



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİYOYAKIT KULLANAN BİR DİZEL
MOTORUNUN PERFORMANS, YANMA VE
EMİSYON ANALİZİ**

İlker ÖRS

DOKTORA TEZİ

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Ağustos-2014
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

İlker ÖRS tarafından hazırlanan “Biyoyakıt Kullanan Bir Dizel Motorunun Performans, Yanma Ve Emisyon Analizi” adlı tez çalışması 20/08/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Can HAŞİMOĞLU

Danışman

Doç. Dr. Ali KAHRAMAN

Üye

Doç. Dr. Ünal AKDAĞ

Üye

Doç. Dr. Murat CİNİVİZ

Üye

Yrd. Doç. Dr. Ali ATEŞ

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi BAP koordinatörlüğü tarafından 12201054 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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


İlker ÖRS
20/08/2014

ÖZET**DOKTORA TEZİ****BİYOYAKIT KULLANAN BİR DİZEL MOTORUNUN PERFORMANS,
YANMA VE EMİSYON ANALİZİ****İlker ÖRS****Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı****Danışman: Doç. Dr. Ali KAHRAMAN
İkinci Danışman: Doç. Dr. Murat CİNİVİZ****2014, 165 Sayfa****Jüri****Prof. Dr. Can HAŞİMOĞLU****Doç. Dr. Ali KAHRAMAN****Doç. Dr. Ünal AKDAĞ****Doç. Dr. Murat CİNİVİZ****Yrd. Doç. Dr. Ali ATEŞ**

Bu çalışmada, bir dizel motorunda yakıt olarak Euro dizel (EUD)-biyodizel (aspir yağından elde edilen)-biyoetanol (şeker pancarından elde edilen) karışım yakıtlarının kullanılması ile elde edilen motor performansı, yanma analizi, enerji analizi ve egzoz emisyonları EUD yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Test sonuçlarında, performans parametreleri olarak; efektif motor torku, efektif motor gücü ve efektif özgül yakıt tüketimi değerleri incelenmiştir. Karışım yakıtlarından elde edilen efektif motor torku ve efektif motor gücü değerleri EUD yakıtına göre ortalama %21.61 oranına kadar daha düşük, efektif özgül yakıt tüketimi değeri ortalama %30.57 oranına kadar daha yüksektir. Karışım yakıtlarının yanma analizi sonuçları EUD yakıtının ki ile benzerlik göstermiştir. Yüksek biyoetanol içeren karışımların CO emisyonu EUD yakıtına göre ortalama %80.38 oranına kadar artmış, düşük biyoetanol içeren yakıtlar için CO emisyonu %37.59 oranına kadar azalmıştır. Biyodizel kullanımı ile EUD yakıtına göre, CO₂ emisyonları için ortalama olarak %81.62 oranına kadar, NO emisyonları için ortalama olarak %31.29 oranına kadar artış, HC emisyonları için ortalama olarak %39.26 oranına kadar, duman koyuluğu için ortalama olarak %6.56 oranına kadar azalma görülmüştür. Biyoetanol kullanımı ile EDU yakıtına göre, CO₂ emisyonları için ortalama olarak %52.61 oranına kadar, NO emisyonları için ortalama olarak 55.86 oranına kadar, duman koyuluğu için ortalama olarak %17.25 oranına kadar azalma, HC emisyonu için ortalama olarak %91.73 oranına kadar artış görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Aspir yağı biyodizeli, biyoetanol, egzoz emisyonları, motor performansı, yanma karakteristiği

ABSTRACT**Ph.D THESIS****PERFORMANCE, COMBUSTION AND EMISSION ANALYSIS OF A DIESEL
ENGINE USING BIOFUEL****İlker ÖRS****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE DOCTOR OF AUTOMOTIVE
IN MECHANICAL EDUCATION****Advisor: Associate Professor Dr. Ali KAHRAMAN
Second Advisor: Associate Professor Dr. Murat CİNİVİZ****2014, 165 Pages****Jury****Professor Dr. Can HAŞİMOĞLU
Associate Professor Dr. Ali KAHRAMAN
Associate Professor Dr. Ünal AKDAĞ
Associate Professor Dr. Murat CİNİVİZ
Assistant Professor Dr. Ali ATEŞ**

In this study, the experimental results obtained concerning engine performances, combustion analysis, energy balances and exhaust emissions of a diesel engine fueled with Euro diesel (EUD)–biodiesel (produced from safflower oil)–bioethanol (produced from sugar beet) blends compared with diesel fuel in laboratory tests. In the results of tests, effective engine torque (eET), effective engine power (eEP), and effective specific fuel consumption (eSFC) as performance values of test fuels were commented. Values of eET and eEP from blend fuels were lower than EUD fuel as 21.61% amount, and values of eSFC from blend fuels were higher than EUD fuel as average 30.57% amount. Results of blend fuel's combustion analysis were similarly EUD's results. CO emissions were increased as average 80.38% amount for fuels containing high bioethanol, were decreased as average 37.59% amount for fuels containing low bioethanol, according to CO emission values from EUD fuel. With using biodiesel, increased as average 81.62% amount for CO₂ emissions, as average 31.29% amount for NO emissions, , and decreased as average 39.26% amount for HC emissions as average 6.56% amount for smoke opacity according to EUD fuel. With using bioethanol, decreased as average 52.61% amount for CO₂ emissions, as average 55.86% amount for NO emissions, as average 17.25% amount for smoke opacity, and increased as average 91.73% amount for HC emissions according to EUD fuel.

Keywords: Biodiesel from safflower oil, bioethanol, combustion characteristics, engine performance, exhaust emissions.

ÖNSÖZ

Ulaşım sektörlerinden karayolu taşımacılığı insanlar için vazgeçilemez bir tercihtir. Günümüzde, karayolu taşıtlarında çoğunlukla petrol kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin yakın gelecekte tükenecek olması araştırmacıları yeni enerji kaynakları bulmaya yöneltmiştir. Ayrıca dünyada küresel ısınmanın olumsuz etkileri her geçen gün artmaya başlamıştır. Küresel ısınmaya neden olan önemli kaynaklardan birisi de kara yolu taşıtlarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenler göz önüne alındığında özellikle dizel yakıtı yerine kullanılması süregelen biyodizel oldukça gündemdedir. Birçok ülkede resmi olarak biyodizelin üretilmesine ve kullanımına başlanmıştır. Ancak biyodizelin soğuk hava şartlarında çalışma koşulları, yüksek viskozite ve azot bileşikli emisyonları göz ardı edilemez. Bu olumsuzluklar biyoetanol ilavesi ile bir miktar giderilebilmektedir.

Bu tez çalışmasında beni yönlendiren ve her türlü çalışma imkanı sunan danışmanım Doç. Dr. Ali KAHRAMAN'a ve ikinci danışmanım Doç. Dr. Murat CİNİVİZ'e, tüm destek ve yardımlarından dolayı Prof. Dr. Muammer ÖZGÖREN hocama, Dr. Özgür SOLMAZ'a, Öğr. Gör. Veli BAKIRCIOĞLU'na ve Öğr. Gör. Barış ÖZLÜ'ye, Arş. Gör. Bahar SAYIN' a, biyodizel üretimi için destek ve yardımlarından dolayı başta Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT hocama, Doç. Dr. Hidayet OĞUZ ve Arş. Gör. Seda ŞAHİN'e, deneyler sürecinde imkanlarını sunan Aksaray Üniversitesi TBMYO yönetimine, deneylerde yardımlarından dolayı sevgili öğrencilerime, doktora sürecim boyunca maddi ve manevi tüm yardımlarından dolayı aileme ve her şartta yanımda olan sevgili eşim Zümrüt ÖRS'e teşekkür ederim.

İlker ÖRS
KONYA-2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET	1
ABSTRACT.....	2
ÖNSÖZ.....	3
İÇİNDEKİLER	4
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	7
1. GİRİŞ.....	9
1.1. Dizel Yakıtı	11
1.2. Biyodizel	11
1.2.1. Biyodizel üretimi	12
1.2.2. Biyodizelin yakıt özellikleri	13
1.2.3. Dünyada biyodizelin yeri	14
1.3. Biyoetanol	15
1.3.1. Biyoetanol üretimi	16
1.3.2. Biyoetanolün yakıt özellikleri	17
1.3.3. Dünyada biyoetanolün yeri.....	17
1.4. Dizel Motorlarda Yanma	19
1.4.1. Tutuşma gecikmesi	19
1.4.2. Kontrolsüz yanma (hızlı yanma).....	19
1.4.3. Kontrollü yanma	19
1.4.4. Gecikmiş yanma	20
1.5. Dizel – Biyodizel – Biyoetanol Yakıt Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	20
1.5.1. Setan sayısı	21
1.5.2. Viskozite.....	22
1.5.3. Enerji İçeriği.....	22
1.5.4. Karışım kararlılığı.....	22
1.5.5. Yoğunluk	23
1.6. Aspir.....	23
1.6.1. Dünyada ve Türkiye’de aspir	23
1.6.2. Aspir yağı metil esteri (AYME)	24
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	26
2.1. Standart Dizel Yakıtı – Biyodizel Karışımları	26
2.2. Standart Dizel Yakıtı – Etanol/Biyoetanol Karışımları	42
2.3. Biyodizel – Etanol/Biyoetanol Karışımları.....	47
2.4. Standart Dizel Yakıtı – Biyodizel – Etanol/Biyoetanol Karışımları	50
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	54
3.1. Materyal	54
3.1.1. Test yakıtları.....	54
3.1.2. Yakıt karışımları için kullanılan ölçüm aletleri ve karıştırıcı.....	55

3.1.3. Test motoru.....	55
3.1.4. Egzoz emisyon cihazı.....	56
3.1.5. Motor test düzeneği ve dinamometre.....	57
3.1.6. Silindir basıncı ölçüm sistemi.....	60
3.2. Yöntem.....	62
3.2.1. Biyodizel Üretimi.....	62
3.2.2. Test yakıtlarının hazırlanması.....	63
3.2.3. Test düzeneğinin hazırlanması.....	64
3.2.4. Testlerin yapılışı.....	65
3.3. Testlerde Ölçülen Parametreler.....	66
3.3.1. Efektif motor torku.....	66
3.3.2. Yakıt tüketimi.....	67
3.3.3. Motor ve egzoz sıcaklıkları.....	67
3.3.4. Silindir basıncı.....	67
3.4. Testlerde Hesaplanan Parametreler.....	67
3.4.1. Ortalama indike efektif basınç.....	67
3.4.2. İndike motor gücü ve indike motor torku.....	68
3.4.3. Efektif güç.....	68
3.4.4. Efektif özgül yakıt tüketimi.....	69
3.4.5. Efektif termik verim.....	69
3.4.6. Volümetrik verim.....	70
3.4.7. Mekanik verim.....	70
3.4.8. Net ve kümülatif ısı salımı.....	70
3.4.9. Ortalama efektif basınç.....	71
3.4.10. Enerji verimi ve analizi.....	71
3.5. Egzoz Emisyonu Ölçümü.....	72
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	73
4.1. Motor Performans Parametreleri.....	73
4.1.1. Efektif ve indike motor torku.....	73
4.1.1.1 Biyodizel kullanımının efektif motor torkuna etkisi.....	73
4.1.1.2. Biyoetanol kullanımının efektif motor torkuna etkisi.....	75
4.1.1.3. İndike motor torku.....	77
4.1.2. Efektif ve indike motor gücü.....	78
4.1.2.1. Biyodizel kullanımının efektif motor gücüne etkisi.....	78
4.1.2.2. Biyoetanol kullanımının efektif motor gücüne etkisi.....	80
4.1.2.3. İndike motor gücü.....	81
4.1.3. Efektif özgül yakıt tüketimi.....	82
4.1.3.1. Biyodizel kullanımının efektif özgül yakıt tüketimine etkisi.....	82
4.1.3.2. Biyoetanol kullanımının efektif özgül yakıt tüketimine etkisi.....	83
4.1.4. Ortalama indike efektif basınç ve ortalama efektif basınç.....	85
4.2. Yanma Analizi.....	86
4.2.1. Silindir basıncı.....	86
4.2.1.1. Biyodizel kullanımının silindir basıncına etkisi.....	86
4.2.1.2. Biyoetanol kullanımının silindir basıncına etkisi.....	89
4.2.2. Isı salımı ve ısı salımı oranı.....	93
4.2.2.1. Biyodizel kullanımının ısı salımına etkisi.....	94
4.2.2.2. Biyoetanol kullanımının ısı salımına etkisi.....	98
4.2.2.3. Biyodizel kullanımının ısı salımı oranına etkisi.....	105

4.2.2.4. Biyoetanol kullanımının ısı salımı oranına etkisi	109
4.2.3. Tutuşma gecikmesi ve yanma süresi.....	116
4.3. Motor Verimleri.....	118
4.3.1. Efektif termik verim.....	118
4.3.1.1. Biyodizel kullanımının efektif termik verime etkisi.....	118
4.3.1.2. Biyoetanol kullanımının efektif termik verime etkisi	120
4.3.2. Volümetrik verim.....	122
4.3.2.1. Biyodizel kullanımının volümetrik verime etkisi	122
4.3.2.2. Biyoetanol kullanımının volümetrik verime etkisi	123
4.3.3. Mekanik verim.....	124
4.4. Egzoz Emisyon Verileri	125
4.4.1. Egzoz gazı sıcaklığı	125
4.4.1.1. Biyodizel kullanımının egzoz gazı sıcaklığına etki	125
4.4.1.2. Biyoetanol kullanımının egzoz gazı sıcaklığına etkisi.....	127
4.4.2. Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)	128
4.4.2.1. Biyodizel kullanımın HFK'na etkisi.....	128
4.4.2.2. Biyoetanol kullanımının HFK'na etkisi	129
4.4.3. CO emisyonu	130
4.4.3.1. Biyodizel kullanımın CO emisyonuna etkisi.....	130
4.4.3.2. Biyoetanol kullanımının CO emisyonuna etkisi.....	131
4.4.4. CO ₂ emisyonu	132
4.4.4.1. Biyodizel kullanımın CO ₂ emisyonuna etkisi.....	133
4.4.4.2. Biyoetanol kullanımının CO ₂ emisyonuna etkisi.....	134
4.4.5. HC emisyonu	135
4.4.5.1. Biyodizel kullanımın HC emisyonuna etkisi.....	135
4.4.5.2. Biyoetanol kullanımının HC emisyonuna etkisi.....	137
4.4.6. NO emisyonu	138
4.4.6.1. Biyodizel kullanımın NO emisyonlarına etkisi	138
4.4.6.2. Biyoetanol kullanımının NO emisyonuna etkisi.....	139
4.4.7. Duman koyuluğu.....	141
4.4.7.1. Biyodizel kullanımın duman koyuluğuna etkisi	141
4.4.7.2. Biyoetanol kullanımın duman koyuluğuna etkisi	142
4.5. Enerji Analizi	143
4.6. Belirsizlik Analizi.....	145
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	147
5.1. Motor Performansı Sonuçları.....	147
5.2. Yanma Analizi Sonuçları	147
5.3. Motor Verimleri Sonuçları.....	148
5.4. Egzoz Emisyonu Sonuçları	148
5.5. Enerji Analizi Sonuçları.....	148
KAYNAKLAR	151

