büyük kapasiteli jeneratör sistemlerinde soğutma kuleleri gibi sistemler bulunur. Egzoz sistemi dizel motorlarda olduğu gibi motorda yanma sonunda çıkan ürünleri atmosfere güvenli şekilde salacak şekilde üretilir ([dieselserviceandsupply.com/How\\_Generators\\_Work.aspx](http://dieselserviceandsupply.com/How_Generators_Work.aspx)).

Yağlama Sistemi: Hareketli parçaların aşınmasını önlemek için yağ deposundan yağ pompası yardımı ile sistem sürekli yağlanır. Genellikle 8 saatte bir yağ kontrolü yapılırken ortalama 500 saate birde yağ değişimi yapılır ([dieselserviceandsupply.com/How\\_Generators\\_Work.aspx](http://dieselserviceandsupply.com/How_Generators_Work.aspx)).

### **1.6.2. Dizel Motorlu Jeneratör Çeşitleri ve Kullanım Alanları**

Genel olarak iki ve dört zamanlı dizel motorlu jeneratörler olmak üzere iki çeşidi vardır. En çok kullanılanı ise dört zamanlı dizel motorlu jeneratörlerdir. Bu jeneratör setleri konutlar ve küçük işletmeler için monofaz, ticari ve endüstri işletmeleri için ise trifaz üretecek şekilde tasarlanır. Dizel motor jeneratörleri, uzun ömürlü olmaları ve daha düşük işletme maliyetleri nedeniyle daha çok önerilirler ([dieselserviceandsupply.com/industrial\\_industry\\_usage.aspx](http://dieselserviceandsupply.com/industrial_industry_usage.aspx)).

Birim yakıt başına elde edilen güç daha fazla ve benzine göre daha ucuz bir şekilde temin edilebildiği için birçok endüstriyel sektörde dizel motorlu jeneratörler kullanılır. Bu jeneratörler konutlarda kullanılabileceği gibi endüstriyel tesisler, hastaneler gibi daha büyük yerlerde de asıl güç kaynağı veya yedek güç kaynağı olarak istenilen büyüklüklerde tasarlanabilirler. 5-30 kW arasında düşük yüklerde güç

üretenler olduğu gibi 30 kW- 6 MW arasında yüksek yüklerde güç üreten jeneratörlerde vardır ([dieselserviceandsupply.com/why\\_use\\_diesel.aspx](http://dieselserviceandsupply.com/why_use_diesel.aspx)). Kullanılan yakıt tipine göre jeneratörler doğalgazlı, LPG'li, dizel ve benzinli olarak sınıflandırılabilir (Korkmaz, 2011). Dizel motorlu jeneratörlerde; alternatör, bir dizel motoru tarafından döndürülerek manyetik alan içerisinde elektrik üretilir ([powerenerji.com](http://powerenerji.com)). Çok çeşitli alanlarda kullanılan dizel jeneratörler, elektriğin olmadığı ve elektrik hatlarının çekilemediği yerlerde daha fazla kullanılmaktadır. Bunun yanında elektrikle kesintisiz çalışması gereken birçok cihaz, üretimde sürekliliğin gerektiği fabrikalar, atölyeler gibi yerlerde elektrik kesintilerine karşı, yedek elektrik kaynağı olarak kullanılmakta ayrıca maden ocakları, hastaneler, tarım işletmeleri gibi birçok alanda kullanılan önemli bir enerji dönüşüm makinesidir (Korkmaz, 2010). Dizel yakıtının benzin yakıtına göre daha ucuz olması dizel motorlu jeneratör setleri içinde geçerli olduğundan günümüzde dizel jeneratörlerin kullanımını benzinli jeneratörlerden daha yaygındır (Korkmaz, 2011).

### 1.6.3. Özel Tip Jeneratörler

**Beşgen Kutuplu Jeneratörler (Homopolar Generator (HPG)):** Bu doğrudan doğruya, doğru akım üreten tek makinadır. Bütün diğer DC jeneratör türleri armatür sargılarında AC üretir ve sonra komütatör vâsıtasıyla AC'yi DC'ye dönüştürür. HPG armatür sargılarına veya komütatöre sâhip değildir. Bu fark bu jeneratörün çok sağlam bir makina olmasına sebep olur. HPG ilk elektromekanik jeneratör olmasına rağmen, sonuncu olarak uygulama sahasına girmiştir ([ersel-eng.com/generator-dagitim-tesisati](http://ersel-eng.com/generator-dagitim-tesisati)).

**Manyeto Hidrodinamik Jeneratör (MHJ):** Bu jeneratör esas itibariyle, yüksek bir hızla salınan iletken bir gazdan (iyonize gaz), iki elektrottan ve manyetik alanının oluşmasını sağlayan sargılarından oluşur. Bu jeneratörler henüz çok etkin değildir. Çünkü gazı yeteri derecede iletken hale getirmek için yüksek bir sıcaklık veya büyük miktarda potasyum gereklidir ([ersel-eng.com/generator-dagitim-tesisati](http://ersel-eng.com/generator-dagitim-tesisati)).

**Yüksek Frekans Jeneratörleri (YFJ):** Elektrik cihazının minimum ağırlığı ve ebadı önemli olduğunda, 60 Hertzden yüksek frekanslar özellikle kullanışlıdır. Meselâ 400 Hertz, güç kaynağı yaygın olarak uçakta kullanılmaktadır ([ersel-eng.com/generator-dagitim-tesisati](http://ersel-eng.com/generator-dagitim-tesisati)).

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde dizel motorlarında ve özellikle dizel motorlu jeneratör setlerinde yakıt olarak biyoetanol, butanol ve biyodizel gibi alternatif yakıtların kullanımı ile motor performansı, yakıt tüketimi, egzoz emisyonları ile yanma karakteristiklerindeki değişimlerin incelendiği çalışmalar sunulmuştur. Yapılmış çalışmalar dizel motorlarında ve jeneratör setlerinde olmak üzere iki ayrı grupta değerlendirilmiş ve ayrıca kullanılan yakıt türlerine göre de bir sınıflama yapılmıştır. Genel olarak bir değerlendirme yapıldığında; çalışmaların çoğunlukla dizel motorlarında (tek veya çok silindirli) yapıldığı ancak jeneratör setlerindeki çalışmaların yetersiz olması ile birlikte sonuçlarında özellikle egzoz emisyonlarında genel bir farklılık olduğu görülmüştür. Ayrıca; çoğunlukla biyodizel ile biyodizel-dizel ve biyoetanol-dizel karışımlarının yakıt olarak kullanılması üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Günümüzde en çok dikkate alınan alternatif dizel yakıtları olan biyodizel, biyoetanol ve butanolün dizel motorlu bir jeneratörde kullanılması ve dizel yakıtı kullanımına göre karşılaştırılması ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Erkal (2010), dizel-etanol karışımlarını doğal emişli turbo şarjlı dört silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanarak performans ve egzoz emisyon parametrelerini incelemiştir. Karışım yakıtların kullanılmasıyla özgül yakıt tüketiminin arttığı ve termik veriminin azaldığı bununla beraber yakıt içerisinde etanol katılmasıyla  $NO_x$  ve CO emisyonlarının arttığı belirtilmiştir.

Benzer şekilde Uslu (2006) dizel yakıtı ile dizel-etanol karışımlarını tek silindirli ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda 15 Nm ve 30 Nm gibi sabit yüklerde, değişik motor hızlarında (1000-1800 dev/dak arasında) ve farklı yakıt püskürtme avanslarında yakıt olarak denemiştir. Çalışmada her bir avans değeri için yakıttaki etanol oranının artmasıyla HC ve CO emisyonlarının azaldığını ancak  $NO_x$ 'lerde bir artış olduğu ve püskürtme avansının değiştirilmesiyle de özgül yakıt tüketiminin arttığı belirtilmiştir.

Çelikten (2004) ise dizel ile %10 etanol karışımını (E10) indirekt püskürtmeli dizel motorunda yakıt olarak kullanmıştır. Çalışmada E10 kullanılması ile dizel yakıtı

kullanımına göre  $\text{NO}_x$  emisyonlarının ve duman miktarında azalma olduğu bildirilmiştir.

Rakopoulos ve ark. (2010), %8, %16 ve %24 oranında n-butanol içeren n-butanol-dizel karışımlarını yüksek hızlı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda sabit devir sayısı ile farklı yüklerde test etmiştir. Çalışmada yakıttaki n-butanol oranının artmasıyla özgül yakıt tüketimi ile ısı verimin biraz arttığı bununla beraber  $\text{NO}_x$ , CO ve duman emisyonlarının ise azaldığı ve HC emisyonlarının ise arttığı bildirilmiştir. Çalışmada ayrıca n-butanolün hem metanol hem de etanole göre daha iyi yakıt özelliklerine sahip olduğunu ve alternatif yakıt olarak kullanılabilceği vurgulanmıştır.

Siwale ve ark. (2013)'da yüksek karbon sayısı ve iyi çözücü özelliği sayesinde n-butanolün herhangi bir katkı maddesine gerek kalmadan dizel yakıtı ile her oranda karıştırılabileceğini ve ayrıca bitkisel yağların yüksek viskozitesini düşürme ile diğer akış özelliklerinin iyileştirmesinde de kullanılabileceğini vurgulamıştır. Bununla beraber %5, %10 ve %20 oranlarında n-butanol ile dizel karışımlarını turboşarjlı ve direkt püskürtmeli dizel motorunda yakıt olarak kullandığı çalışmasında özellikle duman emisyonlarındaki düşüşten dolayı n-butanolün düşük oranlarda bile dizel yakıtı ile karıştırılmasında büyük avantaj sağlanacağı belirtilmiştir.

Doğan (2011) n-butanolün özellikle kendiliğinden tutuşma sıcaklığının etanol ve metanole göre daha düşük olmasından dolayı dizel motorlarında kolaylıkla yanabileceğini, etanol ve metanole göre yüksek setan sayısı sayesinde dizel motorlar için daha uygun bir katkı maddesi olduğunu, aşındırıcı etkisinin düşük ve enerji içeriğinin yüksek olduğunu ayrıca dizel yakıtı ile herhangi bir faz ayrışmasının olmadığını belirtmiştir.

Özsezen (2007) atık palmye yağından ürettiği biyodizel yakıtını ve dizel ile olan karışımlarını indirekt püskürtmeli bir dizel motorda test ederek; sonuçları dizel kullanımına göre karşılaştırmışlardır. Özsezen CO, yanmamış HC emisyonları ve duman koyuluğunun önemli derecede azaldığını buna karşın  $\text{NO}_x$  emisyonlarının biraz arttığını belirtmiştir.

Özsezen ve Çanakçı (2009), atık palmiye ve kanola metil esterini dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak test ettikleri çalışmalarında her iki biyodizel yakıtın kullanımı ile motor gücü ve veriminin düştüğünü ancak özgül yakıt tüketiminin arttığını belirtmişlerdir. Bununla beraber, biyodizel yakıtların kullanımı ile ön yanma safhasının daha erken başladığı, tutuşma gecikmesinin kısaldığı ve maksimum silindir gaz basıncının üst ölü noktaya daha da yaklaştığını belirlemişlerdir. Ayrıca, yanma karakteristiklerindeki değişim ile yakıt özelliklerindeki bazı farklılıkların eksik yanma emisyonlarında azalmaya  $\text{NO}_x$  emisyonlarında ise artışa neden olduğu bildirilmiştir.

Aydın ve Keskin (2000), yaptıkları çalışmada pamuk yağı metil esteri-dizel karışımlarının dizel motorlarda alternatif olarak rahatlıkla kullanılabileceğini ve karışım yakıtların kullanıldığı araçların egzoz emisyon testinden başarılı bir şekilde geçeceğini belirtmişlerdir.

Keven ve ark., (2008) fındık yağı etil esterini motorin ile hacimsel olarak %50 oranında karıştırarak bir dizel motorunda kullanmış ve karışım yakıtın motor momenti ve gücünün ile  $\text{NO}_x$  emisyonlarının motorin kullanımına göre yüksek çıktığını bildirmişlerdir.

Altun ve Lapuerta (2014) endüstriyel atıkların biyodizel üretiminde kullanılmasını incelemek amacı ile üç çeşit endüstriyel atık yağın özelliklerini inceledikleri çalışmalarında; bu yağlardan üretilen biyodizel yakıtların hem EN 14214 ve hem de ASTM 6751 biyodizel standartlarını karşıladıklarını belirtmişlerdir.

Behçet ve ark. (2015), atık hayvansal yağlardan elde ettikleri biyodizel yakıtları %20 oranında dizel yakıtı ile karıştırarak bir dizel motorunda kullandıkları çalışmalarında; her iki biyodizel içeren karışım yakıtların petrol dizeline göre daha düşük kirletici emisyonlara sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Doğru ve ark. (2013), etanol ve kanola yağından üretilen biyodizel yakıtının dizel yakıtı ile karışımlarını bir dizel traktör motorunda test ettiği çalışmasında; dizel yakıtına biyodizel veya etanol eklenmesinin motor performansında düşüşe neden olduğunu belirtmiştir.

Keskin ve ark. (2007), yaptıkları deneyde kağıt fabrikalarında yan ürün olarak ortaya çıkan tall yağından biyodizel üretimi gerçekleştirmiş ve bu biyodizelin dizel yakıtı ile hacimsel olarak %80 oranındaki karışımını tek silindirli ve direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda test etmişlerdir. Karışım yakıtın performans değerlerinin dizel yakıtı değerlerine göre çok fazla değişmediğini ancak yakıt tüketiminin arttığını bildirmişlerdir. Bununla beraber CO ve is emisyonlarının düşük, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise dizel yakıtı değerlerinden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Altun ve ark. (2011), Yaptıkları deneysel bir çalışmada dört silindirli doğal emişli ve direk püskürtmeli bir dizel motorunda tam yükte biyodizel-dizel-etanol (BDE) yakıtlarını kullanarak petrol kökenli dizel yakıtı ve B20 olarak bilinen biyodizel-dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Biyodizeli atık pişirme yağlarından elde etmişlerdir. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında karışım yakıtlar için fren özgül yakıt tüketimin arttığını gözlemlemişlerdir. Karbon monoksit (CO) emisyonunun karışım yakıtlar için düşük olduğu, azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonları ise dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında B20 için biraz yüksek iken BDE yakıtı için düşük olduğunu gözlemlemişlerdir.

