



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİYOYAKITIN JENERATÖRLÜ BİR DİZEL
MOTORUNDA PERFORMANS, EMİSYON VE
YANMA KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mehmet Reşit SERAÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**Mayıs-2018
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Reşit SERAÇ tarafından hazırlanan "Biyoyakıtın Jeneratörlü Bir Dizel Motorunda Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması" adlı tez çalışması 04/09/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan
Doç. Dr. Hasan BAYINDIR

Danışman
Dr. Öğretim Üyesi Selman AYDIN

Üye
Doç. Dr. Şehmus ALTUN

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN
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.

İmza

Mehmet Reşit SERAÇ

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİYOYAKITIN JENERATÖRLÜ BİR DİZEL MOTORUNDA PERFORMANS, EMİSYON VE YANMA KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet Reşit SERAÇ

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

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Selman AYDIN

2018, 54 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Hasan BAYINDIR

Doç. Dr. Şehmus ALTUN

Dr. Öğretim Üyesi Selman AYDIN

Bu çalışmada soya yağından yeniden esterleştirme (transesterifikasyon) yöntemi ile üretilen biyoyakıttan ve referans dizel yakıttan (DY) deney testleri için karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımlar; hacimsel olarak %5 biyoyakıt +%95 dizel yakıtı (SYB5), %10 biyoyakıt +%90 dizel yakıtı (SYB10), %20 biyoyakıt + %80 dizel yakıtı (SYB20) ve %50 biyoyakıt +%50 dizel yakıtıdır (SYB50). Motor testlerinden önce bütün test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra sırasıyla DY, SYB5, SYB10, SYB20 ve SYB50 yakıtları 4 zamanlı 4 silindirli, direkt püskürtmeli, sabit devir (1500 dev/dk) ve 3,6 kW, 7,2 kW ve 10,8 kW yüklerinde su ile soğutmalı bir dizel motorlu jeneratör setinde test edilmiştir. Bu testler sonucunda elde edilen verilerden alternatif yakıtları, referans DY yakıtı ile karşılaştırıldığında; silindir içi gaz basıncı, ısı salınım hızı, net ısı salınımı, ortalama gaz sıcaklığı, kütleli yanma oranı ve vuruş yoğunluğu eğrilerinde motor yüküne bağlı olarak tüm test yakıtları için artışlar gözlenmiş olup genel itibarı ile eğrilerin birbirine paralel olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bütün yük değerlerinde özgül yakıt tüketimi ve NO_x emisyonu artmış olup efektif verim ve CO emisyonu da azalmıştır. Yanmamış HC ise, motor yükünün artmasına bağlı olarak kısmi bir şekilde arttığı tespit edilmiş olup tüm yüklerde alternatif yakıtlarda daha fazla HC emisyonu çevreye salınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Soya biyoyakıt, Dizel motor, Jeneratör, Emisyon, Yanma

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATING THE EFFECTS OF BIOFUEL ON THE PERFORMANCE, EXHAUST EMISSIONS AND COMBUSTION CHARACTERISTICS IN A DIESEL ENGINE POWER GENERATOR

Mehmet Reşit SERAÇ

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

THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN AUTOMOTIVE ENGINEERING

Advisor: Assist. Prof. Dr. Selman AYDIN

2018, 54 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Hasan BAYINDIR

Assoc. Prof. Dr. Şehmus ALTUN

Assist. Prof. Dr. Selman AYDIN

In this study, biofuel was produced soya oil by the method of re-esterification (transesterification) and this biofuel and reference diesel fuels (DF) were blended for the experiment tests. This blends, volumetrically is 5% biofuel + 95% diesel fuel (SYB5), 10% biofuel + 90% diesel fuel (SYB10), 20% biofuel + 80% diesel fuel (SYB20) and 50% biofuel + 50% diesel fuel (SYB50). Before engine testing, the physical and chemical properties of all test fuels were determined. Then, respectively DY, SYB5, SYB10, SYB20 and SYB50 fuels were tested at constant engine speed of 1500 rpm and fixed load 3.6 kW, 7.2 kW and 10.8 kW in a diesel engine power generator which have 4 strokes, 4 cylinders, direct injection and water cooling system. When alternative fuels compared to reference diesel fuel combustions graphs of the cylinder internal gas pressure, the heat release rate, the cumulative heat release, the average gas temperature, the mass combustion rate and the knock intensity it has been determined that the curves are parallel to each other and increased engine load for all test fuels increases graphs observed. In addition, specific fuel consumption and NO_x emissions are increased at all load values, and effective efficiency and CO emissions are reduced. Unburned HC has been found to increase in part due to the increase in engine load and has been released to more circles in alternative fuels at all loads. Unburned HC has been slightly increased for all test fuels due to increased engine load and has been released more emission to the environment at all loads only in biofuels.

Keywords: Soybean biodiesel, Diesel engine, Power generator, Emissions, Combustion

ÖNSÖZ

Dünyada artan enerji ihtiyacı, fosil yakıtlarının tükenme ihtimali, fosil yakıtlarının çevreye verilen zararlarının azaltılması ve dizel motorlu taşıt sayısının artması gibi nedenlerle alternatif enerji kaynaklara ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyaçları gidermek, çevre ve hava kirliliği sorunları en aza indirmek için yenilebilir kaynaklardan üretilen biyoyakıt yakıtları her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmamda biyoyakıtın jeneratörlü bir dizel motorunda performans, emisyon ve yanma karakteristikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde bana yardımcı olan TÜPRAŞ kimya laboratuvar personeline ve motor deneylerinin yapılması için gerekli deney donanımı sağlayan Doç. Dr. Hüseyin AYDIN'a teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda çalışmalarım esnasında desteğini esirgemeyen ve çalışmalarımın her aşamasında sabır ve titizlikle yol gösteren kıymetli hocam ve danışmanım Sayın Dr. Öğretim Üyesi Selman AYDIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Reşit SERAÇ
BATMAN-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ	vi
SİMGELER.....	ix
KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Dizel Motorlardaki Kullanılan Petrol Kökenli Yakıtlar.....	5
1.1.1. Dizel Yakıtında Uygun Değerde Olması İstenen Performans Özellikleri ..	5
1.1.2. Dizel Yakıtların Sınıflandırılması.....	5
1.2. Dizel Motorlarında Yanma Evreleri.....	6
1.2.1. Alev Alma Gecikmesi.....	8
1.2.2. Kontrolsüz (Ani) Yanma	9
1.2.3. Difüzyon Kontrollü Yanma	9
1.2.4. Art Yanma.....	9
1.3. Biyoyakıt.....	10
1.3.1. Biyoyakıtın Avantajları.....	10
1.3.2. Biyoyakıtın Dezavantajları	11
1.3.3. Türkiye ve Dünyadaki Biyoyakıt Durumu	12
1.3.4. Biyoyakıt Üretim Yöntemleri	13
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	119
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	279
3.1. Deney Yakıtları ve Özellikleri	20
3.2. Deneysel Metot ve Hesaplanan Motor Parametreleri	21
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	276
4.1. Özgül Yakıt Tüketimi Verilerinin İncelenmesi (ÖYT)	27
4.2. Efektif Termik Verim (ETV) Verilerinin İncelenmesi	28
4.3. Azotoksit (NO _x) Emisyonlarının İncelenmesi	28
4.4. Yanmamış Hidrokarbon (HC) Emisyonlarının İncelenmesi	29
4.5. Karbonmonoksit (CO) Emisyonlarının İncelenmesi	30
4.6. Karbondioksit (CO ₂) Emisyonlarının İncelenmesi	31
4.7. Silindir Gaz Basıncının İncelenmesi.....	32
4.8. Isı Salınım Hızının İncelenmesi.....	34
4.9. Net Isı Salınımının İncelenmesi.....	37
4.10. Ortalama Gaz Sıcaklığının İncelenmesi	40
4.11. Kütleli Yanma Oranının İncelenmesi	43
4.12. Vuruntu Yoğuluğunun İncelenmesi.....	45

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	45
5.1 Sonuçlar	46
5.2 Öneriler	48
KAYNAKLAR	48
EKLER	53
ÖZGEÇMİŞ	55



SİMGELER

kW	: Kilowatt
d/dak	: Devir/dakika
NO _x	: Azot oksit
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbon dioksit
HC	: Hidrokarbon
Hu	: Alt ısı değer (kJ/kg)
KMA	: Krank mili açısı
P _e	: Efektif motor gücü
V _H	: Toplam strok hacmi (m ³)
be	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

KISALTMALAR

ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (American Society For Testing and Materials)
AÖN	: Alt Ölü Nokta
CFPP	: Soğuk Filtre Tıkanma Noktası
DY	: %100 Dizel Yakıtı
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EGR	: Egzoz Gazı Resirkülasyonu
ppm	: Milyondaki Partikül Madde
SYB5	: Soya yağı biyoyakıtı %5 ve Referans dizel yakıtı %95 (Hacimsel)
SYB10	: Soya yağı biyoyakıtı %10 ve Referans dizel yakıtı %90 (Hacimsel)
SYB20	: Soya yağı biyoyakıtı %20 ve Referans dizel yakıtı %80 (Hacimsel)
SYB50	: Soya yağı biyoyakıtı %50 ve Referans dizel yakıtı %50 (Hacimsel)
THC	: Toplam Hidrocarbon
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
SS	: Setan Sayısı
TÜPRAŞ	: Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi

1. GİRİŞ

Günümüzde giderek artan enerji talebi, petrolün sınırlı bir rezerve sahip olması ve kara taşıtlardan kaynaklı kirleticilerin sebep olduğu hava kirliliği ve gürültü kirliliği gibi problemler yüzünden dünya genelinde fosil enerji kaynaklarının yerine yeniden elde edilebilen biyoyakıtların kullanımı teşvik edilmektedir. İçten yanmalı motorlarda kullanılacak alternatif yakıtlardan biri olan biyoyakıtların, kullanım olanakları, yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi ve dizel motorlarda kullanılmaya daha uygun hale getirilmesi, performans ve emisyon değerleri ve motor parçalarına etkileri araştırılmaktadır.

Biyoyakıt, fosil kökenli dizel yakıtının fiziksel ve kimyasal özelliklerine yakın olup; evsel ve endüstriyel atık yağlardan, hayvansal yağlardan, kolza, palm, soya, pamuk, kenevir, hindistan cevizi, ayçiçeği ve yerfıstığı gibi bitkilerin tohumlarından elde edilen yağların katalizör ve alkol eşliğinde transesterifikasyon ve benzeri süreçlerde meydana getirdiği alternatif bir yakıt türüdür (Oğuz, 2004).

Dr. Rudolf Diesel, uzun uğraşlar sonucu, bitkisel yağlar ve mineral yağlar gibi farklı alternatif yakıtlarla çalışabilecek bir dizel motor icat etmiştir. Rudolf Diesel 1900'de Paris'teki bir sergide bir dizel motorunda yakıt olarak yer fıstığı yağını kullanarak motoru çalıştırmış ve bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Dr. Diesel'in, 1911 yılında dizel motor yakıtlarına alternatif olan biyoyakıt yakıtıyla çalışabileceğini belirttikten sonra, özellikle I. Dünya savaşından sonra büyük motorlu araçlarda kullanılmış ve böylece dünyaya yayılmıştır. 1980'lerden sonra Avrupa'nın birçok ülkesinde biyoyakıt üretimine başlanmış ve bununla beraber belirli normlar getirilmiştir (Vermeersch,1990).

Biyoyakıt, dizel motorda direkt olarak kullanılabilmesi gibi dizel yakıtla çeşitli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir. Biyoyakıtın enerji olarak kullanımının önemli bir sektör oluşturmasında ve önemli bir potansiyele sahip olmasının nedenleri;

- Herhangi bir dizel motorunda fabrikasınca belirlenmiş ayarlarında hiçbir değişiklik yapılmadan dizel yakıtının yerine kullanılabilmesi,
- Biyoyakıtın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtına yakın olması,
- Atık bitkisel ve hayvansal biyoyağların çevreye olan olumsuz etkilerini ortadan kaldıracak bir yöntemle biyoyakıt üretilmesi,
- Enerji tarımı için istihdam ve finans kaynağı oluşturması,
- Doğa dostu olmasıdır (Ejder, 2007).

Günümüzde biyoyakıt üretimi için belirli birkaç yöntem uygulanmaktadır. Bunlar; baz ve asit katalizörlerin, yağ ile transesterifikasyonu veya yağın, yağ asitlerine dönüştürülmesiyle uygulanan yöntemlerdir. Uygulanan bu transesterifikasyon sürecinde, trigliserinin alkol ile reaksiyonu sonucu ester ve gliserol oluşur. Bu trigliserin temel yapısını uzun üç zincirli yağ asidi bulunduran gliserin molekülleri oluşturmaktadır. Bu yağ asitlerinin bu yapısı hem biyoyakıt karakteristiğini hem de gliserine bağlı olan yağ karakteristiğini belirler. Esterifikasyon süreci sırasında, bulunan katalizör (genellikle sodyum hidroksit veya potasyum hidroksit) eşliğinde trigliserid ve alkol (metanol veya etanol) reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucu mono alkil ester veya biyoyakıt ve gliserin oluşur. Dibe çöken bu ağır gliserin ayrıştırıldıktan sonra kalan yakıt yıkanır ve saf biyoyakıt elde edilir (Karahan, 2006). Biyoyakıt yakıtının üretimi için yağlarda uygulanan transesterifikasyon sürecinin temel faydalarına bakıldığında; dizel yakıtı göre çok fazla olan bitkisel yakıt viskozitesi oranını düşürülmesi, gliserinin üretilen yakıt içerisinde tamamen uzaklaştırılması, üretilen yakıtın kaynama ve parlama noktalarının düşürülmesi, alkollün tamamen uzaklaştırılması ve yakıtın akışkanlık derecesinin artırılması olarak önem kazanmaktadır (Oğuz, 2004).

Literatür incelendiğinde, soya yağı biyoyakıtın dizel motorlu bir jeneratör setinde, hem motor performansını (Özgül yakıt tüketimi ve efektif verim) hem egzoz emisyonlarını (CO, CO₂, NO_x, HC ve O₂) ve hem de yanma analizini (silindir için gaz basıncını, ısı salınım hızını, ısı salınımını, ortalama gaz sıcaklığını, kütleli yanma oranı, vuruş yoğunluğu vb.) bir bütün halinde inceleyen herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada soya yağından yeniden esterleştirme yöntemi elde edilen biyoyakıt ve referans dizel yakıt sabit devir ve farklı yüklerde dört silindirli, dört zamanlı ve direk püskürtmeli bir dizel motorlu jeneratör setinde performans, yanma ve emisyonları üzerine olan etkileri karşılaştırılmış ve incelenmiştir.

1.1. Dizel Motorlarda Kullanılan Petrol Kökenli Yakıtlar

Dizel yakıtı petrolün rafineri işlemi sırasında fraksiyon kulesinde yaklaşık 160°C’de başlayıp tamamı 391°C’de buharlaşan ve ham petrolden arındırarak elde edilen bir yakıttır. Karbon atomu sayısı 8 ile 16 arasında olup sıvı HC bileşenlerini ihtiva eder. Az miktarda kükürt, azot, kül ve su ihtiva eden dizel yakıtı Türkiye’de mazot olarak isimlendirilmektedir. Dizel yakıtının kapalı formülü; $C_{12.226}H_{23.29}S_{0.0575}$ ’dir. Bu formüle göre dizel yakıtının kütleli bileşimi; C=0.8538kg, H=0.1355kg, S=0.01071kg’dır. DIN-51601’e göre dizel yakıtından istenen özellikler Tablo 1.1’de görülmektedir.

Tablo 1.1. DIN- 51601’e göre dizel yakıtından istenen özellikler (Borat,1995)

Yakıt Özellikleri	Değerler
Hacimsel su miktarı	% 0,1
15°C’de özgül ağırlık	0.820-0,860 g/ml
Distilasyon sıcaklığı 360°C’ye kadar en az	%90
Kinematik viskozite (20°C’de)	1.8-10 mm ² /s
Parlama noktası	55°C
Filtrasyon	Yazın 0°C Kışın -12°C
Kükürt’ün en yüksek kütleli yüzdesi	% 1,0
Koklaşma artığının kütleli maksimum yüzdesi	%0,1
Kütlesinde değişiklik olarak çinkoya karşı davranışı	4 mg
En küçük setan sayısı	40 SS
Kül miktarı (%)	% 0,02

1.1.1. Dizel Yakıtında Uygun Değerde Olması İstenen Bazı Performans Özellikleri

Vuruntu Mukavemeti: Dizel motorunda hava içine püskürtülen yakıtın tutuşma gecikmesi küçük olmalıdır. Aksi halde yanma odasında biriken yakıtın tutuşmasında darbe etkisi şiddetli olur. Dizel yakıtının bu olaya karşı mukavemeti setan sayısının (SS) büyüklüğü ile ifade edilir. Ancak $SS > 70$ olan yakıtın is oluşumu artığı için ve ısı değerlerinin küçük olması bakımından maksimum SS sınırı 70 olarak seçilmektedir (Borat,1995).

Uygun Buharlařma: Rölantide düşük sıcaklıkta buharlaşabilen yakıtlar iyi kabul edilir. Ancak buharlaşma özelliği arttıkça kendi kendine tutuşma özelliği kötüleşir ve is oluşumu ihtimali artar. Bu nedenle ikisi arasında uygun bir değer sağlayan bileşenler ihtiva eden dizel yakıtı sečilir (Borat,1995).

Viskozite: Çok düşük olması yakıt pompası yönünden, çok yüksek olması da depodan pompalama ve enjektörden püskürtmede problem oluşurmaktadır. Hatta iri damlaların oluşması durumunda tam yanma olmayacağı için egzoz gazları çok isli olur. Genellikle ilk hareket soğukta başladığı için egzoz gazlarında bu özellikleri gözlemek mümkündür (Borat,1995).

Yakıt ve Yanma Ürünleri Korozif Özelliği: Dizel yakıtlarından kükürt içeriği hem korozyon hem de partikül oluşumu bakımından son derece mahsurludur. Su, tuzlu su ve tortular korozyona sebep oldukları için yakıt içerisinde istenmeyen bileşenlerdir (Borat,1995).

Çinkoya Karşı Aktivitesi: Dizel yakıtları çinko veya çinko içeren çelik depolarda saklanırken çinko ile birleşerek korozif bazı bileşenler oluştururlar. Yakıt için bu aktivitenin az olması istenir (Borat,1995).

Alevlenme Tehlikesi: Bilhassa hafif dizel yakıtları kapalı hacimlerde, deniz seviyesi sıcaklık ve basınçlarında daha kolay tutuşma özelliğine sahip oldukları için yakıt tanklarının üstünde patlayıcı bir atmosfer oluştururlar (Borat,1995).

Akma Noktası: Akma ya da katılaşma noktası, motorun düşük sıcaklıklarda çalıştırılması sırasında önem kazanmaktadır. Yakıtın katılaşması durumunda gerekli yakıt akışı sağlanamayacağından motorun çalışması zor olacaktır. Yakıtın akma noktası sıcaklığı motor çalışması sırasında ortam sıcaklığının 5-10°C altında olmalıdır (Borat,1995).

Isıl Değer: Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütleesine bölünmesi ile elde edilen değere ısıl değer denir (Borat,1995).

1.1.2. Dizel Yakıtların Sınıflandırılması

Dizel yakıtı bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından sınıflara ayrılmaktadır. Bunlar No.1-D, No.2-D ve No.4-D olarak adlandırılmaktadır. Bu yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler Tablo 1.2’de verilmiştir.

No.1-D: Petrolün damıtılmasında elde edilir. Değişik hızlarda ve yüklerde çalışan motorlarda kullanılan uçucu-damıtık bir yakıt yağdır.

No.2-D: Damıtık ve kranking ürünlerini ihtiva eden, No.1-D’ye göre buharlaşma özelliği az olan ağır hizmet ve endüstri motorları yakıtıdır.