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

b_e	:	Özgül yakıt tüketimi, (gr/kWh)
f	:	Çevrim katsayısı
F	:	Kuvvet, (N)
h	:	Özgül entalpi, (kJ/kgK)
HC	:	Hidrokarbon, (ppm)
H_u	:	Alt ısı değer, (MJ/kg)
L	:	Mesafe, (m)
\dot{m}	:	Kütleli debi, (kg/h)
M_e	:	Efektif tork, (Nm)
m/m	:	Kütleli oran
ms	:	Milisaneye
n	:	Motor devri, (d/d)
P_e	:	Efektif güç, (kW)
P_i	:	İndike basınç, (bar)
PM	:	Partikül madde, (%)
P_{imep}	:	Ortalama indike basınç, (bar)
P_{mep}	:	Ortalama efektif basınç, (bar)
Q	:	Isı, (kJ)
T_{eg}	:	Egzoz gazı sıcaklığı, (K)
V_h	:	Kurs hacmi, (m ³)
v/v	:	Hacimsel oran
W	:	Net güç, (kW)
Z	:	Silindir sayısı
γ	:	Özgül ısılar oranı
λ	:	Lambda, HFK
θ	:	Krank açısı
η	:	Verim
ρ	:	Yoğunluk, (kg/m ³)
ω	:	Açısal hız, (rad/s)

Kısaltmalar

AÖN	:	Alt ölü nokta
BD	:	Biyodizel
BE	:	Biyoetanol
EGR	:	Egzoz gaz resürkilasyonu
EMG	:	Efektif motor gücü
EMT	:	Efektif motor torku
EÖYT	:	Efektif özgül yakıt tüketimi
ET	:	Etanol
EUD	:	Euro dizel
HFK	:	Hava fazlalık katsayısı
İMG	:	İndike motor gücü
İMT	:	İndike motor torku
KIS	:	Kümülatif ısı salımı
KISO	:	Kümülatif ısı salımı oranı
KMA	:	Krank mili açısı
NIS	:	Net ısı salımı
NISO	:	Net ısı salımı oranı
ÖYT	:	Özgül yakıt tüketimi
PB	:	Püskürtme başlangıcı
SDY	:	Standart dizel yakıtı
SFTN	:	Soğukta filtre tıkama noktası
TG	:	Tutuşma gecikmesi
ÜÖN	:	Üst ölü nokta
YB	:	Yanma başlangıcı
YS	:	Yanma süresi

1. GİRİŞ

Toplumların gerek temel ihtiyaçlarını karşılamada gerekse refah seviyelerini artırmada enerjinin vazgeçilmez bir rolü vardır. Dünya nüfusunun artması ile birlikte mevcut enerji kaynaklarının gelişen endüstriyel faaliyetlere yetmeyeceği görülmektedir. Global enerji talebi artan nüfus ve ekonomik büyümeye paralel olarak gelecek 30 yıl içinde artacaktır. Mevcut enerji senaryolarına göre 2002-2030 arasında enerji talebinin her yıl % 1.7 artacağı varsayılmaktadır (Balcı, 2005).

Birincil enerji kaynakları arasında stratejik konuma sahip olan ham petrol 2012 yılı başı itibari ile dünya enerji talebinin %33.1'ini karşılamıştır. 2011 yılında 88.9 milyon varil/galon (v/g) olan petrol tüketimi 2012 yılında 0.9 milyon v/g artmış ve 89.8 milyon v/g olarak gerçekleşmiştir.

Dünya petrol rezerv miktarında 2011 yılına oranla %7.7'lik bir artış gerçekleşmiş, aynı oranda artmayan petrol üretiminin de etkisi ile 2011 yılında 44.8 yıl olan dünya petrol rezerv ömrü 2012 yılında 48.8 yıla yükselmiştir (TPAOGM, 2013).

Ham petrolün kullanım alanı sınırlı olduğu için işlenmesi gerekmektedir. Ham petrolün işlenmesi ile başlıca; benzin, fuel oil, motorin (dizel yakıtı), sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve jet yakıtı gibi ürünler elde edilir. Elde edilen bu ürünler, ulaşım endüstrisinde, ısınmada ve sanayi endüstrisinde kullanılmaktadır.

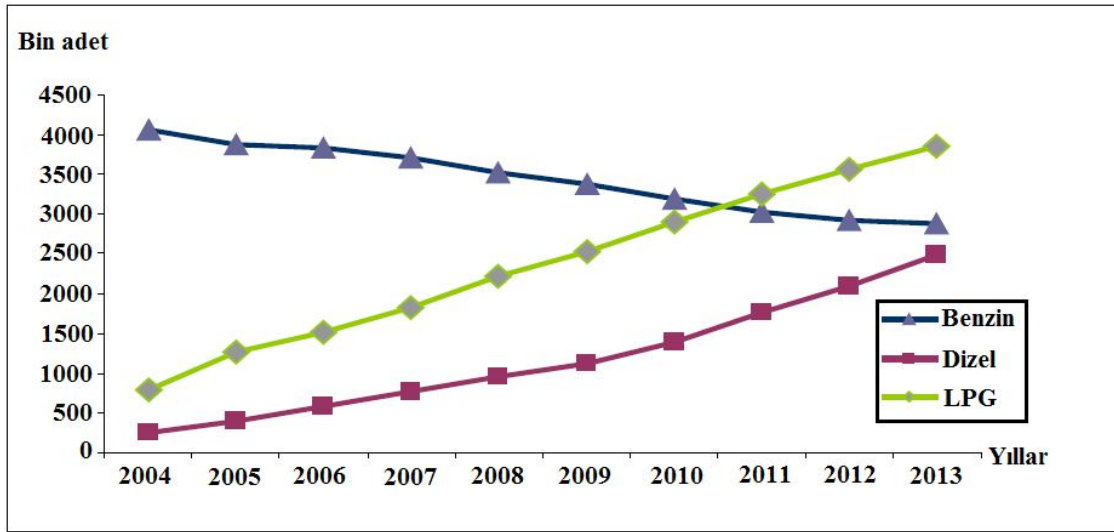
Gerek Türkiye'de gerekse diğer Avrupa ülkelerinde son 10 yılda motorlu kara taşıtı sayısı artmıştır. Ülkemizde, son 10 yılda yakıt cinsine göre değişen taşıt sayısının grafiği Şekil 1.1.'de gösterilmiştir.

Grafikten de anlaşılacağı üzere, benzinli otomobillerin payı %75.2'den %31.1'e düşerken LPG'li otomobillerin payı %14.7'den, %41.5'e, dizel otomobillerin payı ise %4.77'den %26.9'a yükselmiştir (TÜİK, 2014).

Dizel motorlu taşıtlara olan bu artışın nedenleri, karayolu yük taşımacılığında kullanılan araçlara talebin artmasının yanı sıra dizel motorun sağladığı yüksek tork, dayanıklılık ve yakıt ekonomisi sayesinde kara yolu ve demiryolu taşımacılığında, ziraat endüstrisinde, askeri yapılanmada, imalat endüstrisinde, madencilikte, denizcilikte ve elektrik üretim sektöründe tercih edilmeleridir (Maron-Villarreyes ve ark., 2007; TÜİK, 2014).

Motorlu taşıtlarda enerji kaynağı olarak petrol kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Motorlu taşıtların toplam hava kirliliğine yaklaşık olarak, %80 CO, %60 NO_x ve %50 HC emisyonları etkisi vardır (Doğan, 2009). Tüm avantajlarına rağmen dizel motorları

da, petrol kökenli yakıt kullanmalarının da etkisi ile atmosfere yüksek oranlarda is, azot oksit bileşikleri (NO_x), karbon dioksit (CO₂) ve kükürt dioksit (SO₂) gibi zararlı egzoz gazları salınımı yapmaktadır (Ejder, 2007; Demir, 2009; Su ve ark., 2013; Zhu ve ark., 2013a; Zhu ve ark., 2013b). Bu nedenle, taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonları için Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) tarafından getirilen Euro Normları hükümetler tarafından kabul edilmiş ve üretici firmaların Çizelge 1.1.'de sunulan standartlara uyması zorunlu kılınmıştır.



Şekil 1.1. Yakıt cinsine göre otomobil sayısı, 2004-2013 (TÜİK, 2014)

Ortaya konulan bu sonuçlara göre, petrol rezervlerinin sınırlı oluşu, yaşanan kriz ve fiyat artışları, hava kirliliğinde taşıt kaynaklı artışlar nedeni ile ülkeler, daha düşük kirlenici gaz emisyonuna sahip, daha iyi motor performansı ve yakıt ekonomisi sağlayan, maliyeti düşük, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışına girmişlerdir.

Çizelge 1.1. Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) tarafından getirilen Dizel Euro Normları

NORMLAR	YOY	CO		HC		NO _x		HC+NO _x		PM	
		HT	AT	HT	AT	HT	AT	HT	AT	HT	AT
EURO 5	2010	0.63	0.74	0.13	0.16	0.235	0.280	0.295	0.350	0.005	0.005
EURO 6	2015	0.63	0.74	0.13	0.16	0.105	0.125	0.195	0.215	0.005	0.005

YOY: Yürürlükte olacağı yıl; HT: Hafif taşıt; AT: Ağır taşıt
CO: Karbon monoksit; HC: Hidrokarbon; PM: Partikül Madde

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak, güneş, rüzgar, jeotermal, nükleer, hidrolik, dalga, hidrojen ve biyokütle teknolojileri gösterilmektedir. Enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtların giderek azalıp tükenme aşamasına geldiği

noktada çok daha fazla önem kazanacaktır. Genel olarak yenilenebilir enerji kaynakları, dünya üzerinde fosil yakıtlardan veya uranyumdan çok daha geniş bir coğrafyaya yayılmış durumdadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları yöresel, bölgesel veya ulusal enerji üretiminin kendi kendine yetebilirliğini artırmakta, fosil yakıtlar kadar çevreyi kirletmemekte ve nükleer enerji gibi de risk taşımamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyokütle, diğer kaynaklar arasında önemli bir yere sahiptir (Balcı, 2005).

Biyokütle terimi çok geniş anlamda yaşayan organizmalardan üretilen madde anlamına gelir. 21. yüzyılda biyokütlenin modern kullanımı ise enerji yoğunluğunun artırılarak yakıtı çevrilmesini içerir. Genel olarak biyokütlenin modern enerji formları katı (ağaç, pellet vb.), sıvı (etanol, biyodizel vb.) ve gaz (biyogaz, hidrojen vb.) olarak gruplandırılabilir. Mevcut hammadde, termal, biyolojik ve fiziksel proseslerle hidrojen, etanol, metanol, biyodizel veya metan gibi çeşitli enerji kaynaklarına çok çeşitli biyokütle teknolojisi teknikleri ile dönüştürülebilir (Üçgül ve Akgül, 2010).

1.1. Dizel Yakıtı

Günümüzde genel olarak dizel motorlarda Çizelge 1.2.'de sunulan özelliklere sahip dizel yakıtı kullanılmaktadır. Belirtilen özellikler 2005 yılı Eylül ayında Resmi gazetede yayınlanan Türk Standartları Enstitüsüne ait TS 3082 EN 590 nolu standartlardır.

1.2. Biyodizel

Biyodizel, biyokütle teknolojisi kullanılarak elde edilen sıvı enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Biyodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerika Ulusal Soy Dizel Geliştirme Kuruluşu tarafından telaffuz edilmiştir (Ejder, 2007). Biyodizel, hayvansal veya bitkisel yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen alternatif bir dizel yakıtıdır. Kimyasal olarak ise, uzun zincirli yağ asidi mono alkil esteri olarak tanımlanabilir (Alptekin ve Çanakçı, 2006). Biyodizel, gıda olarak kullanılan ve kullanılmayan birçok hammaddenin yağından elde edilebilir. Özellikle soya, pamuk tohumu, palm, fıstık, fındık, ayçiçeği, aspir, kolza/kanola, kakao tohumu, susam, keten tohumu ve mısır (Knothe, 2005; Aktaş ve Sekmen, 2007; Şahin, 2013) gibi gıda olarak yaygın kullanılan yağların yanı sıra moringa, jatropha (Hint fıstığı), tamanu, tall yağı,

deniz altı bitkileri (Keskin ve ark., 2007; Fattah ve ark., 2014; Imtenan ve ark., 2014; Mofijur ve ark., 2014; Ong ve ark., 2014) gibi gıda olarak kullanılmayan yağlar, artık kızartma yağları ve hayvansal yağlar da biyodizel üretiminde kullanılmaktadır.

Çizelge 1.2. TS 3082 EN 590 dizel yakıtı standartları

ÖZELLİK	BİRİM	SINIRLAR		DENEY YÖNTEMİ
		EN AZ	EN ÇOK	
Setan Sayısı		51	-	EN ISO 5165
Setan indisi		46	-	EN ISO 4264
Yoğunluk, 15°C'de	kg/m ³	820	845	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	% (m/m)	-	11	EN 12916
Kükürt	mg/kg	-	10	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Parlama noktası	°C	55	-	EN 22719
Karbon kalıntısı, %10 damıtma kalıntısında	% (m/m)	-	0.30	EN ISO 10370
Kül	% (m/m)	-	0,01	EN ISO 6245
Su	mg/kg	-	200	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır şerit korozyonu, 50°C'de 3 saat	derece		1	EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı	g/m ³	-	25	EN ISO 12205
Yağlama özelliği, düzeltilmiş aşınma izi çapı(wsd 1.4), 60 °C'ta	µm	-	460	EN ISO 12156-1
Viskozite, 40 °C'ta	mm ² /s	2.00	4.50	EN ISO 3104
Damıtma				
250 °C'ta elde edilen	% (v/v)	-	<65	EN ISO 3405
350 °C'ta elde edilen	% (v/v)	85	-	
%95'in (v/v) elde edildiği sıcaklık	°C	-	360	
Yağ asidi metil esterleri (YAME)	% (v/v)	-	5	EN 14078

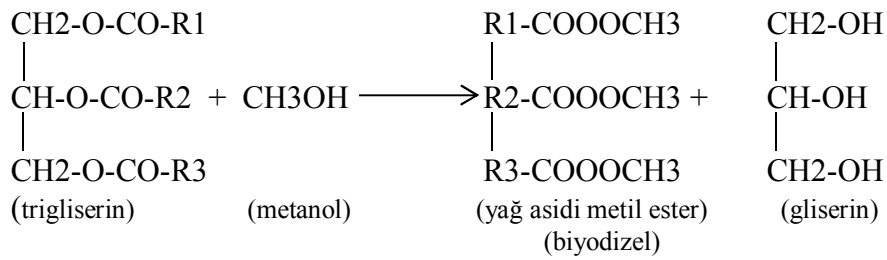
Biyodizel, yapısında oksijen bulunduran, sülfür içermeyen, zehirleyici etkisi olmayan, doğada bozunabilir ve yenilenebilir bir alternatif dizel motor yakıtıdır. Dizel yakıtına göre daha az karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve is emisyonu yaydıkları bilinmektedir. Dizel motorlarında herhangi bir ayar ve değişiklik yapılmadan kullanılabilir. Biyodizelin yapısında sülfür bulunmamaktadır. Yakıtların içinde bulunan sülfür yanma sonucu havadaki nem ile birleşerek asit yağmurlarına sebep olur. Biyodizelin içinde sülfür bulunmaması çevreci bir yakıt olduğunu göstermektedir (Alptekin ve Çanakçı, 2006; Aktaş ve Sekmen, 2007; Uyumaz, 2009).

1.2.1. Biyodizel üretimi

Ham yağların dizel motorlarında sorunsuz olarak kullanılabilmesi için yüksek viskozite değerleri dört farklı yöntem ile düşürülebilir. Bu yöntemler, petrol dizeli ile karıştırma, piroliz (oksijensiz ortamda ısıtma), mikro emülsiyon karışımı hazırlama

(yardımcı çözücü ile) ve transesterifikasyondur (Gerpen ve Knothe 2005). Transesterifikasyon; dizel yakıtının molekül özelliklerine benzer bitkisel ve hayvansal yağların, trigliserid olarak adlandırılan moleküllerini, kısa düz zincire dönüştürüp, yağ asitlerini, gliserolden ayırarak yoğunluk ve viskoziteyi düşüren, kimyasal esterleştirme prosesinin adıdır (Demir, 2009).