Rakopoulos ve ark. (2011), ayçiçek, pamuk, mısır ve zeytinyağları ile dizel yakıtı karışımlarının bir dizel motorundaki motor performansı ve emisyonlarını karşılaştırmışlardır. Bitkisel yağların yüksek viskozitesini azaltmak için kullanılan yöntemler arasında en ekonomik olanın dizel yakıtı ile küçük oranlarda karışım oluşturma yönteminin olduğu vurgulanmıştır. Bu maksatla yapılan çalışmada kullanılan ham bitkisel yağlar %10 ve %20 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, karışımların özgül yakıt tüketimlerinde ve ısıl verimlerinde tüm yüklerde ve devirlerde dizel yakıtının değerlerine yakın değerler elde edilmiştir. Duman emisyonunda ilk sırada zeytinyağı, sonrasında pamuk yağı karışımında en iyi azalma gerçekleşmiştir. Karışım içindeki bitkisel yağ oranı arttıkça CO, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında çok az artış kaydedilmiştir. Bu artışların nedeni olarak bitkisel yağların yüksek viskoziteye, düşük ısıl değere ve düşük setan sayısına sahip olması olarak gösterilmiştir.

Alptekin (2013) atık tavuk ve deri yağından ürettiği biyodizel yakıtları ile etanol ve motorin yakıtlarını bir dört zamanlı, 6 silindirli ve direkt püskürtmeli turbo dizel motorda test etmiştir. Sabit devir ve farklı yük şartlarında yaptığı deneylerde



biyodizellerin ve etanol karışımlarının özgül yakıt tüketimi değerlerinin petrol kökenli dizel yakıtına göre daha yüksek ve daha düşük HC ve CO emisyonları ürettiğini bildirmiştir. Bununla beraber CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonu değerlerinin yüksek olduğunu ve etanol içeren karışımların biyodizel içeren karışım yakıtlarına göre daha yüksek HC emisyonu ürettiğini bildirmiştir.

Rosa ve ark. (2014) crambe yağından ürettikleri biyodizeli ve petrol dizelini dizel motorlu bir jeneratörde farklı yüklerde test etmiş ve Crambe yağının özgül yakıt tüketimi ve efektif verim değerlerinin petrol dizel yakıtına çok yakın olduğunu; NO<sub>x</sub> ve CO değerlerinin ise daha ortalama olarak daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Tsai ve ark. (2010) soya yağından elde ettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile karıştırarak partikül madde (PM) ve toplam karbon salınımının (TC) emisyon değerlerini bir dizel motorlu jeneratörde araştırmışlardır. Yaptıkları deneylerde %10 ve %20 biyodizel içeren karışımların PM ve TC salınımının petrol dizelinden daha düşük çıktığını; ayrıca dizel yakıtına göre soya biyodizelinin özgül yakıt tüketiminin daha düşük efektif veriminin ise daha yüksek olduğunu dolayısıyla, dizel-jeneratörleri için iyi bir alternatif yakıt olduğunu bildirmişlerdir.

Silva ve ark. (2013) soya fasulyesi, ayçiçeği, tavuk ve sığır yağından ayrı ayrı ürettikleri biyodizel yakıtlarını bir dizel motorlu jeneratörde kullanarak petrol dizeli ile ve kendi aralarında karşılaştırmışlardır. Özgül yakıt tüketimi ve verimin dizel yakıtına göre daha yüksek olduğunu ve dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında en iyi sonucun sırası ile ayçiçeği ve soya yağı biyodizelleri ile elde edildiğini belirtmişlerdir.

Tsai ve ark. (2014) aseton ve izopropil alkol (IPA) ilaveli atık yağdan üretilen biyodizeli bir dizel motorlu jeneratörde test etmiş ve biyodizel içerisindeki alkol miktarının artmasıyla PM ve CO emisyonlarının düştüğünü bildirmişlerdir.

Altun (2014) farklı doymamışlık derecesine sahip üç farklı biyodizel yakıtını ve petrol kökenli dizel yakıtını bir dizel motorlu jeneratörde test etmiş ve egzoz emisyonlarını incelemiştir. Doymamışlık derecesi yüksek olan biyodizel yakıtların daha yüksek NO<sub>x</sub> ve duman yoğunluğu gösterdiğini ancak; HC emisyonlarının daha düşük olduğunu bildirmiştir.

Valente ve ark. (2012) atık yağlardan elde ettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile %25, %50 ve %75 oranlarında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtları bir dizel motorlu jeneratörde CO<sub>2</sub>, CO, HC ve NO<sub>x</sub> gibi egzoz emisyonlarını incelemek için test etmişlerdir. Yapmış oldukları deneyin sonucunda dizel yakıtına göre; karışımda biyodizel miktarının artmasıyla CO<sub>2</sub>, CO ve HC emisyonlarının arttığını bununla beraber NO<sub>x</sub>lerin ise azaldığını tespit etmişlerdir.

Valente ve ark. (2010) başka bir çalışmalarında soya ve castor yağından ürettikleri biyodizelleri dizel yakıtı ile karıştırarak bir dizel motorlu jeneratörde test etmişlerdir. Dizel yakıtı içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla özgül yakıt tüketiminin arttığını; düşük yüklerde de emisyonların arttığını ancak; yüksek yüklerde ise azaldığını belirtmişlerdir.

Paulo ve ark. (2016) Brezilyada ticari olarak kullanılan %5 biyodizel karışimli dizel yakıtına atık soya fasulyesi kızartma yağından elde edilen biyodizel yakıtını %20, %30, %50 ve %75 oranında katarak elde ettikleri karışım yakıtlarını iki silindirli bir dizel motorunda test etmişlerdir. En iyi motor performansının %5 ve %30 karışimli yakıtlar ile edildiğini bununla beraber %20'lik karışımda en yüksek termik verim ile en düşük yakıt tüketiminin elde edildiğini belirtmişlerdir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde alternatif yakıt olarak dizel-etanol karışimli yakıt kullanımında özgül yakıt tüketiminin ve NO<sub>x</sub> salınımının artarken motor gücünün düştüğü gözlemlenmiştir. Dizel-bütanol karışımının ise etanol karışımına göre motor performansını arttırdığını, NO<sub>x</sub> ve CO salınımı ise düşürmüştür. Biyobütanol yakıt özelliklerinin dizel yakıt özelliklerine yakın olması ve her oranda dizel yakıtı ile etanole göre daha iyi karışım oluşturması bütanolü etanole göre daha fazla tercih ettirmiştir. Alternatif yakıt olarak biyodizel-dizel karışımının kullanılması durumunda ise motor performansında dizel yakıtına göre farkın çok az olduğu gözlemlenmiştir. Bu karışımların kullanımında NO<sub>x</sub> emisyonlarında artış olurken; CO ve HC'lerde azalma olduğu tespit edilmiştir. Ancak yukarıda verilen literatür çalışmalarından da anlaşılacağı üzere bu yakıt karışımlarının dizel motorlu jeneratör setlerinde kullanılmalrı durumunda özellikle yakıt tüketimi ve yanmamış HC emisyonlarında farklı sonuçlar bildirilmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Test Yakıtları ve Özellikleri

Bu çalışmada Batmanda bulunan bir akaryakıt istasyonundan temin edilen petrol türevi düşük kükürtlü dizel yakıtı (DY) referans dizel yakıtı olarak kullanılmış ve bu yakıt kullanımından elde edilen veriler karşılaştırma için esas alınmıştır. Dizel motorlu jeneratör setinde DY'na alternatif olarak test edilecek E10, Bu16 ve B30 gibi alternatif yakıtların hazırlanması için dizel yakıtı, biyoetanol, n-butanol ve biyodizel yakıtları kullanılmıştır. %99.95 saflıkta ve mısırın fermantasyonundan elde edilen biyoetanol, yerel bir üretim şirketinden (Adana, Türkiye) temin edilmiştir. Ayrıca; analitik grade Tekkim marka %99.0 saflıkta n-butanol ve pamuk yağı esaslı atık kızartma yağlarından laboratuvar şartlarında transesterfikasyon reaksiyonu ile üretilen biyodizel kullanılmıştır. Biyodizel hammaddesi tatlı imalatçılarında bulunan atık kızartma yağı (pamuk yağı esaslı) olup; tipik transesterfikasyon şartları uygulanarak üretilen biyodizel kullanılmıştır. Biyoetanol, n-butanol ve biyodizel sırasıyla referans yakıt ile hacimsel olarak %10, %16 ve %30 oranlarında karıştırılarak E10, Bu16 ve B30 alternatif dizel yakıtları elde edilmiştir. Hacimsel olarak %10 oranında biyoetanolün petrol türevi dizel yakıtı ile karıştırılması ile elde edilen E10; geniş bir sıcaklık aralığında karışım stabilitesi sağladığı (Lapuerta ve diğ., 2007), ve ayrıca böyle düşük bir miktarda biyoetanol kullanımının motorda değişiklik gerektirmemesi ile aynı miktardaki biyodizel eklenmesinden daha fazla oksijen sağlaması gibi nedenlerden dolayı seçilmiştir. Bununla beraber son zamanlarda etanolden daha iyi bir alternatif olarak gösterilen butanol; E10 ile aynı oksijen içeriği elde etmek için hacimsel olarak %16 oranında dizele katılmış ve Bu16 olarak gösterilmiştir (Armas ve diğ., 2012; Lapuerta ve diğ., 2010b). Uygulamalarda çoğunlukla düşük oranlarda biyodizel kullanılmasına ve genellikle hacimsel olarak %20 biyodizel oranının tercih edilmesine karşın; alkol-dizel karışımlarına yakın oksijen içeriği elde etmek için hacimsel olarak %30 oranında biyodizel dizel yakıtı katılmış ve B30 olarak adlandırılmıştır. Bu oran Avrupa'daki yakıt istasyonlarında da kullanılıyor olmasının yanında (Lapuerta ve diğ., 2010b), hem yakıt özellikleri ve hem de motorda kullanımında değişiklik gerektirmemesi açısından petrol dizeline önemli bir alternatif olmaktadır (Ali ve diğ., 2016; Millo ve diğ., 2015).

### 3.2. Dizel Motor Deney Seti

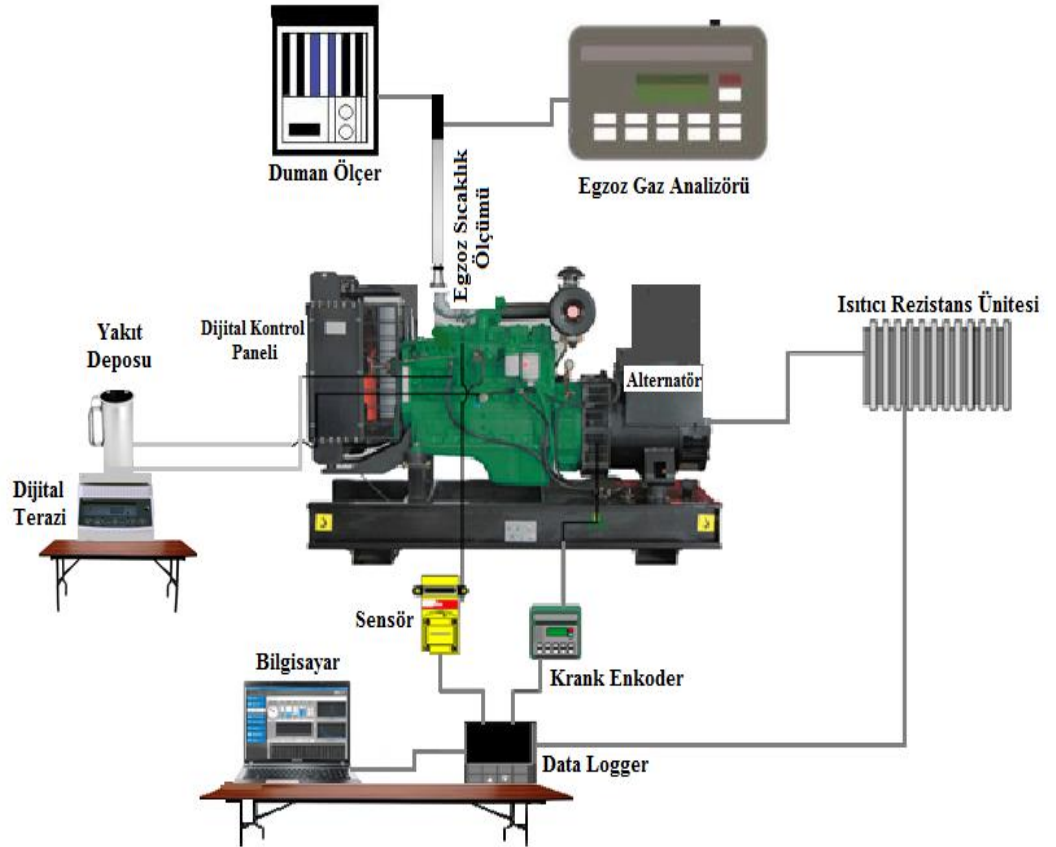
Batman Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü Motor Laboratuvarında bulunan 4 silindirli ve 4 zamanlı, direkt püskürtmeli ve doğal emişli dizel motorlu jeneratör setinde 230/400 V fırçasız senkron alternatör ile kontrol ve çalıştırma için gerekli araçlar bulunmaktadır. Motorun yüklenmesi jeneratörün ürettiği elektrik enerjisini tüketen rezistans modülü ile sağlanmıştır. Modülde 2kW gücünde 3 adet ile 1.5kW gücünde 3 adet rezistans kullanılmış ve çıkış gücü set üzerine entegre ampermetre ve voltmetrelerin dijital göstere üzerinde gösterdiği değerler kullanılarak hesaplanmıştır. Deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Şekil 3.1 ve 3.2'de ise deney setinin fotoğrafik ve şematik resmi gösterilmiştir. Ölçüm yapmadan önce her bir test için ilgili yakıt ile motor kararlı hale gelene kadar bir süre çalıştırılmıştır. Kararlı çalışma şartlarında her bir test yakıtı ile motor 1500 dev/dak sabit hızda ve bu devirdeki maksimum güç çıkışının yaklaşık %20, %40 ve %60'na denk gelen üç farklı güç çıkışında (3.6 kW, 7 kW ve 10.2 kW) deneyler yapılmıştır. Deneyler sırasında ortam sıcaklığı ve nemi dijital nem ve sıcaklık ölçer ile sürekli kontrol edilmiştir. Soğutma sıvısı sıcaklığı kontrol panelinde bulunan göstergeden okunmuştur. Egzoz sıcaklığı ise egzoz manifolduna takılan ısı çift kullanılarak ölçülmüştür.