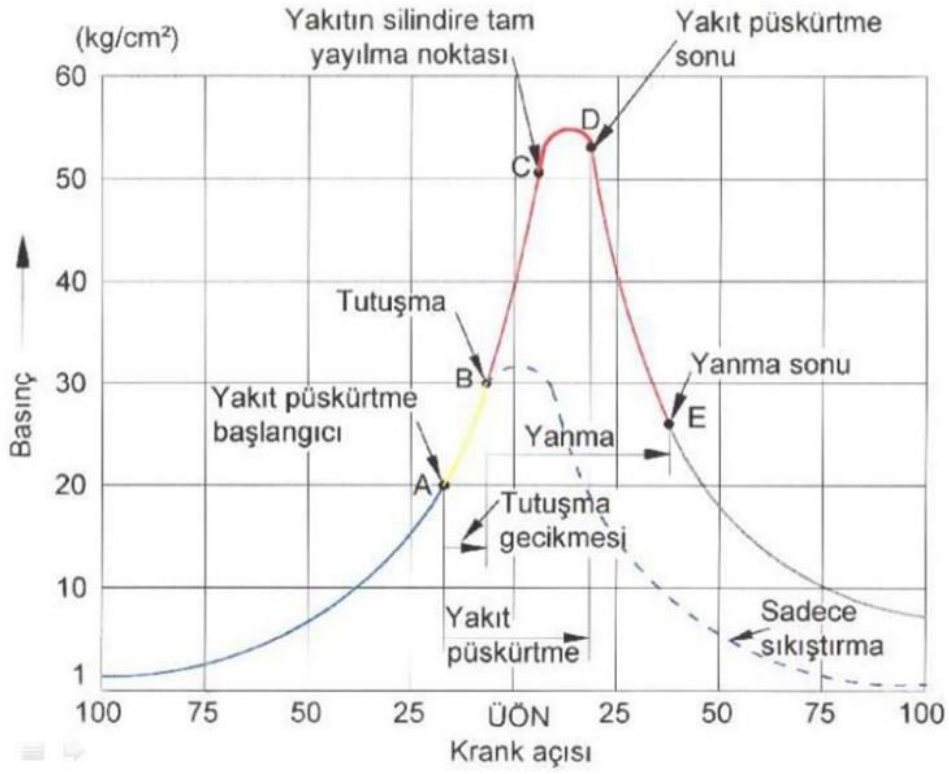
No.4-D: Damıtma ve kranking ürünlerinden ve bazı artıklardan oluşan düşük veya orta hız motorların yakıtıdır. Tablo 1.2’de dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikleri görülmektedir.

Tablo 1.2. Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler (Borat,1995)

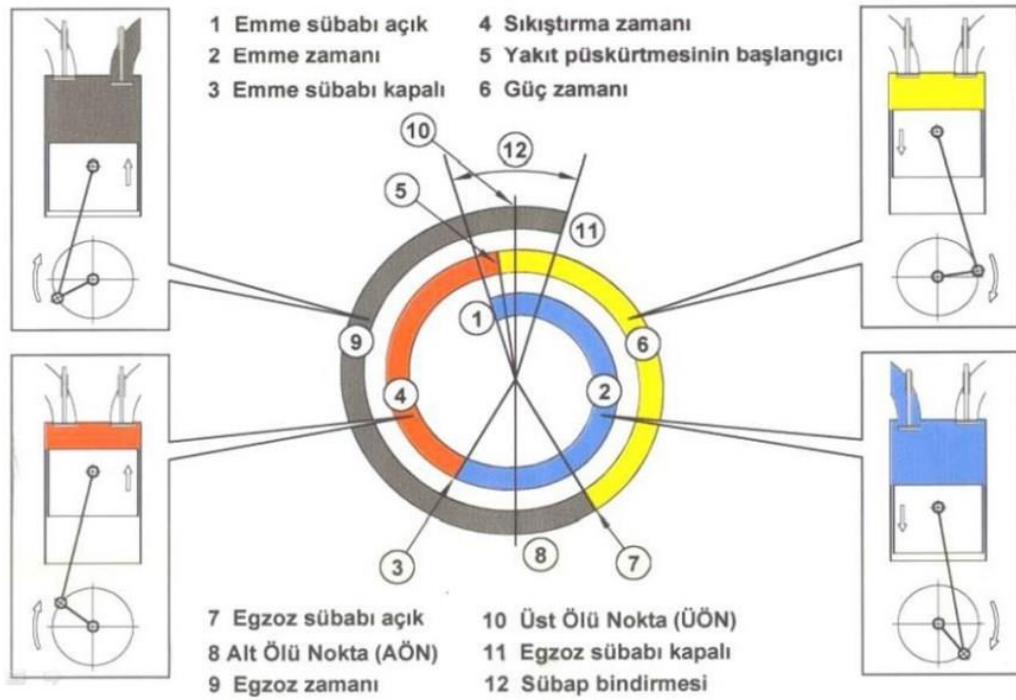
Özellik	1-D	2-D	4-D
Setan Sayısı (minimum)	40	40	40
Parlama Noktası (°F)	100	125	130
Viskozite, Saybolt (S), (100°F’de)	30-34	33-45	45-125
%Kül, (Kütlesel)	0,01	0,02	0,1
%Kükürt, (Kütlesel)	0,5	1	2

1.2. Dizel Motorlarında Yanma Evreleri

Dizel motorlarında yanmanın meydana geldiği kısımlar, Tutuşma gecikmesi, kontrolsüz yanma (hızlı yanma), kontrollü yanma ve gecikmiş (art) yanma olmak üzere dört aşamada gerçekleşmektedir. Şekil 1.1’de bir dizel motorunun krank açısına bağlı silindir içi basınç değişimi eğrisinde yanma safhaları verilmiştir. Şekil 1.2’de ise bir dizel çevriminin supap zaman ayar diyagramı verilmiştir.



Şekil 1.1 Bir dizel motorunun krank açısı-silindir içi basınç grafiğinde yanma safhaları (Safgönül ve ark., 1995).



Şekil 1.2 Bir dizel motor çevriminin supap zaman ayar diyagramı

1.2.1. Alev Alma Gecikmesi

Dizel motorlarda sıkıştırılan hava üzerine çok küçük damlacıklar halinde püskürtülen yakıt sıkıştırma sonucunda ısınmış havadan ısı alarak buharlaşır ve çok kısa bir süre sonra alevlenir. Yakıtın püskürtülmesi ile alevin oluşması arasında geçen zamana tutuşma gecikmesi süresi denir (Şekil 1.1’de A-B noktaları arasında). Tutuşma gecikmesi süresinin artması motorun sesli ve vurutulu çalışmasına etki edeceğinden bu sürenin belirli bir zamanı geçmemesi gerekmektedir (Heywood, 1988). Tutuşma gecikmesini etkileyen faktörleri işletme, yapısal ve yakıt faktörleri olmak üzere üçe ayırmak mümkündür (Safgönül ve ark., 1995). İşletme faktörleri içerisinde en önemli olanları motor devir sayısı, emme havası sıcaklığı ve basıncı, motorun yük durumu ve oksijen konsantrasyonudur. Motor devir sayısının artışı ile tutuşma gecikmesi zaman olarak azalır. Emme havası sıcaklığı ve basıncı arttıkça tutuşma gecikmesi azalmaktadır. Motorun yükü arttıkça tutuşma gecikmesi hem zaman hem de krank mili açısı olarak azalmaktadır. Yanma odasındaki oksijenin konsantrasyonu azaldıkça tutuşma gecikmesi artmaktadır. Yapısal faktörler içerisinde sıkıştırma oranı, motorun soğutma şartları ve püskürtme kalitesi en önemli olanlarıdır. Sıkıştırma oranının artması, sıcaklık ve basıncın artmasına sebep olduğu için tutuşma gecikmesini azaltmaktadır (Safgönül ve ark., 1995). Motorun boyutlarına bağlı olarak motorda yakıtın püskürtüldüğü bölgelerin sıcaklıkları değiştiği için yüksek sıcaklık tutuşma gecikmesini azaltmaktadır. Yakıt püskürtüldüğünde farklı boyutlarda damlacıklar oluşmaktadır. Her ne kadar püskürtülen yakıt demetinin etrafında kolayca tutuşabilecek küçük damlacıklar bulunsada ortalama damlacık çapı büyüdükçe tutuşma gecikmesi artmaktadır. Dizel motorlar için kullanılan yakıtların setan sayısı tutuşma gecikmesini etkileyen önemli bir faktördür. (Heywood, 1988).

1.2.2. Kontrolsüz (Ani) yanma

Şekil 1.1’de B-C noktaları arasında kontrolsüz yanma safhası gerçekleşmiştir. Yanma odası içerisine püskürtülen yakıtın buharlaşarak tutuşması ile yanma başlar ve silindir içerisindeki basınç maksimum oluncaya kadar ani kontrolsüz yanma fazı gerçekleşir. Tutuşma gecikmesinin uzaması sonucu silindir içerisinde fazla yakıtın birikmesi ile beraber basınç artışının oluşması dizel vurutusuna sebep olmaktadır. Motorun vurutulu çalışmasını önlemek için tutuşma süresinin kısaltılması ve bu süre

içinde biriken yakıtın azaltılması gerekmektedir. Genel olarak bu yanma süresi yaklaşık 6°krank mili açısı civarında gerçekleşmekte ve her bir krank mili açısında basınç artışı 200-300 kPa arasında olmaktadır (Safgönül ve ark., 1995).

1.2.3. Difüzyon Kontrollü Yanma

Kontrolsüz yanma sonucu ulaşılan basınç, yanmanın devam etmesine rağmen pistonun aşağıya inmesinden dolayı daha fazla artış gösterememektedir. Bununla birlikte sıcaklıktaki artış devam etmektedir. Maksimum basınca ulaşılan zaman ile maksimum sıcaklığa ulaşılan zaman arasında geçen faz difüzyon kontrollü yanma olarak nitelendirilmektedir. Şekil 1.1'de C-D noktaları arasında kontrollü yanma safhası gerçekleşmiştir. Bu fazda silindir içine püskürtülen yakıtın miktarı ayarlanarak sıcaklık ve basınç yükselmesi kontrol altında tutulmaktadır. Bu faz içerisinde buharlaşma hızı ve yakıt buharının hava ile karışma hızı, yanma hızını belirlemektedir. Burada püskürtülen yakıtın ortalama damlacık çapı, silindir içindeki hava hareketleri ve hava fazlalık katsayısı önemlidir. Dizel motorlarında yakıtın buharlaşması ve tutuşması tek bir noktada olmayıp birden fazla noktada gerçekleşmektedir. Karışımın oluşum hızı yakıtın yanma hızını da kontrol etmektedir. Karışımın oluşum hızı ve yanma hızı yüksek tutularak yanma sıcaklığının yüksek olduğu ÜÖN'ya yakın olduğu konumlarda tamamlanması gerekir. Aksi takdirde yanma, yanma sıcaklığının düştüğü ve genişlemenin olduğu fazda devam eder. Bu durum is oluşumuna ve motor veriminin düşmesine sebep olmaktadır (Borat ve ark. 1992).

1.2.4. Art Yanma

Yanma sürecinde maksimum sıcaklığa ulaşıldıktan sonra art yanma fazı başlar (Grafikteki D-E noktaları arasında). Yakıtın silindire püskürtülmesi bitmiş ve piston AÖN'ya doğru inmektedir. Art yanmada, yanma hızı, difüzyon hızı ve karışım oluşum hızıyla belirlenmektedir. Ayrıca zengin karışımlarda eksik yanmış yanma ürünleri de art yanma sırasında yanarlar. Genişleme sırasında gerçekleşen art yanma safhası ÜÖN'dan sonra 70-80° KMA kadar devam eder (Heywood,1988).

1.3. Biyoyakıt

Biyoyakıt, ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohumlardan elde edilen yağların veya hayvansal yağların katalizör ile alkol (etanol, metanol veya bütanol) reaksiyonu sonucunda üst kısımda olan yakıttır. Evlerimizde kullanılan atık yağlar ve hayvansal atık yağlar da biyoyakıt hammaddesi olarak kullanılabilir. Bu reaksiyon sonucunda biyoyakıt altında kalan kısım ise gliserin olarak tanımlanır. Biyoyakıt saf olarak veya herhangi bir oranda petrol yapısındaki dizelle karıştırılıp kullanılabilir. Biyoyakıt dizel motorların yapısına uygun olduğu için dizel motorlarda kullanılır. Çünkü dizel motor çalışma prensibine uygundur. Yakıt hava karışımını yakmak için bir ateşleme kullanan benzinli motorların aksine dizel motorlarda sıcak havayı ateşlemek için yakıt kullanılır.

1.3.1. Biyoyakıtın Avantajları:

- ✓ Dizel motorlarında farklı işlemler yapılmadan kullanılabilir (Aydın ve ark. 2016)
- ✓ Setan sayısının dizele göre yüksek olması, motorun daha gürültüsüz ve vuruntusuz çalışmasını sağlar (Türkay, 2005; Suresh ve ark., 2017).
- ✓ Petrol dizelinin depolanma koşullarında depolanabilir (Öğüt ve Oğuz, 2006).
- ✓ Petrol dizeliyle karıştırılarak veya saf olarak kullanılabilir (Öğüt ve Oğuz, 2006).
- ✓ Biyoyakıtın iyi bir yağlayıcı olduğundan dolayı motorun ömrünü uzatır (Altun ve Öner, 2013).
- ✓ Biyoyakıt kullanıldığında yakıt tüketimi, erken alev alma, güç çıktısı ve motor gücü performansında dizel yakıtı göre olumsuzluk teşkil etmez (Mutlu ve ark., 2007).
- ✓ Biyoyakıt kolay ve güvenli taşınabilir ve depolanması oldukça güvenli bir yakıttır. Ayrıca yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Petrol dizeli için bu değer 125 °C' dir (Öğüt ve Oğuz, 2006).
- ✓ Biyoyakıtın tohumdan üretiliyor olması ekonomik açıdan katkıda bulunur ve işsizliği azalmasına vesile olup yeni iş imkânları sağlar. (Nişancı, 2007).
- ✓ Biyoyakıt ağırlıkça % 11 oksijen içerir. Oksijen içeriği fazla olduğu için yanma verimi daha yüksektir (Fahmi Otman ve ark., 2018).
- ✓ Biyoyakıtın iyot sayısı oldukça düşüktür, kurum oluşturmaz (Nişancı, 2007).

1.3.2. Biyoyakıtın Dezavantajları:

- Dizel yakıtına göre viskozitesi biraz daha yüksektir
- Uçuculuğu dizel yakıtına göre daha düşüktür (Öztürk, 2007).
- Biyoyakıtlar yüksek bozunabilirliğe (ayrışabilirlik) sahip oldukları için depolanmalarında sorun yaratmaktadır (Koç, 2011).
- Yüksek akma ve bulutlanma noktaları sebebiyle soğuk hava şartlarından dizel yakıtına göre daha çabuk etkilenir. Bu durum, soğuk iklim bölgelerinde biyoyakıtın kullanımını sınırlandırıcı bir faktördür (Öğüt ve Oğuz, 2006).
- Çift bağ ve doymamış yağ oranına sahip olduğu için iyot sayısı dizel yakıtına göre yüksektir (Koç, 2011).
- Dizel yakıtına göre daha düşük ısı değerine sahip olduğu için yakıt tüketiminde artışa sebep olmaktadır (Maziliva, 2017).
- Piston başı, segman, segman yuvası, silindir başı, supaplar, supap kılavuzları ve enjektör memesi gibi elemanlarda karbon birikmesine neden olmaktadır (Aydın ve ark., 2015)

1.3.3. Türkiye ve Dünyadaki Biyoyakıt Durumu

" BİYODİZEL" olarak adlandırılan yakıt için ilk patent Belçika'daki Brüksel Üniversitesinden G. Chavanne tarafından 31 Ağustos 1937 tarihinde alınmıştır (http://www.albiyobir.org.tr/trde_b3.htm).

Özellikle son yıllarda dünyada ham petrol ile ham yağ fiyatlarının kesişmesi, dünyada biyoyakıtı öne çıkarmıştır.

Dünyada biyoyakıt ilgisinin yükselmesinin temel sebepleri fosil yakıtların bitiyor olmasıdır. Bununla beraber petrol fiyatlarının yükselmesi, fosil yakıtların kullanımı sonucu çevreye ve doğaya az zarar vermesi, ülkelerin enerji kaynaklarını çeşitlendirme ve enerjide dışa bağımlılıktan kurtulabilme çabalarını sayabiliriz. Motorlar üzerinde sağladığı avantajlar ise; setan sayısını petrol dizeline göre yüksek olması, iyi bir yağlama özelliği nedeniyle motorların ömrünü uzatması, insan sağlığı ve çevreye zararlı bitkisel atık yağları geri kazanarak katma değer yaratması, taşıma depolama itibarıyla dünyada " Tehlikeli Madde" kapsamında yer almaması, güvenli bir alternatif yakıt olarak kabul edilmektedir (Encinar, 2002).



Şekil 2.1. Biyoyakıt yakıtının elde edilme döngüsü (<http://www.enerji.gov.tr/TR/Sayfalar/Biyoyakıt>)

Türkiye’de kurulu biyoyakıt üretim kapasitesi itibarı ile önemli bir üretim tesis potansiyeline sahiptir. Bu tesisler ülkemizin dört bir yanına dağılmıştır. Bölgesel

yaygınlığı “Enerjinin Verimliliği” açısından son derece yararlı olduğu düşünölebilecek Biyoyakıt yatırımı yapan firmalarımızın bir kısmı tarımdan gelmiş ve bunların çoğunluğu yağ sıkma fabrikalarıdır. Tarımsal üretici birliklerinde biyoyakıt işine ilgi duymakta ve biyoyakıt üretim tesislerini kurma yatırımlarına girmektedirler. (http://www.albiyobir.org.tr/trde_b3.htm).

1.3.4. Biyoyakıt Üretim Metotları

Bitkisel ve hayvansal yağların dizel yakıtına alternatif olarak değeriendirilebilmesi için öncelikle viskozite probleminin çözölməsi gerekmektedir. Bu problemin çözümü için beş yöntem önerilmektedir (Oğuz ve Öğüt, 2001).

- | | | |
|------------------------|------------------------|------------|
| a. Seyreltme | b. Mikroemülsiyon | c. Piroliz |
| d. Süper kritik yöntem | e. Transesterifikasyon | |

Seyreltme Yöntemi:

Uygun bitkisel yağlar belirli oranlarda dizel yakıtına katılarak yağın viskozitesi düşürölebilmektedir. Seyreltme yöntemi uygulamalarında, en çok tercih edilen bitkisel yağlara örnek olarak ay çiçek yağı, soya yağı, aspir yağı, kolza yağı, yer fıstığı yağı ve kullanılmış atık kızartma yağları verilebilir (Oğuz, 2004).

Mikroemülsiyon Yöntemi:

Metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle bitkisel yağın mikroemülsiyon durumuna getirilmesi ile viskozite değeriinin düşürölməsi işlemdir. Bu yöntemde, alkollerin setan sayılarının düşük olması nedeniyle mikroemülsiyonunda setan sayısının düşük olması, düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğilimi göstermesi sakıncaları olarak görölmektedir (Srivastava ve ark., 2000).

Piroliz Yöntemi:

Moleküller yüksek sıcaklıkta daha küçük moleküllere parçalanmaktadır. Bu yöntem sayesinde viskozite oldukça düşürölmekte fakat işlemlere ek gider gerektirmektedir. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan birincisi, bitkisel yağları ısı etkisi ile kapalı bir kapta parçalamak; diğeri ise standart ASTM (Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu) distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır (Srivastava ve ark., 2000).

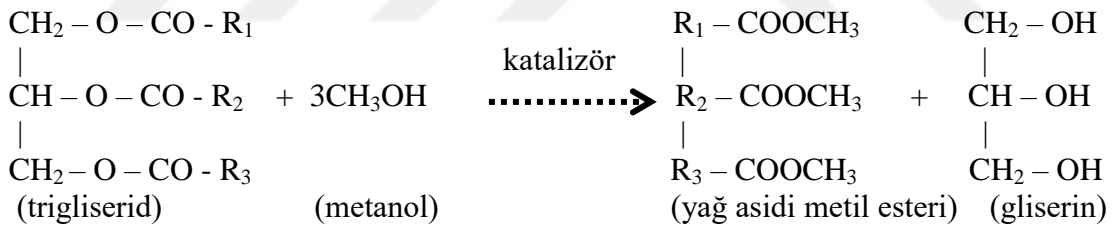
Süper Kritik Yöntemi:

Biyoyakıt üretimi, diğer biyoyakıt üretim yöntemlerinden farklı olarak, katalizör kullanmadan 350 °C gibi yüksek sıcaklık ve 240 saniye gibi kısa sürelerde gerçekleştirilmektedir (Kusdiana ve ark., 2000).