Ester transferi, bir trigliseridin küçük molekül ağırlıklı bir alkolle katalizör yardımı ile gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) sayesinde ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşmektedir. Şekil 1.2.'de bitkisel yağın kimyasal olarak transesterifikasyonu gösterilmiştir (Ulusoy ve Alibaş, 2002; Altun ve Gür, 2005; Gerpen ve Knothe 2005; Yücel, 2008; Uyumaz, 2009).



Şekil 1.2. Bitkisel yağın transesterifikasyon reaksiyonu. R1,2,3:değişik yağ asidi zincirleri

1.2.2. Biyodizelin yakıt özellikleri

Biyodizel için Çizelge 1.3.'de belirlenen TS EN 14214 standardı kullanılmaktadır. Biyodizel için yoğunluk ve viskozite değerleri dizel motorlarında kullanımı açısından oldukça önemlidir. Transesterifikasyon sonrası yoğunluğun standartlardan yüksek çıkması gliserinin biyodizel içerisinden tam olarak ayrıştırılmadığı anlamına gelir. Viskozitenin yüksek olması ester içeriğinin düşük olduğunu gösterir. Ester muhtevasının düşük olması esterleşme sürecinin tam gerçekleşmediğini gösterir.

Biyodizelin genel olarak kükürt içermemesi ve oksijen içermesi, ağırlıkça %10-11 (Aktaş ve Sekmen, 2007; Demir, 2009; Zhu ve ark., 2011; Lesnik ve ark., 2014), dizel yakıtına nispeten daha az zararlı egzoz gazı oluşumuna neden olur. Bunun yanında biyodizelin setan sayısının yüksek olması da, özellikle dizel yakıtı ile karışımlarda,

silindir içi yanma prosesini bir miktar iyileştirir (Uyumaz, 2009; Randazzo ve Sodre, 2011; Imtenana ve ark., 2014).

Çizelge 1.3. TS EN 14214 biyodizel yakıt standardı

ÖZELLİK	BİRİM	SINIRLAR		DENEY YÖNTEMİ
		EN AZ	EN ÇOK	
Ester içeriği	% (m/m)	96.5	-	EN 14103
Yoğunluk, 15°C'de	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675
Viskozite, 40 °C'ta	mm ² /s	3.5	5.00	EN ISO 12185
Parlama noktası	°C	101	-	EN ISO 3104
Kükürt	mg/kg	-	10	EN ISO 2719
Karbon kalıntısı, %10 damıtma kalıntısında	% (m/m)	-	0.3	EN ISO 3679
Setan Sayısı		51	-	EN ISO 20846
Sülfatlaşmış kül içeriği	% (m/m)	-	0.02	EN ISO 20884
Su	mg/kg	-	500	EN ISO 10370
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN ISO 5165
Bakır şerit korozyonu, 50°C'de 3 saat	derece		1	ISO 3987
Oksitlenme kararlılığı, 110 °C'de	h	6	-	EN ISO 12937
Asit sayısı	mgKOH/g	-	0.5	EN 12662
İyot sayısı	gr iyot/100g	-	120	EN ISO 2160
Linolenik asit metil ester	% (m/m)	-	12	prEN 15751
Çoklu doymamış metil ester	% (m/m)	-	1	EN 14112
Metanol içeriği	% (m/m)	-	0.2	EN 14104
Monogliserit içeriği	% (m/m)	-	0.8	EN 14111
Diğliserit içeriği	% (m/m)	-	0.2	EN 14103
Trigliserit içeriği	% (m/m)	-	0.2	EN 14103
Serbest gliserol	% (m/m)	-	0.02	EN 14105
Toplam glisrol	% (m/m)	-	0,25	EN 14106
Gup I Metaller (Na+K)	mg/kg	-	5	EN 14105
				EN 14108
				EN 14109
				EN 14538
Grup II metaller (Ca+Mg)	mg/kg	-	5	EN 14538
Fosfor içeriği	mg/kg	-	4	EN 14107

1.2.3. Dünyada biyodizelin yeri

Biyodizel gelecekte dizel yakıtının yerini alabilecek, yenilenebilir, toksin etkisi olmayan, doğada kolay bozunabilir bir yakıttır (Alptekin ve Çanakçı, 2006). Son yıllarda, biyodizelin dizel motorlarında sorunsuzca kullanılabilmesi amacı ile üretimi ve çalışma parametreleri optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalar hız kazanmış ve birçok ülkenin hükümetleri de biyodizelin yasal olarak üretimini ve kullanımını destekleme kararı almıştır.

2010 yılı verilerine göre dünyada 21 milyar litre biyodizel üretilmiştir. 2011 yılında ise 22.1 milyar litre biyodizel üretilmiştir. En fazla biyodizel üreten ülkeler Avrupa Birliği (AB) ülkeleridir. Almanya, İspanya, Fransa ve İtalya en büyük üretici ülkelerdir. 38 ülkede biyodizel üretimine destek verilmektedir. AB ülkelerinde biyodizel üretiminde ana ham madde olarak genelde kanola yağı kullanılmaktadır. Ancak 2016'dan sonra AB'de biyodizel, soya ve palm yağından üretilecek, kanoladan vazgeçilecektir. AB ülkelerinde, biyoyakıt üretimi ve kullanımı için başta vergi ve yardım teşviki olmak üzere birçok destek ve yasal zorunluluklar bulunmaktadır (DEKTMK raporu, 2012).

ABD'de biyodizel standardı ülkede en çok yetişen soya yağına uygun ASTM-6751 standardıdır. %5 biyodizel harmanlanmış benzin (B5) ülke genelinde kullanılmakla birlikte, çiftçilere vergiden muaf saf biyodizel, boyanarak verilmektedir. B20 ve daha fazla karışım oranında motorin satan istasyonların sayısı Ağustos 2012 tarihi itibari ile 285'dir (DEKTMK raporu, 2012).

Ülkemizde de biyodizel çok soğuk bölgelerimizin dışında dizelin kullanıldığı her alanda kullanılabilir bir yakıttır. Ulaştırma sektöründe dizel yakıtı yerine kullanıldığı gibi konut ve sanayi sektörlerinde de fuel oil yerine kullanılabilir (Ölçüm, 2006).

Türkiye'de 2012 yılı itibari ile 34 adet biyodizel üretimi için işletme Lisansı almış tesis bulunmaktadır. Bu tesislerin toplam biyodizel üretim kapasitelerinin 561.217 ton olduğu Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından bildirilmiştir. EPDK, yapmış olduğu düzenleme ile piyasaya akaryakıt olarak arz edilen motorin türlerinin, yerli tarım ürünlerinden üretilmiş yağ asidi metil esteri (YAME) içeriğini; 1/1/2014 tarihi itibariyle en az %1 (v/v), 1/1/2015 tarihi itibariyle en az %2 (v/v) ve 1/1/2016 tarihi itibariyle en az %3 (v/v) olmasını zorunlu kılmıştır.

1.3. Biyoetanol

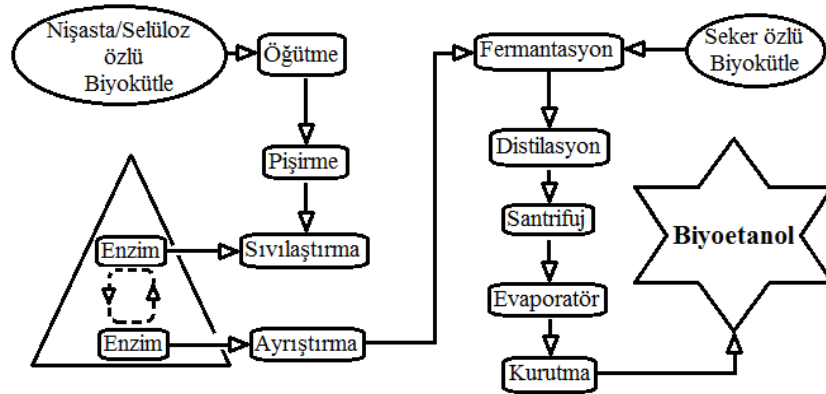
Kimyasal olarak etanol ve biyoetanol aynı moleküldür. Bu iki farklı terim literatürde sadece üretim yollarını göstermek için verilmiştir. Etanol petrokimyasal, biyoetanol ise biyolojik kaynaklardan mayalanma yolu ile üretilen etanole verilen değişik isimlerdir. Endüstriyel amaçlı etanol, petrol ürünlerinden, çoğunlukla etilenin, sülfürik asitle katalitik hidrasyonundan elde edilmektedir. Bu proses, geleneksel fermantasyon yönteminden daha ekonomiktir. Aynı zamanda, eten ya da asetilen

aracılığıyla, kalsiyum karbit, kömür, doğalgaz ve diğer kaynaklardan da elde edilebilir (Melikoğlu ve Albostan, 2011; Özdemir, 2011).

Biyoeanol, şeker kamışı, şeker pancarı, Gine mısırı, dallı darı, arpa, kenevir, Hibiscus cannabinus, (tatlı) patates, manyok, ayçiçeği, meyveler, melas, kesik süt, mısır, mısır koçanı, hububat, buğday, tahta, kâğıt, saman, pamuk, diğer biyokatılar ile çeşitli selüloz atıkları gibi pek çok farklı besin kaynağından elde edilebilir (Aakko ve Nylund, 2004; Ejder, 2007; Kiss, 2010).

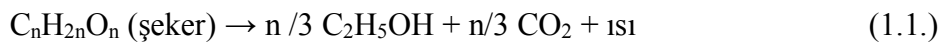
1.3.1. Biyoeanol üretimi

Eanol üretiminin temel adımları: rafine ederek nişasta haline getirmek, sıvılaştırmak ve sakarifikasyon (hidroliz yöntemi ile nişasta glikoza dönüşür), fermantasyon, damıtma, dehidrasyon ve opsiyonel olarak denaturasyondur. Bütün hidrokarbonlar Şekil 1.3.'de şematik olarak da gösterilmiş olan fermantasyon yolu ile etanola dönüşebilir. Bu dönüşüm, seker için basit ve kolaydır. Nişasta için ise kısmen zordur. Ayrıca dönüşüm selülozda biraz daha zorlaşmaktadır. (Uslu, 2006; Ejder, 2007; Meral ve Kanberoğlu, 2012).



Şekil 1.3. Değişik hammaddelerden biyoeanol üretiminin süreç diyagramı

Biyoeanol hammaddesi olarak kullanılacak olan biyokütle içindeki basit şekerler, Denklem 1.1.'de gösterildiği gibi tepkime yoluyla biyoeanol ve karbondioksite dönüştürülür.



Biyoeanol üretimi için kullanılan biyokütlenin çeşidine göre üretilen biyoeanolun maliyet ve miktarı değişir. Örnek olarak 12 kg şeker kamışından 1 L etanol üretilir. Bu hesaplamada şeker kamışının fermantasyon sürecine hazır hale gelebilmesi için maliyet hesabına katılması gereken faktörler; herbisitler, işgücü, kullanılan makine, elektrik ve sudur (Adıgüzel, 2011).

1.3.2. Biyoeanolun yakıt özellikleri

Biyoeanol için Çizelge 1.4.'de belirlenen TS EN 15376 standardı kullanılmaktadır. Etanol su ile her oranda karışabilir. Etanolün bileşiminde yandığı zaman hiçbir kalori değeri olmayan yaklaşık % 34 oranında oksijen vardır. Bu nedenle etanolün kalorisi düşüktür (6960 kcal/kg). Etanol 78.3°C'de kaynar. Bir kilogram etanolün tamamen yanabilmesi için 7 m³ havaya ihtiyaç bulunmaktadır. İçerisinde hiç su bulunmayan saf etanolün (% 99.5) yoğunluğu 15°C'de 794.2 kg/m³'tür. Su miktarı arttıkça yoğunluğu artmaktadır (Uslu, 2006).

Çizelge 1.4. TS EN 15376 yakıt etanolü standardı

ÖZELLİK	BİRİM	SINIRLAR		DENEY YÖNTEMİ
		EN AZ	EN ÇOK	
Etanol içeriği, yüksek molekül kütleli doymuş alkoller	% (m/m)	98.7	-	EN15721
Yüksek molekül kütleli (C3-C5) doymuş monoalkol içeriği	% (m/m)	-	2	EN15721
Metanol içeriği	% (m/m)	-	1	EN15721
Su İçeriği	% (m/m)	-	0.3	EN15692
Toplam Asitlik (asetik asit cinsi)	% (m/m)	-	0.7	EN15491
Elektrik İletkenliği	uS/cm	-	0.25	EN15938
Görünüm		Berrak ve parlak		EN15769
İnorganik Klorür İçeriği	mg/kg	-	6	EN15484
Sülfat	mg/kg	-	4	prEN15492
Bakır İçeriği	mg/kg	-	0.1	EN15488
Fosfor İçeriği	mg/L	-	0.15	EN15487
Uçucu Olmayan Bileşenler İçeriği	mg/100ml	-	10	EN15691
				EN15485
Sülfür İçeriği	mg/kg	-	10	EN15486
				EN15837

1.3.3. Dünyada biyoeanolun yeri

Dünyada en çok üretilen sıvı biyoyakıt biyoeanoldür. Üretilen her 6 birim sıvı biyoyakıttan 5 birimi biyoeanoldür. Etanol, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en

hızlı yaygınlaşan alternatif yakıttır. Bunun en önemli nedeni daha düşük çevre etkisine ve daha yüksek ekonomik değere sahip olmasıdır. Daha geniş zirai alanlara sahip olan ülkelerde etanolün motorlarda kullanımı daha yaygındır. Günümüzde, biyoetanol üretimi 52 ülkede destek görmektedir. ABD dünyadaki en büyük etanol yakıtı üreticisi ve tüketicisidir. ABD’de benzine hacimce %80 oranında karıştırılan ve E80 yakıtı olarak adlandırılan etanol, zirai amaçlı olarak taşıtlarda yıllardır kullanılmaktadır. Bunun yanında, 2011 yılında 29 eyalette faaliyet gösteren 209 tesiste 52.54 milyar L biyoetanol üretilmiş olmasına rağmen ülke genelinde üretim kapasitesi 56.3 milyar L olarak kaydedilmiştir. Nisan 2012 itibari ile ülkede 2.931 adet E85 yakıt istasyonu bulunmaktadır. Brezilya’da 1930’lu yıllardan bu yana biyoetanol otomobil yakıtı olarak kullanılmaktadır. Brezilya ürettiği biyoetanolün yaklaşık 1/3’ünü ABD’ye ihraç etmektedir. Japonya ve AB ülkeleri de Brezilya’dan biyoetanol ithal eden ülkeler arasındadır. Brezilya’da yaklaşık 35 bin E85 yakıt istasyonu bulunmaktadır. Biyoetanol üretiminde son yıllarda söz sahibi olmaya başlayan AB’de üretim şeker pancarı ve tahıllardan yapılmaktadır. Birçok ülkede, biyoetanol için başta vergi ve yardım teşviki olmak üzere birçok destek ve yasal zorunluluklar bulunmaktadır (DEKTMK raporu, 2012). Brezilyada benzine etanol harmanlanması %20-25 zorunlu iken ABD’de 10 eyalette, Avustralya’da, Çin’in büyük bir bölümünde %10 zorunlu, Arjantin’de, Kanada’da ve Hindistan’da %5 zorunludur. AB ülkeleri haricinde kalan birçok ülkede de %5-10 arası zorunluluk vardır. AB ülkelerinde ise Avusturya’da %10, Finlandiya’da %5-10, İsveç’te %5, İrlanda ve Romanya’da %4 zorunludur. Almanya ve Fransa gibi önemli ülkelerde ise %5-10 oranında yasal olarak katılmaktadır (Erkal, 2010; Çağlayan ve ark., 2012; DEKTMK raporu, 2012).