**Tablo 3.2.** Deney motorunun teknik özellikleri

Marka ve model	Kraft-4DW81-23D
Çıkış Gücü	1500 dev/dk'da 18 kW
Soğutma	Su soğutma
Emme sistemi	Doğal emişli
Çap x strok (mm)	85x100
Silindir sayısı	4
Püskürtme sistemi	Direkt
Sıkıştırma oranı	17:1
Enjektör memesi sayısı	4



Şekil 3.1: Dizel jeneratör setinin görünümü



Şekil 3.2: Deney düzeneğinin şematik görünümü

Egzoz gaz emisyonları ve duman koyuluğunu ölçmek için CAPELEC marka CAP 3200 model analiz cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın ölçüm aralığı ve hassasiyeti Tablo 3.3'te görülmektedir.

**Tablo 3.3:** Gaz analiz cihazının teknik özellikleri

Parametre	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
HC	0-20 ppm	1 ppm
CO <sub>2</sub>	%0-20	%0.1
CO	%0-15	%0.001
O <sub>2</sub>	%0-21.7	%0.01
NO <sub>x</sub>	0-5000 ppm	1 ppm
Duman koyuluğu	% 0-99.9	% 0.01

Silindir basınç ölçümü için bir fiber-optik basınç sensörü, Oprtrand D33294-Q, (1.35mV/psi hassasiyetli) kullanılmıştır. Krank açısı ise manyetik devir sensörü ile belirlenmiştir. Manyetik devir sensörü, krank kasmağında üst ölü nokta (ÜÖN) için belirlenen yer kullanılarak ÜÖN'de sinyal üretecek şekilde monte edilmiştir. Basınç sensörlerinden gelen sinyaller, sinyal şartlandırıcı ve veri toplama kartı ile bilgisayara aktarılmıştır. Bu verilerin işlenmesi FebriS yanma analizi yazılımı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3). Isı dağılımı, termodinamiğin birinci kanunu ve ideal gaz denkleminde yararlanılarak; hacmi bilinen bir silindirden alınan basınç verileriyle analiz edilmektedir.

Termodinamiğin I. Kanunu yardımı ile ısı salımı oranı;

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma-1} p \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma-1} V \frac{dP}{d\theta} \text{ denklemi ile bulunabilir.}$$

Burada;

$$\int dQ = \int \left( \frac{\gamma}{\gamma-1} \right) p(dV) + \left( \frac{1}{\gamma-1} \right) V(dP)$$

$\gamma$  özgül ısıları oranı 1.32 olarak alınmıştır,  $\theta$  krank açısı, P silindir basıncı, ve V silindir hacmini belirtir. Burada, basınç değerleri ölçülerek; V ve dV/d $\theta$  terimleri aşağıda verilen denklem ile hesaplanır:

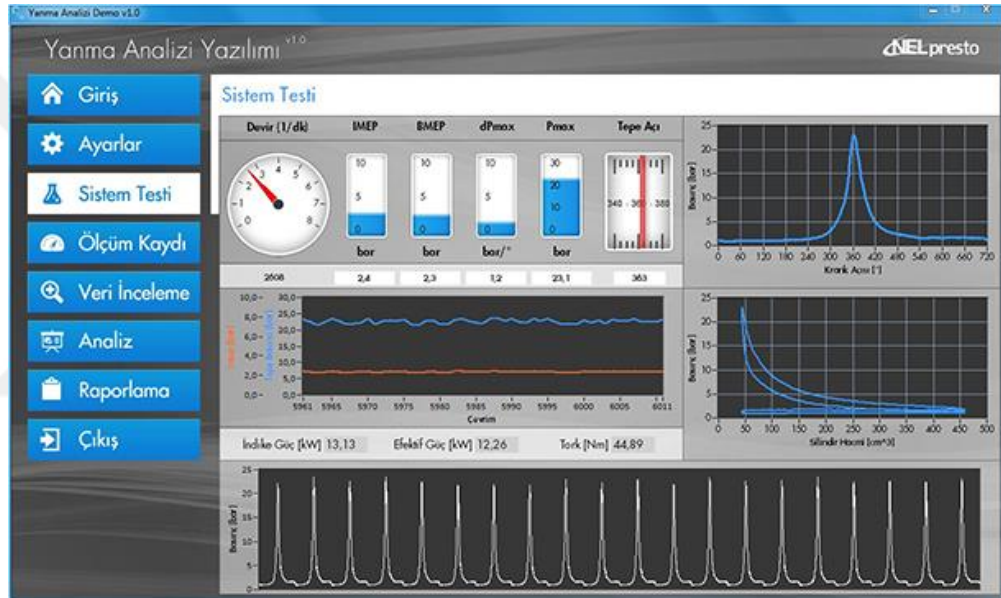
$$V = V_c + A \cdot r \left\{ 1 - \cos \left( \frac{\pi A}{180} \right) + \frac{1}{\lambda} \left( 1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \left( \frac{\pi \theta}{180} \right)} \right) \right\}$$

$$\frac{dV}{d\theta} = \left(\frac{\pi A}{180}\right) x r \left\{ \sin\left(\frac{\pi\theta}{180}\right) + \frac{\lambda^2 \sin^2\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)}{2x \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)}} \right\}$$

$$\frac{dV}{d\theta} = \left(\frac{\pi A}{180}\right) x r \left\{ \sin\left(\frac{\pi\theta}{180}\right) + \frac{\lambda^2 \sin^2\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)}{2x \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)}} \right\}$$

$$\lambda = \frac{l}{r} \text{ ve } A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Burada;  $r = H/2 =$  krank yarıçapı,  $l =$  biyel kolu uzunluğu,  $D =$  silindir çapı,  $A =$  piston tepe alanı,  $V_c =$  strok hacmi



Şekil 3.3: FebriS yanma analizi programının görünümü

Isı Salınımı eğrileri yardımı ile yanma başlangıcı (YB) (ısı salınımı eğrisinin negatif değerden pozitif değere dönüştüğü krank mili açısı) ve yanma süresi (YSü) (yanmanın başlamasından toplam ısı salınımının %90'ının tamamlandığı krank mili açısına kadar olan aralık) belirlenmiştir.

### 3.3. Motor Performans Parametreleri

Yakıt tüketimi 1 g hassasiyetli bir elektronik terazi ve dijital kronometre ile kütleli olarak ölçülmüştür. Belirli bir zaman içerisinde dijital terazide görülen yakıt kütleliindeki değişim kaydedilmiş ve birim zamandaki yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

Motor performansının değerlendirilebilmesi için ölçülen çıkış gücü ve yakıt tüketimi ile birlikte yakıtların ısıl değerleri kullanılarak özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ve efektif verim değerleri hesaplanmıştır. Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$be = \frac{B}{Pe} * 3600$$

$be$ : Özgül yakıt tüketimi (gr/kW-saat)

$B$ : Yakıt tüketimi (gr/sn)

$Pe$ : Efektif güç (kW)

Efektif verim ise;

$$\eta_e = \frac{3600}{be * Hu}$$

formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Burada;

$\eta_e$  = Efektif verim (%)

$be$  = Özgül yakıt tüketimi (kg/kW-saat)

$Hu$  = Yakıtın alt ısıl değeri (kJ/kg)



## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

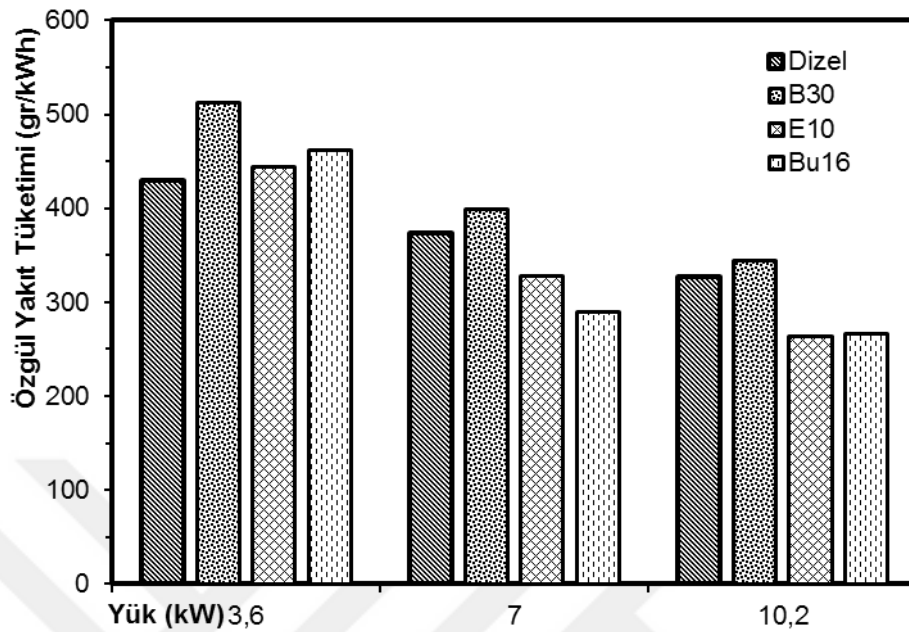
Bu bölümde petrol dizel yakıtı (DY), B30 (%30 Biyodizel + %70 Dizel), E10 (%10 Biyoetanol + %90 Dizel) ve Bu16 (%16 Biyobutanol + %84 Dizel) yakıtlarının deney motorunda 3.6 kW, 7 kW, 10.2 kW olmak üzere üç farklı yük kademesinde test edilmeleri sonucu elde edilen yanma, performans ve egzoz emiyonu değerleri grafikler haline getirilerek sunulmuştur.

### 4.1. Motor Performansı

#### 4.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi

Şekil 4.1.'de deney yakıtlarının özgül yakıt tüketimi (ÖYT) değerlerinin yük ile değişimi gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi yükün artmasıyla tüm test yakıtları için ÖYT azalmıştır. Düşük yük şartlarında alternatif yakıt kullanımında ÖYT DY kullanımına göre artarken orta ve yüksek yük kademelerinde alkol karışımı yakıtların kullanımında bir miktar azalmıştır. Bununla beraber biyodizel-dizel yakıt karışımı (B30) kullanımında her yük kademesinde dizel yakıtı kullanımına göre ÖYT artmıştır. 3.6 kW yükte ÖYT DY kullanımına göre B30 için %10, E10 için %3 ve Bu16 için %7.5 oranında daha fazla çıkmıştır. Ancak 7 kW ve 10.2 kW yük şartlarında B30 kullanımında dizel yakıtına göre ÖYT %7 ve %5.5 artarken E10 ve Bu16 kullanımında sırasıyla %12.1-%19.6 ve %22.6-%18.4 oranında düşmüştür. Görüldüğü gibi tüm yük kademelerinde en yüksek ÖYT B30 kullanımında olurken en düşük yakıt tüketimi ise 3.6 kW yükte dizel yakıtı kullanımında; 7 kW yükte Bu16 ve 10.2 kW yükte ise E10 ile elde edilmiştir. Alternatif yakıtların dizel yakıtına göre ortalama ÖYT değerlerinde B30 için yaklaşık %11 artış olurken; E10 ve Bu16 için yaklaşık sırasıyla %8.5 ve %10 oranında düşüş olmuştur. Alternatif yakıtlar kendi aralarında karşılaştırıldığında ise en fazla ÖYT B30 kullanımında elde edildiği görülmektedir. 3.6 kW yükte B30 yakıtı kullanıldığında E10 ve Bu16 yakıtlarının kullanımına göre özgül yakıt tüketimi %15.61 ve %10.85 oranında artış olmuştur. Benzer bir artış orta ve yüksek yük şartlarında da gözlemlenmiştir. Teorik olarak petrol dizeline göre düşük ısıl değere sahip yakıt karışımlarının aynı güç çıkışı için daha yüksek yakıt tüketimine sahip olmaları gerekmektedir. Ancak bu çalışmada görüldüğü gibi biyodizel katkılı yakıt karışımı kullanımında ÖYT artarken; alkol katkılı yakıt karışımları durumunda ise ÖYT'de bir

düşüş olmuştur. Bu düşük oranda alkol katılması durumunda yanmayı iyileştirmesi sonucu yakıt tüketiminin düşmesine bağlanabilir.