Transesterifikasyon Yöntemi:

Biyoyağların mono hidrik bir alkolle (metanol, etanol ve bütanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ve enzimler) varlığında esas ürün olarak yağ asidi esteri ve gliserin vererek yeniden esterleştirilmesi işlemidir.

Bu yöntem ile biyoyakıtlar için dezavantaj olan kinematik viskoziteyi azaltmada en etkili yöntemdir. Reaksiyonda yan ürün olarak digliserid ve monogliseridler reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Bu reaksiyon sonucu biyoyakıt elde edilmektedir. Bu proses, dizel yakıtına alternatif olarak kullanılan biyoyağların üretilmesinde optimum sonuçlar veren kimyasal yöntemdir (Hu ve ark. 2008). Trigliseridin metanol ile reaksiyonu Şekil 2.1'de görünmektedir. Yağ asidi metil esterleri biyoyakıt olarak bilinirler ve iyi bir alternatif dizel yakıtıdır.



Şekil 1.1. Biyoyağın metanol ile transesterifikasyonu (Srivastava ve ark., 2000)

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Aldhaidhawi ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada, tek silindirli 4 zamanlı bir jeneratörlü dizel motorda dizel yakıtı ile B7 ve B10 palmiye yağı metil esteri yakıtını kullanarak motorun egzoz emisyonlarını ve performansını test etmeyi amaçlamışlardır. Deney 3000 dev/dk. sabit motor hızında, farklı çalışma yüklerinde ve 18:1, 20:1 ve 22:1 sıkıştırma oranlarıyla yapılmıştır. En iyi performansı veren optimum sıkıştırma oranı belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, değişken sıkıştırma oranlarında çalışan bir dizel motorda palmiye yağı metil esterinden elde edilen biyoyakıtın, dizel yakıtına çok iyi bir alternatif olabileceği kabul edilmiştir. Karışımlar yakıt olarak kullanıldığında, özgül yakıt tüketiminin ve termal verimliliğinin azalmasına neden olurken, motor biyoyakıt karışımlarıyla çalıştırıldığında NOx emisyonlarının arttığı görülmüştür.

Lee ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, hacimsel oranda % 4 su içeren etanol, (% 65-90) dizel ile karıştırılmıştır. Dizel içerisinde stabilizer olarak (% 5-30) biyoyakıt ve hacimsel oranda yardımcı çözücü olarak %1 bütanol kullanılmıştır. Yakıtlar, enerji verimliliği ve dizel yakıtlı bir motor jeneratöründe kirlenici emisyonları için su içeren etanol ilavesinin etkisini araştırmak için biyoyakıt-dizel yakıtlı karışımlara karşı jeneratörlü bir dizel motorda test edilmişlerdir. Deneysel sonuçlar hacimsel oranlarda % 4 su içeren etanol, % 1 bütanol ve % 5-30 biyoyakıt karışımının 30 gün bekledikten sonra stabil karışımlar verdiğini göstermiştir. BD1041 olarak adlandırdıkları % 10 biyoyakıt, % 4 su içeren etanol ve % 1 bütanol içeren yakıt karışımının geleneksel dizel yakıtına kıyasla % 0,45 ile 1,6 arasında özgül yakıt tüketimi artışı göstermiştir. BD1041'in daha iyi motor performansı, tam yanmanın ve su soğutma etkisine bağlı olarak daha düşük reaksiyon sıcaklığının bir sonucuydu. Bu durum jeneratörlü dizel motorun rölanti modu ile 3,2 kW güç çıkışı arasında NOx emisyonunu % 2.8-6.0, partikül maddeyi % 12.6-23.7, toplam hidrokarbonu % 20.4-23.8 oranlarda düşürmüştür. Çalışma, dizelin su içeren etanol ile karıştırılmasının daha temiz sürdürülebilirlik hedefine ulaşabileceğini göstermiştir.

De Oliviera ve ark. yaptıkları çalışmada, jeneratörlü bir dizel motorun performans, emisyon ve yanma karakteristikleri üzerine ağırlıkça %7, %10 ve %15 oranında susuz etanol içeren dizel- % 7 biyoyakıt (B7) karışımlarının etkileri araştırılmıştır. Motor, orijinal konfigürasyonu ile test edildi ve yakıt, doğrudan yanma odasına enjekte edildi ve uygulanan yük 5 ile 37.5 kW arasında değişti. Sonuçlar

standart alternatif yakıt olan B7 ile karşılaştırıldı ve silindir içi tepe basınç ve ısı yayma hızının düşük yüklerde azaldığı ve etanol kullanımıyla yüksek yüklerde arttığını göstermiştir. Artan etanol konsantrasyonu artan ateşleme gecikmesine, yanma süresinin azalmasına ve azaltılmış egzoz gazı sıcaklığına neden olmuştur. Etanol kullanımı, karbondioksit emisyonunu düşürmüştür. Karbon monoksit, toplam hidrokarbon ve NOx emisyonları yüke ve etanol oranına bağlı olarak farklı davranışlar sergilemişlerdir.

Yılmaz, (2012) yaptığı çalışmada standart dizel yakıtı ile biyoyakıt-metanol-dizel (sırasıyla % 45-% 10-% 45 ve % 40-% 20-% 40) ve biyoyakıt-etanol-dizel (sırasıyla % 45-% 10-% 45 ve % 40-% 20-% 40) karışımları jeneratörlü bir sıkıştırma ile ateşlemeli motorda aynı şartlar altında test edilmişlerdir. Biyoyakıt-metanol-dizel (BMD) ve biyoyakıt-etanol-dizel (BED) karışımlarının standart dizel yakıtı ile performans ve emisyon karakteristikleri temel olarak karşılaştırılmıştır. Genel olarak biyoyakıt-alkol-dizel karışımlarının özgül yakıt tüketimlerinin standart dizelden daha yüksek olduğu görülmüştür. Alkol oranının artması ile CO ve HC emisyonları artarken, NO emisyonları düşmüştür. Ayrıca metanol karışımlarının etanol karışımlarına göre CO ve HC emisyonlarının daha düşük olduğu, etanol karışımlarının ise NO düşüşünde daha etkili olduğu görülmüştür.

Yang ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada rölanti şartlarında çalışan jeneratörlü bir dizel motordan üretilen karbonil bileşiklerin ve geleneksel kirleticilerin emisyonlarını incelemişlerdir. Dizel/biyoyakıt karışımları ve dizel/biyoyakıt/bütanol karışımları, emisyon bakımından birinci sınıf dizel yakıtlarla karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar göstermektedir ki egzozdaki formaldehit ve asetaldehit birincil ve ikincil karbonillerdir, bu tüm test yakıtları (dizel dahil) için toplam karbonil konsantrasyonlarının % 76,0-57,2'sini oluşturmaktadır. B10W30 ve B10W40'ı alternatif yakıt olarak kullanmanın formaldehit konsantrasyonlarını sırasıyla % 16,6 ve% 20,1 oranında azalttığı gösterilmiştir. Ayrıca, D100 yerine B10W40 alternatif yakıt karışımının kullanılmasının, partikül madde (PM) ve azot oksit (NOx) oranını sırasıyla hacimsel olarak % 31,9 ve% 57,1 oranlarında azalttığı da belirtmişlerdir. Üstelik biyoyakıt karışımlarında % 10 hacim bütanol ilave edilmesi formaldehit ve asetaldehit oluşumunun azalmasına neden olmuştur. Formaldehit ve asetaldehit konsantrasyonlarında bir azalma, karışımlardaki bütanol-biyoyakıt içeriğiyle orantılıdır.

Wang ve ark. 2006 jeneratörlü bir dizel motorun, bitkisel yağ ile beslendiğinde performansının ve gaz emisyon karakteristiklerini ve sıradan dizel yakıtlı bitkisel yağın %25, %50 ve %75'lik karışımlarını ayrı ayrı değerlendirmek için deneysel testler

yapmışlardır. Sıradan dizel yakıtla ilgili testler de karşılaştırma amacıyla yapılmıştır. Test yakıtlarının her biri için bir dizi test gerçekleştirilmiş ve altı kez tekrarlanmıştır. Motor, 1500 dev/dk'lık sabit bir hızda, ancak farklı yüklerde, yani % 0, % 25, % 50, % 75 ve tam yük olarak % 100 çalıştırılmıştır. Motorun egzoz gazlarının performans ve emisyon özellikleri analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları, temel motor performansı - güç çıkışı ve yakıt tüketiminin, bitkisel yağ ve karışımları ile karıştırıldığında dizel ile karşılaştırılabilir olduğunu göstermiştir. Bitkisel yağ ve karışımlarından azot oksitlerin (NOx) emisyonu, saf dizel yakıtından daha düşük olduğu belirlenmiştir. Testlerde bulunan bu emisyon karakteri, bir dereceye kadar bitkisel yağın, sıradan dizel yakıtın yerini alması için pratik olarak uygulanması açısından önemli olduğu vurgulanmıştır.

Lin ve ark 2006 yaptıkları çalışmada, yedi test yakıtı: P0 (premium dizel yakıt), P10 (% 10 palmiye biyoyakıt +% 90 P0), P20, P30, P50, P75 ve P100 için sabit durumdaki jeneratörden polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH), karsinojenik potens (BaPeq) ve partikül madde (PM) emisyonları, yakıt tüketimi ve enerji verimliliğini araştırmışlardır. Deneysel sonuçlar karışımdaki palmiye biyoyakıt oranının artmasıyla PAH emisyonlarının düştüğünü bunun sebebinin ise biyoyakıtındaki küçük miktarda PAH içeriğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Dizel jeneratörü egzozundan toplam PAH emisyon faktörünün (P0 için 1100 µg/L-1) ortalama redüksiyon fraksiyonu P0 ile karşılaştırıldığında, P10, P20, P30, P50, P75 ve P100 için sırasıyla %13.2, %28.0, %40.6, %54.4, %61.89 ve %98.8 olarak belirlenmiştir. Dizel jeneratörü egzozundan toplam BaPeq'in ortalama redüksiyon fraksiyonu (P0 için 1.65 µg/L-1) P0 ile karşılaştırıldığında, P10, P20, P30, P50, P75 ve P100 için sırasıyla %15,2, %29,1, %43,3, %56,4, %58.2 ve %97.6 olarak belirlenmiştir. Palmiye biyoyakıt karışımları % 0'dan % 10'a çıktıkça, PM emisyonu azalmıştır ve palmiye biyoyakıt karışımları % 10'dan % 100'e çıktıkça PM emisyonları artmıştır.

Kwanchareon ve ark 2007 yaptıkları çalışmada, farklı saflıkta etanol ve farklı sıcaklıklarda dizel-biyoyakıt-etanol karışımlarının faz diyagramını incelemişlerdir. Seçilen karışımların yakıt özellikleri (yoğunluğu, yanma sıcaklığı, setan sayısı, parlama noktası ve akma noktası) ve jeneratörlü bir dizel motordaki emisyon performansı incelenmiş ve ana dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Yakıt özelliklerinin dizel yakıt için standart limite yakın olduğu; bununla birlikte, etanol içeren karışımların parlama noktası, geleneksel dizelden farklı olduğu belirlenmiştir. Biyoyakıtın yüksek setan değerinin, etanolün varlığından kaynaklanan karışımların setan sayısının azalmasını

telafi edebileceğini belirtmişlerdir. % 10'dan daha az etanol içeren karışımların ısıtma değerinin, dizelinkinden önemli ölçüde farklı olmadığı belirlenmiştir. Karışımların emisyonlarına gelince, yüksek motor yükünde CO ve HC'nin önemli ölçüde azaldığı, buna karşın NOx'in dizel ile karşılaştırıldığında arttığı bulunmuştur. Bu gerçekleri göz önünde bulundurarak, kabul edilebilir yakıt özellikleri (parlama noktası hariç) ve emisyonların azaltılması nedeniyle % 80 dizel,% 15 biyoyakıt ve % 5 etanol karışımının en uygun oran olduğu belirtilmiştir.

Yılmaz ve ark. 2014 yaptıkları çalışmada etanolü biyoyakıt-dizel karışımı ile karıştırmış ve etanol miktarının emisyonlara etkilerini araştırmışlardır. Yüksek ve düşük etanol oranlarının her ikisiyle de çalışılmıştır. Etanol oranları %3, %5, %15 ve %25 arasında değişmektedir. Biyoyakıt-dizel karışım oranı sabit tutulmuştur. Biyoyakıt-dizel-etanol karışımları için emisyon karakteristikleri, motor yükünün bir fonksiyonu olarak dizelin başlangıç eğrileriyle karşılaştırılmıştır. Düşük ve yüksek konsantrasyondaki alkollerin etkileri, motor yüklerinin değişimi ile birlikte araştırılmıştır. Sonuçlar, emisyonların sadece motor çalışma koşullarına değil, aynı zamanda yakıt karışımları konsantrasyonlarına da bağlı olduğunu göstermiştir. Alkollerin soğutma etkileri ve oksijen içeriği, sonuçlarda en önemli iki faktör olmuştur.

Ferreira ve ark. 2013 yaptıkları çalışmanın amacı dizel ve biyoyakıt karışımının yüksek basınçlı enjeksiyonu ile giriş manifoldunun havasına enjekte edilen etanol ile çalışan bir dizel motorun performans ve emisyon profilini göstermektir. Testler, bir jeneratörlü bir dizel motorda 1800 dev/dak'da yapılmıştır. Genel enerji tüketimi artmasına rağmen, etanol ilavesi dizel yakıt tüketiminde bir azalmaya yol açmıştır. NOx ve PM emisyonları arasındaki geleneksel ters ilişkiyi ortadan kaldırarak, NOx emisyonlarında ve etanolün eklenmesiyle opaklıkta tutarlı bir düşüş gösterdiğini, ancak CO ve THC emisyonlarında artış görülmüştür. Enerji analizi, etanol ilavesiyle motor verimliliğinde bir düşüş göstermiştir. Katkı maddesinin kullanımı ile motor verimliliğinde hafif bir artış ve CO ve THC emisyonlarında azalma göstermiştir. Hava giriş sıcaklığındaki etanol kullanımı ile önemli bir azalma olmuştur ve bu da NOx indirgenmesinin bir kısmının bu sıcaklık düşüşüne bağlı olabileceğini düşündürmüştür. Etanol ilavesinin dizel motorların egzoz gazlarındaki NOx miktarını azaltmak için önemli bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır.

De Almeida ve ark. 2002 yaptıkları çalışmada jeneratörlü bir dizel motorda, motor performansı ve emisyonları, dizel yakıt ile palmiye yağları arasındaki kütle bazlı ısıtma değerleri, viskozite, yoğunluk ve moleküler oksijen içeriği gibi temel

farklılıklardan etkilendiğini belirlemişlerdir. Palmiye yağının yüksek viskozitesi, zayıf atomizasyon, karbon birikintileri, yakıt hatlarının tıkanması ve düşük sıcaklıklarda başlangıç zorlukları ile sonuçlanmıştır. Palmiye yağı 100 °C'ye ısıtıldığında daha düşük viskozite, daha iyi yanma ve daha az birikinti sunmuştur.

Tsai ve ark. 2010 yaptıkları çalışmada, soya-biyoyakıt karışımları ile beslenen bir dizel jeneratöründen partikül madde (PM), toplam karbon (TC), organik / elemental karbonlar (EC) ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) emisyonları araştırılmıştır. Test edilen dizel karışımları arasında (B0, B10, B20 ve B50), B20 yüklere rağmen (5 kW yük hariç) en düşük PM emisyon konsantrasyonunu sergilemiştir, B10 ise diğer yakıt karışımlarına göre 0 ve 10 kW'da çalışırken düşük PM emisyon faktörleri göstermiştir. Emisyon konsantrasyonları veya EC, OC ve TC faktörleri, yükten bağımsız olarak B10 veya B20 kullanıldığında en düşük değerlerdir. Test edilen tüm yükler altında, B10 ve B20'yi kullanan jeneratörden yayılan toplam PAH'ların ortalama konsantrasyonları, saf petrol dizel yakıtı kullananlara göre daha düşük (sırasıyla% 38 ve% 28) (B0), toplam PAH'ların emisyon faktörleri, artan oranda biyoyakıt ile birinci sınıf dizele doğru azalmıştır. Artan bir yükleme ile özgül yakıt tüketimi azalmasına rağmen, enerji verimliliği biyoyakıt/dizel oranına rağmen artmıştır. Bu nedenle, soya biyoyakıtın, enerji verimliliğini artırmak ve PM, karbon ve PAH emisyonlarını azaltmak için jeneratörlü dizel motorlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılabileceği ümit edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. DeneY Yakıtları ve Özellikleri

Bu çalışmada, motor testleri için Batman'daki bir akaryakıt istasyonundan temin edilen petrol kökenli dizel yakıtı referans yakıt olarak kullanılmış ve transesterifikasyon reaksiyonu ile üretilen soya yağı bazlı biyoyakıt ise Mersin'de bulunan bir ticari üretici tarafından temin edilmiştir. Dizel yakıtı esas yakıt olarak kullanılmış ve % 5, % 10, % 20 ve % 50 hacimsel oranlarda soya yağı biyoyakıt ile karıştırılmıştır. Sırası ile bu yakıt karışımları SYB5, SYB10, SYB20 ve SYB50 olarak isimlendirilmiştir. Bu yakıt karışımlarını dizel motorlu jeneratör setinde kullanmak için karışimli yakıtların viskozite ve yoğunluk değerlerinin EN590 dizel yakıt standartları içerisinde kalmasına dikkat edilmiştir. Seçilen karışımların viskozite ve yoğunluk değerleri sırasıyla en yüksek sınır olan 4,5 mm² ve 0,845 kg/m³ değerinden daha düşük olmaktadır. Sadece SYB50 yakıtının yoğunluk değeri biraz aşmaktadır. Referans dizel yakıt ve biyoyakıt karışımlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri TÜPRAŞ'daki akredite olmuş laboratuvarında, standart prosedürlere göre analiz edilmiş ve Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de listelenmiştir.

Tablo 3.1. Biyoyakıt ve referans dizel yakıtın fiziksel-kimyasal özellikleri

DeneY Yakıtları/Özellikleri	EN 14214	ASTM D6751	DY	SYB5	SYB10	SYB20	SYB50
Alt Isıl Değer (KJ/kg)	-	-	44837	43577	43598	42320	41350
Setan İndeksi	51 min	47 min	54,31	56,91	56,54	58,71	54,36
Kinematik Viskozite 40°C'de (mm ² /sn)	3,5-5	1,6-6,0	2,7930	2,6067	2,7638	2,7918	3,2979
Yoğunluk, 15 °C'de (kg/m ³)	860-900	-	0,8321	0,8261	0,8289	0,8302	0,8534
CFPP /Bulutlanma Noktası (°C)	-	-	-	-15	-20	-16	-12
Su içeriği (mg/kg)	500 maks	-	-	58	67	145	255
Kükürt içeriği (mg/kg)	10 maks	50 maks	9,6	4,99	5,23	5,02	3,08
Parlama Noktası (°C)	120 min	130 min	60,5	56,5	57,5	59,5	67,5

Tablo 3.2. Biyoyakıt ve referans dizel yakıtının damıtma sıcaklıkları

Deney Yakıtları/ Durum Değişimi	EN 14214	ASTM D6751	DY	SYB5	SYB10	SYB20	SYB20
İlk Kaynama Noktası (°C)	-	-	169	154.5	154.6	158.3	172.2
Son Kaynama Noktası (°C)	-	-	-	365.1	363.0	361.0	357.0
% 5 elde edilen sıcaklık	-	-	-	184.2	179.3	184.1	204.9
% 10 elde edilen sıcaklık	-	-	-	200.7	200.2	204.2	231.1
% 20 elde edilen sıcaklık	-	-	-	224.6	225.6	231.8	268.8
% 30 elde edilen sıcaklık	-	-	-	243.3	245.2	254.5	295.0
% 40 elde edilen sıcaklık	-	-	-	259.3	263.7	274.7	312.3
% 50 elde edilen sıcaklık	-	-	-	274.7	279.4	292.0	322.6
% 60 elde edilen sıcaklık	-	-	-	289.7	295.0	307.2	329.1
% 70 elde edilen sıcaklık	-	-	-	304.7	310.1	320.1	333.6
% 80 elde edilen sıcaklık	-	-	-	320.8	324.7	330.6	337.4
% 90 elde edilen sıcaklık	-	-	-	339.0	340.4	340.8	342.5
% 95 elde edilen sıcaklık	-	-	-	353.7	354.0	351.5	352.4

3.2. Deneysel Metot ve Hesaplanan Motor Parametreleri

Deneysel çalışmalar, Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Motor Test Laboratuvarında 4 zamanlı 4 silindirli su ile soğutmalı direk püskürtmeli, 1500 dev/dk sabit devir, değişik yüklerde, NWK22 model bir dizel motorlu jeneratör ile yapılmıştır. Deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 3.3’de verilmiştir. Testler sabit devirde, 3,6, 7,2 ve 10,8 kW motor yüklerinde her bir yakıt için ayrı ayrı yapılmıştır. Motorun yüklenmesi jeneratöre alıcı bağlayıp elektrik enerjisini çekmek suretiyle yapılmıştır. Motor gücünü (P_e) ölçmek için jeneratörün gösterge panosundan okunan akım şiddeti (I), gerilim (V) ve alternatif akım olduğu için motorun güç faktörü ($\cos\theta$) değerlerinin çarpılmasından elde edilmiştir. Motor gücünün ölçülmesinde aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$P_e = I.V.\cos\theta \quad (3.1)$$

Özgül yakıt tüketimi, 1 gr hassasiyetli bir elektronik terazi ve dijital kronometre ile kütleli olarak hesaplanmıştır. Her 120 saniyede bir dijital terazide alınan her bir test yakıtının kütledeki ilk durum ile son durum arasındaki fark kaydedilmiştir. Elde edilen bu değerlerle o andaki güç miktarına bağlı olarak denklem 3.2 yardımı ile birim zamandaki yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Efektif termik verim, her bir test yakıtlarının özgül yakıt tüketimi ve alt ısıl değerleri ile elde edilen denklem 3.3’ten hesaplanmıştır.