Ülkemizde, biyoetanol sektöründe mevcut durumda 3 üretim tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin en büyüğü, hammadde olarak şeker pancarı ve şeker prosesinin artığı olan melas kullanan ve Türkiye biyoetanol üretiminin %56’sını da karşılayan Konya Şeker Tic. ve San. A.Ş.’dir. Diğer 2 tesisler ise Bursa (Kemalpaşa) ve Adana’da kurulu olup hammadde olarak mısır ve buğday kullanılmaktadır. Türkiye’de Kurulu biyoetanol üretim kapasitesi 149.5 milyon litredir (DEKTMK raporu, 2012).

EPDK kararına göre piyasaya akaryakıt olarak arz edilen benzin türlerine, 1 Ocak 2013 tarihinden itibaren %2, 1 Ocak 2014 tarihi itibariyle de en az %3 oranında yerli tarım ürünlerinden üretilmiş yakıt etanolü (biyoetanol) ilave edilmesi zorunluluğu girmiştir. Ülkemizde biyodizelde olduğu gibi biyoetanolde de yerli hammadde ile üretilen biyoetanolün %2’lik kısmı ÖTV’den muafır.

1.4. Dizel Motorlarda Yanma

Dizel motorlarında yanma; sıkıştırma zamanı sonuna doğru silindire emme zamanında alınan havanın sıcaklığı yaklaşık olarak 600–900 °C yükseltilmesiyle, sıcaklığı ve basıncı yükselen havanın üzerine enjektör tarafından yakıtın basınçlı olarak püskürtülmesi sonucu gerçekleşir. Yanma olayı; tutuşma gecikmesi, kontrolsüz yanma (hızlı yanma), kontrollü yanma ve gecikmiş yanma olmak üzere dört aşamada gerçekleşir (MEGEP, 2006). Şekil 1.4.'de dizel motorlarında oluşan yanma safhaları grafiksel olarak gösterilmiştir.

1.4.1. Tutuşma gecikmesi

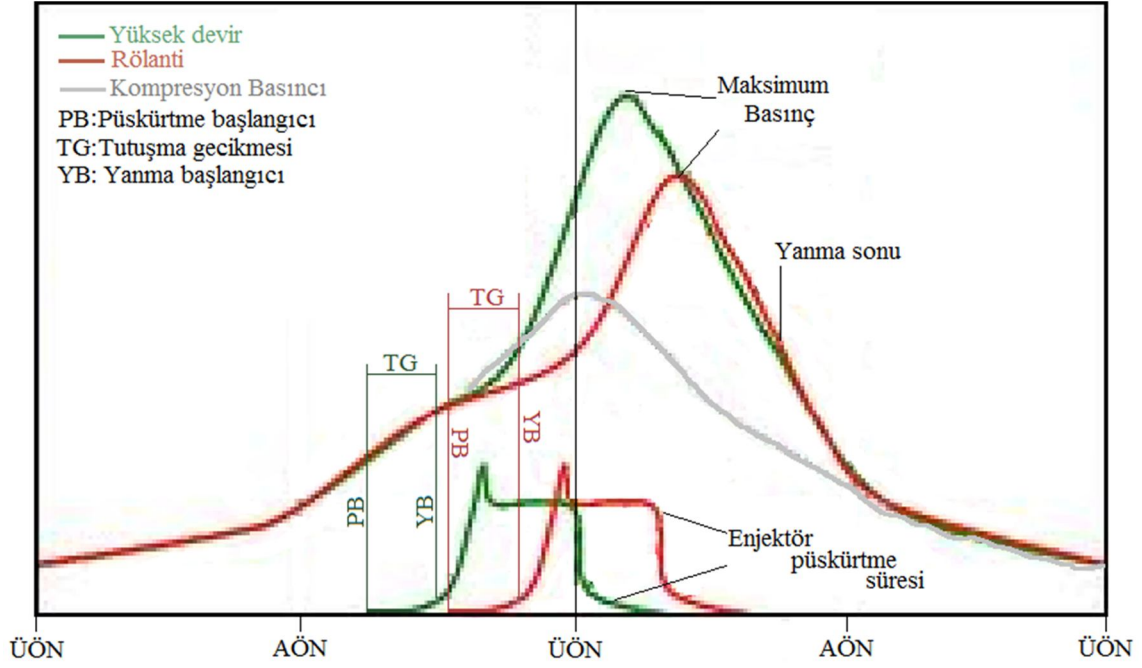
Sıkıştırma sonunda silindire püskürtülen yakıt hemen tutuşmaz. Tutuşabilmesi için oksijenle karışması ve sıcaklığının yükselmesi gerekir. Bu nedenle, enjektörün yakıtı silindire püskürtmesinden, ilk alev çekirdeğinin meydana geldiği zamana kadar geçen süreye tutuşma gecikmesi denir.

1.4.2. Kontrolsüz yanma (hızlı yanma)

Tutuşma gecikmesi süresi içinde silindire püskürtülen yakıt ısınarak oksijenle karışır ve buharlaşır. İlk alev çekirdeği meydana geldiği anda, yakıtın hepsi birden yanmaya katılır ve hızlı bir yanma oluşur. Hızlı yanma, basıncın aniden yükselmesine ve motor parçaları arasındaki boşlukların birden alınması sonucu motorun vuruntulu ve sert çalışmasına sebep olur.

1.4.3. Kontrollü yanma

Kontrolsüz yanmanın sonunda silindir içindeki basınç ve sıcaklık enjektörden püskürtülen yakıtı doğrudan yakabilecek bir değere ulaşır bu nedenle püskürmeye devam eden yakıt hiçbir gecikme olmadan yanar. Basınç en yüksek noktaya erişinceye kadar yükselir. Geri kalan püskürme ve yanma sırasında basınç sabit kalır.



Şekil 1.4. Dizel motorları yanma diyagramı

1.4.4. Gecikmiş yanma

Yakıtın silindire püskürmesi bitmiş ve piston AÖN inmektedir. Daha önce püskürtülen ve yanma fırsatı bulamamış yakıt genişleme süresince oksijen buldukça yanar. Bu yanmaya gecikmiş yanma denir.

1.5. Dizel – Biyodizel – Biyoetanol Yakıt Özelliklerinin Karşılaştırılması

Dizel, biyodizel ve biyoetanolün yakıt özellikleri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Sonuç olarak, dizel yakıtının özelliklerinin içerisinde bulunan katkı maddeleri ve kükürt oranına göre değiştiği, biyodizel ve biyoetanolün yakıt özelliklerinin ise kullanılan hammadde ve üretim şekillerine göre değiştiği görülmektedir. Çizelge 1.5.'de farklı çalışmalarda kullanılan yakıtların ölçülmüş olan bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri sunulmuştur (Uslu, 2006; Saha, 2006; Aktaş ve Sekmen, 2007; Ejder, 2007; Demir, 2009; Uyumaz, 2009; Barabas ve ark., 2010; Zhu ve ark., 2011; Pidol ve ark., 2012; Ambarasu ve ark., 2013; Zhu ve ark., 2013b; Özener ve ark., 2014; Yılmaz ve ark., 2014). Bu yakıt özelliklerinden setan sayısı, viskozite, yoğunluk ve ısı değeri parametreleri motor performansı ve egzoz emisyonlarına direkt olarak etki eden özelliklerdir.

Çizelge 1.5. Dizel yakıtı, biyodizel ve biyoetanolan yakıt özellikleri

ÖZELLİKLER	BİRİM	DİZEL	BİYODİZEL	BİYOETANOL
Kimyasal Formülü		$C_{12}H_{26}S$	$C_{19}H_{35.2}O_2$	C_2H_5OH
Mol ağırlığı	kg/kmol	170-198/195.5	291	46.07
Yoğunluk	kg/m ³ , 20°C'de kg/m ³ , 15°C'de	820/850	884/882	811.5/785/790/786
Parlama noktası	°C	68/61/55/64	120/126/176	13
Alt ısııl değeri	MJ/kg	43/44/42	37/38.7/41/37.4	27/29/36/28/
Setan sayısı		40-60/41/43	50.3/57/50/52/54/51	6
Setan indisi		51/48/52/46/53.8	57/55/54	
Gizli buhar. ısısı	kJ/kg	620/254/250	254/300	921.1/904/840
Viskozite	mPa.s, 40°C'de	1.75	4.4/	1.1
	mm ² /s, 40°C'de	2.2/2/2.3	5.5/4.5/4.3	1.2
	mm ² /s, 25°C'de	2.5/2.8		1.1
Kükürt içeriği	mg/kg	19.2/11.4/21	5/1.3	-
Toplam gliserin	%, v/v	-	0.36/0.16	-
Su içeriği	mg/kg	56.3/83	272/252/357	-
C atomu	%, m/m	85.8/87.2/85.21/ 86.7	77.9/72.8/76.97/77.1	52.1/52.14/52.2
H atomu	%, m/m	14.2/12.8/14.79/ 12.71	11.9/12.24/11.81	13.1/13.3/13
O atomu	%, m/m	-	10.2/10.79/10.97	34.7/34.76/34.8
Bakır şerit korozyon	50°C'de, 3 saat	1	1/1	-
Karbon kalıntısı	%, m/m	0.12	0.053/0.15	-
SFTN	°C	-22/-9	+5/-14/-18	-
Toplam kirlilik	mg/kg	8.7/8	19.8/10.8/17	-
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0.2/0.36	-
İyot sayısı	g iyot/100 g	-	109/115	-
Ester muhtevası	%, m/m	-	86/96.9	-
Oksidasyon kararlılığı	110°C'de saat	14	0.31/7.1	-

1.5.1. Setan sayısı

Setan sayısı, sıkıştırma ile ateşleme süreci esnasında yakıtın kendiliğinden tutuşma eğiliminin ya da tutuşma kalitesinin ölçüsüdür. Tutuşma kalitesi yanma odasına yakıtın püskürtülmesi ile yanmanın başladığı ana kadar geçen süreyle yani tutuşma gecikmesi ölçüsü ile değerlendirilir. Setan sayısının artması tutuşma gecikmesini kısaltır.

Setan sayısı yüksek yakıtlar (tutuşma gecikmesi kısa) silindir içerisine püskürtüldükten daha kısa sürede yanmaya başladıkları için güç zamanı esnasında, yakıtın tam yanması için gerekli zamana sahip olurlar. Düşük setan sayılı yakıtların tutuşma gecikmesi süreleri uzun olduğu için püskürtülen yakıtın silindir içerisinde bir süre bekleyerek birikmesine neden olabilirler. Bu durum, motor parçalarının ömrünün azalmasına, aşırı gürültüye ve düşük termal verime sebep olan dizel vuruntusunun sebep

olduğu titreşimlere ve silindir içi ani basınçlara neden olur. Setan sayısının artması, yakıt ekonomisini artırarak egzoz emisyonlarını düşürür (Bezaire ve ark., 2010).

1.5.2. Viskozite

Viskozite, akmaya karşı direnci ifade eder. Yakıtın viskozitesi, özellikle dizel motorlarda yakıt sisteminde kullanılan yüksek basınç pompası ve enjektör gibi çok hassas parçaların yağlanabilmesi için önemlidir (Hansen ve ark., 2005). Dizel motorda kullanılan yakıtların viskozitelerinin yüksek olması, yağlama özelliği açısından önemli olsa da silindir içerisine püskürtülecek olan yakıtın enjektörün ince deliklerden kolaylıkla geçebilme gerekliliği, kullanılan yakıtın viskozitesini sınırlayan etkenlerden biridir.

Düşük yakıt viskozitesi, pompa ve enjektör kaçaklarının artmasına, silindire püskürtülmesi gereken yakıt miktarının ve motor çıkış gücünün azalmasına sebep olur. Motorun çalışması esnasında, yakıt sisteminde geri dönüş hattı ile dönen yakıtın sıcaklığının artması da viskozitenin azalmasına, pompalama kaçaklarının artmasına ve yeterli yakıtın püskürtülememesine neden olabilir (Hansen ve ark., 2005).

1.5.3. Enerji İçeriği

Yakıtlar için enerji içeriği ölçüsü yakıtların yanma sonu ortaya çıkardığı ısı değerleridir. Günümüzde kullanılan biyoyakıtların ısı değerleri fosil kökenli yakıtlarinkinden daha düşüktür. Isıl değer, motorun çıkış gücüne direkt olarak etki eder. Yakıtın yanması sonucu oluşan enerjinin etki derecesi, yanmanın verimine de bağlıdır. Yanma verimi, yakıtın diğer özelliklerine ve motorun çalışma parametrelerine bağlıdır.

1.5.4. Karışım kararlılığı

Etanolün dizel yakıtında çözülmesi karışımın sıcaklığına ve su içeriğine bağlıdır. Yüksek ortam sıcaklıklarında etanol, dizel yakıtı ile kolayca karışabilir. Karışımın uzun süre stabil olarak kalabilmesi için ya dizel yakıt içerisine atomize olarak püskürtülür yada yardımcı çözücü kullanılır (Hansen ve ark., 2005). Ancak yine de çok yüksek ortam sıcaklığı değişikliklerine maruz kalmadığı sürece genel olarak dizel-etanol karışımlarında göz ile görülebilir bir ayrışma gözlemlenmemektedir. Üretim kalitesi

yüksek olan biyodizelin yakıt özelliklerinin birçoğu dizel yakıtıninkine benzerlik gösterdiği için dizel-biyodizel karışımlarının kararlı bir biçimde kalma süreleri uzundur.

1.5.5. Yoğunluk

Genel olarak özgül ağırlığı büyük olan yakıtlar, daha fazla karbon taşıdıklarından büyük ısı enerjisine sahiptirler. Daha yüksek yoğunluk yakıtın daha fazla miktarda silindirlere püskürtülmesine neden olarak zengin karışım oluşturur. Bu zengin karışım nedeni ile yanma odası cidar sıcaklığı artar, tutuşma gecikmesi süresi azalır. Dizel motorlarında güç artışı silindirlere gönderilen yakıt miktarı ile doğru orantılıdır. Güç gereksinimine ihtiyaç duyulduğunda silindirlere gönderilen yakıt miktarı artar ancak silindir içerisinde oluşan hava-yakıt karışımının homojenliği azalır ve yanma sonu karbon birikintileri artar (Özdemir, 2011). Yakıtın yoğunluğu enjektörün püskürtme süresini de doğrudan etkiler. Yoğunluk arttıkça püskürtme süresi uzayacağından yanma süresi de uzar.

1.6. Aspir

Yüksek oleik asit içeren aspir, tek yıllık bir bitki olup ülkemiz şartlarında kışlık ve yazlık olarak ekilebilmektedir. Aspir bitkisinin iklim ve toprak istekleri yönünden diğer yağ bitkilerine göre daha az seçici olması, değişik koşullarda üretim imkanını ortaya koymuştur (Akınerdem ve Öztürk, 2008; Oğuz ve ark., 2012). Çizelge 1.6.'da aspir çeşitleri ve bazı özellikleri sunulmuştur (Öğüt ve ark., 2011).

Çizelge 1.6. Aspir çeşitleri

ÇEŞİTLER	YAĞ ORANI, %	1000 TANE AĞIRLIĞI, g
Yenice	24-25	38-40
Dinçer	25-28	45-49
Remzibey 05	35-40	46-50
Balcı	38-40	40-48

1.6.1. Dünyada ve Türkiye'de aspir

Aspirin dünyadaki toplam ekim alanı 767121 ha'dır. En büyük üretici konumunda ki ülke, yaklaşık 350000 ha alan ve 129000 ton üretim ile Hindistan'dır. Hindistan dünya aspir üretiminin % 70'ini karşılamaktadır. Bu ülkeyi sırasıyla Meksika, Güney Afrika, ABD ve Avustralya izlemektedir (Oğuz ve ark., 2012).

Türkiye İstatistik Kurumu 2011 verilerine göre, Türkiye’de en çok aspir üretimi Şanlıurfa’da (5740 ton, %22.1) olmaktadır. Daha sonra sırası ile, Konya (4199 ton, %16,2), Eskişehir (3158 ton, %12.1), Ankara (2633 ton, %10.1) ve Niğde (2464 ton, %9.5) olmak üzere aspir üretimi gerçekleşmektedir.