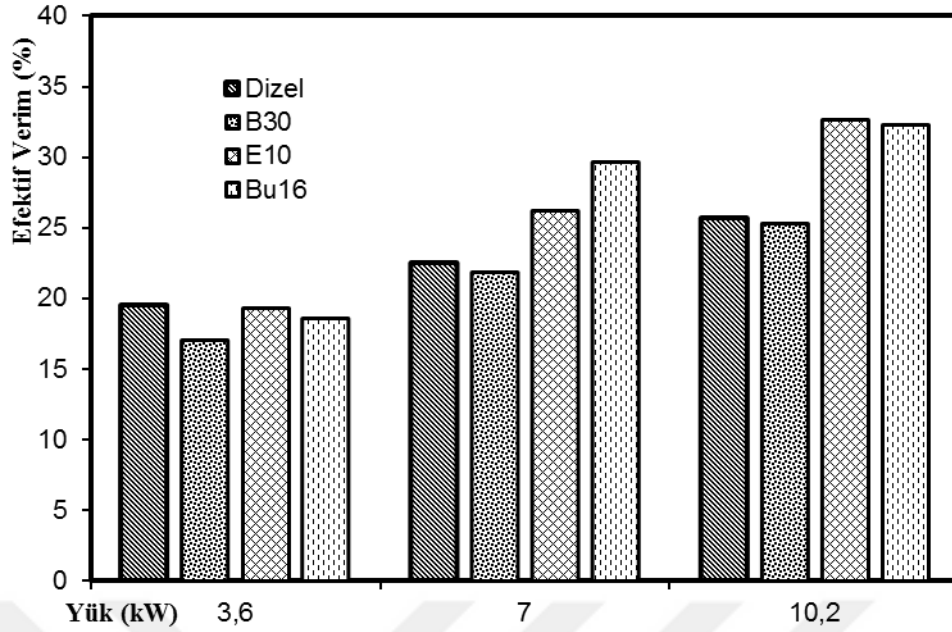


Şekil 4.1: Deney yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerinin yük ile değişimi

#### 4.1.2. Efektif Verim

Deney yakıtlarının efektif verimlerinin farklı yük kademelerindeki değişimleri Şekil 4.2’de verilmiştir. Motor çıkış gücü arttıkça tüm test yakıtları için efektif verim artmıştır. B30 alternatif yakıtının efektif verimi dizel yakıtına göre bütün yük kademelerinde daha düşük olmuştur. E10 ve Bu16 yakıtlarının efektif verim değerleri ise 3.6 kW yükte dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında daha düşük olurken orta ve yüksek yük kademelerinde daha yüksek çıkmıştır. 3.6 kW yükte alternatif yakıtların kullanımında efektif verim değerleri dizel yakıtı kullanımına göre çok düşük miktarlarda azalmıştır. Ancak 7 kW ve 10.2 kW yük şartlarında dizel yakıtına göre efektif verim E10 kullanımında sırasıyla yaklaşık %3.6-%7 ve Bu16 %7-%6.5 oranında artış olmuştur. Görüldüğü gibi dizel yakıtına alkol ilavesi efektif verimi artırmıştır. Biyodizel katıldığında ise özellikle yüksek yüklerde önemli bir değişim olmamakla birlikte genel olarak bir miktar düşüş gözlenmiştir. Bütün yük kademelerinde en düşük efektif verim B30 yakıtı kullanımında olurken en yüksek ise 3.6 kW yükte Dizel yakıtının kullanımında, 7 kW yükte Bu16 ve 10.2 kW yükte E10 yakıtının kullanımında elde edilmiştir. Ortalama efektif verim değerleri dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında B30

için %1.27 oranında düşerken; E10 ve Bu16 yakıtları için ise sırasıyla %3.4 ve %4.19 oranlarında artmıştır. Bununla beraber 3.6 kW yükte B30 ile efektif verimde E10 ve Bu16 yakıtlarının kullanımına göre %2.47 ve %1.57 oranında bir düşme olmuştur. Orta ve yüksek yük şartlarında ise bu oran daha fazla olmuştur. Efektif verimlerinin farklı yük kademelerindeki değişimleri Şekil 4.2’de verilmiştir. Motor çıkış gücü artıkça tüm test yakıtları için efektif verim artmıştır. B30 alternatif yakıtının efektif verimi dizel yakıtına göre bütün yük kademelerinde daha düşük olmuştur. E10 ve Bu16 yakıtlarının efektif verim değerleri ise 3.6 kW yükte dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında daha düşük olurken orta ve yüksek yük kademelerinde daha yüksek çıkmıştır. 3.6 kW yükte alternatif yakıtların kullanımında efektif verim değerleri dizel yakıtı kullanımına göre çok düşük miktarlarda azalmıştır. Ancak 7 kW ve 10.2 kW yük şartlarında dizel yakıtına göre efektif verim E10 kullanımında sırasıyla yaklaşık %3.6-%7 ve Bu16 %7-%6.5 oranında artış olmuştur. Görüldüğü gibi dizel yakıtına alkol ilavesi efektif verimi artırmıştır. Biyodizel katıldığında ise özellikle yüksek yüklerde önemli bir değişim olmamakla birlikte genel olarak bir miktar düşüş gözlenmiştir. Bütün yük kademelerinde en düşük efektif verim B30 yakıtı kullanımında olurken en yüksek ise 3.6 kW yükte DY kullanımında, 7 kW yükte Bu16 ve 10.2 kW yükte E10 yakıtının kullanımında elde edilmiştir. Ortalama efektif verim değerleri DY ile karşılaştırıldığında B30 için %1.27 oranında düşerken; E10 ve Bu16 yakıtları için ise sırasıyla %3.4 ve %4.19 oranlarında artmıştır. Bununla beraber 3.6 kW yükte B30 ile efektif verimde E10 ve Bu16 yakıtlarının kullanımına göre %2.47 ve %1.57 oranında bir düşme olmuştur. Orta ve yüksek yük şartlarında ise bu oran daha fazla olmuştur. Alkol katkıli yakıt karışımlarının kullanılması ile efektif verimindeki iyileşme alkol içeriğinden dolayı yüksek gizli buharlaşma ısısının silindirdeki ısı kayıplarını azaltmasına ve düşük setan sayısının sebep olduğu uzun tutuşma gecikmesi sonucunda ön karışımli yanma safhasında daha fazla yakıtın yanmasına bağlanabilir (Di ve ark., 2009; Li ve ark., 2005; Hansen ve ark., 2005).



Şekil 4.2: Deney yakıtlarının efektif verim değerlerinin yük ile değişimi

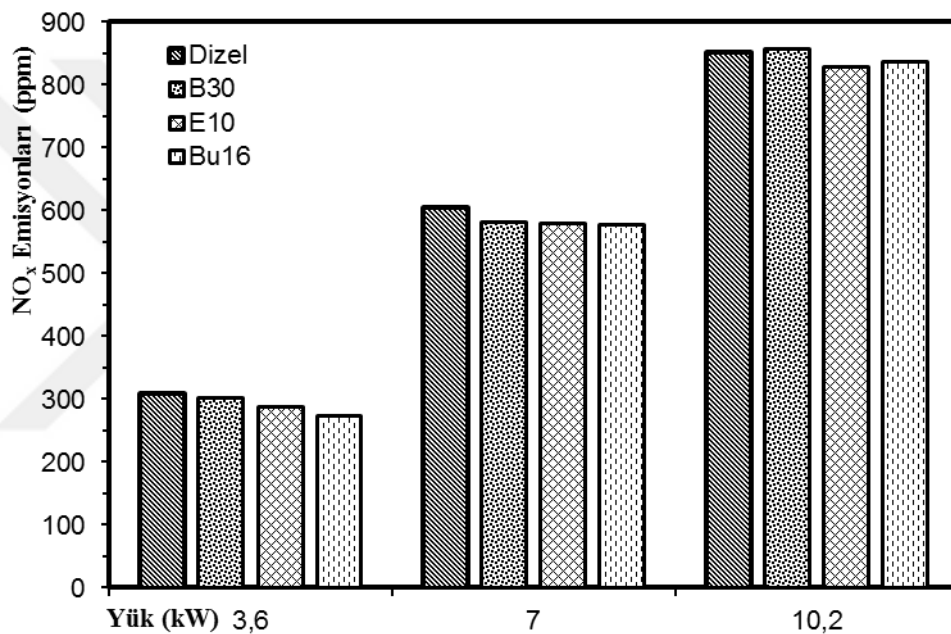
## 4.2. Egzoz Emisyonlarının İncelenmesi

Bu bölümde alternatif yakıtların ile sabit motor devir sayısında ve farklı yüklerde yapılan testlerde ölçülen  $\text{NO}_x$  ve HC emisyonları ile duman koyuluğu değerlerinin dizel kullanımına göre değişimleri motor yüküne bağlı olarak grafikler halinde verilmiştir.

### 4.2.1 Azot Oksit ( $\text{NO}_x$ ) Emisyonları

Farklı yük şartlarında azot oksit ( $\text{NO}_x$ ) emisyonlarının değişimi Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekil de görüldüğü gibi kullanılan tüm yakıtlar için yükün artması ile  $\text{NO}_x$  emisyonlarında artış olmuştur. Düşük ve orta yük kademelerinde alternatif yakıt kullanımında  $\text{NO}_x$  emisyonları DY kullanımına göre bir miktar azalırken yüksek yük şartlarında  $\text{NO}_x$  biyodizel karışımlı yakıt kullanımında bir miktar artmıştır. 3.6 kW yükte,  $\text{NO}_x$  emisyonu DY kullanımına göre B30 için %2, E10 için %7 ve Bu16 için %11 oranında azalmıştır. 7 kW yük kademesinde ise  $\text{NO}_x$  emisyonu alternatif yakıt kullanımında DY kullanımına göre %4-5 oranında daha düşük olmuştur. Maksimum yükte ise B30 yakıtı kullanımında DY kullanımına benzer  $\text{NO}_x$  emisyonu elde edilirken; E10 ve Bu16 kullanımında ise sırasıyla %3-%2 oranında düşüş olduğu gözlenmiştir. Ortalama  $\text{NO}_x$  değerlerinde ise B30, E10 ve Bu16 için DY değerlerine göre sırasıyla 9

ppm, 23 ppm ve 26 ppm kadar bir azalma olmuştur. Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere dizel yakıtına biyodizel katılması ile  $\text{NO}_x$  emisyonlarında önemli değişim olmamıştır. Ancak; alkol ilavesi ile bir miktar düşüş olmuştur. Bu alkol katkılı yakıtların kullanımında alkol yakıtların yüksek gizli buharlaşma ısısına bağlanabilir. Alternatif yakıtlar kendi aralarında karşılaştırıldığında ise en yüksek  $\text{NO}_x$  emisyonlarının B30 yakıtı kullanımında elde edildiği görülmüştür. 3.6 kW yükte B30 yakıtı kullanıldığında E10 ve Bu16 yakıtlarının kullanımına göre  $\text{NO}_x$  emisyonlarında %5 ve %10 oranında artış olmuştur. Orta yük şartlarında bu artış farkı azalırken; yüksek yük şartlarında artış oranı yaklaşık %4 ve %3 kadar olmuştur.

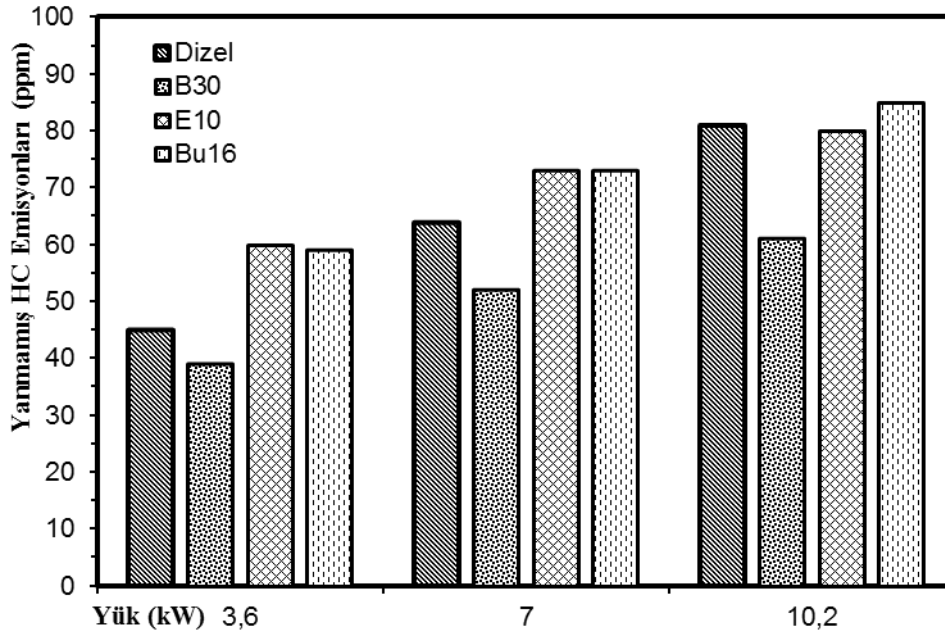


Şekil 4.3:  $\text{NO}_x$  emisyonlarının değişimi

#### 4.2.2 Hidrokarbon (HC) Emisyonlarının İncelenmesi

Test yakıtlarının hidrokarbon salınımları sabit motor devrinde yük kademelerine göre değişimleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Motor yükü arttıkça HC emisyonlarının da arttığı görülmektedir. Bütün yük kademelerinde biyodizel karışimli yakıt kullanıldığında dizel yakıtı kullanımına göre hidrokarbon salınımı düşerken alkol karışimli yakıtlar kullanıldığında hidrokarbon salınımı artmıştır. 3.6 kW yükte DY kullanımına göre B30 yakıtının kullanıldığında HC miktarı %13 oranında azalmış ancak; E10 ve Bu16 yakıtları kullanıldığında HC miktarı sırası ile %33 ve %22 artış