Test yakıtlarının özgül yakıt tüketimlerinin hesaplanmasında aşağıdaki denklem (2) kullanılmıştır.

$$\dot{OYT} = \frac{\dot{m}_y}{P_e} \quad (3.2)$$

\dot{OYT} = özgül yakıt tüketimi (g/KWh), \dot{m}_y =Kütleli yakıt debisi (g/s), P_e = Motorun gücü (KW)

Test yakıtlarının Efektif termik verimlerinin (ETV) hesaplanmasında (3) denklemi kullanılmıştır.

$$ETV = \frac{3,6 \times 10^6}{b_e \times Hu} \quad (3.3)$$

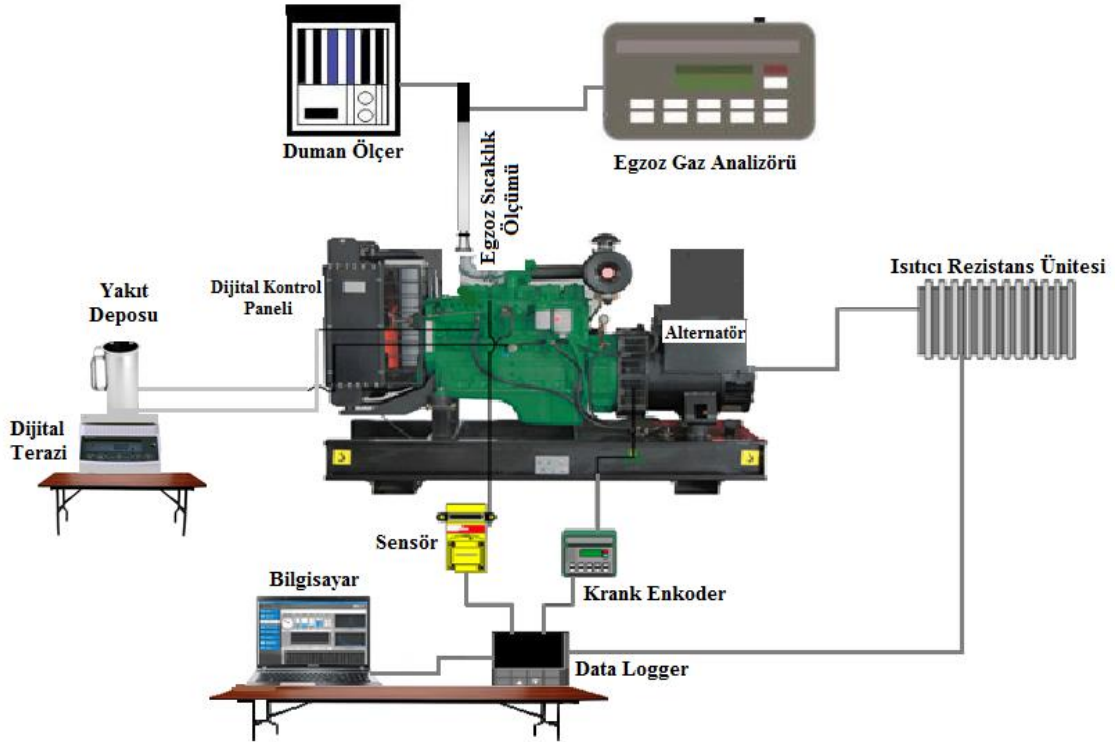
Şekil 3.1 ve 3.2’de deney test düzeneğinin JPEG fotoğrafı ve şematik görünüşü verilmiştir. Yanma verilerinin alındığı FebrIS yanma analizi programının ekran görüntüsü Şekil 3.3’te görülmektedir. Biyoyakıt ve dizel yakıtın emisyonlarını karşılaştırmak için motorun yakıt deposu yerine başka bir yakıt deposu terazi üzerine yerleştirilmiş ve borular yardımıyla yakıt hattına bağlanmıştır. Egzoz gaz emisyonları ölçümünde Capelec Cap 3200 model egzoz gazı analiz cihazı kullanılmıştır. Tablo 3.4’te gaz analiz cihazının teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.3. Deney motorunun teknik özellikleri

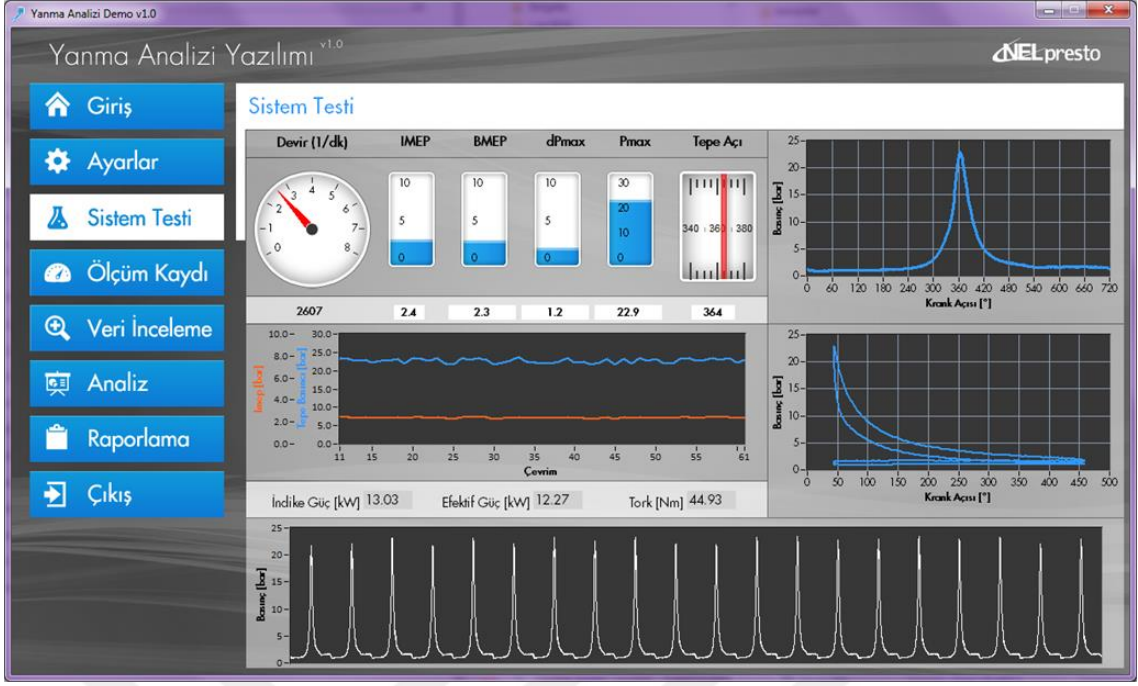
Üretici Modeli	NWK22
Motor gücü (1500d/d)	18 kW
Motor soğutma sistemi	Su soğutmalı
Emme sistemi	Doğal emişli
Motor modeli	4DW81-23D
Çap x Strok (mm)	85x100
Silindir sayısı	4
Yanma sistemi	Direk enjeksiyon
Sıkıştırma oranı	17:1
Enjektör memesi sayısı	4



Şekil 3.1. Motor test donanımının genel görseli



Şekil 3.2. Motor test donanımının genel şematik görseli



Şekil 3.3. Tüm test yakıtlarının yanma verilerinin alındığı FebriS programının ekran görüntüsü

Motor testlerinde her bir yakıtın egzoz emisyon değerlerini ölçmek için kullanılan CAPELEC CAP 3200 marka gaz analiz cihazı Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.4. Testlerde kullanılan egzoz emisyon cihazı

Egzoz emisyon cihazının ölçme hassasiyeti ve ölçüm aralığı Tablo 3.4' te yer almaktadır.

Tablo 3.4. CAPELAC CAP 3200 egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri

Parametre	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
NO _x	0-5000 ppm	%0,01
CO	%0-15	%0,001
O ₂	%0-21,7	%0,01
CO ₂	%0-20	%0,1
HC	0-20 ppm	1 ppm

Deneylerde alınan yanma verilerin analizini yapabilmek için yanma analizi sistemi kullanılmıştır. Bu sistem; fiber optik prensiple çalışan basınç sensörü, krank açısı manyetik devir enkoderi (sensörü), veri toplama kartı, Febris sensör arayüzü, basınç sensörü sinyal koşullandırıcısı ve LabVIEW tabanlı Febris yanma analiz yazılımından oluşmaktadır. Krank açısı manyetik devir sensörü, krank kasağında üst ölü nokta (ÜÖN) için belirlenen yer kullanılarak ÜÖN'de sinyal üretecek şekilde monte edilmiştir. Basınç sensörlerinden gelen sinyaller, sinyal şartlandırıcı ve Advantech PCI-1716 veri toplama kartı ile bilgisayara aktarılmıştır. Bu verilerin işlenmesi LabVIEW tabanlı Febris yanma analizi yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Her 1°'lik krank açısında alınan silindir içi basınç verisi, 100 çevrimin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Isı dağılımı, termodinamiğin birinci kanunu ve ideal gaz denkleminde yararlanılarak hacmi bilinen bir silindirden alınan basınç verileriyle analiz edilmektedir.

Yanma sırasında, silindir içindeki gazlarla gerçekleşen ısı salımı silindir içi basıncı, hacmi ve özgül ısılar oranı kullanılarak hesaplanabilir (Stone,1999 ve Heywood, 1988). Termodinamiğin birinci yasasının yardımı ile ısı salımı oranı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\dot{Q} = \frac{\gamma}{\gamma-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma-1} V \frac{dP}{d\theta} \quad (3.4)$$

Yanma sırasında ortaya çıkan ısının bir kısmı gaz ile silindir duvarları arasında gerçekleşen ısı transferi nedeni ile kaybedilir. Bu durum;

$$\frac{dQ}{d\theta} = hA(T - T_w) \quad (3.5)$$

Şeklinde Febris yanma analiz yazılımında kullanılmıştır (Stone, 1999).

Denklemdaki ısı transfer katsayısı Hohenberg'in (1979) deneysel çalışmaları sonucunda geliştirdiği katsayısı kullanılmıştır. Hohenberg katsayısı:

$$h = C_0 V^{-0.06} p^{0.8} T^{-0.4} [c_m + 1.4]^{0.8} \quad (3.6)$$

Hohenberg çalışmalarını direkt enjeksiyonlu dizel motorlarla yaptığından bu deneysel motor tipinde de geçerli olduğu söylenebilir. Fakat farklı motor tiplerine uygulamak da mümkündür (Hohenberg, 1979).

Isı salınımı hesaplamaları için silindir içerisindeki ortalama gaz sıcaklığının hesaplanması gerekmektedir. Yazılım politropik proses kullanılarak bu değeri aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır.

$$T_i = p_i V_i \frac{T_{ref}}{P_{ref} V_{ref}} \quad (3.7)$$

Politropik proses sadece sıkıştırma ve genişleme zamanlarına uygulanabilir. Bu nedenle referans noktası olarak sıcaklığın bilindiği bir nokta yani emme supabının kapandığı zaman seçilmiştir. Burada, T_i ; ortalama gaz sıcaklığı, P_i ve V_i o andaki basınç ve silindir hacmini; T_{ref} , P_{ref} ve V_{ref} politropik genişleme eğrisinin herhangi bir noktasındaki referans değerleridir.

Özgül ısılar oranı Brunt ve ark. (1999) tarafından yapılan deneysel çalışmalara dayanılarak ve ortalama gaz sıcaklığına bağlı olarak aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır.

$$\gamma = 1,338 - 60 \times 10^{-5} T + 10^{-8} T^2 \quad (3.8)$$

Bütün test yakıtlarının aynı deney şartlarındaki vuruntu yoğunlukları; Checkel ve Dale'nin (1986) çalışmalarında kullanılan ve 3. türev yöntemi ile elde edilen aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır.

$$dp(\theta) = \frac{[86(p_{i-4}p_{i+4}) + 142(p_{i+b} - p_{i-b}) + 193(p_{i+2} - p_{i-2}) + 126(p_{i+1} - p_{i-1})]}{1118d\theta} \quad (3.9)$$

Vuruntu yoğunluğunun sinyal gürültüsünü filtrelemek için aşağıdaki denklemden yararlanılmıştır (Checkel ve Dale 1986).

$$F(\theta) = \frac{[2(p_{i-4} - p_{i+4}) + 3(p_{i+3} + p_{i-3}) + 4(p_{i+2} + p_{i-2}) + 5(p_{i+1} + p_i + p_{i-1})]}{33} \quad (3.10)$$

Vuruntu yoğunluğu denklemlerinde kullanılan “ p ” harfi silindir gaz basıncı ve “ θ ” ise krank mili açısıdır.

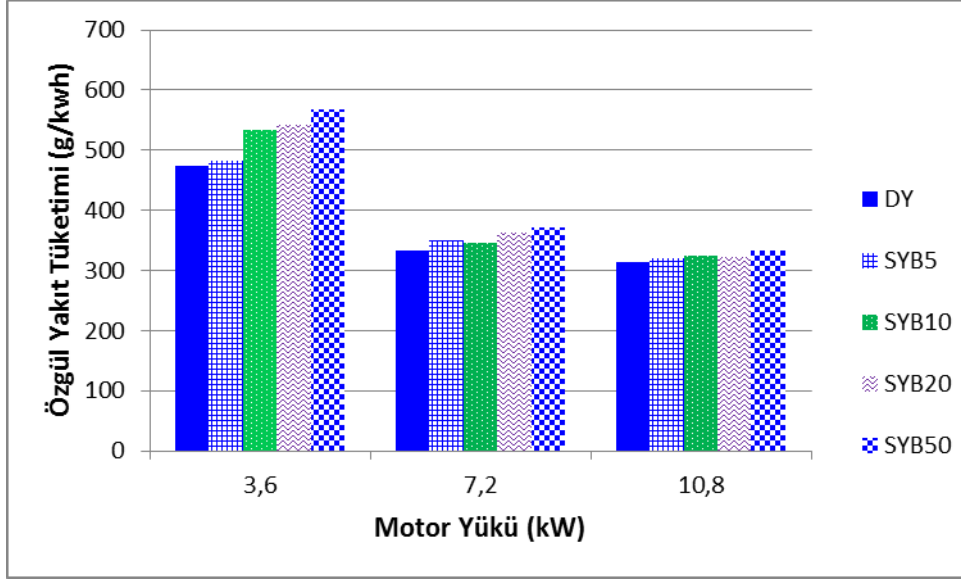


4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde sabit motor devir sayısında (1500 dev/dk.) ve farklı yük koşullarında (3,6 kW, 7,2 kW ve 10,8 kW) dizel motorlu bir jeneratör setinde biyoyakıt karışımlarının kullanılması ile elde edilen performans, yanma ve egzoz emisyon verilerinin, aynı deney şartlarında test edilen referans dizel yakıtın verilerine göre grafiksel olarak karşılaştırılması verilmiştir.

4.1. Özgül Yakıt Tüketimi Verilerinin İncelenmesi (ÖYT)

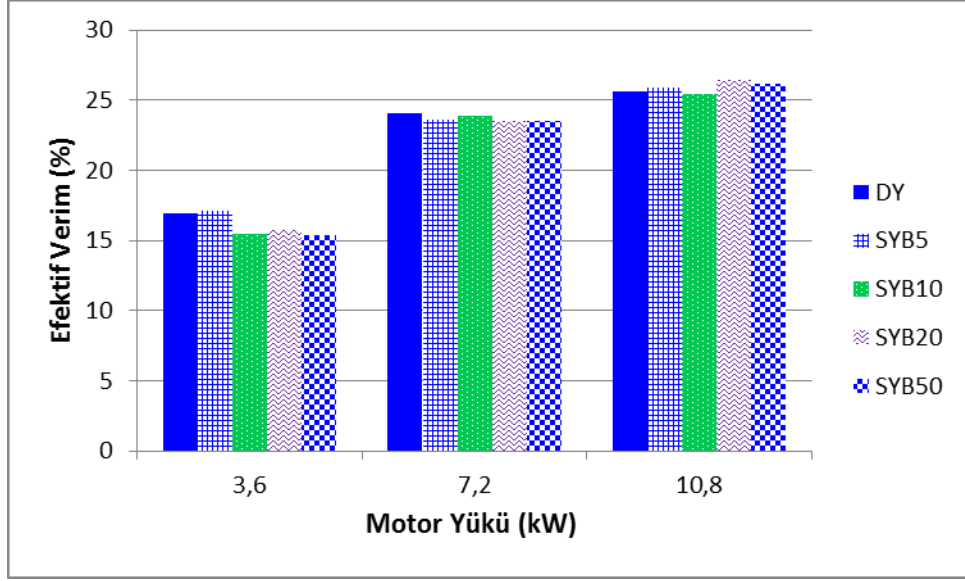
Şekil 4.1’de DY, SYB5, SYB10, SYB20 ve SYB50 yakıtları için değişik yük koşullarında ve sabit motor hızında elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri verilmiştir. Bütün deney yakıtlarının motordaki özgül yakıt tüketimleri, denklem 3.2’den yararlanarak hesaplanmıştır. Şekilde görüldüğü gibi motorda elde edilen güç az iken özgül yakıt tüketimi en yüksek değerdedir. Motorun yük değeri artıkça özgül yakıt tüketimi bununla beraber azalıyor. Deney yakıtları aralarında kıyaslandığında 3,6 kW yükteki özgül yakıt tüketimi birbirlerinden farklı olarak görülmektedir. Yük değeri 7,2 kW’ta ulaştığında ise biyoyakıt karışımı yakıtlar dizel yakıt tüketiminden daha fazla olduğu görülmektedir. Dizel yakıtına göre düşük ısı değere sahip olan biyoyakıt, motordan çıkan gücün aynı olabilmesi için yakıt tüketiminin fazla olması gerekir. 10.8 kW yükteki özgül yakıt tüketimine baktığımızda motorun en fazla yükte olduğu ve özgül yakıt tüketiminin minimum değere düştüğünü görülmektedir. Bu yük noktasında DY, SYB5, SYB10, SYB20 ve SYB50 yakıtları için hesaplanan ÖYT verileri yaklaşık olarak birbirlerinin aynısı olduğu görülmektedir. Deney sonuçlarına genel olarak baktığımızda ise motor gücünün en düşüğe çıkışıyla birlikte özgül yakıt tüketimi aynı şekilde motor gücüyle ters orantılı olarak en yüksekte en düşüğe doğru olduğu görülmektedir. Genel olarak bütün yük noktalarında SYB5, SYB10, SYB20 ve SYB50 yakıtlarının yoğunluklarının ve alt ısı değerlerinin referans dizel yakıttan daha az olduğundan dolayı ÖYT’leri dizel yakıttan daha fazla çıkmıştır.