Aspir, Türkiye’nin bitkisel yağ, karma yem ve biyodizel sektörleri için potansiyel hammadde kaynağı olabilecek, alternatif alanlarda yetiştirilebilecek, hububat ile münavebeye girebilecek, nadas alanlarını değerlendirebilecek ve bu özelliklerinden dolayı hububat alanlarını daraltma ve gıda güvencesini tehdit etme gibi konularda önemli oranda risk oluşturmayacak bir yağlı tohum bitkisidir. Aspir; soya, kolza, ayçiçeği gibi diğer yağlı tohumlu bitkilere oranla çok daha az suya ihtiyaç duymakta, hatta kıraç koşullarda yetişebilmektedir. Aspirin sahip olduğu bu özellikler, tarımının yapılabileceği alternatif bir bölge olarak İç Anadolu Bölgesi’ni işaret etmektedir (İlkdoğan, 2012).

1.6.2. Aspir yağı metil esteri (AYME)

Yapılan araştırmalar sonucunda, aspir yağından BD elde etme yöntemi olarak genelde transesterifikasyon yöntemi kullanıldığı görülmüştür (İlkılıç ve ark., 2011; Hoekman ve ark., 2012; Khanahmadzadeh ve Khanahmadzadeh , 2012; Karabaş, 2013; Liu ve Benson, 2013; Mihaela ve ark., 2013; Tahvildari ve ark., 2013, Eryılmaz ve ark., 2014a; Eryılmaz ve ark., 2014b). Elde edilen bu yakıtların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1.7.’de sunulmuştur.

Bu tez çalışmasında, Remzibey cinsi aspir tohumundan elde edilen biyodizelin ve şeker pancarından elde edilen biyoetanolün dizel yakıtına karıştırılarak bir dizel motorda kullanımının yanma karakteristiklerine, motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada;

- Dizel motorlarında, yakıt olarak kullanılan petrol kökenli dizel yakıtı yerine, gelecekte kullanımının yaygınlaştırılması planlanan biyodizel yakıtının kullanılabilirliğinin incelenmesi,
- Biyodizelin standart dizel yakıtına karıştırılmasının yakıt özellikleri, performans, yanma ve emisyon değerlerine etkisinin incelenmesi,
- Biyodizelin önemli dezavantajlarından yüksek azotoksit emisyonu, düşük SFTN, yüksek viskozite ve yoğunluk değerlerinin biyoetanol ilavesi ile iyileştirilmesi,

- Biyoetanol ilavesinin performans, yanma ve emisyon parametrelerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmış ve sonuçlar ortaya konulmuştur.

Çizelge 1.7. Aspir yağı metil esterinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

ÖZELLİKLER	BİRİM	BİYODİZEL
Yoğunluk	kg/m ³ , 15°C'de	880/870/883/885
Parlama noktası	°C	167/173/178/177
Alt ısı değer	MJ/kg	38.52/38.44/39/40.71
Setan sayısı		52
Setan indisi		47
Viskozite	mm ² /s, 40°C'de	4.23/4.52/4.27/4.1
Kükürt içeriği	mg/kg	1.8
Su içeriği	mg/kg	200/300
C atomu	%, m/m	76.2
H atomu	%, m/m	12.6
O atomu	%, m/m	11.2
Bakır şerit korozyon	50°C'de, 3 saat	1a/
Karbon kalıntısı	%, m/m	0.16
SFTN	°C	-9/-7.6
Donma noktası	°C	-12/-16.5
Toplam kirlilik	mg/kg	18
Asit sayısı	mg KOH/g	0.22/0.06
İyot sayısı	g iyot/100 g	145/116
Ester muhtevası	%, m/m	97
Oksidasyon kararlılığı	110°C'de saat	0.57

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaynak araştırması sonucunda, dizel motorlarında alternatif yakıt olarak çok farklı bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilen biyodizelin (BD) kullanıldığı ortaya konulmuştur. BD'in standart dizel yakıtı (SDY) ile birlikte karışım yakıtı olarak ya da tek başına yakıt olarak dizel motorlarda kullanıldığı görülmektedir. Biyoetanolun (BE) veya etanolün (ET) ise genel olarak (SDY) veya BD yakıtına harmanlanarak kullanıldığı, bununla birlikte üç yakıtında SDY-BD-BE karışım yakıtları olarak da dizel motorlarda kullanıldığı ortaya konulmuştur. Bazı çalışmalarda ise setan sayısını artırmak veya karışımların faz ayrışmalarını engelleyebilmek için ilave yakıtlar (İY) kullanılmıştır. Birçok araştırmacı, dizel motorlarında BD ve BE kullanımının motor performansı, egzoz emisyonları ve silindir içi yanma karakteristiklerine etkilerini incelemiştir. Ortaya çıkan sonuçlar özet olarak aşağıda sunulmuştur.

2.1. Standart Dizel Yakıtı – Biyodizel Karışımları

Ulusoy ve Alibaş (2002) çalışmalarında, SDY ile BD'i yakıt olarak kullanıp performans karakteristiklerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, BD ile elde edilen tork ve güç değerlerinde SDY'na göre ortalama %1.26'lık bir artış olduğunu, BD kullanımının ÖYT'de de SDY'na göre ortalama %3.6'lık bir azalma olduğunu söylemişlerdir.

Rao ve Mohan (2003) çalışmalarında, pamuk yağı BD'nin bir dizel motorda farklı enjektör basıncı ve farklı turbo şarj basınçlarında kullanımını incelemiştir. Sonuç olarak, doğal emiş durumunda BD'in ÖYT değerinin SDY'dan yüksek olduğunu, ancak turbo şarj kullanımı ile BD'in ÖYT'nin SDY'dan daha düşük olduğunu, püskürtme basıncının artmasıyla ÖYT değerinin çok az bir miktar arttığını, turbo şarj basıncının artması ile ÖYT'de doğal emişe göre %15'e kadar bir azalma olduğunu, turbo şarj basıncının artması ile egzoz gaz sıcaklığının doğal emişli duruma göre azaldığını, turbo şarj basıncının artmasıyla duman emisyonlarının azaldığını söylemişlerdir.

Balcı (2005) çalışmasında, atık bitkisel yağ esterlerinin maksimum basınç ve tutuşma gecikmesine etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak BD yakıtının egzoz gaz sıcaklığının SDY'na göre daha yüksek olduğunu, BD'in HFK'nın SDY'den daha düşük olduğunu, BD yakıtı kullanımının motor torkunu ve efektif güç değerini düşürdüğünü

ve ÖYT'ni artırdığını, 1000 d/d motor devri haricinde BD'in maksimum basınç değerlerinin SDY'dan düşük olduğunu, motor devri arttıkça BD yakıtı ile elde edilen maksimum basınç değerlerinin elde edildiği krank açısının SDY'na göre daha da uzaklaştığını yani basınç aralıklarının arttığını, BD'in maksimum torkun elde edildiği motor devrinde tutuşma gecikmesi değerinin SDY'dan kısa olduğunu, maksimum güç devrinde ise SDY'dan daha uzun olduğunu göstermiştir.

Çetinkaya ve ark. (2005) çalışmalarında, kızartma yağından elde ettikleri BD'i dizel morunda yakıt olarak denemiş ve performans deneylerini SDY ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, BD ile elde edilen tork, güç, egzoz gaz sıcaklığı ve basıncı ile enjeksiyon basıncı değerlerinin SDY'na göre daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Haşimoğlu (2005) çalışmasında, ayçiçek yağından elde ettiği BD'li düşük ısı kayıplı (DIK) motorda yakıt olarak kullanarak performans ve emisyon parametrelerini incelemiştir. Sonuç olarak, BD ile elde edilen tork ve güç değerlerinin yüksek motor devirlerinde SDY'na göre daha düşük olduğunu, düşük motor devirlerinde ise daha yüksek olduğunu, DIK motorda ise BD ile elde edilen tork ve güç değerlerinin yine SDY'na göre daha düşük olduğunu, ancak özellikle orta devirlerde elde edilen tork değerlerinin hem SDY hem de BD'in standart motorla elde edilen değerlerinden daha yüksek olduğunu oraya koymuştur. Egzoz gaz sıcaklıklarında ise BD kullanımı ile elde edilen değerlerin her iki motorda kullanımında da SDY'dan daha düşük olduğunu göstermiştir. BD kullanımının termik verimi artırdığını, bununla birlikte DIK motorda BD ile elde edilen değerlerin standart motorda SDY ile elde edilen değerlerden daha yüksek olduğunu belirtmiştir. BD kullanımının NO_x emisyonlarını artırdığını, DIK motordan elde edilen NO_x emisyonlarının daha da arttığını gözlemlemiştir. Biyodizel kullanımının SDY'na göre duman emisyonunu düşürdüğünü, DIK motorda kullanılan BD'in duman emisyonunun standart motorda elde edilen değerden biraz daha yüksek olduğunu belirtmiştir. SDY'na göre BD'den elde edilen CO₂ emisyonlarının daha düşük olduğunu, BD yakıtının DIK motorda kullanımı ile CO₂ emisyonunun arttığını belirtmiştir.

Usta ve ark. (2005) çalışmalarında, fındık yağından kalan sabun maddesi ile atık ayçiçek yağı karışımlarından elde ettikleri metil esteri %5-10-15-17.5-25 oranlarında SDY ile karıştırarak performans ve emisyon parametrelerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, BD karışımı yakıtların; tork ve güç değerlerinin SDY'dan çok az bir miktar yüksek olduğunu, egzoz gaz sıcaklıklarının özellikle yüksek yükte SDY'na göre daha

yüksek olduğunu, CO emisyonlarının SDY'na göre daha fazla olduğunu, SO₂ emisyonlarının SDY'dan daha düşük olduğunu, NO_x emisyonlarının ise SDY'na göre bir miktar arttığını belirtmişlerdir.

Çanakçı ve Hoşöz (2006) çalışmasında, soya yağı BD, sarı yağ BD, ve bu BD'lerin SDY'na %20 eklenerek elde edilen karışım yakıtlarının enerji ve ekserji analizlerini yapmışlar, SDY ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, BD yakıtlarının ÖYT'ni artırdığını, BD yakıtlarının yakıt enerjilerinin SDY'na göre daha düşük olduğunu, BD yakıtlarının termal verimi artırdığını, SDY'na göre BD yakıtlarının yanma verimlerinin daha yüksek olduğunu, BD kullanımının ısı kayıplarını artırdığını ve egzoz sisteminden kaynaklanan ısı kaybını düşürdüğünü, yakıt ekserjilerinin SDY'na göre biraz daha düşük olduğunu, BD yakıtların ekserji verimlerinin daha yüksek olduğunu ve BD yakıtlarının daha düşük ekserji yıkımına sahip olduklarını söylemişlerdir.

Patterson ve ark. (2006) çalışmalarında, kolza yağı BD'i, soya yağı BD'i ve atık yağdan elde ettikleri BD'i %5-50 oranlarında SDY'na karıştırarak performans, yanma ve emisyon parametrelerini SDY ve BD ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, %5 BD içeren karışımlarla yapılan testler sonucunda SDY'dan elde edilen değerler karşılaştırıldığında performans ve emisyon parametrelerinde çok fazla bir değişim olmadığını söylemişlerdir. Yüksek oranda BD içeren karışımlar için ise, düşük yükte NO_x emisyonlarının azaldığını, yüksek yükte duman emisyonunun azaldığını belirtmişlerdir. Bunların yanı sıra motor gücünde de azalma olduğunu belirtmişlerdir. BD karışımlarının tutuşma gecikmelerinin SDY'dan daha uzun olduğunu, bu nedenle de BD yakıtlarının pik basınçlarının SDY'dan daha düşük olduğunu söylemişlerdir.

Yücesu ve İlkılıç (2006) çalışmalarında, pamuk yağından elde ettikleri BD'i direkt motor yakıtı olarak kullanmışlar, performans ve emisyon parametrelerini SDY ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, BD kullanımı ile motor torkunda ve motor gücünde bir miktar azalma, ÖYT'inde ise artış olduğunu göstermişlerdir. BD'in CO₂ emisyonu değeri SDY'na göre daha yüksek iken, CO, NO_x ve egzoz gazı sıcaklığı değerlerinin daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Alpgiray ve Gülhan (2007) çalışmalarında, kanola yağın %20-40-60-80 oranlarında SDY'na karıştırmış ve kanola yağından elde ettikleri metil ester (KYME) ile birlikte SDY'nın performans ve emisyon parametreleri ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, KYME ile elde edilen tork ve güç değerlerinin SDY'kinden daha düşük olduğunu, ÖYT değerinin ise daha yüksek olduğunu, SDY'na katılan kanola yağının da

tork ve güç değerlerini düşürdüğünü, ÖYT değerlerini artırdığını belirtmişlerdir. KYME ile elde edilen CO, CO₂ ve duman emisyonu değerlerinin SDY'kinden daha düşük olduğunu, NO emisyonu değerinin ise daha yüksek olduğunu, SDY'na katılan kanola yağının da CO ve CO₂ değerlerini düşürdüğünü, NO ve duman emisyonu değerlerini artırdığını belirtmişlerdir.

Bolat (2007) çalışmasında, soya yağından elde edilen BD ile SDY'nı %2-5-10-20-50-80 oranlarında karıştırarak performans parametrelerini SDY ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, %2 BD içerikli karışımdan %50'ye kadarki BD karışımlarının tork değerleri SDY'na göre daha yüksek değerlere eriştiğini, %80 karışımı ve BD için güç değerlerinde düşüş olduğunu belirtmiştir. ÖYT için, tüm BD yakıtlarının SDY'na göre bir miktar da olsa yüksek olduğunu belirmiş, motorun maksimum torku için %50 BD karışımı yakıtın ÖYT değerinin SDY'a göre %9.75 oranında arttığını söylemiştir.

Keskin ve ark. (2007) çalışmalarında, tall yağı BD'ini %90 oranda SDY ile karıştırarak dizel motorlarda kullanımını araştırmışlardır. Sonuç olarak, BD kullanımının motor torku ve motor gücünde bir miktar düşüşe, ÖYT'de artışa, CO ve duman emisyonunda azalmaya ve NO_x emisyonunda ise artışa neden olduğunu ortaya koymuşlardır.

Nişancı (2007) çalışmasında, soya, kanola ve ayçiçek yağlarından elde ettiği BD'i, %30 soya BD+%70 kanola BD (A karışımı), %20 soya BD+%20 ayçiçek BD+%60 kanola BD (B karışımı) olarak karışım yakıtları hazırlamış, performans ve emisyon parametrelerine etkilerini inceleyerek SDY ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, her iki karışımında tork ve güç değerlerinin SDY'dan düşük olduğunu, özellikle 2500 d/d motor hızına kadar BD karışımı ile SDY'dan elde edilen değerlerin arasında çok fark olmadığını, A karışımının kullanımı ile elde edilen değerlerin B karışımından daha düşük olduğunu, yine SDY'nın ÖYT değerlerinin her iki karışımından daha düşük olduğunu, karışım yakıtlarının ÖYT değerlerinin birbirine yakın olduğunu belirtmiştir. Karışım yakıtlarının CO₂ emisyon değerlerinin SDY'na göre daha düşük olduğu görülse de 2000 d/d motor hızına kadar B karışımının SDY'dan daha fazla olduğunu, A karışımının CO₂ emisyonu değerlerinin her durumda B karışımınınkinden daha düşük olduğunu belirtmiştir. Karışım yakıtlarının her ikisinin de egzoz gazı sıcaklığı, CO ve HC emisyonu değerlerinin SDY'kinden daha düşük olduğunu, her bir parametrede de A karışımın değerlerinin B yakıtınınkinden daha düşük olduğunu göstermiştir. Karışım yakıtlarının NO_x emisyonu değerlerinin A karışımında orta ve yüksek motor devirlerinde, B karışımında ise yüksek motor devirlerinde SDY'na göre azaldığını

ortaya koymuştur. BD karışımlarının HFK değerlerinin de SDY'kinden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Maksimum torkun elde edildiği silindir içi basınç değerlerinde, BD karışımlarının maksimum basınç değerlerinin SDY'dan daha düşük olduğunu, pik basıncının elde edildiği açının ise karışım yakıtlarının ÜÖN'dan daha uzak olduğunu belirtmiştir.