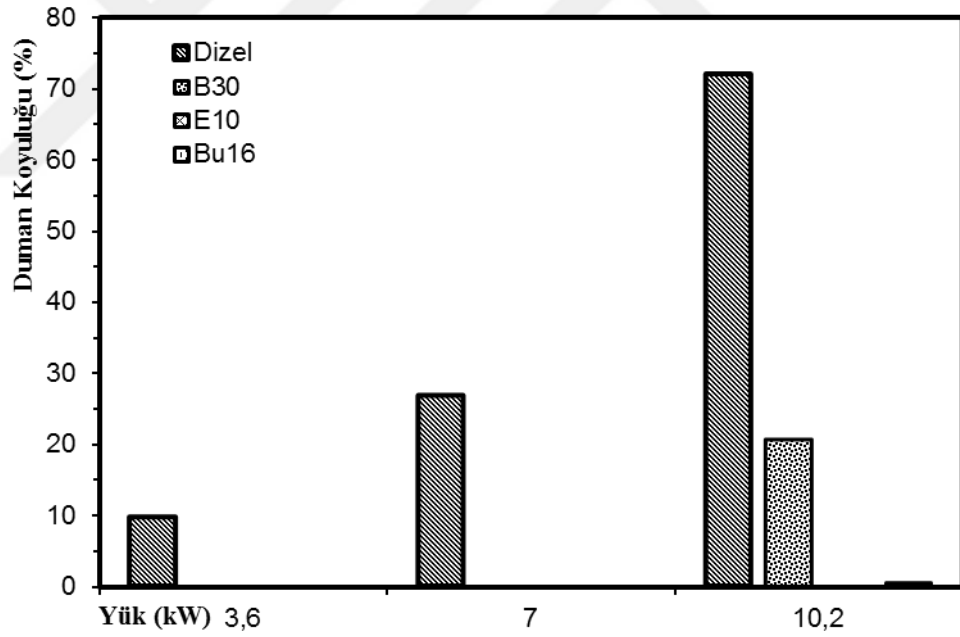
göstermiştir. 7 kW yükte ise DY kullanımına göre E10 ve Bu16 yakıtlarının kullanımında HC emisyonları yaklaşık %14 oranında artarken; B30 için %19 oranında bir düşüş olmuştur. 10.2 kW yük kademesinde alternatif yakıtların HC emisyonları DY kullanımına göre B30 ve E10 için sırası ile %25 ve %2 oranında düşme olurken; Bu16 yakıtında %5 oranında artış görülmüştür. Ortalama HC emisyonları ise B30 için yaklaşık %20 oranında daha düşük, E10 ve Bu16 için ise sırasıyla %11 ve %15 oranında yüksek olmuştur. Ortalama HC emisyonları göz önüne alındığında B30 yakıtı yerine E10 ve Bu16 yakıtları kullanıldığında sırasıyla %40 ve %43 oranında artış olduğu görülmüştür. Alptekin (2013) yaptığı çalışmada etanol içeren karışımlarda etanol miktarının artması ile birlikte HC emisyonunun arttığını bildirmiştir. Sukjit ve ark., (2012)'de etanol ve butanol karışımlarının kullanılması ile aynı oksijen içeriğine sahip biyodizel karışımı kullanımına göre toplam HC emisyonlarında artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Alkol katkılı yakıt karışımlarının kullanımında yanmamış HC emisyonlarındaki artışın sebebi alkol yakıtlarının sahip olduğu yüksek gizli buharlaşma ısısı olabilir (Lapuerta ve ark., 2008; Li ve ark., 2005). Atomizasyon ve buharlaşmanın daha az elverişli olduğu düşük yük şartlarında alkol katkılı yakıt karışımlarının kullanımı ile yanmamış HC emisyonlarının daha fazla artması ile yüksek yük kademelerinde artışın daha az olması bu düşüncüyü kuvvetlendirmektedir.



Şekil 4.4: Yanmamış HC emisyonlarının değişimi

### 4.2.3 Duman Koyuluğunun Karşılaştırılması

Şekil 4.5'te test yakıtları için sabit devir ve değişik yüklerde ölçülen duman koyuluk oranları gösterilmiştir. Duman koyuluğu yük artışı ile DY kullanımına göre alternatif yakıt kullanımı ile düşük ve orta yük kademelerinde yaklaşık %0 gibi düşük seviyelerde olurken yüksek yükte B30 ile %52 oranında düşüş olmuştur. Yük kademesindeki değişime bağlı olarak duman koyuluğu artışı en fazla DY ile olurken E10 yakıtında hemen hemen hiç artış olmamış, Bu16 yakıtında ise yüksek yük kademesinde çok küçük bir artış görülmüştür. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi alkol karışımlı yakıtlarda yük artışı ile duman koyuluğunda belirgin bir artış olmamıştır. Ortalama duman koyuluğu ise DY yerine alternatif yakıt kullanıldığında B30 yakıtı için %81 oranında; E10 veya Bu16 yakıtı kullanımında ise yaklaşık %99 oranında düşük olmuştur. Benzer bir karşılaştırma B30 yakıtı yerine E10 ve Bu16 yakıtı kullanımında görülmektedir.



Şekil 4.5: Test yakıtlarının duman koyuluklarının yük kademelerine göre değişimi

Duman koyuluğunun düşmesinde en önemli faktör yakıt karışımlarının oksijen içeriğidir. Bununla beraber yakıt karışımlarının benzer oksijen içeriğine sahip olmalarına karşın alkol içeren karışımların duman emisyonlarının daha düşük olması moleküler yapı gibi bazı diğer özelliklerin de etkili olduğunu göstermektedir. Nitekim;

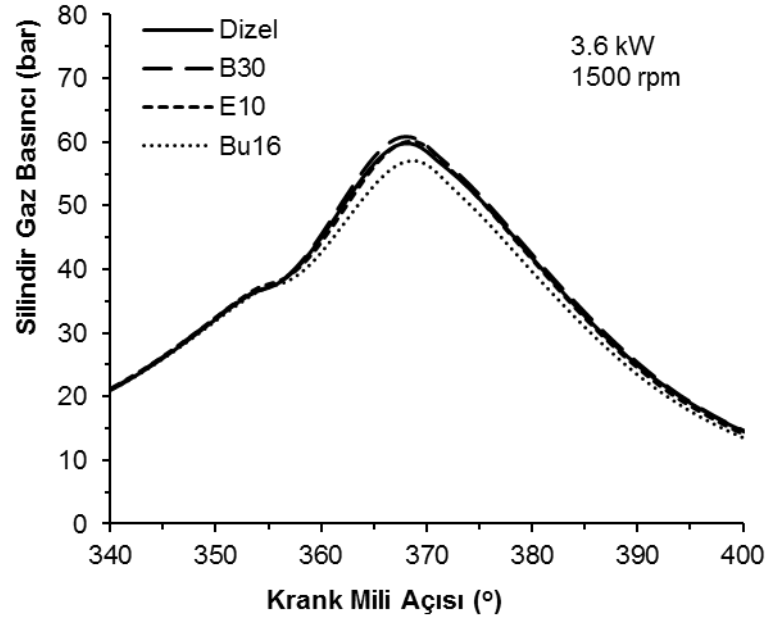
alkol karışımlarının duman emisyonlarının aynı oksijen içeriğine sahip biyodizel-dizel karışımlarına göre daha düşük olduğunu Sukjit ve ark. (2012) tarafından da bildirilmiş ve çalışmada yakıt moleküllerinin farklı yapıda olmasının bunun sebebi olabileceğini belirtmiştir (Pepiot-Desjardins ve ark. 2008; Cheng ve ark. 2002). Sukjit ve ark. (2012)'nin çalışmada bir karbon atomunun iki oksijen atomuna bağlandığı ester yapıdaki biyodizel durumuna karşın bir oksijen atomunun bir karbon atomuna bağlanmış olduğu alkol durumunun duman oluşumunu önlemede daha etkili olduğu öne sürülmüştür (Westbrook ve ark. 2006).

### 4.3. Yanma Karakteristikleri

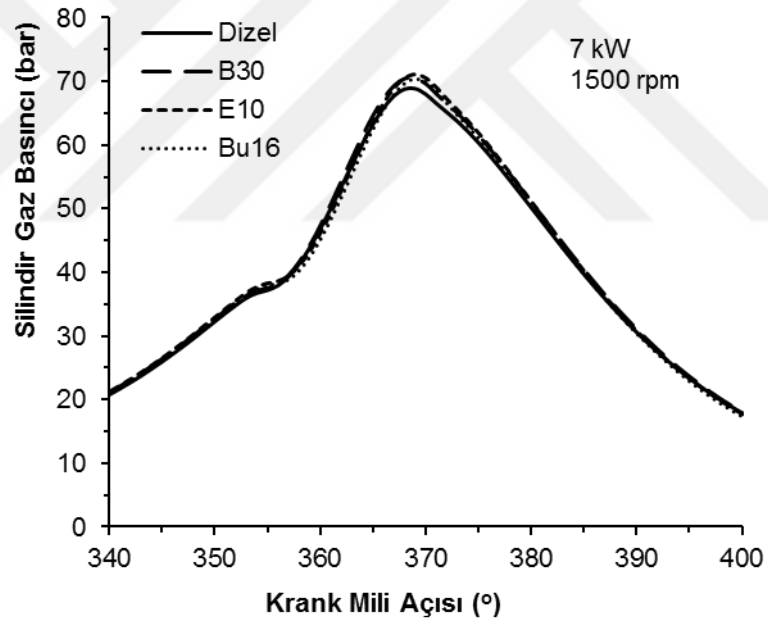
Dizel ve alternatif yakıtların 3.6 kW, 7 kW ve 10.2 kW yük kademelerinde silindir gaz basıncı değerlerinin krank mili açısına göre değişimleri sırası ile Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmiştir. Deney yakıtlarının yükün artması ile silindir gaz basıncı değerlerinin arttığı şekillerde görülmektedir. En yüksek silindir gaz basıncı tüm test edilen yakıtlar için 10.2 kW yükte elde edilmiştir. Bu yük şartında maksimum silindir gaz basıncı DY, B30, E10 ve Bu16 için sırası ile 73.62 bar, 75.2 bar, 75.6 bar ve 75.4 bar olarak ölçülmüştür. Maksimum silindir gaz basıncı değerlerinin motor yükü ile değişimi Şekil 4.9'te gösterilmiştir. Bu değerler DY, E10 ve Bu16 yakıtlarının kullanımında üst ölü noktadan sonra 9 °KMA'da, B30 kullanımında ise 8 °KMA'da elde edilmiştir.

Maksimum silindir gaz basıncı DY kullanımına göre B30 için %2.15, E10 için %2.69 ve Bu16 için %2.44 oranında artmıştır. Nitekim 3.6 kW yükte Bu16 kullanımı dışında test edilen her bir yük kademesinde alternatif yakıtların kullanımı ile silindir gaz basıncı dizel'e göre biraz daha yüksek olmuştur. Bununla beraber özellikle biyodizel içeren yakıt karışımının kullanılması ile silindir gaz basıncındaki yükselme daha erken olmuştur. Bunun nedeni yanma başlangıcının daha erken olması olabilir (Tablo 4.1). Ancak alkol içeren karışım yakıtların kullanılması ile basınç artışı; dizel'e katılan etanol ve butanol'ün düşük setan sayısına sahip olmalarından dolayı karışım yakıtların kullanımında yanmanın saf dizel'e göre daha geç başlaması sonucu gecikmiştir. Sonuç olarak silindir gaz basıncının yükselmesi üst ölü noktaya daha yakın bir konumda gerçekleşmiştir.

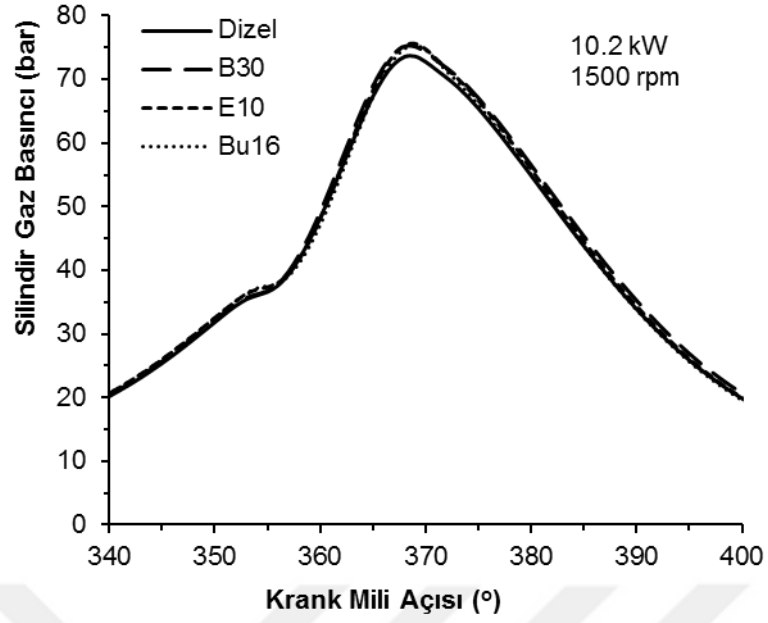




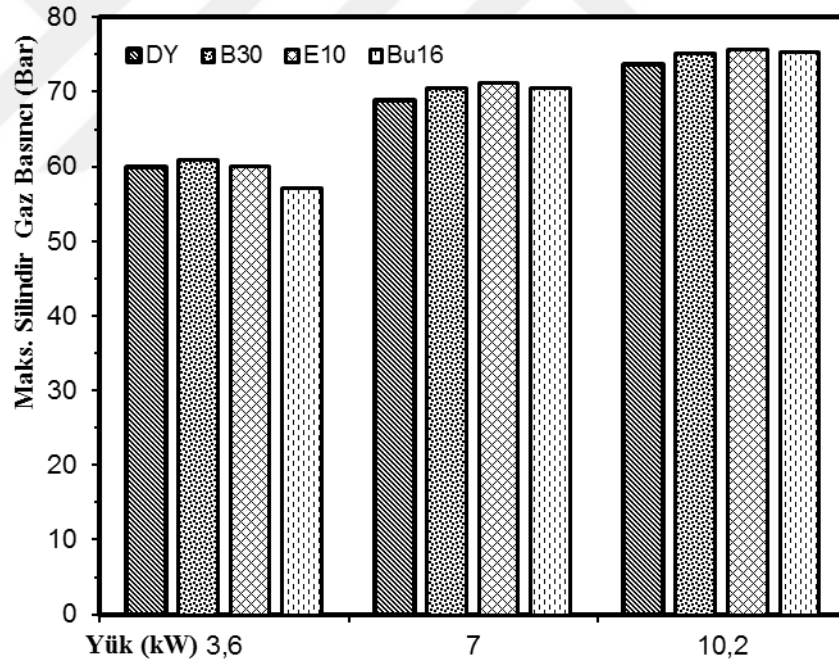
Şekil 4.6: 3.6 kW yük kademesinde test yakıtları için silindir gaz basıncının krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.7: 7 kW yük kademesinde test yakıtları için silindir gaz basıncının krank mili açısı ile değişimi