Şekil 4.1. Özgöl yakıt tüketimi değerlerinin yük ile değişimi

4.2. Efektif Termik Verim Verilerinin İncelenmesi

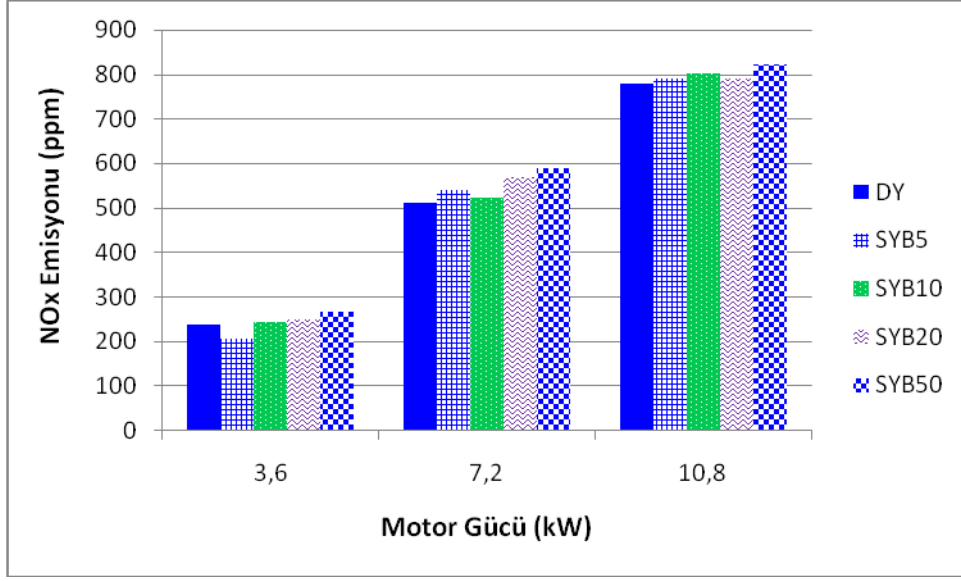
Şekil 4.2’de test yakıtlarının değişik motor yüklerindeki efektif termik verim değerlerinin değişimleri verilmiştir. Bütün deney yakıtlarının efektif termik verimi, denklem 3.3’ ten yararlanarak hesaplanmıştır. Efektif termik verim, motorun yük miktarı ile doğru orantılı bir şekilde, SYB5, SYB10, SYB20, SYB50 ve DY yakıtlarının kullanımında arttığı gözlemlenmiştir. SYB5, SYB10, SYB20, SYB50 ve DY yakıtlarının kullanımında ÖYT değerlerinin arttığı yerde efektif verim düşük seyretmiş olup ÖYT değerlerinin azaldığı noktalarda efektif termik verim artmıştır. En yüksek efektif termik verim, bütün yakıtlar için 10,8 kW’ta verilmiştir. Muhtemel nedeni motordaki yükün artışı ile birlikte birim zamanda gönderilen yakıtla orantılı olarak motor çıkış gücünde artış göstermesidir. Diğer taraftan bakıldığında biyoyakıt ve referans dizel yakıt karışımları kullanımında efektif termik verim, %100 referans dizel yakıt kullanıma göre daha düşük seyretmiştir. 3,6 kW yükteki efektif termik verime bakıldığı zaman dizel yakıtı (DY) ve biyoyakıt (SYB5) efektif verimleri birbirlerine çok yakındır. Ancak diğer biyoyakıt değerlerine bakıldığında (SYB10, SYB20, SYB50) efektif değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Öte yandan 7,2 kW değerlerine bakıldığı zaman saf dizel yakıtın ve değişik biyoyakıt yakıtlarının efektif verimleri birbirlerine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. Efektif verim değerlerinin yük ile değişimi

4.3. Azotoksit (NO_x) Emisyonlarının İncelenmesi

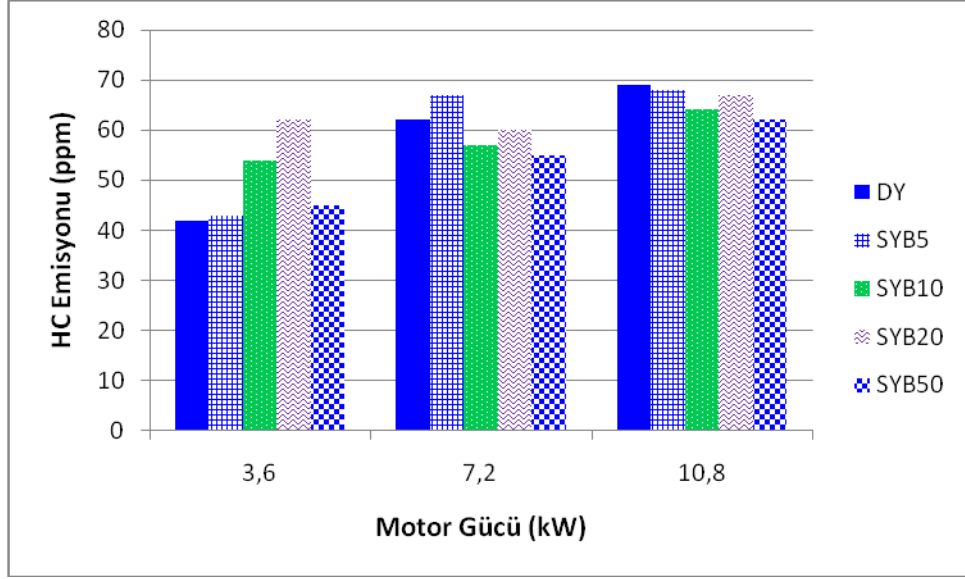
Şekil 4.3'te DY, SYB5, SYB10, SYB20, SYB50 farklı yükler için NO_x emisyon değerlerinin değişim grafiği verilmiştir. NO_x miktarı yanma süresine ve silindir içine alınan oksijen (O₂) miktarına ve azot ile oksijenin birlikte bulunma süresine göre değişiklik gösterir (Heywood, 1988). Silindir iç sıcaklığı artıkça, silindir içine alınan hava miktarıyla doğru orantılı olarak azot oksit gazı artar. Diğer bir değişle yük miktarı artarken silindir içerisindeki sıcaklık artacağı için NO_x miktarı artar. 3,6 kW için NO_x değerlerine bakıldığında en düşük NO_x değeri SYB5 te en yüksek değeri ise SYB50'de görülüyor. 3,6 kW değerleri 200 ppm ile 300 ppm arasında değişmektedir. 7,2 kW'da motor yüklendikçe NO_x değerleri bütün test yakıtlarında artmıştır. Burada en yüksek NO_x değeri SYB50'de ve en düşük NO_x değeri dizel (DY) den oluşmaktadır. 10,8 kW değerlerine baktığımızda motorun yüklenmesi ile NO_x değerlerinde bütün test yakıtlarında artış olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak şekil 4.3.e baktığımız motor gücünün artmasıyla beraber NO_x değerlerinde artış gösterilmiş ve motor gücünün azalmasıyla beraber NO_x değerlerinde azalma olmuştur. Benzer sonuçlar literatürdeki çalışmalarda da bildirilmiştir (Bayındır ve ark. 2017; Işık ve ark. 2017; Altun 2014).



Şekil 4.3. Farklı yükler için NO_x emisyon değerlerinin değişimi

4.4. Yanmamış Hidrokarbon (HC) Emisyonlarının İncelenmesi

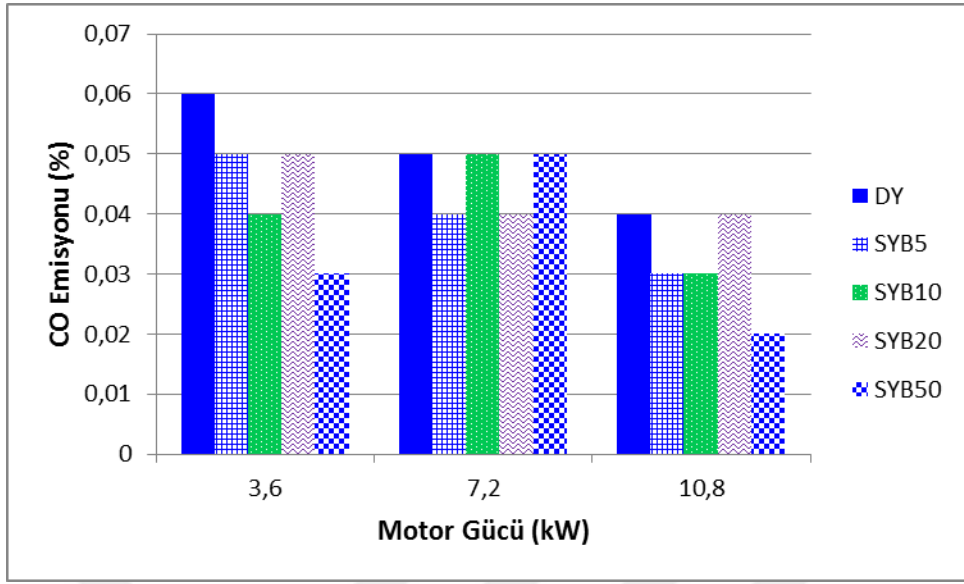
Şekil 4.4'te DY, SYB5, SYB10, SYB20 ve SYB50 farklı yükler için HC emisyon değerlerinin değişimi verilmiştir. Yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonları, yakıtın tam olarak tutuşma sıcaklığına ulaşamaması ve yanma sırasında yetersiz oksijenin bulunması durumunda meydana gelir (Heywood, 1988). Aynı zamanda motor silindirleri içine zengin karışımın gönderilmesi ve karışımın tam olarak yanmaması sonucunda da yanmamış hidrokarbon emisyonları meydana gelmektedir. 3,6 kW'deki motorun güç koşullarına bakıldığında dizel yakıtı (DY) en az miktarda hidrokarbon emisyonu (HC) bulunurken, aynı güçteki motorda SYB5, SYB10, SYB20 VE SYB50 yakıtları kullanıldığında daha fazla hidrokarbon (HC) emisyonu çevreye salınmıştır. Bunun muhtemel sebebi; birim zamanda motora alınan yakıtın daha fazla olması ile beraber silindir içine alınan yakıtın daha zengin karışım oranında yakılmasıdır. Bunun neticesinde biyoyakıt karışımları olan yakıtların kısmi bölgelerde yanmanın tamamlanmaması ile HC emisyonları açığa daha fazla çıkmasıdır. 7,2 kW ve 10,8 kW'ye bakıldığında yanmamış hidrokarbonlar değerleri yükselmiştir. Motor yüklendikçe zengin yakıt karışımı silindire alınarak, bu zengin karışımdan dolayı içeriye gönderilen yakıt tam yanmayarak tüm test yakıtları için aynı deney koşullarında hidrokarbon değerleri artmıştır.



Şekil 4.4. Farklı yükler için HC emisyon değerlerinin değişimi

4.5. Karbon monoksit (CO) Emisyonlarının İncelenmesi

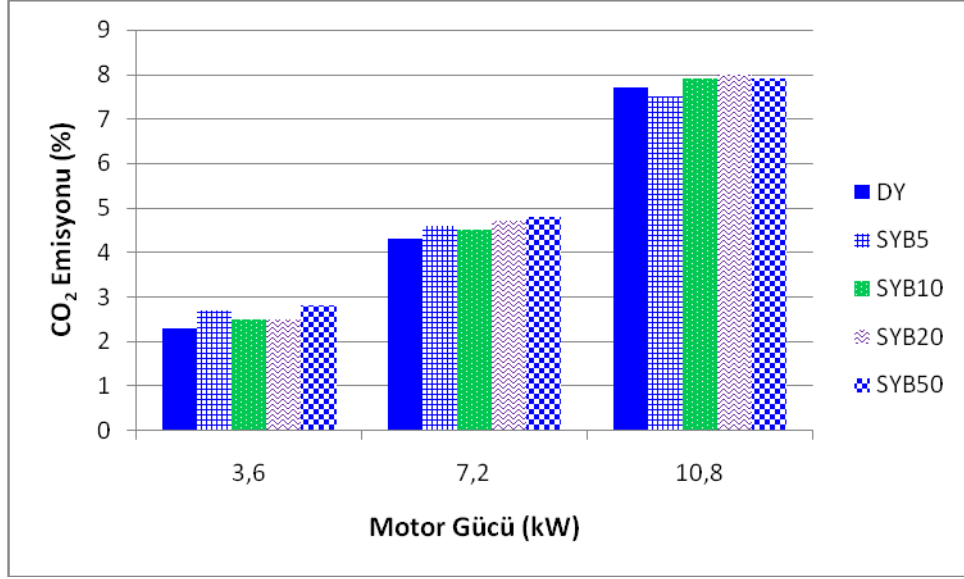
Şekil 4.5'te farklı yükler için CO emisyon değerlerinin değişim grafiği verilmiştir. Karbon monoksit emisyonu, yanma zamanında oksijenin yetersizliğinden dolayı ve yanmanın tam yanma şeklinde olmayıp kısmi eksik yanma şeklinde meydana gelmektedir. Ayrıca, CO oluşumunda hava fazlalık kat sayısı doğrudan etkili olup, yakıtın yanma odası içerisine homojen karışmaması sonucunda CO oluşumu hızlanmaktadır (Heywood, 1988). Şekil incelendiğinde 3.6 kW deki yükte karbon monoksit emisyonunun en fazla olduğu görülmektedir. Motor yükü arttıkça DY, SYB%, SYB10, SYB20 ve SYB50 yakıtlarının CO emisyonu azaldığı şekilde görülmektedir. Bütün yük şartlarında dizel motor çalıştırıldığında dizel (DY) yakıtından çıkan CO emisyonu, biyoyakıt yakıtlarından çıkan CO emisyonu daha fazla olduğu tespit edilmiştir. 7.2 kW'ta baktığımız zaman DY yakıtın, SYB10 ve SYB50 ile aynı oranda karbon monoksit emisyonlarının olduğunu tespit edilmişken, SYB5 ve SYB20 yakıtlarının kullanımında CO emisyonu daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak bütün yüklerde dizel yakıtında (DY) salınan karbon monoksit emisyonu, bütün motor güçlerinde en yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Dizel yakıtın CO emisyon miktarının SYB5 ve SYB20'ye göre fazla olmasının sebebi biyoyakıt yakıtının içeriğinde oksijen molekülünün bulunmasıdır (Jiaqiang ve ark, 2017). Elde edilen sonuçlar literatürdeki benzer sonuçlarla uyumludur (Işık ve ark., 2017).



Şekil 4.5. Farklı yükler için CO emisyon değerlerinin değişimi

4.6. Karbon dioksit (CO₂) Emisyonlarının İncelenmesi

Şekil 4.6'da farklı yükler için CO₂ emisyon değerlerinin değişimi aşağıda verilmiştir. Şeklin genel yapısına bakıldığında karbondioksit değerleri genel olarak artmıştır. Deneysel motorunun 3,6 kW gücünde çalışırken dizel yakıtında en az karbondioksit olduğu görülmektedir. Şekil 4.5 grafiğindeki aynı yük durumunda dizel yakıtının CO emisyon değeri biyoyakıt yakıtlarındaki emisyon miktarlarından fazla olduğu gözükmemektedir. Bu da gösteriyor ki biyoyakıt yakıtları dizel yakıtından daha iyi bir yanma sergilediğini göstermektedir. Biyoyakıt yakıtlarında çok az bir miktarda, saf dizel (DY) yakıtından fazla karbondioksit (CO₂) çevreye salınmıştır. Dizel motoru jeneratör setinin 7,2 kW gücünde çalışırken yine en az miktarda saf dizel yakıtında karbondioksit bulunmaktadır. Dizel motoru jeneratör setinin 10,8 kW güçte çalışırken en fazla karbondioksiti yine biyoyakıt yakıtından elde edildiği tespit edilmiştir. Şekil 4.6 da görüldüğü gibi motor yükü arttıkça tüm test yakıtlarının CO₂ emisyonunun arttığı tespit edilmiştir.

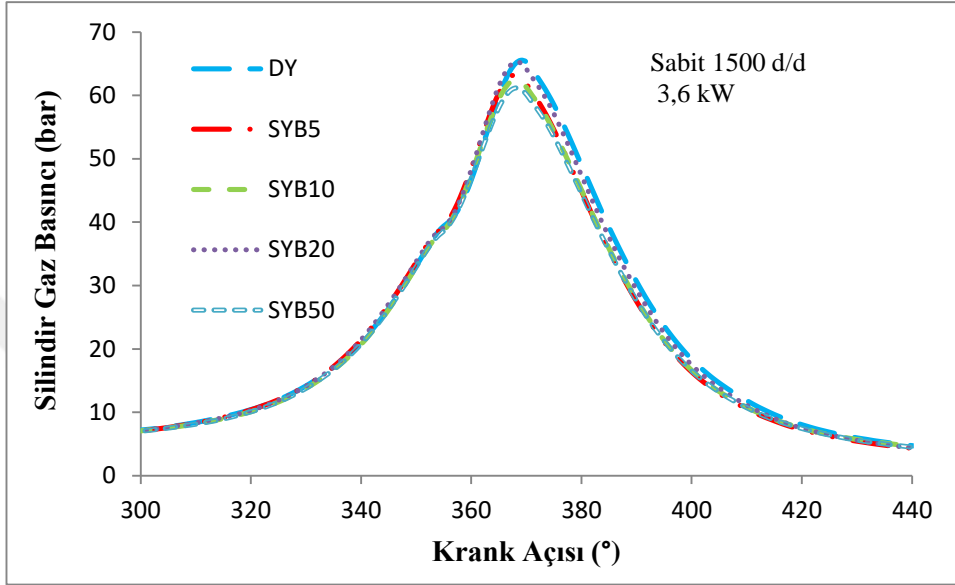


Şekil 4.6. Farklı yükler için CO2 emisyon değerlerinin değişimi

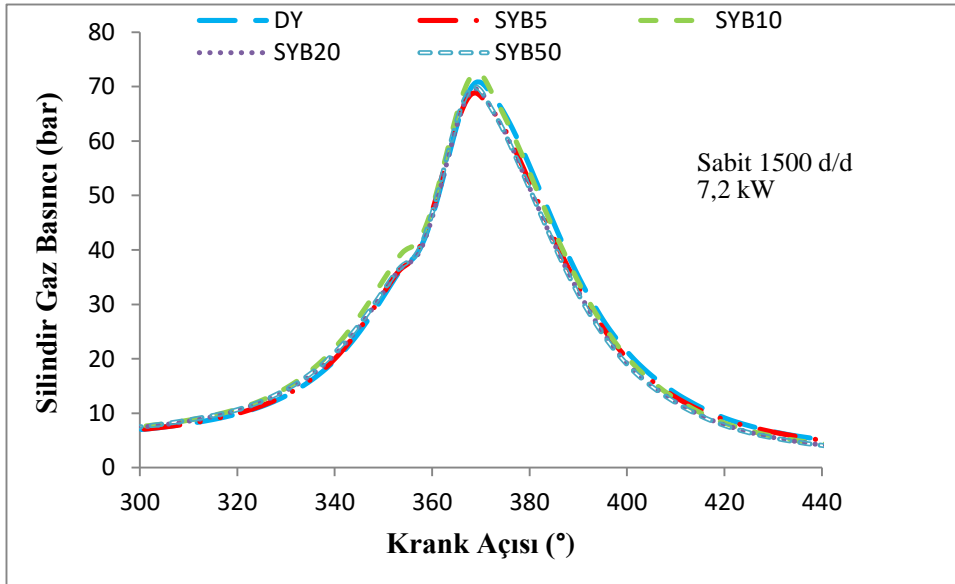
4.7. Silindir Gaz Basıncının İncelenmesi