Özsezen (2007) çalışmasında, atık kızartma yağından elde ettiği BD'i %5-20-50 oranlarında SDY ile karıştırarak performans, emisyon ve yanma karakteristikleri açısından SDY ve BD ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, yakıt karışımları içerisinde BD'in artan yüzdesi ile birlikte motor torkunda azalma olduğunu, yapılan tüm testlerde BD ve karışımların ÖYT değerlerinin SDY'na göre daha yüksek olduğunu, tam yük ve değişken hız şartlarında efektif gücün ve termik verimin karışımda artan BD yüzdesi ile azaldığını belirtmiştir. Deneysel sonuçta, genelde BD kullanımı ile silindir gaz basıncının SDY'na göre daha yüksek olduğunu ve üst ölü noktaya biraz daha yaklaştığını ortaya koymuştur. Tüm yakıtlar için silindir gaz basıncının motor devrinin artması ile arttığını söylemiştir. Motor yükünün azalması ile yakıtların maksimum silindir gaz basınçları arasındaki farkların da azaldığını ayrıca, aynı yük ve devir için yakıtların maksimum silindir gaz basınçlarının elde edildiği noktaların birbirine çok benzediğini, tüm testlerde BD kullanıldığı zaman ısı dağılımı başlangıcının SDY'na göre daha erken açıda başladığını belirtmiştir. Tüm testlerde, BD kullanımı ile püskürtme başlangıcının SDY'na göre daha erken olduğunu, püskürtme süresinin devir arttıkça arttığını, püskürtme başlangıcının motor devrine bağlı olarak her yakıt için üst ölü noktadan uzaklaştığını göstermiştir. Tüm testlerde BD kullanımının SDY'na göre daha kısa bir tutuşma gecikmesine sahip olduğunu, motor devrinin artmasıyla tutuşma gecikmesi süresinin de arttığını tespit etmiştir. BD kullanımıyla elde edilen CO, HC ve duman emisyonlarında SDY'na göre azalma olduğunu, NO_x emisyonlarında ise artış olduğunu belirtmiştir.

Utlu ve Koçak (2007) çalışmalarında, atık kızartma yağından elde ettikleri BD'i direkt motor yakıtı olarak kullanmışlar, performans ve emisyon parametrelerini SDY ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, BD'in motor torku ve motor gücü değerlerinin SDY'dan çok az bir miktar daha düşük olduğunu, ÖYT'nin ise SDY'na göre yaklaşık %14.34 daha yüksek olduğunu söylemişlerdir. BD ile elde edilen egzoz emisyonları incelendiğinde, SDY'na göre; CO emisyonunun da %17.14, NO_x emisyonunda %1.4, duman emisyonunda %22.46, egzoz gazı sıcaklığında da %6.5 azalma olduğunu

söylemişlerdir. BD'in CO₂ emisyonlarında ise ortalama olarak %8.05 bir artış olduğunu söylemişlerdir.

Aktaş ve Sekmen (2008) çalışmalarında, soya yağından elde ettikleri BD'i tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda, farklı püskürtme avanslarında yakıt olarak kullanmışlar, motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, BD kullanımının motor torkunu ve efektif gücü %1.5-4.5 arasında artırdığını, püskürtme avansındaki 0.5 derecelik bir artış ile BD yakıtında %2-6'lık bir artışın olduğunu ortaya koymuşlardır. ÖYT değerlerinde ise BD kullanımı ile ÖYT'nin arttığını, 0.5 derecelik bir artışın ÖYT'ni azalttığını, daha yüksek püskürtme avanslarında motor performans değerlerinin kötüleştiğini göstermişlerdir. Egzoz emisyon değerlerine bakıldığında, BD kullanımının CO ve HC emisyonlarını düşürdüğünü, NO_x emisyonlarını artırdığını göstermişlerdir. Püskürtme avansındaki 0.5 derecelik bir artış ile BD yakıtında HC ve CO emisyonlarının azaldığı daha yüksek avanslarda ise arttığını, NO_x emisyonlarının ise avansın artması ile arttığını sunmuşlardır.

Kegl (2008) çalışmasında, kolza yağından elde ettiği BD'i bir otobüs motorunda yakıt olarak kullanmış, farklı püskürtme avanslarında, performans ve emisyon parametrelerini SDY ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, BD kullanımı ile elde edilen tork ve güç değerlerinin SDY'dan düşük, ÖYT ve termik verim değerlerinin ise yüksek olduğunu, püskürtme avansının düşürülmesi ile güç değerinin biraz daha düştüğünü söylemiştir. BD'in egzoz gazı sıcaklığı, CO ve duman emisyonlarının SDY'dan düşük olduğunu, HC ve NO_x emisyonlarının ise SDY'dan yüksek olduğunu, püskürtme avansının azalması ile BD'in egzoz gazı sıcaklığı ve duman emisyonlarının arttığını, CO, NO_x ve HC emisyonlarının azaldığını göstermiştir.

Keskin ve ark. (2008) çalışmalarında, pamuk yağından elde ettiği BD'i SDY'na %20-40-60 oranlarında karıştırmış, performans ve emisyon analizlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, BD kullanımı ile motorun tork ve güç değerlerinin azaldığını, karışımdaki BD oranının artması ile bu değerlerin daha da azaldığını göstermişlerdir. ÖYT değerlerinde ise BD kullanımı ve karışımlardaki BD oranının artmasının ÖYT'ni daha da artırdığını belirtmişlerdir. Egzoz ile kaybedilen ısı miktarları karşılaştırıldığında, en düşük egzoz kayıplarının %20 BD karışımı ile elde edildiğini, tüm karışım yakıtlarının PM emisyonlarının SDY'dan daha düşük olduğunu, karışımdaki BD oranının artması ile PM emisyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir.

Öztürk (2008) çalışmasında, kanola yağından BD elde etmiş, %50 oranında SDY ile karıştırarak BD ile birlikte performans ve emisyon karakteristiklerini SDY'a göre karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, karışım yakıtı için tork değerinin SDY'a göre %2.1, BD için ise %5.2 azaldığını, karışımı yakıtının güç değerlerinin SDY'a göre ortalama %3, BD'in ürettiği gücün ise ortalama %5 daha düşük olduğunu, BD'in saatlik yakıt tüketim değerlerinin, SDY'na göre ortalama %12, karışım yakıtının kullanıldığında ise saatlik yakıt tüketimi değerlerinin SDY'na göre ortalama %8 oranında yükseldiğini tespit etmiştir. BD kullanımının CO₂ emisyon değerlerinin, SDY emisyon değerlerine göre ortalama %4.2 oranında, karışım yakıtının CO₂ değerinin ise %2.8 oranında düşük olduğunu belirtmiştir. BD'in duman koyuluğu değerlerinin SDY'a göre ortalama %50.2, karışım yakıtınıninkinin ise ortalama %20.1 oranında daha düşük olduğunu söylemiştir. BD'in NO_x emisyon değerlerinin SDY'a göre %1.7, karışım yakıtınıninkinde ise %1.2 oranında yüksek olduğunu belirtmiştir.

Rakopoulos ve ark. (2008a), çalışmalarında ayçiçek yağı ve pamuk yağından elde ettikleri BD'leri SDY'na %10-20 oranlarında karıştırarak performans ve emisyon analizlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, karışımdaki BD miktarının artmasıyla ÖYT değerlerinin arttığını, pamuk yağı BD'nin ÖYT değerlerinin ayçiçek yağı BD'den çok az bir miktar daha fazla olduğunu, termik verim değerlerinin neredeyse birbirlerine eşit olduklarını belirtmişlerdir. Karışımdaki BD miktarının artması ile duman emisyonlarının azaldığını, pamuk BD'nin duman emisyonunun daha düşük olduğunu, BD kullanımının NO_x emisyonlarını SDY'na göre artırdığını, ayçiçek yağı BD'nin NO_x emisyonunun pamuk BD'ne göre daha düşük olduğunu, BD karışımlarının CO değerlerinin SDY'dan daha düşük olduğunu, en düşük CO emisyonunun pamuk BD ile elde edildiğini, BD karışımlarının SDY'na göre HC emisyonlarını artırdığını, en yüksek HC değerinin yine pamuk BD'li ile elde edildiğini ortaya koymuşlardır.

Soysal (2008) çalışmasında, soya yağından elde ettiği BD'i SDY'na %5-10-20-50 oranlarında karıştırarak değişik sıkıştırma oranlarında BD ve SDY'dan elde ettiği performans ölçümleri ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, Tüm BD yakıtları için, motor torku ve gücünde yaklaşık %2-3'lük bir azalma, ÖYT değerlerinde %4-13'lük bir artış, efektif verim değerlerinde %2-3 artış olduğunu söylemiştir. Sıkıştırma oranının düşürülmesi ile karışımdaki BD oranının artışına bağlı olarak motor performans değerlerinde azalma, sıkıştırma oranının artması ile ise artış olduğunu oraya koymuştur.

Yücel (2008) çalışmasında, pamuk tohumundan elde ettiği yağı SDY'na %10-60 oranlarında karıştırmış, performans ve emisyon parametrelerine etkilerini incelemiştir.

Sonuç olarak, karışım yakıtlarının motor gücü değerlerinin SDY'na göre genelde azaldığını, ÖYT değerlerinin ise arttığını söylemiştir. Bunun yanında, yakıtı yağ karıştırılması ile CO, NO_x ve PM emisyonlarında azalma olduğunu, CO₂ ve HC emisyonlarında artış olduğunu belirtmiştir.

Demir (2009) çalışmasında, üretmiş olduğu pamuk yağı metil esterini SDY'na %20 ve %50 oranlarına katarak performans testlerini ve enerji analizini yapmıştır. Sonuç olarak, en yüksek tork ve güç değerlerini SDY ile elde etmiş, karışım yakıtları ve BD'den elde ettiği tork ve güç değerlerinde %10'a kadar azalma olduğunu göstermiştir. En düşük tork ve güç değerlerini BD kullanımıyla sonra sırası ile %50 ve %20 yakıtları ile elde etmiştir. Özgül yakıt tüketimi değerlerinde ise en yüksek değeri BD yakıtı ile elde etmiş, sonra sırası ile %50, %20 ve en düşük ÖYT değerini SDY ile elde etmiştir. BD kullanımının ÖYT değerlerini %13.7'e kadar düşürdüğünü belirtmiştir. BD kullanımı ile egzoz gazı sıcaklığı değerlerinde %12'ye kadar bir azalma olduğunu ve bu azalmanın yakıttaki BD miktarı arttıkça SDY'dan daha da düşük değerlerde olduğunu söylemiştir. HC, CO ve is emisyonlarında BD yakıtlarının SDY'dan çok daha düşük olduğunu, NO emisyonlarında ise BD kullanımının NO emisyonu değerlerini artırdığını ortaya koymuştur.

Lin ve Li (2009) çalışmalarında, deniz balığı artıklarından elde ettikleri balık yağı ile ürettikleri BD'i ticari amaçla atık kızartma yağından elde edilmiş BD ile ayrı ayrı dizel motorunda kullanarak performans ve emisyon parametrelerini SDY ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, balık yağı BD'den elde edilen egzoz gazı sıcaklığı, yakıt verimi, NO_x ve oksijen emisyonu değerlerinin atık yağ BD'ne göre daha yüksek olduğunu, duman, ÖYT ve CO emisyonu değerlerinin ise daha düşük olduğunu söylemişlerdir. SDY'na göre her iki BD'inde ÖYT, yakıt yanma oranı, NO_x ve oksijen emisyonu değerleri yüksek, CO, duman ve egzoz gazı sıcaklığı değerleri ise düşüktür.

Nabi ve ark. (2009) çalışmalarında, pamuk yağından elde ettikleri BD'i %10-20-30-40-50 oranlarına SDY ile karıştırarak elde ettikleri yakıtları dizel motorunda kullanmışlar, performans ve emisyon analizlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, karışımların CO, PM ve duman emisyonlarının SDY'dan daha düşük olduğunu, NO_x emisyonlarının ise daha yüksek olduğunu, BD kullanımı ile SDY'na göre PM emisyonlarında %14'e kadar bir azalma, duman emisyonlarında %24'e kadar bir azalma, CO emisyonlarında %24'e kadar bir azalma, NO_x emisyonlarında ise %10'a kadar bir artış olduğunu belirtmişlerdir. BD karışımlarının termik verimlerinin SDY'dan

çok az bir miktar düşük olduğunu, ÖYT değerlerinin ise bir miktar yüksek olduğunu göstermişlerdir.

Özsezen ve Çanakçı (2009) çalışmalarında, atık palmiye yağından elde ettikleri BD'i SDY'na %5-20-50 oranlarında karıştırarak performans ve emisyon parametrelerini BD ve SDY değerleri ile karşılaştırmışlardır. Karışım içerisinde artan BD yüzdesi ile ilişkili olarak, motor torkunda azalma olduğunu, özgül yakıt tüketiminde ise artış olduğunu tespit etmişlerdir. Yine karışımdaki biyodizelin yüzdesi ile ilişkili olarak CO, HC ve duman koyuluğu emisyonlarında, SDY'a oranla azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Sahoo ve Das (2009) çalışmalarında, jatropha, karanja ve polanga yağlarından elde ettikleri BD'leri %20 ve %50 oranlarında SDY ile karıştırmışlar, her biri için yanma analizlerini BD ve SDY'ları ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, tüm BD ve karışım yakıtlarının silindir basıncı değerlerinin SDY'dan yüksek olduğunu, BD oranının artması ile basıncın daha da yükseldiğini söylemişlerdir. Tüm BD ve karışım yakıtlarının ısı salımı oranlarının SDY'dan düşük olduğunu, BD oranının artması ile ısı salımının daha da azaldığını söylemişlerdir. Tüm BD ve karışım yakıtlarının tutuşma gecikmesi değerlerinin SDY'dan düşük olduğunu, BD oranının artması ile tutuşma gecikmesinin daha da azaldığını söylemişlerdir.

Uyumaz (2009) çalışmasında, pamuk yağından elde ettiği BD'i %20 oranında SDY ile karıştırarak farklı püskürtme avanslarında (± 3 ve ± 6 derece) motor performansına ve emisyon değerlerine etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak, aynı püskürtme avansında BD karışımlı yakıtın tork ve güç değerlerinin SDY'kinden daha yüksek olduğunu, püskürtme avansındaki 3 derecelik bir artışla tork ve güç değerlerinin daha da arttığını ancak avansın daha da artması ile performans değerlerinin iyice azaldığını göstermiştir. Püskürtme avansındaki her azalmanın tork ve güç değerlerini de bir miktar azalttığını belirtmiştir. En düşük ÖYT değerinin BD karışımlı yakıt ile +3 derecelik püskürtme basıncında elde edildiğini, standart püskürtme avansında ise BD karışımlı yakıtın ÖYT değerinin SDY'dan yüksek olduğunu göstermiştir. Standart püskürtme avanslarında SDY'na %20 oranında BD ilavesinin NO_x emisyonunu artırdığını, CO ve duman emisyonunu düşürdüğünü göstermiştir. Avansın artması ile BD karışımlı yakıtların SDY'na göre, NO_x emisyonu değerinin arttığını, duman emisyonu değerinin azaldığını, CO emisyonu değerinde ise +6 derece püskürtme avansında elde edilen değer SDY'kinden yüksek iken +3 derece avans ile elde edilen CO değerinin düşük olduğunu belirtmiştir. Püskürtme avansının azalması ile BD

karışımlarının NO_x ve CO değerlerinin SDY'kinden düşük olduğunu, duman emisyonunun ise arttığını ortaya koymuştur.