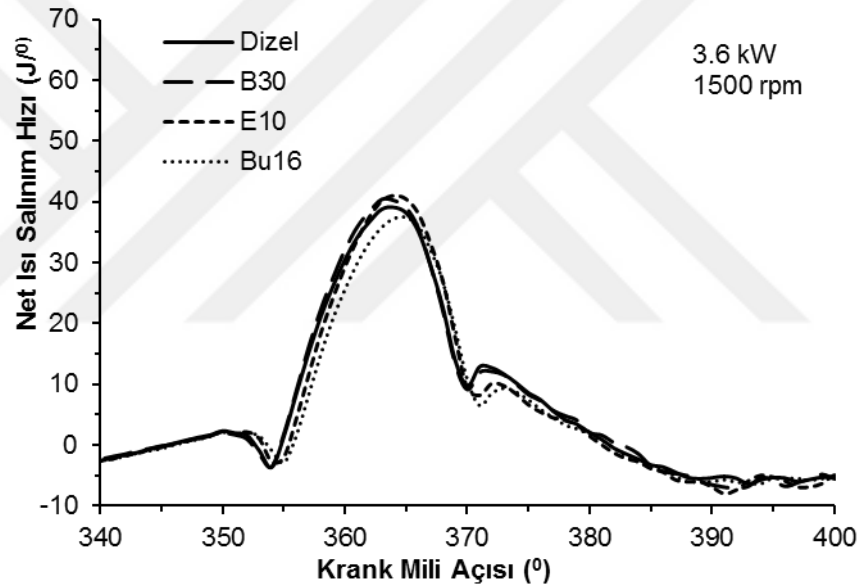
Şekil 4.8: 10.2 kW yük kademesinde test yakıtları için silindir gaz basıncının krank mili açısı ile değişimi



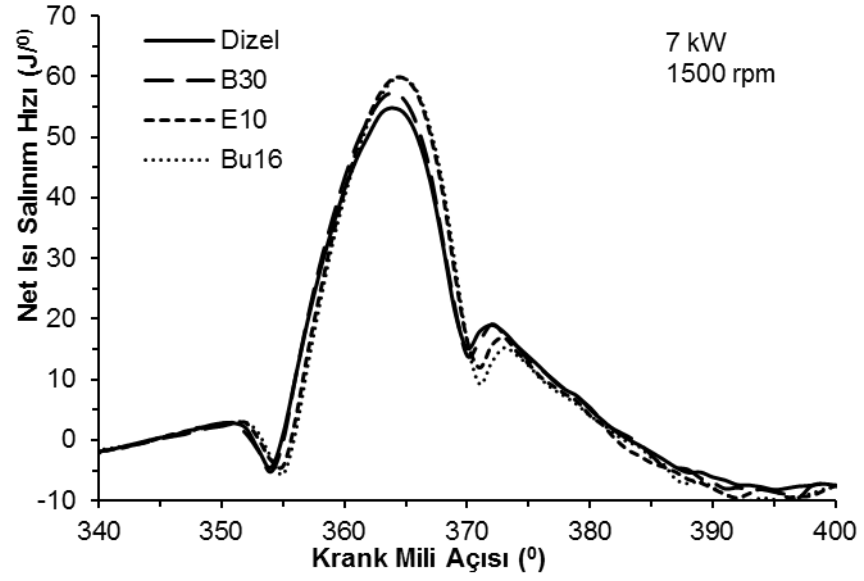
Şekil 4.9: Yük kademelerine göre maksimum silindir gaz basıncı değerleri

Test yakıtları için net ısı salınımının krank mili açısına göre farklı yüklerdeki değişimi Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12’de gösterilmiştir. Net ısı salınım değeri yük kademesindeki artış ile yükselmiş ve en fazla ısı salınımı tüm yakıtlar için 10.2 kW yükte olmuştur. Maksimum net ısı salınımı değerlerinin motor yükü ile değişimi Şekil 4.13’te gösterilmiştir. 10.2 kW yük şartlarında en fazla ısı salınım değerleri DY için

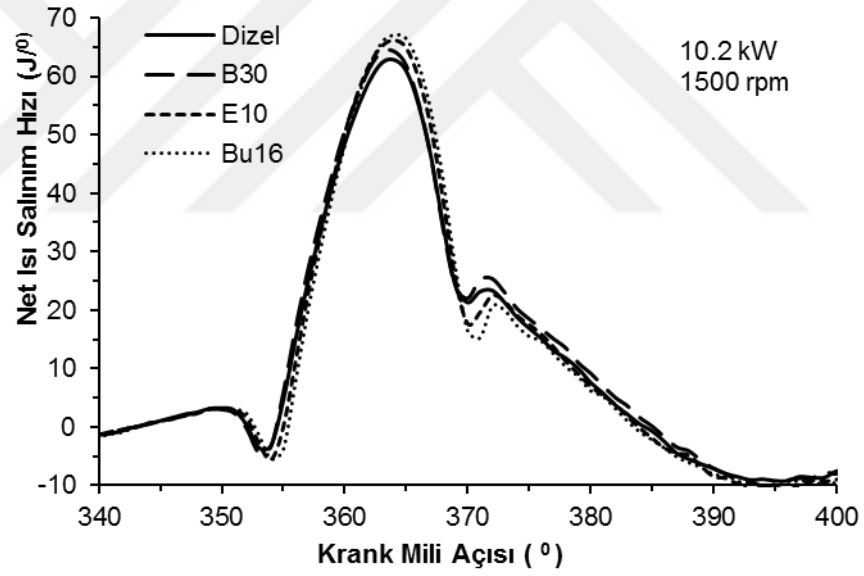
62.8 J/°KMA, B30 için 64.3 J/°KMA, E10 için 66.2 J/°KMA ve Bu16 için 67 J/°KMA olmuştur. Bu değerler her bir yakıt için üst ölü noktadan sonra 4 KMA'da elde edilmiştir. B30 kullanımında diğer test yakıtlarına göre ısı dağılımı başlangıcı daha erken olmuştur. Bununla beraber alkol içeren test yakıtları için ısı dağılım başlangıcı daha geç krank mili açılarında gerçekleşmiştir. Alkol katkılı yakıt karışımlarının kullanılması ile setan sayısının düşmesi ile tutuşma gecikmesinin artması ve bunun da ısı dağılımı başlangıcının daha geç olmasına neden olduğu söylenebilir. Ayrıca, alkol katkılı yakıt karışımlarının kullanılması ile birlikte ön karışım yanma fazında daha fazla yakıt birikmesi sonucu daha fazla yakıtın yanması maksimum ısı dağılım oranında da artışa neden olmuştur. Benzer sonuçlar literatürdeki çalışmalarda da bildirilmiştir Alpetkin (2013).



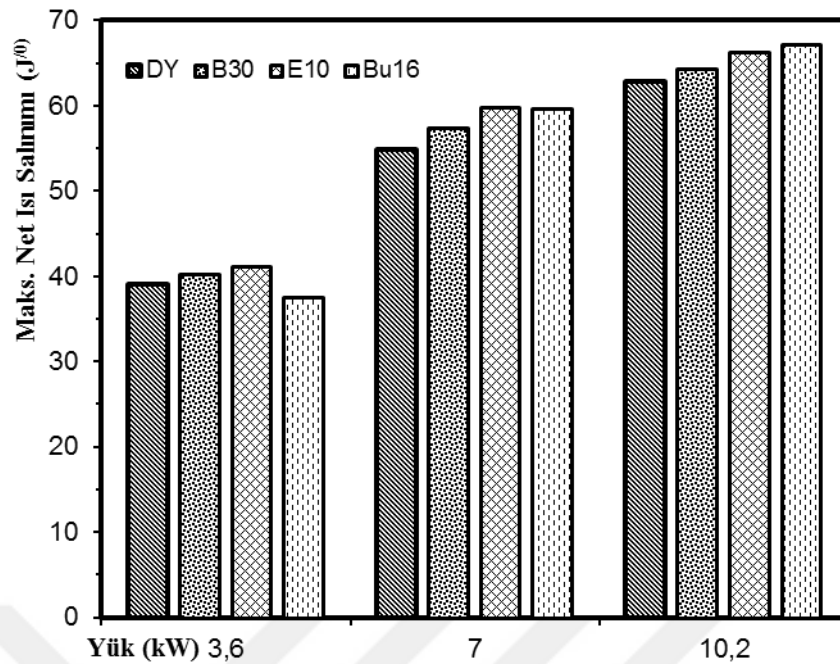
Şekil 4.10: 3.6 kW yükte test yakıtları için net ısı salınımının krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.11: 7 kW yükte test yakıtları için net ısı salınımının krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.12: 10.2 kW yükte test yakıtları için net ısı salınımının krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.13: Yük kademelerine göre maksimum net ısı salınımı

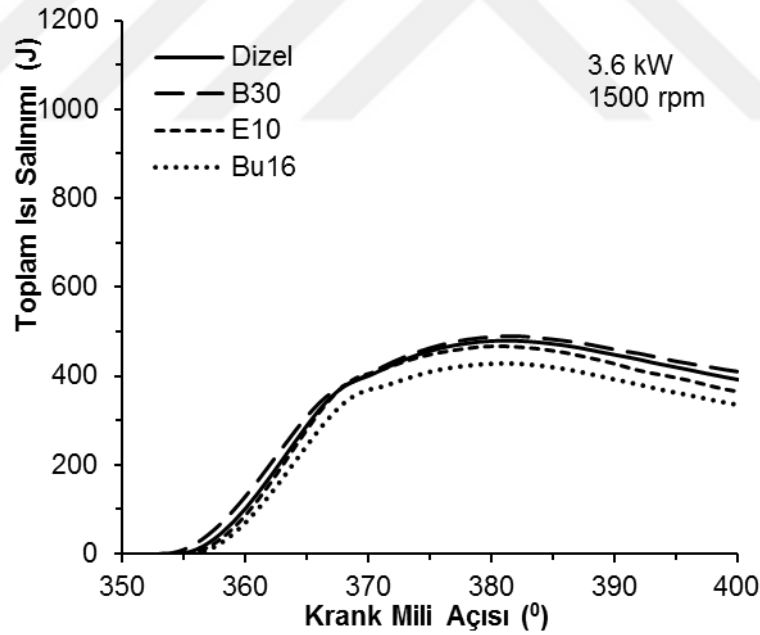
Deney yakıtlarının farklı yüklerdeki yanma parametreleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Tablo 4.1’de dizel yakıtına biyodizel katılmasıyla yanmanın daha erken başladığı bununla beraber alkol yakıtların ilavesi ile yanmanın geciktiği anlaşılmaktadır. Yanmanın başlaması (YB) 3.6 kW yük kademesinde DY için ÜÖN’den önce 6 KMA’da gerçekleşirken B30 için 7 KMA, E10 ve Bu16 için ise 5 KMA’da gerçekleşmiştir. Benzer sonuçlar orta ve yüksek yük kademelerinde de elde edilmiştir. Biyodizel kullanımında yüksek viskozite ve bulk modülünden dolayı püskürtmenin dizel kullanımına göre daha erken başladığı ve dolayısıyla yanmanın da daha erken olduğu literatürdeki çalışmalarda bildirilmiştir (Tat ve ark., 2007). Alkol ilavesi ile yakıt karışımlarının setan sayısının düşmesi sonucu tutuşma gecikmesinin artması ile YB daha geç olmakta ve ayrıca maksimum ön karışım yanmada artmaktadır (Sukjit ve ark., 2012). Yanma sonu (YS) değerlerine bakıldığında ise alkol karışimli yakıtların kullanımı ile yanmanın daha erken bittiği ancak B30 ve DY kullanımı ile benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Yanma süresi (YSü) incelendiğinde, yükün artması ile beraber bu sürenin de uzadığı görülmüştür. En fazla YSü tüm yük kademeleri için B30 kullanımında en düşük ise alkol katkılı yakıt karışımlarının kullanımı ile elde edilmiştir. 10.2 kW yük şartında DY kullanımında yanma 30 KMA sürerken; B30 ile 31 KMA, E10 ve Bu16 durumunda ise 28 KMA olmuştur. Diğer yük kademelerinde de

benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ancak 7 kW yükte B30 kullanımında DY ile aynı YSü'si elde edilmiştir.