Test yakıtlarının 3,6 kW, 7,2 kW ve 10,8 kW yükte silindir gaz basıncının krank mili açısı ile değişimi sırası ile şekil 4,7 ,4,8 ve 4,9 da sırasıyla verilmiştir. Şekil de 1500 d/d 3.6 kW yüke bakıldığında saf dizel yakıtı ve biyoyakıt yakıtı arasında fazla bir basınç değeri gözükmemektedir. Deney motoru yüklendikçe silindir içi basınç değerlerinin arttığı şekillerde gözükmemektedir. 3,6 kW, 7,2 kW ve 10,8 kW yük durumlarındaki maksimum silindir içi basınç değerleri ÜÖN'dan sonra meydana gelmiştir. 3,6 kW yükte, maksimum silindir gaz basıncı referans yakıt olan dizel yakıtta ÜÖN'dan 9° sonra 65,64 bar basınçta gerçekleşmiştir. 7,2 kW yükte gerçekleşen maksimum silindir içi basınç SYB10 yakıtında 9° ÜÖN'dan sonra 72,59 bar basınçta gerçekleşmiştir. 10,8 kW yükte ise 78,41 bar basınçla DY yakıtında, 8° ÜÖN'da sonra meydana gelmiştir. Her üç grafikten de görüldüğü gibi bütün test yakıtları için ÜÖN'dan önce basınç artış hızının çok azaldığı noktada, yakıt püskürtülmekte ve ortamdan ısı çekilerek bir basınç düşüklüğü meydana gelmiş ve yaklaşık olarak ÜÖN'dan önce 345°-355° arasında tutuşma gecikmesi gerçekleştiği düşünülmektedir (Deverajan ve ark., 2018). 3,6, 7,2 ve 10,8 yük şartlarında bütün test yakıtları için krank açısına bağlı silindir içi gaz basınçları incelendiğinde her çevrimin hemen hemen bir birinden farklı olduğu görülmektedir. Benzer sonuçlar literatürdeki çalışmalarda da bildirilmiştir (Bayındır ve ark. 2017; Işık ve ark. 2017; Çelebi ve aydın 2018). Çevrimsel farklılıkların sağlıklı sonuçların alınması için minimum miktarda tutulması

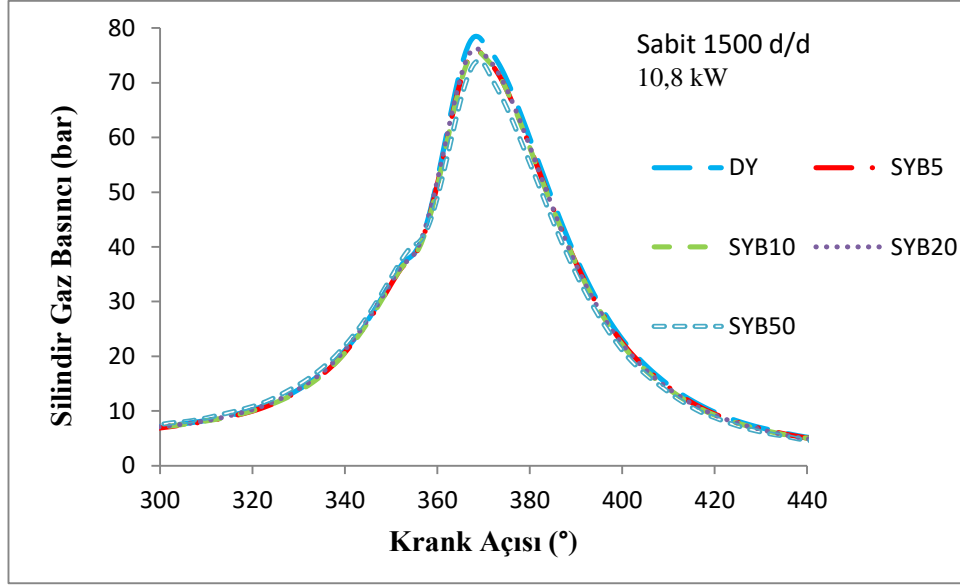
gerekmektedir. Çevrimsel farklılıkların oluşmasında birçok kimyasal ve fiziksel faktör vardır. Silindir içerisinden bir önceki çevrimden kalan artık gaz oranı, hava-yakıt oranı, yakıtın bileşimi ve yanma odası içerisinde yanmamış gazların hareketi bu faktörler arasında sayılabilir (Koncuk, 2008). Çevrimsel farklılıklarından dolayı silindir gaz basıncı verileri 1' krank açısı çözünürlüğünde ve 100 çevrimin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.7 Test yakıtlarının 3,6 kW yükte silindir gaz basıncının krank mili açısı ile değişimi



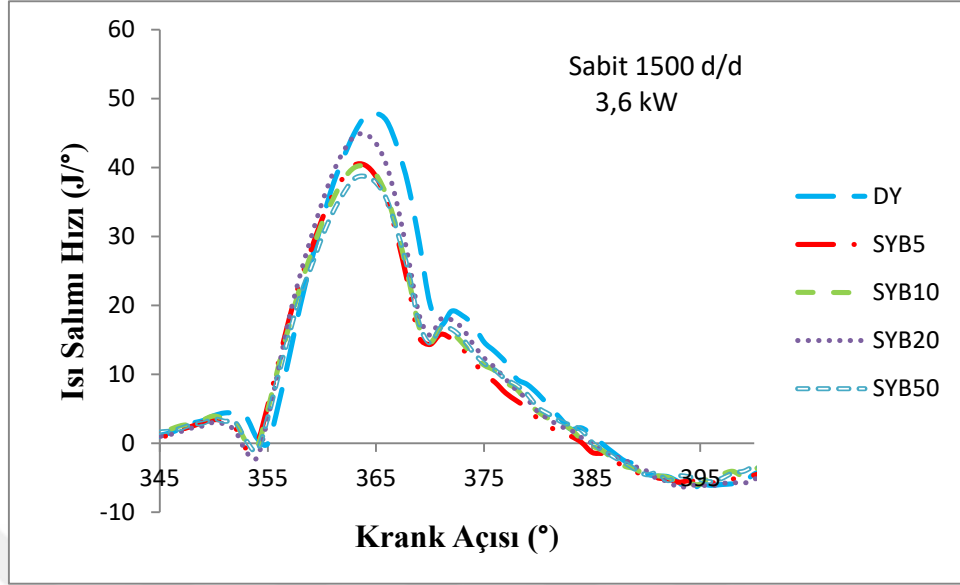
Şekil 4.8 Test yakıtlarının 7,2 kW yükte silindir gaz basıncının krank mili açısı ile değişimi



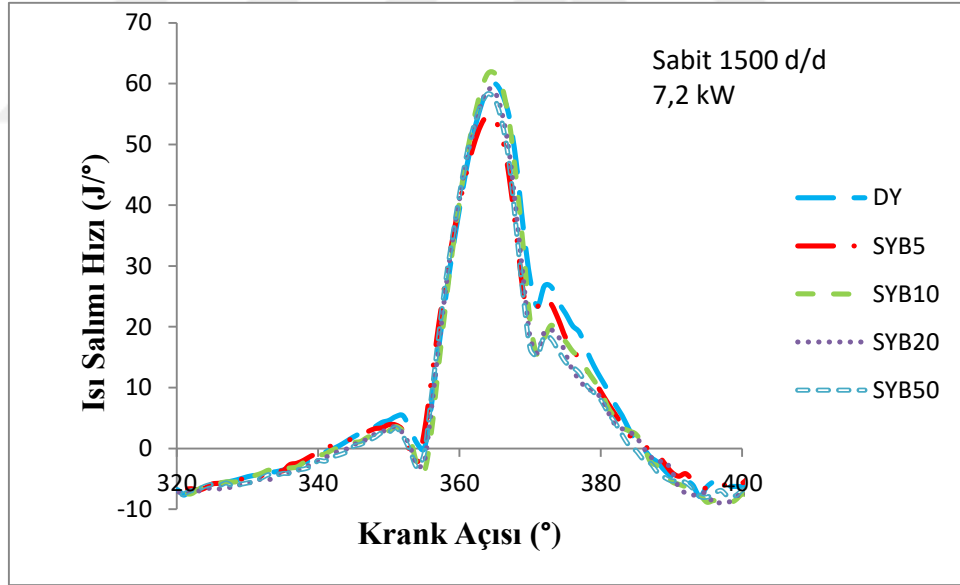
Şekil 4.9 Test yakıtlarının 10,8 kW yükte silindir gaz basıncının krank mili açısı ile değişimi

4.8. Isı Salınım Hızının İncelenmesi

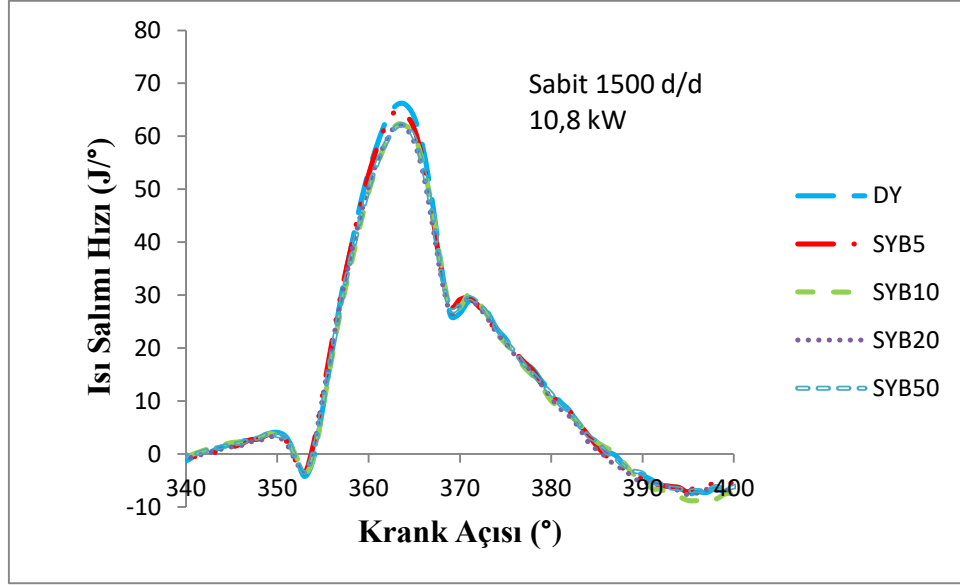
Şekil 4.10, 4.11, 4.12’de test yakıtlarının 3,6 kW, 7,2 kW ve 10,8 kW değişik yüklerde ısı salınım hızının krank mili açısı ile değişimi verilmiştir. Isı salınım hızının hesaplanmasında 3.4 denkleminde hesaplanmıştır. Çevrimsel farklılıkların önünü alabilmek için hesaplamada kullanılan basınç değerleri, 100 çevrimin ortalaması alınarak kullanılmıştır. 3.6 kW, 7,2 kW ve 10, 8 kW yük durumlarındaki maksimum ısı salınım hızı değerleri ÜÖN’den sonra 360°-365° arasında gerçekleşmiştir. 3, 6 kW yükte, maksimum ısı salınım hızı dizel yakıtta ÜÖN’den 5° sonra 47,86613 J/KMA olarak gerçekleşmiştir. 7,2 kW yükte maksimum Isı salınım hızı SYB10 yakıtta ÜÖN’den 5° sonra 61,68333 J/KMA olarak gerçekleşmiştir. 10,8 kW yükte ise 66,042747 J/KMA olarak DY yakıtında, 4° ÜÖN’da sonra meydana gelmiştir. Isı salınım hızı değerlerine bakıldığında, artan motorun yük durumuna bağlı olarak yapılan testlerde belirgin bir fark gözlenmiştir. Bu da çevrimlerde tüketilen yakıt miktarına bağlı olarak değişmiştir. Yakıt değerine bağlı olarak açığa çıkan ısı miktar hızında değişimler gözlemlenmiştir. Dizel motoru jeneratör seti her üç yük durumunda da ÜÖN’den sonraki eğrilerde hafif bir yükseliş olduğu görülmektedir. Bu noktalarda yakıt püskürtme olayı bitmiş ve buharlaşma söz konusu olmadığından ikinci bir ısı yükselişi görülmektedir. Silindir içindeki ani hacim değişimleri ısı salınım hızını etkilemiştir Benzer sonuçlar literatürdeki çalışmalarda da bildirilmiştir (Bayındır ve ark. 2017; Işık ve ark. 2017; Çelebi ve aydın 2018).



Şekil 4.10 Test yakıtlarının 3,6 kW yükte ısı salınım hızının KMA ile değişimi



Şekil 4.11 Test yakıtlarının 7,2 kW yükte ısı salınım hızının KMA ile değişimi

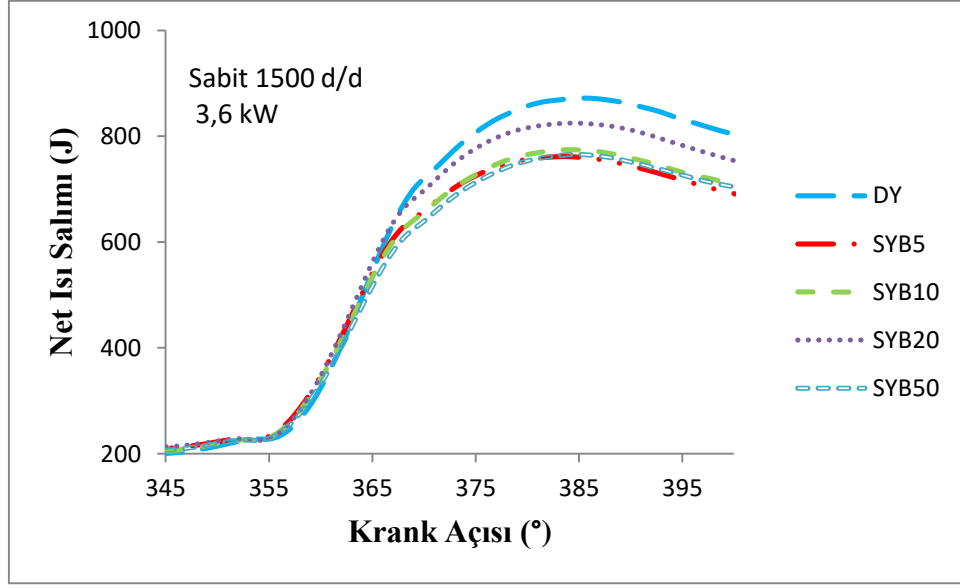


Şekil 4.12 Test yakıtlarının 10,8 kW yükte ısı salınım hızının KMA ile değişimi

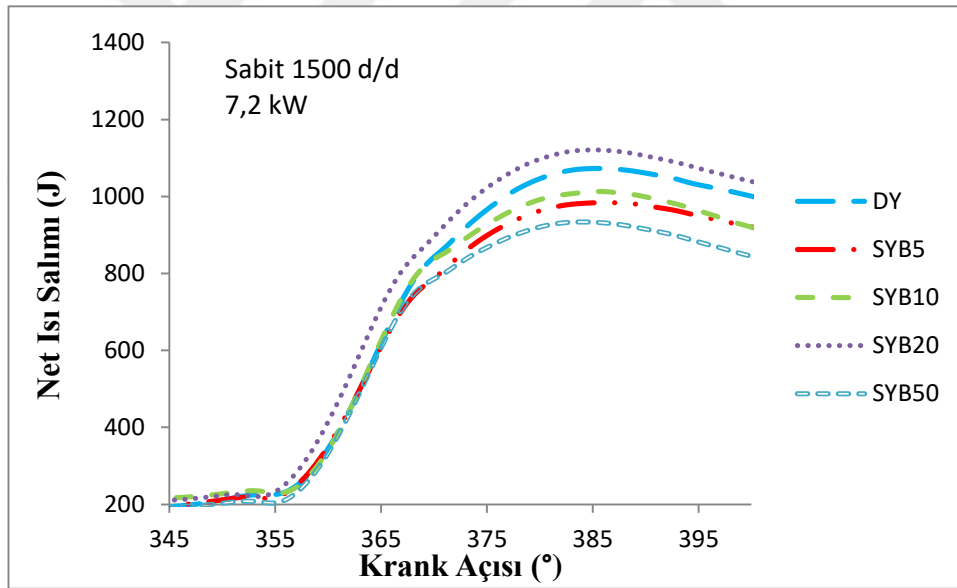
4.9. Net Isı Salınımının İncelenmesi

Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15'te net ısı salınımının krank mili açısına bağlı olarak değişimi sabit 1500 d/d 'da ve 3,6 kW, 7,2 kW ve 10,8 kW yüklerinde ve değişik yakıt türleri ile test edildikten sonraki sonuçları grafiklerde görülmektedir.

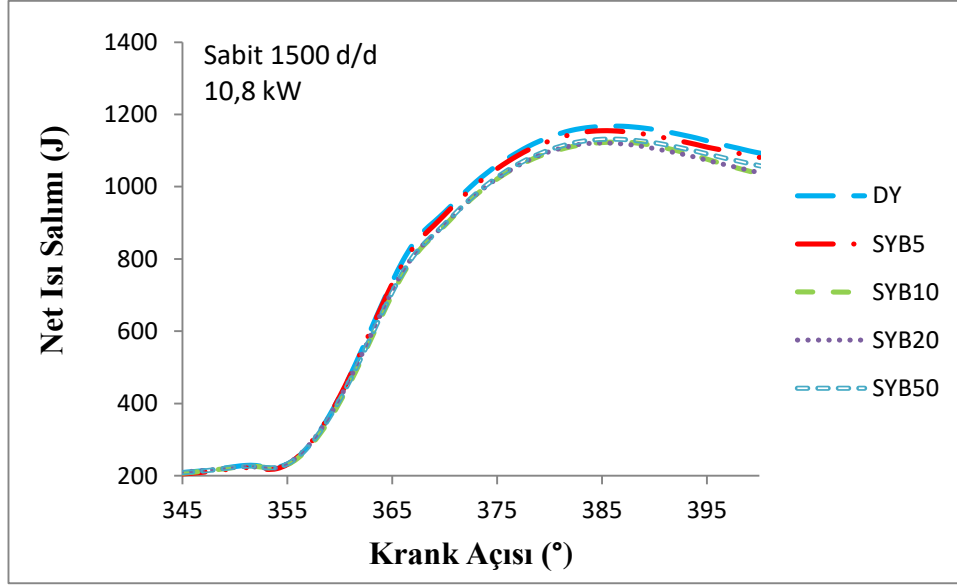
Net ısı salınımı değerlerine bakıldığında motor yükünün artışına bağlı olarak bütün test yakıtlarda düzgün bir yükseliş olduğu gözlemlenmektedir. Bu ısı salınım değerleri, deney şartlarının yük miktarı ile doğru orantılı olan yakıt miktarı değiştiği için yakıtın miktarı arttıkça net ısı salınımı artmaktadır. 3,6 kW, 7,2 kW ve 10,8 kW yük durumlarındaki DY, SYBY5, SYB10, SYB20 ve SYB50 yakıtları için maksimum net ısı salınım değerleri ÜÖN'dan sonra gerçekleşmiştir. Şekil 4.13'e bakıldığı zaman 3,6 kW yükte net ısı salınımının en fazla gerçekleştiği yakıt saf dizel yakıtıdır. Şekil 4.14 bakıldığı zaman SYB20'deki net ısı salınımı miktarı yaklaşık olarak 1200 J ile en yüksek değerde olduğu görülmektedir. Son şekle bakıldığında motor tam yük durumuna geçtiğinde DY, SBY5, SYB10, SYB20 ve SYB50 yakıtlarının net ısı salınımı değerleri krank mili açısına bağlı olarak birbirlerine çok yakın olduğu tespit edilmiştir Benzer sonuçlar literatürdeki çalışmalarda da bildirilmiştir (Bayındır ve ark. 2017; Işık ve ark. 2017; Çelebi ve aydın 2018).



Şekil 4.13 Test yakıtlarının 3,6 kW yükte net ısı salımının krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.14 Test yakıtlarının 7,2 kW yükte net ısı salımının krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.15 Test yakıtlarının 10,8 kW yükte net ısı salınımının krank mili açısı ile değişimi

4.10. Ortalama Gaz Sıcaklığının İncelenmesi

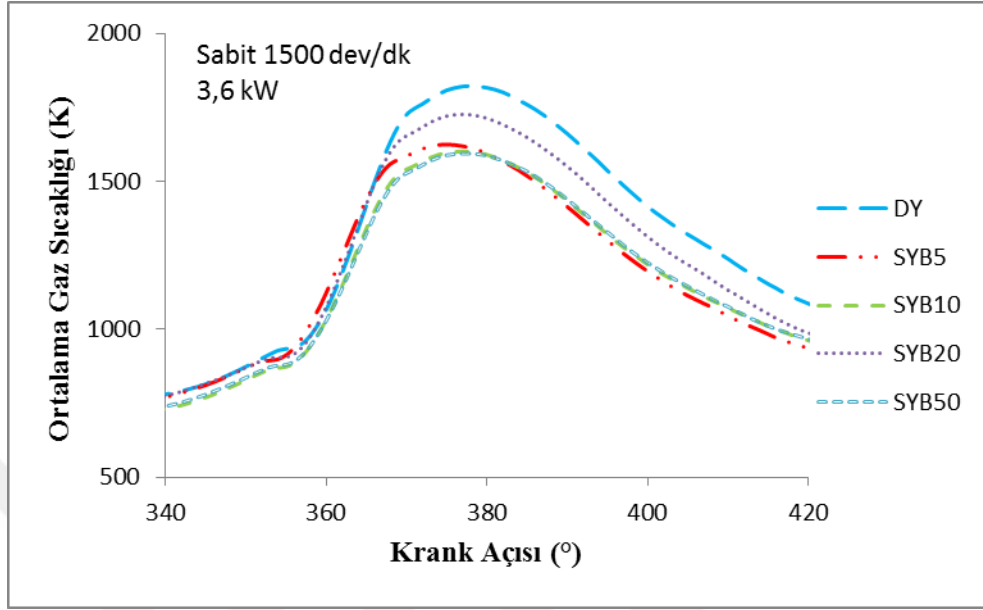
Şekil 4.16, 4.17, 4.18’de DY, SBY5, SYB10, SYB20 ve SYB50 yakıtları için değişik yükteki, sabit 1500 d/d’da krank açısına bağlı olarak ortalama gaz sıcaklıkları gösterilmiştir. Ortalama gaz sıcaklığı değerleri, silindir içindeki basınç-hacim değerlerinden elde edilen denklem 3.5’ten hesaplanmıştır. Bütün yakıtlara bakıldığı zaman yüklerin artmasından ötürü ortalama gaz sıcaklığı değerleri artmıştır.