Altun ve ark. (2010) çalışmalarında, yenmeyen donyağından elde ettikleri BD'i SDY'na %20 oranında karıştırarak tek silindirli, direkt püskürtmeli dizel motorunda yakıt olarak kullanmışlardır. Sonuç olarak, CO emisyonlarında SDY'na göre %28.5, NO_x emisyonlarında %7 ve duman emisyonlarında SDY'na göre %27 oranlarında azalmalar olduğunu tespit etmişlerdir.

Kaya (2010) çalışmasında, SDY'na keten tohumu yağından ürettiği BD'i %5-20-50 oranlarında karıştırarak farklı püskürtme basınçlarında SDY ve BD'in performans ve emisyon parametreleri ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, BD ve karışım yakıtlarının ÖYT değerlerinin SDY'na göre daha yüksek olduğunu, püskürtme basıncının artması ile BD karışimli yakıtların ÖYT değerlerinin azaldığını belirtmiştir. Karışımlar içerisindeki BD oranının artmasıyla CO ve HC emisyonlarının önemli ölçüde azaldıklarını, NO_x , CO_2 ve is emisyonlarının da arttığını söylemiştir. Tüm yakıtlar için püskürtme basıncının artırılması sonucunda CO, HC ve is emisyonlarında azalmaların görüldüğünü, NO_x emisyonunda da artma görüldüğünü belirtmiştir.

Özkaynak (2010) çalışmasında, SDY'na %5-20-50 oranlarında BD karıştırarak performans, emisyon ve yanma analizlerini SDY ve BD ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, yakıt içerisindeki BD yüzdesinin artmasıyla yakıtların daha erken yanmaya başladıklarını, daha erken yanmaya başlayan yakıtların yanma eğrilerinin diğerlerine göre daha dik olduğu ve daha hızlı yandıklarını, daha erken yanmaya başlayan yakıtların tepe noktalarına daha erken ulaştıkları ve bu yüzden en yüksek ısı salımlarının daha düşük kaldığını tespit etmiştir. Düşük devir yüksek yük şartlarında BD ve karışımlarının SDY'na göre daha az yakıt tükettiği, yüksek devir düşük yük şartlarında ise BD'in yakıt tüketiminin en fazla olduğunu söylemiştir. BD yakıtlarının CO_2 ve HC emisyonları değerlerinin SDY'na göre daha düşük olduğunu, NO_x emisyonlarının ise SDY'dan daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Uludağ (2010) çalışmasında, kanola yağından elde ettiği BD'i SDY'na %5-20-50 oranlarında karıştırarak farklı püskürtme avanslarında SDY ve BD'in performans ve emisyon parametreleri ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, karışım içindeki BD miktarının artmasıyla, motor torku ve efektif güçte bir miktar düşüş olduğunu, özgül yakıt tüketimi ve özgül enerji tüketiminde artış tespit edildiğini, püskürtme avansının standart değerinin dışına çıkarıldığı zaman da, özgül yakıt tüketimi ve özgül enerji tüketiminde artış olduğunu, efektif verimde azalma gözlemlendiğini belirtmiştir. BD ile

çalışmada, egzoz gazı sıcaklıklarının SDY'na göre daha düşük olduğunu söylemiştir. Karışım içindeki BD miktarının artmasıyla NO_x ve CO_2 emisyonlarında artış olduğunu, CO, HC emisyonları ve is yoğunluğunda azalma olduğunu tespit etmiştir. Püskürtme avansının erkene alındığı zaman CO, HC ve is emisyonlarını artırdığını, NO_x , CO_2 ve egzoz sıcaklığını düşürdüğünü, avansın geciktirildiği zaman ise, CO, HC ve is emisyonlarında azalma, CO_2 , NO_x ve egzoz sıcaklığında artış meydana geldiğini belirtmiştir.

Altun (2011) çalışmasında, atık kızartma yağı ve yenmeyen hayvansal don yağından BD üretmiş, yakıt olarak dört silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda kullanarak performans ve emisyon parametrelerini SDY ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, her iki BD'de tork değerlerinin SDY'den daha düşük olduğunu, atık kızartma yağı BD'nin tork değerinin hayvansal yağ BD'den daha yüksek olduğunu, her iki BD'in ÖYT değerlerinin SDY'dan daha yüksek olduğunu, atık kızartma yağı BD'nin tork değerinin hayvansal yağ BD'den daha düşük olduğunu söylemiştir. BD yakıtlarının CO değerlerinin SDY'den düşük olduğunu, atık kızartma yağı BD'nin CO değerlerinin hayvansal yağ BD'den genelde daha yüksek, atık kızartma yağı BD'in NO_x değerlerinin düşük motor devirlerinde SDY'dan daha yüksek, yüksek devirlerde ise neredeyse eşit olduğunu, hayvansal yağ BD'den elde edilen NO_x emisyonlarının ise hem diğer BD'den hem de SDY'dan daha düşük olduğunu belirtmiştir.

Çelikten ve Gürü (2011) çalışmalarında, kanola yağından elde ettikleri BD'i SDY ile %50 oranında karıştırmış, karışım yakıtlarına 1-6-12 ppm Mangan (Mn) ilavesi yaparak performans ve emisyon karakteristiklerine etkisini incelemiştir. Sonuç olarak, karışımdaki Mn oranının artması ile tork ve güç değerlerinde az da olsa bir artış, ÖYT'de gözle görülür bir azalma, CO, HC ve duman emisyonlarında önemli bir azalma, NO_x ve CO_2 emisyonlarında ise yine artış olduğunu belirtmişlerdir.

Çengelci ve ark., (2011) çalışmalarında, haşhaş yağından ve hayvansal yağdan elde ettikleri BD'in performans ve emisyon değerlerini SDY ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, her iki BD'inde SDY'na göre motor torkunu ve gücünü düşürdüğünü, düşük ve orta yüklerde haşhaş yağı BD'nin tork ve güç değerinin hayvan yağı BD'den daha yüksek olduğunu, yüksek yükte ise haşhaş yağı BD'nin tork ve güç değerinin havan yağı BD'ine göre düştüğünü, her iki BD'inde SDY'na göre ÖYT değerlerinin arttığını, haşhaş yağı BD'nin ÖYT değerinin hayvan yağı BD'den daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Hayvan yağı BD'nin CO emisyonu değerinin SDY'kinden daha düşük olduğunu, haşhaş yağı BD'nin düşük yükte SDY'na göre daha yüksek

olduğunu, orta ve yüksek yüklerde ise SDY'kinden daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Demirci ve ark. (2011) çalışmalarında, BD'i %5-20 ve 50 oranlarında SDY'na karıştırarak BD ve SDY'nın emisyon değerleri ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, tüm BD yakıtlarının NO_x emisyonu değerlerinin SDY'na göre arttığını, deney yakıtlarındaki BD içeriğinin artmasıyla NO_x emisyonlarının daha da arttığını göstermişlerdir. Tüm BD yakıtlarının CO, HC ve is emisyon değerlerinin SDY'na göre azaldığını, karışımdaki BD oranının artması ile CO, HC ve is emisyon değerlerinin daha da azaldığını belirtmişlerdir.

Enweremadu ve ark. (2011) çalışmalarında, karite yağı BD'ni %5-10-20 oranlarında SDY ile karıştırarak performans ve emisyon parametrelerini SDY ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, karışımdaki BD'in artan yüzdesi ile ÖYT'nin arttığını, termik verimin azaldığını, NO_x emisyonlarının arttığını, CO, HC ve duman emisyonlarının azaldığını göstermişlerdir.

İlkılıç ve ark. (2011) çalışmalarında, aspir yağından elde etikleri BD'i %5-20 ve 50 oranlarında SDY'na karıştırmışlar, performans ve emisyon değerlerini inceleyerek SDY ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, karışımdaki BD oranının artması ile tork ve güç değerlerinde azalma, ÖYT değerlerinde de artış olduğunu ifade etmişlerdir. BD kullanımı ile egzoz gazı sıcaklığı, HC ve NO_x emisyonu değerlerinde artış, CO, duman ve PM emisyonlarında ise azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Liaquat ve ark. (2011) çalışmalarında, SDY'na %5 oranında palm yağı BD'i ve hindistancevizi yağı BD'i ilave ederek performans ve emisyonlara etkilerini incelemişler, SDY ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, motor gücü ve termik verim değerlerinde önemli bir değişiklik olmadığını, yine de BD karışımlarının çok az bir miktar SDY'na göre daha düşük güç ve verim değerlerine sahip olduklarını, her iki yakıtın da NO_x, CO, HC ve duman emisyonu değerlerinin SDY'na göre daha düşük olduğunu, Palm BD'i karışımının hindistancevizi BD'i karışımından daha düşük emisyon değerlerine sahip olduğunu, CO₂ emisyonlarında kayda değer bir değişim olmadığını ortaya koymuşlardır.

Varatharajan ve ark. (2011) çalışmalarında, jatropha yağından elde ettikleri BD'e antioksidan ilave ederek performans ve emisyon değerlerine etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, BD kullanımının ÖYT değerlerini SDY'na göre artırdığını, antioksidan kullanımının ÖYT değerlerini BD'e göre bir miktar azalttığını

göstermişlerdir. BD'e antioksidan ilavesinin NO_x emisyonlarını SDY'na göre daha da azalttığını, CO ve HC emisyonlarını ise artırdığını söylemişlerdir.

Chauhan ve ark. (2012) çalışmalarında, SDY'na %5-10-20-30 oranlarında jatropha BD'i ilave etmiş, elde ettiği karışımların performans, emisyon ve yanma analizlerini SDY ve BD ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, SDY'nın silindir basıncı ve ısı salımı oranının BD'den yüksek olduğunu, karışımdaki BD yüzdesindeki artış ile ÖYT değerlerinin arttığını, termik verimin azaldığını göstermişlerdir. Tüm yakıtlar için en düşük egzoz gazı sıcaklığı, duman, CO ve HC emisyon değerlerinin jatropha BD'i ile elde edildiğini, karışımdaki BD yüzdesinin artması ile bu değerlerin düştüğünü belirtmişlerdir. Tüm yakıtlar için, en yüksek CO₂ ve NO_x emisyon değerlerinin BD ile elde edildiğini, karışımdaki BD yüzdesinin artması ile bu değerlerin arttığını belirtmişlerdir.

Dhar ve ark. (2012) çalışmalarında, neem yağından elde ettikleri BD'i %5-10-20-50 oranlarında SDY'na karıştırarak performans, emisyon ve yanma karakteristiklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, tüm BD yakıtlarının ÖYT değerlerinin genelde SDY'dan yüksek olduğunu, ancak düşük ve orta yüklerde %5 ve %10 BD karışımı yakıtların ÖYT değerlerinin SDY'dan daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Yakıtlardaki BD yüzdesinin artması ile termik verimin de arttığını, tüm karışımların egzoz gazı sıcaklıklarının SDY'dan düşük olduğunu söylemişlerdir. Tüm karışım yakıtlarının HC ve duman emisyonlarının SDY'na göre genelde azaldığını, NO emisyonunun yüksek yükler haricinde arttığını, karışımdaki BD oranının artmasıyla CO emisyonlarının genelde azaldığını ancak yüksek yükte %50 BD karışimli yakıtın CO emisyonu değerinin SDY'dan da yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek BD karışımları için yanma başlangıcının daha erken olduğunu, tüm BD yakıtlı karışımlar için ısı salımı oranı eğrilerinin birbirlerine çok yakın olduğunu, BD karışımlarının yanma sürelerinin SDY'dan daha kısa olduğunu, özellikle %20 BD içeren yakıt karışımının dizel motorlarında rahatlıkla kullanılabileceğini söylemişlerdir.

Parekh ve Goswami (2012) çalışmalarında, atık kızartma yağından elde edilmiş BD yakıtlarının ve SDY'na karıştırılarak dizel motorlarda kullanımının incelendiği çalışmalardan kritik yaparak motor performansı ve emisyon değerlerine etkilerini sunmuşlardır. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, atık kızartma yağından elde edilen BD'in kullanımının ÖYT ve NO_x emisyonunu SDY'na göre genelde bir miktar artırdığını, termal verim, HC ve CO emisyonlarını düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Prasad ve ark. (2012) çalışmalarında, jatropha yağından elde ettikleri BD'i, SDY'na %2-5-10 oranlarında karıştırarak dizel motorlarında kullanımını incelemişlerdir. Sonuç olarak, BD kullanımının ÖYT değerlerini yükselttiğini ve karışımdaki BD oranının artması ile bu yükselişin arttığını, termik verimin düştüğünü ve karışımdaki BD oranının artması ile bu düşüşün arttığını söylemişlerdir. BD kullanımı ile HC, CO ve duman emisyonlarının azaldığını, karışımda BD miktarının artması ile bu emisyon değerlerinin daha da azaldığını, NO_x emisyonu değerlerinin BD kullanımı ile arttığını, karışımın BD oranının artması ile değerlerin daha da arttığını belirtmişlerdir.

Rounce ve ark. (2012) çalışmalarında, yakıt olarak kolza BD'ni kullanmışlar, EGR'nin de etkisi ile yanma analizini ve emisyon parametrelerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, BD'in silindir içi basıncının SDY'na göre daha yüksek olduğunu, ısı salımı oranlarının birbirlerine oldukça yakın değerlerde olduğunu, BD'in NO_x emisyonu değerinin daha yüksek olduğunu, HC emisyonlarının SDY'dan daha düşük olduğunu söylemişlerdir.

Swaminathan ve Sarangan (2012) çalışmalarında, balık yağından elde ettikleri BD'e %1-2-3 oranlarında dietil eter (DEE) ilave ederek performans ve emisyon analizlerini yapmışlardır. Sonuç olarak, tüm BD yakıtlarının ÖYT değerlerinin SDY'na göre arttığını, ancak DEE ilavesinin ÖYT değerlerini bir miktar azalttığını belirtmişlerdir. Tüm karışım yakıtlarının termik verimlerinin SDY'kinden daha yüksek olduğunu, DEE ilavesinin ise düşük ve orta yüklerde termik verimi azalttığını, yüksek yükte ise artırdığını belirtmişlerdir. Tüm karışım yakıtlarının CO₂, HC ve CO emisyonu değerlerinin SDY'dan daha düşük olduğunu, karışımdaki DEE oranının artması ile CO₂ CO ve HC değerinin daha da azaldığını belirtmişlerdir. En yüksek NO_x değerlerinin BD yakıtı ile elde edildiğini, DEE kullanımı ile NO_x emisyonlarının SDY'na göre azaldığını göstermişlerdir.

Tan ve ark. (2012) çalışmalarında, jatropha BD'ni SDY'na %5-10-20-50 oranlarında karıştırarak egzoz emisyonlara etkilerini incelemişler, sonuçları BD ve SDY değerleri ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, BD kullanımı ile düşük ve orta yükte elde edilen NO_x emisyonlarının çok fazla değişmediğini, yüksek yükte ise karışımdaki BD oranının artması ile daha da arttığını, düşük ve orta yüklerde BD yakıtlı karışımların CO emisyonlarının SDY'dan fazla olduğunu, BD oranının CO emisyonunu genelde artırdığını, yüksek yükte ise BD karışımlarının CO emisyonlarının SDY'dan daha düşük olduğunu, BD oranının artması ile CO emisyonlarının azaldığını belirtmişlerdir. Tüm

yüklerde ve tüm karışım yakıtları ile elde edilen HC ve duman emisyonlarının SDY'dan daha düşük olduğunu, karışımdaki BD oranının artması ile emisyonların daha da düştüğünü belirtmişlerdir.