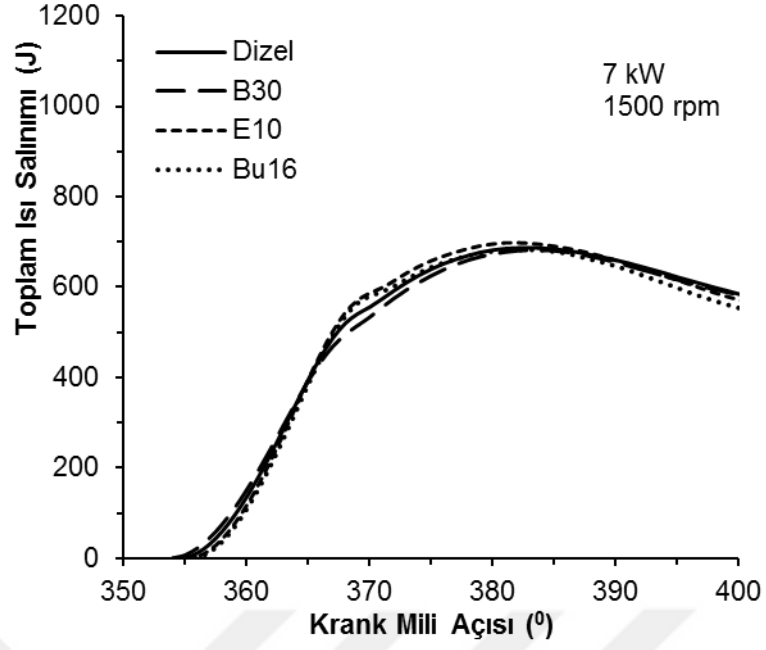
**Tablo 4.1.** Deney yakıtlarının farklı yüklerdeki yanma parametreleri

	3.6 kW				7 kW				10.2 kW			
	DY	B30	E10	Bu16	DY	B30	E10	Bu16	DY	B30	E10	Bu16
YB (°ÜÖNÖ)	6	7	5	5	6	6	5	5	6	7	5	5
YS (°ÜÖNS)	21	22	21	21	23	23	22	22	24	24	23	23
YSü (°KMA)	27	29	26	26	29	29	27	27	30	31	28	28

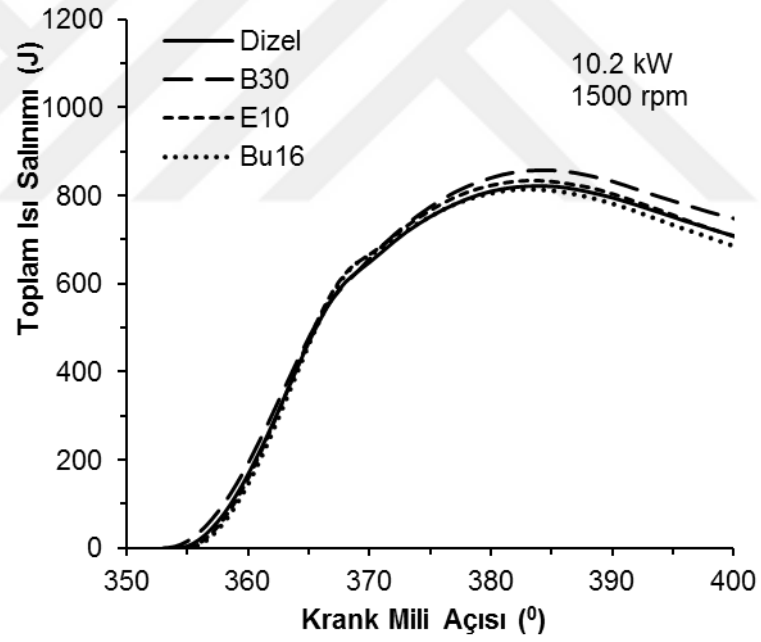
Test yakıtları için toplam ısı salınımının krank mili açısına göre farklı yükler için değişimi Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16'de gösterilmiştir. Toplam ısı salınım değeri yük kademesindeki artış ile artmış ve en fazla toplam ısı salınımı tüm yakıtlar için 10.2 kW yükte elde edilmiştir. 10.2 kW yük şartlarında en fazla toplam ısı salınım değerleri DY için 822 J, B30 için 858 J, E10 için 834.3 J ve Bu16 için 815 J olmuştur. Bu değerler DY ve B30 için üst ölü noktadan sonra 24 KMA'da elde edilirken; E10 ve Bu16 için 23 KMA'da elde edilmiştir.



**Şekil 4.14:** 3.6 kW yükte test yakıtları için toplam ısı salınımının krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.15: 7 kW yükte test yakıtları için toplam ısı salınımının krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.16: 10.2 kW yükte test yakıtları için toplam ısı salınımının krank mili açısı ile değişimi

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Hızlı nüfus artışı ile artan enerji tüketimi günümüzde önemli bir sorun haline gelen çevre ve hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Dünya enerji tüketiminin büyük bir kısmının petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil enerji kaynaklarından karşılandığı göz önüne alındığında; bu kaynakların enerji üretiminde kullanımının azaltılması ve/veya daha etkin kullanımı çevre ve hava kirliliğine olumlu yönde katkı sağlayacaktır. Fosil enerji kaynaklarından olan petrolden elde edilen yakıtlar çoğunlukla içten yanmalı motorlarda enerji kaynağı olarak kullanılmakta ve bu petrol türevi yakıtların yanması sonucu yüksek miktarda zararlı egzoz emisyonları atmosfere salınmaktadır. Benzer şekilde dizel motorların güç kaynağı olarak kullanıldığı jeneratör setlerinin de sayısı da gün geçtikçe artmaktadır. Yapılan bu çalışmada, biyoetanol, n-butanol ve biyodizel yakıtları petrol esaslı dizel yakıtına belirli oranlarda katılarak dizel motorlu bir jeneratör setinde kullanılmış ve yanma ile emisyon parametrelerindeki değişim incelenmiştir.

Tüm test yakıtları için yükün artmasıyla özgül yakıt tüketimi azalmış ve B30 yakıt karışımının özgül yakıt tüketimi DY'na göre daha yüksek çıkmıştır. Bununla beraber, E10 ve B16 kullanımı ile özgül yakıt tüketimi daha düşük olmuştur. Benzer bir durum efektif verim içinde gözlenmiştir. Yükteki artış ile efektif verim değerleri artarken; DY'nın efektif verimi B30'a göre yüksek; E10 ve Bu16'ya göre ise bir miktar daha düşük olmuştur.

Tüm test yakıtları için yükün artması ile NO<sub>x</sub> emisyonlarının da arttığı gözlemlenmiştir. Bununla beraber alternatif yakıt karışımlarının NO<sub>x</sub> emisyonu değerleri DY'na göre biraz daha düşük olmuştur. B30 kullanımında yanmamış HC emisyonlarının DY'na göre belirgin bir şekilde azalmış olmasının yanında; E10 ve Bu16 kullanımında yanmamış HC emisyonları artmıştır. Alternatif yakıtların aynı oksijen içeriğine sahip oldukları göz önüne alındığında bu durum alkol yakıtlarının yüksek gizli buharlaşma ısısına bağlanabilir. Duman koyuluğu değerlerinde ise; alternatif yakıt karışımlarının kullanımı ile dizel yakıtı kullanımına göre çok yüksek bir oranda düşüş olmuştur. Düşük ve orta yüklerde hemen hemen ölçülmeyecek derecede düşük olan duman emisyonları, yüksek yük kademesinde B30 kullanımında bir miktar artmıştır. Alternatif yakıt karışımlarının benzer oksijen içeriğine sahip olmalarına karşın



özellikle yüksek yüklerde farklı duman emisyonu üretmeleri yakıtların yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Alternatif yakıt karışımlarının ısı dağılım başlangıçları DY'na göre daha erken olmuş ve maksimum silindir gaz basıncı değerleri DY'na göre birbirlerine yakın olmalarının yanında biraz daha yüksek olarak ölçülmüştür. B30'un yanma başlangıcı DY'na göre daha erken krank mili açısında gerçekleşirken; alkol içeren karışım yakıtlarının ki daha geç olmuştur. Yanma süreleri karşılaştırıldığında ise; B30 için biraz artış göstermiştir. Ancak etanol ve n-butanol içeren karışım yakıtlarının toplam yanma süreleri B30'a göre kısmen daha kısa sürmüştür.

Bu çalışmada kullanılan dizel motorlu jeneratör seti için petrol kökenli dizel yakıtı yerine düşük oranlarda alkol katkılı dizel yakıt karışımlarının kullanımı performans ve duman emisyonları açısından olumlu sonuçlar göstermiştir.

## 5.2 Öneriler

Dizel motorlu bir jeneratör setinde yapılan bu çalışma sonucunda; biyoetanol, butanol ve biyodizel gibi alternatif yakıtların petrol dizeli kullanılan jeneratörlerde emisyonları azaltmak için umut verici alternatif yakıtlar olduğu belirlenmiştir. Ancak alkol katkılı yakıt karışımlarının kullanılması ile özellikle yanmamış HC emisyonlarının artması durumunun daha iyi anlaşılabilmesi için farklı karışım oranları ile biyodizel-alkol ve dizel içeren üçlü yakıt karışımlarının denenmesi büyük önem taşımaktadır.

## KAYNAKLAR

- Adıgüzel, A.O., 2013, Biyoetanolün Genel Özellikleri ve Üretimi İçin Gerekli Hammadde Kaynakları, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 204-220.
- Aksu, O.N., 2013, Turboşarjlı Bir Dizel motorunda n-bütanol-dizel Yakıtı Karışımlarının Kullanılmasının Motor Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1-4
- Ali, O.M., Mamat, R., Abdullah, N.R., Abdullah, A.A., 2016, Analysis of blended fuel properties and engine performance with palm biodiesel-diesel blended, *Fuel*, 86:59-67.
- Alibaş, K., Arslan, M., 2015, Laboratuvar Ölçekli Biyodizel Üretim Tesisinin Projelendirilerek İmal Edilmesi ve Bu Tesiste Çeşitli Bitkisel Yağ Kaynaklarından Biyodizel Üretimi, *Uludağ Ünv. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29, 1, 107-103.
- Alptekin, E., Çanakçı, M., 2005, Biyodizel ve Türkiye'deki durumu, *Mühendis ve Makine*, 47, 561, 57-64.
- Alptekin, E., Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi ve bir dizel motorda kullanımının incelenmesi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2013, Sayfa:182.
- 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., Keven, A., Öner, C., 2008, Fındık Yağı Biyodizelinin Alternatif Yakıt Olarak Bir Dizel Motorunda Kullanılması, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, Fırat Ünv. T.E. Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Elazığ, 102-106.
- Altun, Ş., Lapuerta, M., 2014, Properties and emission indicators of biodiesel fuels obtained from waste oils from the Turkish industry, *Fuel*, 128, 288–295.
- Altun, Ş., 2014, Effect of the degree of unsaturation of biodiesel fuels on the exhaust emissions of a diesel power generator. *Fuel* 117 (2014) 450–457
- Anonim, 1998, *21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi* TÜSİAD, 98-12/239.
- Anonim, 2006, Motorlu Araçlar Teknolojisi Dizel Yakıt Sistemleri, *MEGEP*, Ankara, 13-14.

- Anonim, 2011, Motorlu Araçlar Teknolojisi Egzoz Emisyon Kontrolü, *MEGEP*, Ankara, 525MT0300, sayf 29-31.
- Anonim, 2013, Motor Çevrimleri ve Yakıtlar, *MEGEP*, Ankara,101-104
- Anonim, 2015a, *2014 Yılı Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu*, TPAO, 4-58.
- Anonim, 2015b, *2014 Sektör Raporu*, Petder, Ankara, 12-14.
- Anonim, 2015c, Petrol Piyasası 2015 Sektör Raporu, *EPDK*, 8-20.
- Anonymous, 2015, *BP Statistical Review of World Energy June 2015*, BP, 64 sayı, 39.
- Armas, O., García-Contreras R., Ramos, Á., 2012, Pollutant emissions from engine starting with ethanol and butanol diesel blends. *Fuel Processing Technology*, 100:63–72.
- Atmanlı, A., Yüksel, B., and İleri, E., 2013, Experimental investigation of the effect of diesel-cotton oil-n-butanol ternary blends on phase stability, engine performance and exhaust emission parameters in a diesel engine, *Fuel*, 109, 503-511.
- Avcı, A., Dönmez, S., 2011, Biyoyakıt Olarak Bütanol ve Fermantasyonla Üretimi, *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi TR.*, 9, 2, 1-12.
- Aydın, H., Bayındır, H., 2010, Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in a diesel engine, *Renewable Energy*, 35, 588–592.
- Aydın, K., ve Keskin, A., 2000, Dizel motorlarda motorin, bitkisel yağlar ve alkol karışımlarının performans ve emisyon etkilerinin araştırılması, *Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü V. Ulusal Sempozyumu*, Elazığ, 149-158.
- Behçet, R., Oktay, H., Çakmak, A., Aydın, H., 2015, Comparison of exhaust emissions of biodiesel–diesel fuel blends produced from animal fats, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46, 157–165.
- Bengisu, G., 2014, Alternatif Yakıt Olarak Biyoetanol, *Alınteri Dergisi*, Şanlıurfa, 27(B), 43-52.
- Borat, O., Balcı, M., Sürmen A., 1995, İçten yanmalı motorlar, *Kitap, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası*, Ankara, 513.
- Bulut, E.S., Doğru, B., 2013, Bir dizel motorda etanol ve konala biyodizeli kullanımı ve üzerine deneysel ve teorik bir araştırma, *Mühendis ve Makine*, 54, 647, 30-46.
- Cheng AS, Dibble RW, Buchholz BA. 2002. The effect of oxygenates on diesel engine particulate matter. *SAE Paper*, (2002-01-1705).
- Çelikten, İ., 2004, Tam yükte çalışan indirekt püskürtmeli bir dizel motorunda, dizel ve dizel-etanol yakıt karışımlarının performans ve emisyon değişimlerine etkisi, *Teknoloji Dergisi*, 7, 1, 11-18.