Şekil 4.16’da test yakıt eğrileri karşılaştırıldığı zaman biyoyakıt içeren SYB5 yakıtı karışımının ilk etapta saf dizel (DY) ile hemen hemen aynı sıcaklıkta olduğu görülmektedir. Çevrim sonucunda ise en az gaz sıcaklığına sahip olan karışım durumuna gelmiştir. Bunun nedeni daha az bir sıcaklığa sahip olduğu düşünülmektedir.

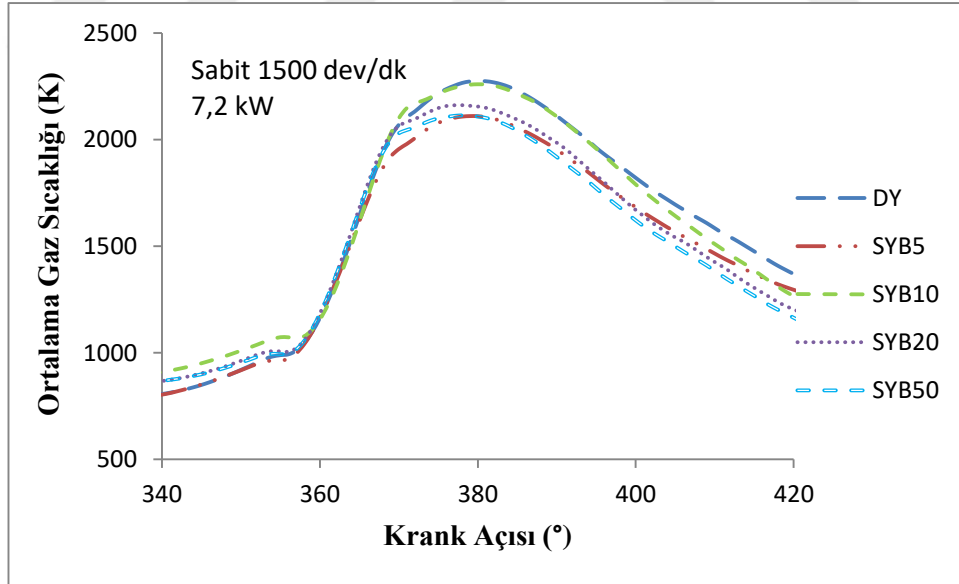
Şekil 4.17 ye baktığımız zaman, 7,2 kW yükte SYB50 yakıtının ortalama gaz sıcaklığı kontrollü yanma fazında diğer yakıtlarla hemen hemen aynı yanma davranışı gösterilirken, art yanma fazında diğer test yakıtlarından ayrılarak en az sıcaklığı açığa çıktığı yakıt olarak tespit edilmiştir. Bu karışımı yüzdelik durumuna göre diğer karışımlar sıra ile takip etmiş ortalama gaz sıcaklığı en fazla DY yakıtında gerçekleşmiştir. Bu durum yoğunluk artınca alevlenme şiddetinin azaldığı ve ortalama gaz sıcaklığının düştüğünü düşünülmektedir (Heywood, 1988).

Motor tam yük altına girdiği zaman krank mili açısının yaklaşık 380 derece ortalama gaz sıcaklığı en fazla olmaktadır. Motorun yüklenmesiyle beraber alevlenmenin artmasıyla ortalama gaz sıcaklığı artar (Heywood, 1988). Bununla beraber

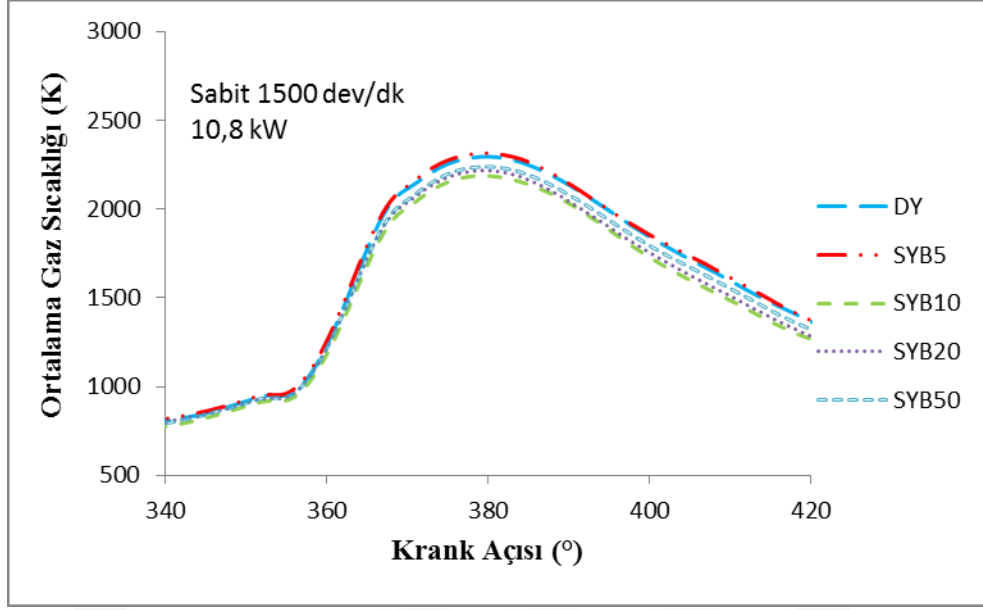
dizel motorlu jeneratör setindeki yük durumunun azalmasıyla ortalama gaz sıcaklığı azalmaktadır.



Şekil 4.16 Test yakıtlarının 3,6 kW yükte ortalama gaz sıcaklığının krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.17 Test yakıtlarının 7,2 kW yükte ortalama gaz sıcaklığının krank mili açısı ile değişimi



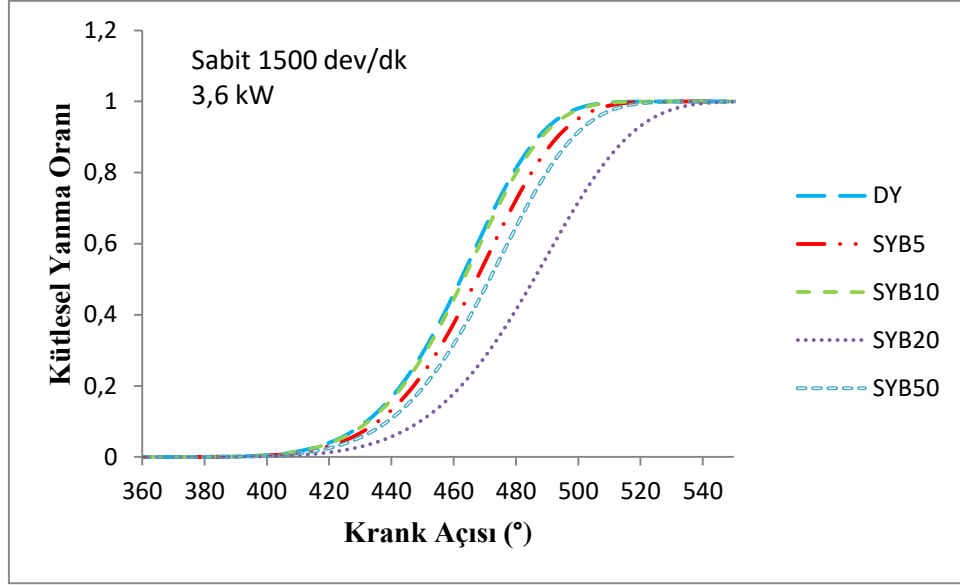
Şekil 4.18 Test yakıtlarının 10,8 kW yükte ortalama gaz sıcaklığının krank mili açısı ile değişimi

4.11. Kütlesel Yanma Oranlarının İncelenmesi

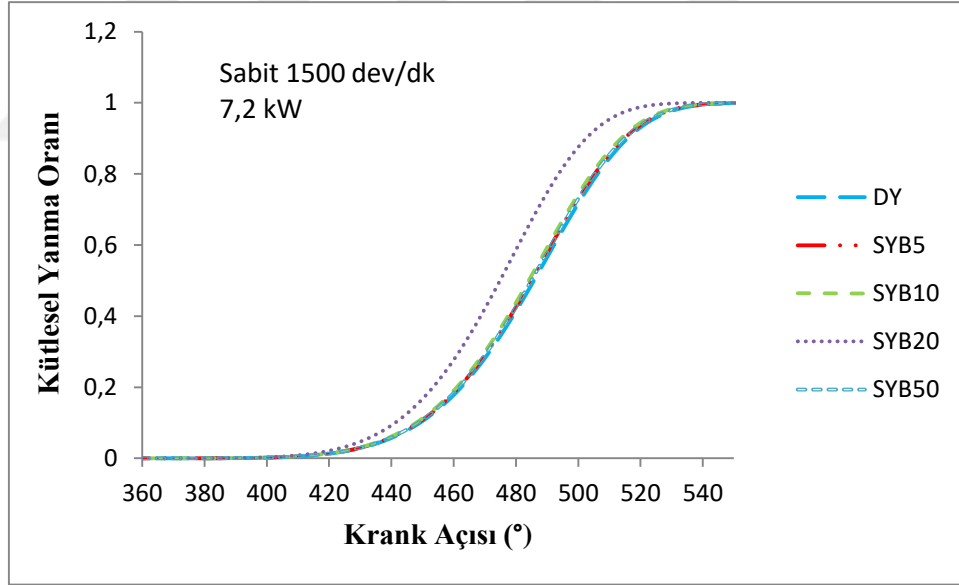
Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21’de deney motorunun sabit 1500 d/d’da ve 3,6, 7,2 ve 10,8 kW yükünde DY, SYB5, SYB10, SYB20 ve SYB50 yakıtlarının kütlesel yanma oranının krank mili açlarına göre ve birbiri ile karşılaştırılmaları verilmiştir.

Her üç yükte de bütün test yakıtlarının yanma eğilimleri birbirine benzediği tespit edilmiştir. Kütlesel yanma oranı, LabVIEW tabanlı Febris yanma analiz yazılımında silindir içi basınç ve hacim değişiminden hesaplanan bir parametredir.

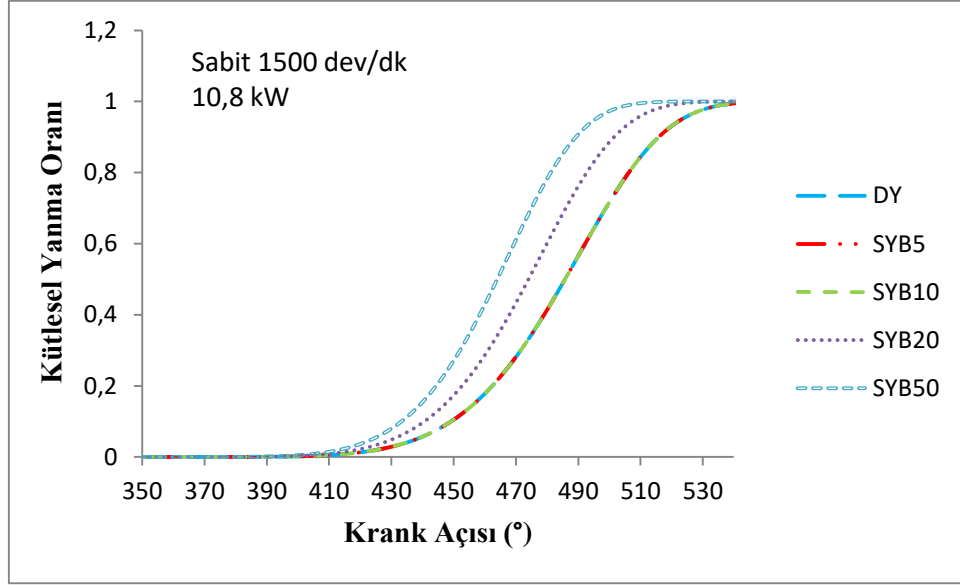
Bu parametre 100 çevrimin ortalamasından elde edilen bir çevrim boyunca her bir krank açısında hangi miktarda yakıtın yakıldığını göstermektedir. Dizel motoru jeneratör setinin çalışma koşulu düşük yükte çalışırken, test için hazırlanan bütün yakıtların birbirinden epeyce uzaklaştığını görülmektedir Benzer sonuçlar literatürdeki çalışmalarda da bildirilmiştir (Bayındır ve ark. 2017; Işık ve ark. 2017; Çelebi ve aydın 2018).



Şekil 4.19 Test yakıtlarının 3,6 kW yükte kütleli yanma oranının krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.20 Test yakıtlarının 7,2 kW yükte kütleli yanma oranının krank mili açısı ile değişimi



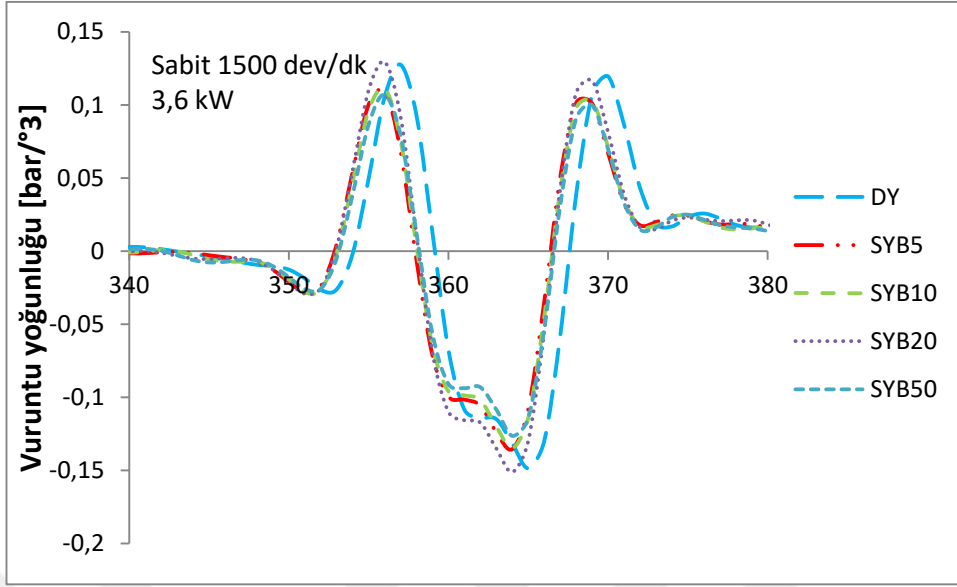
Şekil 4.21 Test yakıtlarının 10,8 kW yükte kütleli yanma oranının krank mili açısı ile değişimi

4.12. Vuruntu Yoğunluğunun İncelenmesi

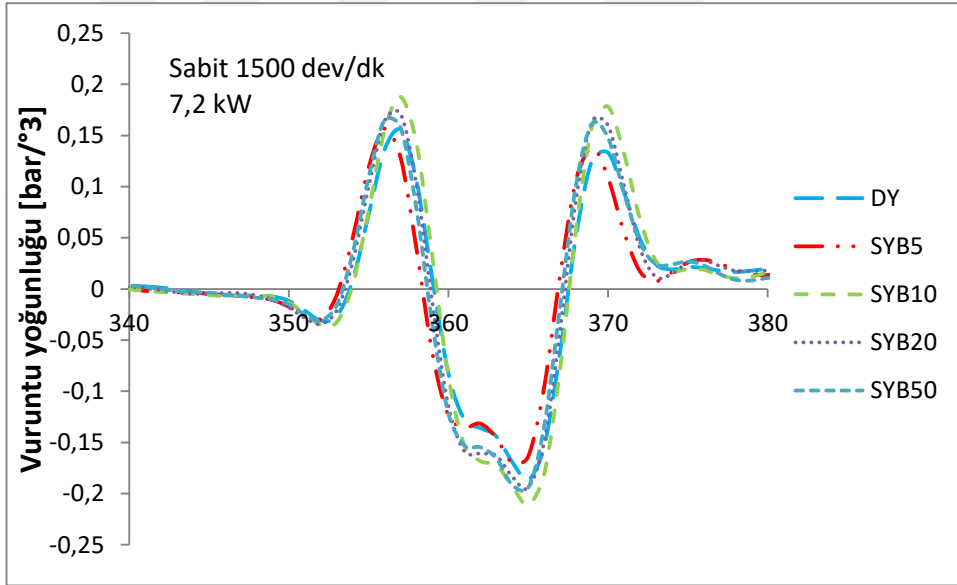
Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24'te deney motorunun sabit 1500 d/d'da ve 3,6, 7,2 ve 10,8 kW yükünde DY, SYB5, SYB10, SYB20 ve SYB50 yakıtlarının kütleli yanma oranının krank mili açılara göre birbiri ile karşılaştırılmaları verilmiştir. Vuruntu yoğunluğunun hesaplanmasında denklem 3.10'dan hesaplanmıştır.

Dizel motorlarda vuruntu, silindir içine püskürtülen yakıtın hemen yanmayıp, birikmesi ve ani olarak yanması ile basıncın artmasıdır. Bunun sonucunda ise dizel motorlarının gürültülü seviyesinin fazla olmasının sebeplerinden biri olarak bilinmektedir. Dizel motorlarında vuruntulu çalışma daha çok motorun püskürtme sisteminin yapısal özelliklerine bağlı olup, özellikle soğuk havalarda yakıtın geç tutuşması ile belirgin bir şekilde açığa çıkmaktadır (Heywood, 1988).