- Demirbaş, A., 2003, Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey. *Energy Conversion & Management*, 44, 2093–2109.
- Dimaratos, A.M., Rakopoulos, D. C., Rakopoulos, C.D., Giakoumis, E.G., Kyritsis, D.C., 2010, Effects of butanol-diesel fuel blends on the performance and emissions of a high-speed DI diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 51, 1989-1997.
- Di, Y., Cheung, C.S., Huang Z. 2009. Comparison of the effect of biodiesel-diesel and ethanol-diesel on the gaseous emission of a direct-injection diesel engine. *Atmospheric Environment*, 43, 2721–2730.
- Doğan, O., 2011, The influence of n-butanol diesel fuel blends utilization on a small diesel engine performance and emissions, *Fuel*, 90, 2467-2472.
- 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*,
- Giakoumis, E.G., Rakopoulos, C.D., Rakopoulos, D.C., 2015, Impact of properties of vegetable oil, bio-diesel, ethanol and n-butanol on the combustion and emissions of turbocharged HDDI diesel engine operating under steady and transient conditions, *Fuel*, 156, 1-19.
- Hansen, A.C., Zhang, Q., Lyne, P.W.L., 2005. Ethanol-diesel fuel blends – a review. *Bioresource Technology* 96, 277–285.
- Jin, C., Yao, M., Liu, H., Leed, C.F. and Ji, J., 2011, Progress in the production and application of n-butanol as a biofuel, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 4080-4106.
- Karagöz, H., 2013, Sera Gazı Emisyonu, *Konya Ticaret Odası, Etüt Araştırma Servisi, Konya*, 1-8
- Keskin, A., Metin, G. Ü. R. Ü., Altınparmak, D., 2007, Tall Yağı Biyodizeli Üretimi ve B80 Oranının Dizel Yakıtı Olarak Kullanımı, *Politeknik Dergisi*, Cilt 10, Sayı 4, Sayfa 391-394.
- Korkmaz, K., 2010, Dizel Jeneratör Uygulamaları ve Seçim Kriterleri, *EMO Dergisi*, Mayıs 2010, 35-37.
- Korkmaz, K., 2011, Jeneratör Seçim Kriterleri, *II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi Bildirileri*, İzmir, 1-10.

- Kumar, M.S., Kerihuel, A., Bellettre, J. and Tazerout, M., 2005, Experimental Investigation on the Use of Preheated Animal Fat as Fuel in a Compression Ignition Engine, *Fuel*, 30, 1443-1456.
- Kumar, M.S., Kerihuel, A., Bellettre, J. and Tazerout, M., 2006, Ethanol Animal Fat Emulsions as a Diesel Engine Fuel – Part 2: Engine Test Analysis, *Fuel*, 85, 2646–2652.
- Kumar, S., Cho, J.H., Park, J., 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.
- Kutlar, O.A. Ergeneman, M., Arslan, H., Mutlu, M., 1998, Taşıt egzozundan kaynaklanan kirleticiler, *Kitap, Birsen Yayınevi*, İstanbul.
- Lapuerta, M., García-Contreras, R., Campos-Fernández, J., Dorado, M.P., 2010a Stability, lubricity, viscosity and cold-flow properties of alcohol–diesel blends, *Energy and Fuels*, 24 4497–4502.
- Lapuerta, M., Garcia-Contreras, R., Agudelo, J.R., 2010b, Lubricity of ethanol-biodiesel- diesel fuel blends. *Energy Fuel*, 24:1374-9.
- Lapuerta, M., Armas, O., García-Contreras R. 2007. Stability of diesel–bioethanol blends for use in diesel engines, *Fuel*, 86:1351–7.
- Lapuerta, M., Armas, O., Herreros, J.M. 2008. Emissions from a diesel–bioethanol blend in an automotive diesel engine, *Fuel*, 87:25–31.
- Li, D.G., Huang, Z., Lu, X.C., Zhang, W.G., Yang, J.G., 2005. Physico-chemical properties of ethanol-diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines. *Renewable Energy*, 30, 967–976.
- Melikoğlu, M., Albostan, A., 2010 Türkiye’de Biyoetanol üretimi ve potansiyeli, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der.*, 26 (1), 151-160.
- Meral, R., Kanberoğlu G.S., 2012 Tahıllardan Etanol Üretimi, *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.*, 2 (3), 61-68.
- Millo, F, Debnath, B.K, Vlachos, T, Ciaravino, C, Postriotti, L, Buitoni, G., 2015, Effects of different biofuels blends on performance and emissions of an automotive diesel engine. *Fuel*, 159:614–27.
- Nigam, P.S. and Singh, A., 2011, Production of liquid biofuels from renewable resources-Review, *Progress in Energy and Combustion Science*, 37, 52-68.

- Özsezen, A.N, Çanakcı, M., 2009, Atık palmiye ve kanola yağı metil esterlerinin kullanıldığı direkt püskürtmeli bir dizel motorda performans ve yanma, *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der.*, 24, 2, 275-289.
- Paulo, A.A., Costa, R.S., Rahde, S.B., Vecchia, F.D., Seferin, M., Santos, C.A.D., 2016, Performance and emission evaluations in a power generator fuelled with Brazilian diesel and additions of waste frying oil biodiesel, *Fuel*, 98, 288–297.
- Pepiot-Desjardins P, Pitsch H, Malhotra R, Kirby S.R, Boehman A.L. 2008, Structural group analysis for soot reduction tendency of oxygenated fuels. *Combustion and Flame* 154, (1-2):191-205.
- Rakopoulos, C.D., Dimaratos, M.A., Giakoumis, G.E., Rakopoulos, D.C., 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, C.D., Giakoumis, E.G., Dimaratos, A.M., Founti, M.A., 2011, Comparative environmental behavior of bus engine operating on blends of diesel fuel with four straight vegetable oils of Greek origin, Sunflower, cottonseed, corn and olive, *Fuel*, 90, 3439-3446.
- Rakopoulos, D.C., Hountalas, D.T., Kakaras E.C., Giakoumis, E.G. Papagiannakis, R., G., 2010, Investigation of the performance and emissions of bus engine operating on butanol/diesel fuel blends, *Fuel*, 89, 2781-279.
- Rakopoulos, D.C., Rakopoulos, C.D., Giakoumis, E.G. 2015, Impact of properties of vegetable oil, bio-diesel, ethanol and n-butanol on the combustion and emissions of turbocharged HDDI diesel engine operating under steady and transient conditions. *Fuel*, 156, 1–19.
- Rosa, H.A., Wazilewski, W.T., Secco, D., Chaves, L.I., Veloso, G., Souza, S.N.M., Silva, M.J., Santos R.F., 2014, Biodiesel produced from crambe oil in Brazil—A study of performance and emissions in a diesel cycle engine generator, *Fuel*, 38, 651-655.
- Silva, M.J., Souza, S.N., Chaves, L.C., Rosa, H.A., Secco, D., Santos, R.F., Baricatti, R.A., Nogueira, C.E.C., 2013, Comparative analysis of engine generator performance using diesel oil and biodiesels available in Parana' State, Brazil, *Fuel*, 17, 278–282.
- Sukjit E., Herreros J.M., Dearn K.D., García-Contreras R., Tsolakis A. 2012. The effect of the addition of individual methyl esters on the combustion and emissions of ethanol and butanol-diesel blends. *Energy*, 42, 364-374.

- Siwale, L., Kristof, L., Adam, T., Bereczky, A., Mbarawa, M., Penninger, A. and Kolesnikov, A., 2013, Combustion and emission characteristics of n-butanol/diesel fuel blend in a turbo-charged compression ignition engine, *Fuel*, 107, 409-418.
- Şanlı, H., 2005, Farklı alkol ve katalizör kullanımının biyodizel üretimindeki etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 33-34
- Şanlı, H., Çanakçı, M., 2005, Dizel Motorlar İçin Yükselen Bir Alternatif Yakıt: Biyodizel, 3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, *Yeksem 2005*, 19-21 Ekim, Mersin, 1, 233-237
- Tat, M.E., Van Gerpen, J.H., Wang, P.S. 2007. Fuel property effects on injection timing, ignition timing, and oxides of nitrogen emissions from biodiesel-fueled engines. *Transactions of the ASABE*, 50(4): 1123-1128
- Tsai, J.H., Chen, S.J., Huang, K.L., Lin, Y.C., Lee, W.J., Lin, C.C., Lin, W.Y. 2010, PM, carbon, and PAH emissions from a diesel generator fuelled with soy-biodiesel blends, *Fuel*, 179, 237-243.
- Tsai, J.H., Chen, S.J., Huang, K.L., Lin, W.Y., Lee, W.J., Lin, C.C., Hsieh, L.T., Chiu, J.Y., Kuo, W.C. 2014, Emissions from a generator fueled by blends of diesel, biodiesel, acetone, and isopropyl alcohol: Analyses of emitted PM, particulate carbon, and PAHs, *Fuel*, 466-467, 195-202
- 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
- Usta, N., Can, Ö., Öztürk, E., 2005, Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biyodizel Ve Etanolün Karşılaştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Denizli, 11, 3, 325-33.
- Üstün, G., E., Genç, B., 2015, Dünya’da ve Türkiye’de Biyoyakıtların Durumu, Uludağ Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi, Bursa, 29 (2), 157-164
- Yao, M., Wang, H., Zheng Z., Yue Y., 2010, Experimental study of n-butanol additive and multi-injection on HD diesel engine performance and emissions, *Fuel*, 89, 2191-2201.
- Yaşar, B., 2009, Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel Üretim ve Kullanım Olanaklarının Türkiye Tarımı ve AB Uyum Süreci Açısından Değerlendirilmesi, Doktora, *Çukurova Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 54-63.

- Valente, O.S., Pasa, V.M.D., Belchior, C.R.P., Sodr , J.R., 2012, Exhaust emissions from a diesel power generator fuelled by waste cooking oil biodiesel. *Fuel*, 431, 57–61.
- Valente, O.S., Silva, M.J., Pasa, V.M.D., Belchior, C.R.P., Sodr , J.R., 2010, Fuel consumption and emissions from a diesel power generator fuelled with castor oil and soybean biodiesel. *Fuel*, 89, 3637–3642.
- Westbrook C.K, Pitz W.J, Curran H.J. 2006. Chemical kinetic modeling study of the effects of oxygenated hydrocarbons on soot emissions from diesel engines. *Journal of Physical Chemistry part A*, 110(21):6912-22.
- Zhu, L., Cheung, C.S., Zhang, W.G., Huang, Z., 2010, Emissions characteristics of a diesel engine operating on biodiesel and biodiesel blended with ethanol and methanol. *Fuel*, 408, 914-921
- <http://www.ersel-eng.com/generator-dagitim-tesisati> [Ziyaret Tarihi: 22 Ağustos 2016]
- [http://www.albiyobir.org.tr/aby\\_b.htm](http://www.albiyobir.org.tr/aby_b.htm) [Ziyaret Tarihi: 29 Mayıs 2016].
- <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/statistical-review-of-worldenergy2013/review-by-energy-type/renewableenergy/biofuels.html> [Ziyaret Tarihi: 10 Ağustos 2016].
- <http://www.cevir.gen.al/elektrik-akimi-birimleri/elektrik-akimi-birimleri-cevir.php> [Ziyaret Tarihi: 22 Ağustos 2016]
- <http://www.daglarkimya.com/files/product/69780710N.BUTANOL.pdf> [Ziyaret Tarihi: 10 Ağustos 2016]
- [http://www.dieselserviceandsupply.com/How\\_Generators\\_Work.aspx](http://www.dieselserviceandsupply.com/How_Generators_Work.aspx) [Ziyaret Tarihi: 20 Ağustos 2016]
- [http://www.dieselserviceandsupply.com/industrial\\_industry\\_usage.aspx](http://www.dieselserviceandsupply.com/industrial_industry_usage.aspx) [Ziyaret Tarihi: 22 Ağustos 2016]
- <http://www.elektrikrehberiniz.com/jenarator/alternator-nedir-4451/> [Ziyaret Tarihi: 21 Ağustos 2016]
- <http://www.elektrikrehberiniz.com/jenarator/jenerator-nedir-1567/> [Ziyaret Tarihi: 20 Ağustos 2016]
- <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Petrol> ziyaret tarihi [Ziyaret Tarihi: 1 Haziran 2016]
- <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication> [Ziyaret Tarihi: 1 Haziran 2016].
- <http://www.iea.org/topics/biofuels/> [Ziyaret Tarihi: 09 Temmuz 2016].



<http://www.navigantresearch.com/newsroom/global-biofuels-production-willreach-nearly-62-billion-gallons-by-2023> [Ziyaret Tarihi: 08 Temmuz 2016].

[http://www.solar-academy.com/menu\\_detay.asp?id=993](http://www.solar-academy.com/menu_detay.asp?id=993) [Ziyaret Tarihi: 20 Ağustos 2016]

<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21603> [Ziyaret Tarihi: 6 Haziran 2016].

<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21603> [Ziyaret Tarihi: 10 Ağustos 2016].

[https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_generator](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_generator) [Ziyaret Tarihi: 20 Ağustos 2016]

<https://tr.wikipedia.org/wiki/Alternat%C3%B6r> [Ziyaret Tarihi: 21 Ağustos 2016]



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : İsmail SEVEN  
**Uyruğu** : T.C  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Batman 03.06.1985  
**Telefon** : 0507 503 60 15  
**Faks** : -  
**e-mail** : ismailseven2010@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı,	İl	İlçe,	Bitirme Yılı
Lise	: Batman Lisesi	Batman	Merkez	2004
Yüksekokul	: Dicle Üniv.	Batman	Merkez	2007
Üniversite	: Harran Üniv.	Şanlıurfa	Merkez	2010

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010-2016	Özel Sektör	Makina Mühendisi

**UZMANLIK ALANI:** Mekanik Tesisat, Otomotiv, İş güvenliği