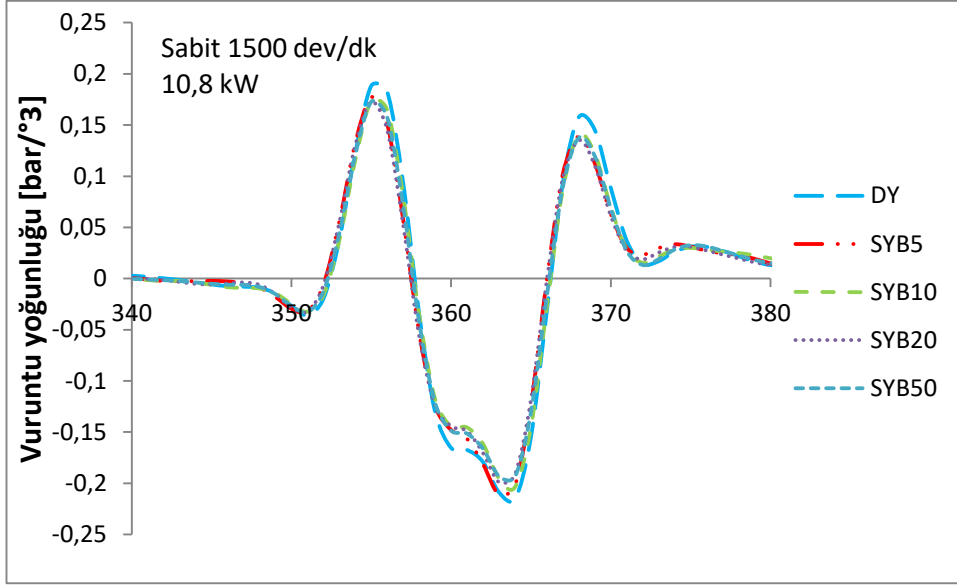
Bunun yanı sıra dizel motorlarda kullanılan yakıtların setan sayılarının veya setan indekslerin düşük olması da tutuşma gecikmesi safhasını artıracığından vuruntulu yanma ve bunun neticesinde gürültülü yanmaya neden olmaktadır (Safgönül ve ark.,1995) Tablo 3.1'de biyoyakıt karışımı yakıtlar ile referans dizel yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerinden setan indeksinin değerleri görülmektedir. Görüleceği üzere SYB50 yakıtında en fazla en düşük ise DY yakıtında tespit edilmiştir. Setan indeksinin uluslararası standart sınırlarında olduğu için her üç grafikten de görüleceği gibi bütün test yakıtlarının vuruntu yoğunlukları birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.22 Test yakıtlarının 3,6 kW yükte vuruñtu yoğunluğunun incelenmesi



Şekil 4.23 Test yakıtlarının 7,2 kW yükte vuruñtu yoğunluğunun incelenmesi



Şekil 4.24 Test yakıtlarının 10,8 kW yükte vuruntu yoğunluğunun incelenmesi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Dünyada artan çevre kirliliği ve aynı zamanda petrol türevli yakıtların fiyatlarının artırılması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynağı olan biyoyakıtların önemi giderek artmaktadır. Soya yağ kökenli biyoyakıt üretmek ülke ekonomisine ve istihdama ciddi katkı sağlayacaktır. Bu nedenle soya yağından biyoyakıt üretimi ülkemizde uygun ortamlar bulunabilmekte ve üretilebilmektedir. Bu sebeplerden dolayı bilimsel çalışmamızın temel amacı önemli bir potansiyele sahip soya biyoyakıtın bir dizel motorlu jeneratör setinde kullanılabilirliğini araştırmaktır. Bu araştırma; DY, SYB5, SYB10, SYB20 ve SYB50 test yakıtları 4 zamanlı 4 silindirli, direkt püskürtmeli, sabit devir (1500 dev/dk) ve 3,6 kW, 7,2 kW ve 10,8 kW yüklerinde su ile soğutmalı jeneratörlü bir dizel motorunda performans, emisyon ve yanma testleri yapılmıştır. Bu testlerden elde edilen verilerden aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Motor yükünün artması ile beraber tüm test yakıtlarında CO emisyonları azalmıştır. Her bir yük durumunda da biyoyakıt karışımı yakıtlarda daha az CO emisyonu çevreye salınmıştır. CO emisyonunun olması yanmanın tam olarak gerçekleşmediğinin kanıtı olup insan ve çevre sağlığı üzerinde çok ciddi zararları bulunmaktadır. En az CO emisyonu 10,8 kW yükte % 0,02 olup SYB50 yakıtında ölçülmüştür. En fazla CO emisyonu 3,6 kW yükte % 0,06 olarak DY yakıtında tespit edilmiştir.
- CO₂ emisyonları motor yükünün artması ile beraber artmıştır. Doğada CO₂ emisyonlarının varlığı sera etkisine neden olmakta ve aynı zamanda atmosferimize verdiği zararlar kanıtlanmıştır. CO₂ emisyonları 10,8 kW yükte bütün test yakıtlarında yüksek çıkmıştır. Aynı yük noktasında CO emisyonlarının daha düşük çıkması nedeni ile 10,8 kW yükteki bütün test yakıtlarının iyi bir yanma gerçekleştirdikleri söylenebilir. En az CO₂ emisyonu % 2,3 ile 3,6 kW yükte DY yakıtında tespit edilmiştir. En fazla CO₂ emisyonu ise 10,8 kW yükte % 7,9 ile SYB50 yakıtında gözlemlenmiştir. CO₂ emisyon değerlerinin fazla çıkması yanmanın iyi olduğu anlamına gelmektedir. Ancak CO₂ emisyon gazının doğaya salınması atmosferde sera etkisi yarattığından, bu konu ile ilgili bütün araştırmacılar tarafından düşürülmesi hedeflenmektedir.

- NO_x emisyonları bütün test yakıtlarında yük miktarı artıkça artmıştır. Biyoyakıt karışımı yakıtların NO_x emisyonları referans dizel yakıtın NO_x emisyonlarından daha fazla çıktığı görülmüştür. Bütün yük noktalarındaki NO_x emisyonlarının ortalamalarındaki dizel yakına göre değişimi alındığında en fazla değişim % 9,73 oranı ile SYB50 yakıtında olduğu görülmüştür. Dizel yakıtının ortalama NO_x emisyonlarından fazla çıkmış olan SYB50 yakıtının ortalama NO_x emisyonlarının muhtemel nedeni; biyoyakıt içeriğinde olan O₂ molekülünün varlığı olduğu bildirilmektedir. En fazla NO_x emisyonları 10,8 kW yükte 823 ppm ile SYB50 yakıtında tespit edilmiştir. En az NO_x emisyonları ise 3,6 kW yükte 206 ppm ile SYB5 yakıtında meydana gelmiştir.
- Referans dizel yakıt ve SYB5 ve SYB10 biyoyakıtların HC emisyonları hemen hemen benzer olduğu grafikten görülmektedir. SYB20 yakıtın ortalama HC emisyon değişimi dizel yakına göre % 9,24 kadar arttığı tespit edilmiştir. Ancak SYB50 yakıtının ortalama HC emisyonları ortalama dizel yakıtının HC emisyonlarına göre değişimi % 6,35 oranında azaldığı tespit edilmiştir. En fazla HC emisyonları 10,8 kW yükte 69 ppm ile DY yakıtında tespit edilmiştir. En az HC emisyonları ise 3,6 kW yükte 42 ppm ile gene DY yakıtında meydana gelmiştir.
- Efektif termik verim bütün test yakıtlarında motor yükü artıkça arttığı görülmüştür. Bütün test koşullarında DY yakıtının efektif verimi biyoyakıtların efektif veriminde daha fazla çıktığı meydana gelmiştir. Muhtemel nedeni; biyoyakıtların alt ısı değerlerinin dizel yakıtının ısı değerinden biraz düşük olduğu söylenebilir. En fazla efektif termik verim 10,8 kW yükte SYB5 yakıtının % 25,89 olduğu görülmüştür. En az efektif verim ise 3,6 kW yükte % 15,36 SYB50 yakıtında tespit edilmiştir.
- Biyoyakıtın alt ısı değerinin referans dizel yakıtından düşük olduğu sebebi ile her üç yük konumunda da biyoyakıtların ÖYT değerleri dizel yakıtın ÖYT değerlerinden düşük çıktığı tespit edilmiştir. Dizel motorlu jeneratör setinin yük miktarı artıkça bütün test yakıtlarının ÖYT değerleri azalmıştır. En yüksek ÖYT miktarı 3,6 kW yükte 566,66 g/kWh SYB50 yakıtında meydana gelmiştir. En düşük ÖYT miktarı 313,88 g/kWh olarak DY yakıtının 10,8 kW yükünde tespit edilmiştir. SYB5, SYB10, SYB20 ve SYB50 biyoyakıtların her üç yük konumunun ortalama ÖYT miktarlarının, referans dizel yakıtının her üç yük

konumunun ortalama ÖYT değerlerine göre sırası ile %2,72, %7,3, %9,28 ve %13,24 oranlarında arttığı tespit edilmiştir.

- Dizel motorlu jeneratör setinde yapılan bu çalışmada FebriS yanma analiz programından alınan verilerden alternatif yakıtları, referans DY yakıtı ile karşılaştırıldığında; silindir içi gaz basıncı, ısı salınım hızı, net ısı salınımı, ortalama gaz sıcaklığı, kütleli yanma oranı ve vuruş yoğunluğu eğrilerinde motor yükü ile beraber artışlar gözlenmiştir. Genel itibarı ile eğrilerin birbirine paralel olduğu tespit edilmiş olup biyoyakıt karışımı yakıtların yanma davranışları referans dizel yakıtına yakın seyrettiği tespit edilmiştir. Bu verilerden hareketle soya yağı biyoyakıtın dizel motorlu jeneratör setlerinde sorunsuz bir şekilde kullanılabilceği görüşüne varılmıştır.

5.2 Öneriler

Bu çalışmada varılan noktadan hareketle; soya biyoyakıtın motor performansı, emisyonu, yanma karakteristikleri ve soya biyoyakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bakıldığında petrol kökenli dizel yakıtına alternatif olduğu görülmektedir. Bundan dolayı ülkemizde biyoyakıt için kullanılacak yağların tarım alanları artırılmalı ve üretime teşvik edilmelidir. Bununla birlikte, yağ potansiyelimiz belirlenerek, biyoyakıt üretiminde standartlara uygun bir şekilde değerlendirilmesi sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Aldhaidhawi M, Chiriac R, Bădescu V, Pop H, Apostol V, Dobrovicescu A, 2016, Performance and emission of generator Diesel engine using methyl esters of palm oil and diesel blends at different compression ratio. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: IOP Publishing*; p. 012135.
- Altun, Ş., Öner, C., 2013, Gaseous emission comparison of a compression–ignition engine fueled with different biodiesels, *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 10, 371-376.
- Altun, Ş. 2014, Effect of the degree of unsaturation of biodiesel fuels on the exhaust emissions of a diesel power generator. *Fuel*, 117, 450-457.
- Aydın, S. Sayın, C. Balki, M. K. Yakut. R. 2016, Atık Hayvansal Yağ Kökenli Biyoyakıtın Jeneratörlü Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *International Engineering, Science and Education Conference*, Diyarbakır/Türkiye.
- Aydın, S., Sayın, C., Aydın H. 2015, Investigation of the usability of biodiesel obtained from residual frying oil in a diesel engine with thermal barrier coating, *Applied Thermal Engineering*, 80, 212-219.
- Bayındır, H., Işık, M. Z., Argunhan, Z., Yücel, H. L., & Aydın, H. 2017, Combustion, performance and emissions of a diesel power generator fueled with biodiesel-kerosene and biodiesel-kerosene-diesel blends. *Energy*, 123, 241-251.
- Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen A., 1995, İçten Yanmalı Motorlar, G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Matbası, Ankara.
- Brunt, M. and Platts, K., 1999, Calculation of Heat Release in Direct Injection Diesel Engines, *SAE Technical Paper*, 01-0187, 1999, doi:10.4271/1999-01-0187.
- Checkel, M. and Dale, J., Computerized Knock Detection from Engine Pressure Records, *SAE Technical Paper*, 860028, 1986, doi:10.4271/860028.
- Çelebi, Y., & Aydın, H. 2018, Investigation of the effects of butanol addition on safflower biodiesel usage as fuel in a generator diesel engine. *Fuel*, 222, 385-393.
- Lee W-J, Liu Y-C, Mwangi FK, Chen W-H, Lin S-L., Fukushima Y, 2011, Assessment of energy performance and air pollutant emissions in a diesel engine generator fueled with water-containing ethanol–biodiesel–diesel blend of fuels. *Energy*, 36:5591-9.
- De Oliveira A, de Morais AM, Valente OS, Sodr e JR. 2015, Combustion characteristics, performance and emissions from a diesel power generator fuelled by B7-ethanol blends, *Fuel Processing Technology*, 139:67-72.

- De Almeida SC, Belchior CR, Nascimento MV, dos SR Vieira L, Fleury G. 2002, Performance of a diesel generator fuelled with palm oil, *Fuel*, 81:2097-102.
- Devarajan, Y., Munuswamy, D. B., & Mahalingam, A. 2018, Influence of nano-additive on performance and emission characteristics of a diesel engine running on neat neem oil biodiesel, *Environmental Science and Pollution Research*, 1-6.
- Ejder, S. B. 2007, Etanol-dizel, biyoyakıt-dizel yakıt karışımlarının kullanımının motor performansına etkilerinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Encinar J. M., González J. F., Rodríguez J. J. J., Tejedor A. 2002, Biodiesel Fuels from Vegetable Oils: Transesterification of *Cynara cardunculus* L. Oils with Ethanol, *Energy & Fuels*, 16 (2), 443-450.
- Ferreira VP., Martins J., Torres EA., Pepe IM., De Souza JMR. 2013, Performance and emissions analysis of additional ethanol injection on a diesel engine powered with A blend of diesel-biodiesel, *Energy for Sustainable Development*, 17:649-57.
- Heywood, J. 1988, Internal Combustion Engine Fundamentals. Macgraw-Hill Book Company, New York.
- Hohenberg, GH., 1979, Advanced approaches for heat transfer calculations *SAE Technical Paper*, 790825, 1979, doi:10.4271/790825.
- Hu, Z., Tan, P., Yan, X., Lou, D., 2008, Life cycle energy, environment and economic assessment of soybean-based biodiesel as an alternative automotive fuel in China, *Energy*, 33, 1654–1658.
- Işık, M. Z., Bayındır, H., İscan, B., & Aydın, H. 2017, The effect of n-butanol additive on low load combustion, performance and emissions of biodiesel-diesel blend in a heavy duty diesel power generator. *Journal of the Energy Institute*, 90(2), 174-184.
- Kwanchareon P, Luengnaruemitchai A, Jai-In S. 2007, Solubility of a diesel–biodiesel–ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine. *Fuel*. 86:1053-61.
- Karahan, Ş., 2006, Biyoyakıt Kalitesi ve Biyoyakıt Kalitesinin Dizel Motorlara Etkisi", *Ulusal Biyoyakıt Sunuşayı*, Ankara/Türkiye.
- Kusdiana, D., Saka, S. 2000, A Novel Process of the Biodiesel Fuel Production in Supercritical Methanol. *1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry*, 5-9 June, Sevilla, Spain.
- Koç, M., 2011, Biyoyakıt üretimine uygun Türkiye’de yetişen ve yetiştirilecek bitkilerin ve biyoyakıt teknolojilerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Türkiye.

- Lin Y-C, Lee W-J, Hou H-C. 2006, PAH emissions and energy efficiency of palm-biodiesel blends fueled on diesel generator, *Atmospheric Environment*, 40:3930-40.
- Mazivila, S. J. 2018, Trends of non-destructive analytical methods for identification of biodiesel feedstock in diesel-biodiesel blend according to European Commission Directive 2012/0288/EC and detecting diesel-biodiesel blend adulteration: A brief review, *Talanta*, Volume 180, Pages 239-247.
- Mutlu, L., Yavuz, H., Bayrakçeken, H., 2006, Biyoyakıt yakıtların performanslarının karşılaştırılması, 9. *Yanma Sempozyumu*, 40-49, Kırıkkale/Türkiye
- Nişancı, S., 2007, Biyoyakıt yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Othman, M.F., Adam, A., Najafi, G., Mamat, R. 2017, Green fuel as alternative fuel for diesel engine: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 80, Pages 694-709.
- Oğuz, H., 2004. Tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarında fındık yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanım imkânlarının incelenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, Konya.
- Öğüt, H., Oğuz, H., 2006, Üçüncü milenyumun yakıtı biyoyakıt, *Kitap*, 48-49.
- Öztürk, Ö., 2007, Dizel motorlarında karışımsız olarak kullanılan biyodizellerin motor performansına olan etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, E. ve Soruşbay. C. 1995, İçten Yanmalı Motorlar, Birsen yayınevi, İstanbul.
- Suresh, M. Jawahar, C.P. Richard, Arun. 2018, A review on biodiesel production, combustion, performance, and emission characteristics of non-edible oils in variable compression ratio diesel engine using biodiesel and its blends, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 92, Pages 38-49.
- Srivastava, A., Prasad, R. 2000, Triglycerides-based Diesel Fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4, 111-113.
- Stone, R., 1999, Introduction to Internal Combustion Engines" Macmillan Press Limited
- Tsai J-H, Chen S-J, Huang K-L, Lin Y-C, Lee W-J, Lin C-C, et al. PM, 2010, Carbon, and PAH emissions from a diesel generator fuelled with soy-biodiesel blends. *Journal of Hazardous Materials*. 179:237-43.
- Türkay, S., 2005, Biyoyakıt üretim teknolojileri, Türkiye'de biyoyakıt üretimindeki mevcut durum sorunlar ve öneriler çalışmayı, 2 Aralık, Ankara/Türkiye.

Vermeersch, G., 2000, Development of a Biodiesel Activity, 3. *International Congress and Expo Lipids, Fats, and Oils*, Würzburg-Almanya.

Wang Y, Al-Shemmeri T, Eames P, McMullan J, Hewitt N, Huang Y. 2006, An experimental investigation of the performance and gaseous exhaust emissions of a diesel engine using blends of a vegetable oil. *Applied Thermal Engineering*, 26:1684-91.

Yang P-M, Lin Y-C, Lin KC, Jhang S-R, Chen S-C, Wang C-C, 2015, Comparison of carbonyl compound emissions from a diesel engine generator fueled with blends of n-butanol, biodiesel and diesel. *Energy*, 90:266-73.

Yilmaz N. 2012, Comparative analysis of biodiesel–ethanol–diesel and biodiesel–methanol–diesel blends in a diesel engine, *Energy*, 40:210-3.

Yilmaz N, Vigil FM, 2014, Donaldson AB, Darabseh T. Investigation of CI engine emissions in biodiesel–ethanol–diesel blends as a function of ethanol concentration. *Fuel*, 115:790-3.

<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyoyakit> [Erişim tarihi: 18.02.2018].

http://www.albiyobir.org.tr/trde_b3.htm [Erişim tarihi: 15.05.2018].

EKLER

3,6 kW Yükte Test Yakıtlarından Alınan Performans ve Emisyon Değerleri

<i>Parametre/Yakıtlar</i>	<i>DY</i>	<i>SYB5</i>	<i>SYB10</i>	<i>SYB20</i>	<i>SYB50</i>
ÖYT (g/kWh)	475	483,3333	533,3333	541,6667	566,6667
Efektif Verim (%)	16,9033	17,09222	15,48236	15,70452	15,36382
HC emisyonu (ppm)	42	43	54	62	45
NO _x Emisyonu (ppm)	239	206	243	250	267
CO Emisyonu (%)	0,06	0,05	0,04	0,05	0,03
CO ₂ Emisyonu (%)	2,3	2,7	2,5	2,5	2,8

7,2 kW Yükte Test Yakıtlarından Alınan Performans ve Emisyon Değerleri

<i>Parametre/Yakıtlar</i>	<i>DY</i>	<i>SYB5</i>	<i>SYB10</i>	<i>SYB20</i>	<i>SYB50</i>
ÖYT (g/kWh)	333,333	350	345,8333	362,5	370,8333
Efektif Verim (%)	24,08725	23,60354	23,87641	23,46653	23,4773
HC emisyonu (ppm)	62	67	57	60	55
NO _x Emisyonu (ppm)	511	540	524	570	589
CO Emisyonu (%)	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05
CO ₂ Emisyonu (%)	4,3	4,6	4,5	4,7	4,8

10,8 kW Yükte Test Yakıtlarından Alınan Performans ve Emisyon Değerleri

<i>Parametre/Yakıtlar</i>	<i>DY</i>	<i>SYB5</i>	<i>SYB10</i>	<i>SYB20</i>	<i>SYB50</i>
ÖYT (g/kWh)	313,8889	319,4444	325	322,2222	333,333
Efektif Verim (%)	25,57938	25,86127	25,40695	26,39984	26,1185
HC emisyonu (ppm)	69	68	64	67	62
NO _x Emisyonu (ppm)	780	790	801	790	823
CO Emisyonu (%)	0,04	0,03	0,03	0,04	0,02
CO ₂ Emisyonu (%)	7,7	7,5	7,9	8	7,9

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Reşit SERAÇ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Diyarbakır/04.10.1976
Telefon :
Faks :
e-mail : seracresit@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Diyarbakır Teknik Lisesi	Yenişehir /Diyarbakır		1995
Üniversite	: Dicle Üniversitesi	Merkez / Batman		2004
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi	Merkez /Batman		-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2004-2010	MEB	Öğretmen
2012-2013	Meksa Vakfi	Öğretmen
2013-2016	Türk Telekom	Satış Danışmanı

UZMANLIK ALANI

İçten Yanmalı Motorlar, Alternatif Yakıtlar

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Seraç, M.R., Aydın, S., Sayin, C., Beytekin, A. (2018) Dizel Motorlu Bir Jeneratör Setinde Soya Biyodizel Yakıtının Kullanılması, International Engineering and Technology Symposium, Batman/Türkiye.

Seraç, M.R., Aydın, S., Sayin, C., Beytekin, A. (2018) Dizel Motorlardan Kaynaklanan Kirleticiler ve Azot Oksit(NO_x) Emisyonlarının Düşürülme Yöntemleri, International Engineering and Technology Symposium, Batman/Türkiye.