Tomic ve ark. (2013) çalışmalarında, ayçiçek yağından elde ettikleri BD'i %15-25-50-75 oranlarında SDY'na karıştırarak SDY ve BD'in motor performans ve emisyon değerleri ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, SDY ile karşılaştırıldığında karışımdaki BD oranının artmasıyla motor gücünde azalma olduğunu, ÖYT değerlerinin arttığını, termal verimin az bir miktar arttığını, CO ve CO₂ emisyonlarının azaldığını ve NO_x emisyonlarının arttığını ortaya koymuşlardır.

Fattah ve ark. (2014) çalışmalarında, tamanu yağından elde ettikleri BD'i SDY'na %20 oranında karıştırıp oksidasyonu önleyici antioksidan ilavesi yapmışlardır. Sonuç olarak, en düşük ÖYT ve NO_x emisyonu değerlerinin SDY ile elde edildiğini, BD karışımında antioksidan kullanımının ÖYT'ni düşürdüğünü söylemişlerdir. En büyük motor gücü, HC ve CO emisyonu değerlerinin SDY ile, en düşük değerlerin ise BD karışım yakıtı ile elde edildiğini, antioksidan kullanımının BD karışımı ile elde edilen güç değerini artırdığını söylemişlerdir.

İleri ve Koçar (2014) çalışmalarında, kanola yağından elde ettikleri BD'i %20 oranında SDY'na karıştırmışlar ve 500-750-1000 ppm oranlarında antioksidan ilave etmişlerdir. Sonuç olarak, BD karışimli yakıtının NO_x emisyonlarının SDY'kinden daha yüksek olduğunu, düşük yükler haricinde antioksidan ilavesinin BD karışimli yakıtın NO_x emisyonunu düşürdüğünü belirtmişlerdir. BD karışimli yakıtın HC ve CO emisyon değerlerinin SDY'kinden düşük olduğunu, antioksidan ilavesinin BD karışım yakıtının CO emisyonunu genelde düşürdüğünü ortaya koymuşlardır.

Lesnik ve ark. (2014) çalışmalarında, kolza yağından elde ettikleri BD'i SDY'na %25-50-75 oranlarında karıştırarak karışım yakıtlarının SDY ve BD yakıtlarına göre performans ve emisyon değerlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, tüm yük durumlarında %25 BD ilaveli yakıtların tork değerinin SDY'kine oldukça yakın ölçüldüğünü, yakıt içerisindeki BD miktarının artması ile tork değerlerinde düşme olduğunu belirtmişlerdir. Yine tüm yük durumlarında %25 BD ilaveli yakıtın güç değerlerinin SDY'na göre artış gösterdiğini, yakıt içerisindeki BD miktarının artması ile güç değerlerinde düşme olduğunu belirtmişlerdir. ÖYT değerlerinde ise yakıt içerisindeki BD miktarının artması ile ÖYT değerlerinin de arttığını belirtmişlerdir. Egzoz emisyonları karşılaştırıldığında, BD ve tüm karışım yakıtlarının NO_x değerlerinin SDY'kinden düşük olduğunu söylemişlerdir. CO emisyon değerlerinde ise, düşük yükte en yüksek CO emisyonun

SDY'dan elde edildiğini, orta ve yüksek yüklerde ise %25 BD ilaveli yakıtın CO emisyonu değerlerinin en yüksek olduğunu diğer BD yakıtlarının CO değerlerinin yine SDY'kinden düşük olduğunu göstermişlerdir. SDY ile tüm yüklerde elde edilen maksimum basınç ve ısı salımı oranı değerlerinin BD yakıtlarınınkinden büyük olduğunu ortaya koymuşlardır.

Mofijur ve ark. (2014) çalışmalarında, moringa yağından elde ettikleri BD'i SDY ile %10 ve %20 oranlarında SDY ile karıştırmışlar, performans ve emisyon değerlerini incelemişlerdir. SDY'na BD karıştırılmasının motor gücünü, termik verimi, CO ve HC emisyonlarını azalttığını, NO emisyonunu ise artırdığını göstermişlerdir. Bununla birlikte %10 BD içeren karışım yakıtının ÖYT değerinin SDY'kinden daha yüksek olduğunu, %20 BD içeren karışım yakıtının ÖYT değerinin ise SDY'kinden daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Ong ve ark. (2014) çalışmalarında, tamanu yağından elde edilen metil esteri %10-20-30-50 oranlarında SDY'na karıştırarak performans ve emisyon karakteristiklerini incelemişlerdir. BD karışımlarının ÖYT, egzoz gazı sıcaklığı, CO emisyonu değerlerinin, %10 BD içeren yakıt karışımı haricinde, SDY'na göre daha yüksek olduğunu, %10 BD karışımı yakıtının ise SDY'kinden daha düşük olduğunu göstermişlerdir. Termik verim değerleri karşılaştırıldığında, dizel karışimli yakıtlardan elde edilen değerlerin %10 BD karışımı yakıtınki haricinde SDY'na göre daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. BD karışımı yakıtlarının NO_x değerlerinin SDY'na göre daha yüksek olduğunu ve karışımdaki BD oranının artması ile NO_x emisyonlarının daha da arttığını göstermişlerdir. Yine BD karışımı yakıtlarının duman emisyonu değerlerinin SDY'na göre daha düşük olduğunu ve karışımdaki BD oranının azalması ile duman emisyonlarının daha da azaldığını göstermişlerdir.

Özener ve ark. (2014) çalışmalarında, soya yağından elde ettikleri BD'i SDY'na %10-20-50 oranlarında karıştırarak performans, emisyon ve yanma analizlerini SDY ve BD ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, tüm BD yakıtlarının tork değerleri SDY'kinden düşüktür. Karışımdaki BD oranının artması ile tork değerinin daha da azaldığını, yakıttaki BD oranının artmasının ÖYT'ni de artırdığını belirtmişlerdir. BD yakıtlarının egzoz gaz sıcaklığı ile CO, HC ve duman emisyonlarını azalttığını, NO_x ve CO₂ değerlerini artırdığını göstermişlerdir. SDY'na BD ilavesinin tutuşma gecikmesini kısalttığını ve tepe basıncı ile ısı salımı oranı değerlerini düşürdüğünü ortaya koymuşlardır.

2.2. Standart Dizel Yakıtı – Etanol/Biyoetanol Karışımları

Abu-Qudais ve ark. (2000) çalışmalarında, SDY'na %20 oranda ET karıştırarak ve yine %20 oranında ET'ü buharla dezenfekte ederek performans ve emisyon karakteristiklerini incelemiştir. Sonuç olarak, ET ilavesinin termik verimi SDY'na göre artırdığını, ET'ün buharla dezenfekte edilerek SDY ile karıştırılması yöntemini ile elde edilen karışımın termik veriminin daha yüksek olduğunu, ET ilavesinin CO ve HC emisyonlarını artırdığını, ET'ün buharla dezenfekte edilerek SDY ile karıştırılması yöntemi ile elde edilen karışımın CO ve HC emisyonunu daha da artırdığını, duman ve is emisyonlarını düşürdüğünü, direkt olarak SDY'na ilave edilen ET'ün is ve duman emisyonlarını daha da düşürdüğünü belirtmişlerdir.

De Caro ve ark. (2001) çalışmalarında, dizel yakıtına %10 ve %20 oranlarına ET ilave etmişler, elde ettiği karışımlara %2 oranında setan iyileştirici eklemiştir. Sonuç olarak, tam yük durumlarında karışım yakıtlarının motor gücü değerlerinin SDY'na göre azaldığını, setan iyileştiricinin düşük devirlerde karışım yakıtlarına göre gücü bir miktar artırsa da yüksek devirler de düşürdüğünü belirtmişlerdir. NO_x ve duman emisyonlarının ET karışumlu yakıtların kullanımı ile SDY'dan daha düşük olduğunu, setan iyileştirici kullanımı ile emisyon değerlerinin ET karışumlu yakıtlara göre bir miktar arttığını göstermişlerdir. HC ve CO emisyonlarında ise, ET kullanımı ile her iki emisyon değerinde de SDY'na göre azalma olduğunu, setan iyileştirici ilavesinin ET karışumlu yakıtlara göre emisyon değerlerini daha da düşürdüğünü göstermişlerdir.

He ve ark. (2003) çalışmalarında, SDY'na %10 ve %30 oranlarında ET ilave etmişler, ET'ün setan sayısını düşürme etkisini giderebilmek amacı ile karışıma setan iyileştirici eklemiştir. Sonuç olarak, karışım yakıtlarının SDY'na göre duman ve NO_x emisyon değerlerinin azaldığını, karışımdaki ET ilavesinin artması ile değerlerin daha da azaldığını, egzoz gaz sıcaklığını, HC ve CO emisyonu değerlerinin SDY'na göre arttığını, karışımdaki ET ilavesinin artması ile bu artışın azaldığını göstermişlerdir. Setan iyileştirici kullanımı ile, duman emisyonu değerinin ET karışumlu yakıtı göre daha düşük olduğunu, özellikle %30 karışumlu yakıtlarda setan iyileştiricinin duman emisyonu için daha ekili olduğunu göstermişlerdir. NO_x emisyonu için %10 karışımda kullanılan setan iyileştiricinin değerleri artırdığını, diğer karışımda ise azalttığını söylemişlerdir. Setan iyileştiricini en çok etkisinin görülmesi HC emisyonlarında ise, setan iyileştirici kullanımı ile HC emisyonlarının SDY değerlerinden daha düşük olduğunu ortaya koymuşlardır.

Can ve ark. (2004) çalışmalarında, SDY'na %10-15 oranlarında ET ilave etmişler, faz ayrışmasını önlemek amacı ile %1 isoproponal kullanmışlardır. Elde ettikleri karışım yakıtlarını turbo şarjlı, endirekt püskürtmeli bir dizel motorunda, farklı püskürtme basınçlarında kullanmışlar, performans ve emisyon karakteristiklerini SDY ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, karışımda ET ilavesinin miktarının artmasıyla tork ve güç değerlerinin SDY'na göre azaldığını, püskürtme basıncının azalması ile tork ve güç değerlerinin arttığını, yüksek püskürtme basıncında ise tork ve güç değerlerinin azaldığını göstermişlerdir. ET ilavesinin CO, SO₂ ve duman emisyonlarını SDY'na göre azalttığını, karışımdaki ET oranının artmasıyla SDY'na göre NO_x emisyonlarında %20'e kadar bir artış olduğunu göstermişlerdir. Püskürtme basıncındaki artışın CO ve duman emisyonlarını daha da düşürdüğünü, NO_x emisyonunu ise artırdığını belirtmişlerdir.

Çelikten (2004) çalışmasında, SDY'na %10 oranında ET ilavesi yapmış, elde ettiği karışımın performans ve emisyon parametrelerini SDY ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, ET ilavesinin motor torku ve motor gücü değerlerinde azalma olduğunu, ÖYT değerini artırdığını, NO_x ve CO emisyonlarında kısmen, CO₂, SO₂ ve duman emisyonlarında ise oldukça fazla oranlarda azalmalar tespit edildiğini belirtmiştir.

Xing-cai ve ark. (2004) çalışmalarında, SDY'na %15 oranında ET karıştırmışlar, elde ettiği karışıma ise %0.2-0.4 oranlarında setan iyileştirici ilave ederek SDY ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, tüm karışımların silindir basıncı değerlerinin SDY'dan düşük olduğunu, setan iyileştirici kullanımının silindir basıncını artırdığını belirtmişlerdir. Yüksek ve orta yüklerde, ET karışımli yakıtın ısısalı oranının daha yüksek olduğunu, setan iyileştiricinin ısısalı oranını düşürdüğünü, düşük yükte ise önemli değişmelerin olmadığını belirtmişlerdir. ET ilavesinin SDY'na göre tutuşma gecikmesini artırdığını, setan iyileştirici kullanımı ile tutuşma gecikmesinin bir miktar düştüğünü, ET ilavesinin toplam yanma süresini azalttığını ve setan iyileştiricinin yanma süresini artırdığını tespit etmişlerdir. ET kullanımının ÖYT artırdığını, setan iyileştiricinin ise ET karışımli yakıtının ÖYT düşürdüğünü, ET kullanımı ile termik verimin arttığını, setan iyileştiricinin termik verimi daha da artırdığını belirtmişlerdir. ET ilavesinin duman ve NO_x emisyonlarını düşürdüğünü, setan iyileştiricinin kullanımı ile duman emisyonunda bir miktar artış, NO_x emisyonunda ise daha da azalma olduğunu, ET kullanımının CO ve HC emisyonlarını genelde artırdığını, setan iyileştiricinin CO emisyonlarını bir miktar düşürdüğünü, düşük setan iyileştirici ilavesini HC emisyonu değerlerini ET karışımli yakıtı göre artırdığını, yüksek setan

iyileştirici ilavesinin HC emisyonu değerlerini ise kimi zaman SDY değerlerinin de altına düşürdüğünü göstermişlerdir.

Can ve ark. (2005) çalışmalarında, SDY'na %10 ve %15 oranlarında ET ilave ederek egzoz emisyonuna etkilerini SDY ile karşılaştırmışlardır. ET ilavesinin, NO_x emisyonunu artırdığını, CO, is ve SO₂ emisyonlarında azalma sağladığını söylemişler, bu azalmaların tam yükte, kısmi yüklere oranla daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Uslu (2006) çalışmasında, SDY'na %5-10-15 oranlarında ET ekleyerek farklı püskürtme avanslarında performans ve emisyon değerlerini incelemiştir. Sonuç olarak, standart avans değerlerinde SDY'na ET ilavesinin ÖYT değerini artırdığını, avansın artması ve azalması ile ÖYT değerlerinin daha da arttığını belirtmiştir. Karışım içerisindeki ET oranının artması ile CO ve HC emisyonlarında azalma NO_x emisyonlarında artma gözlemlendiğini, avansın artması ile CO ve HC emisyonlarında azalma, NO_x emisyonlarında ise yükselme olduğunu göstermiştir. Avansın azalması ile NO_x değerlerinde de azalma olduğunu, CO ve HC emisyonlarında ise artış olduğunu belirtmiştir.

Rakopoulos ve ark. (2007), çalışmalarında, SDY'na %5-10-15 ET ilave ederek dizel motorunda kullanmışlar, emisyon ve yanma analizlerini incelemiştir. Sonuç olarak, ET karışımlı yakıtların kullanımının tutuşma gecikmesini artırdığını, maksimum silindir basıncını neredeyse hiç etkilemediğini, silindir sıcaklığının çok az bir miktar düştüğünü, belirtmişlerdir. Isı salımı oranı analizi için yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri ile motorun çalışma davranışlarının çok etkili olduklarını söylemişlerdir. ET kullanımı ile NO_x, CO ve duman emisyonlarının önemli miktarda düştüğünü, karışımdaki ET yüzdesinin artması ile bu düşüş miktarının arttığını belirtmişlerdir. ET karışımlı yakıtların SDY'na göre HC emisyonlarını artırdığını, karışımdaki ET miktarının artmasıyla bu artış miktarının daha da fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Karışımdaki ET miktarının artması ile ÖYT ve termik verim değerlerinin az bir miktar arttığını, egzoz gazı sıcaklığının ise azaldığını söylemişlerdir.

Kim ve Choi (2008) çalışmalarında, SDY ile %15 oranında ET karıştırarak setan iyileştirici ilave etmiştir. Elde ettiği yakıtları kullanarak ısı artırıcı katalitik konvertörün etkisini incelemiştir. Sonuç olarak, ET kullanımının ÖYT değerini SDY'na göre artırdığını ancak setan iyileştirici ile bu artışın bir miktar azaldığını, termik verim değerlerinin üç yakıt için de birbirlerine çok yakın olduğunu belirtmişlerdir. ET karışımlı yakıtların CO, HC ve NO_x değerlerinin SDY'dan daha yüksek olduğunu, setan iyileştiricinin CO ve HC emisyonlarının ET karışımlı yakıtla göre bir miktar daha

düşük olduğunu, NO_x emisyonlarını ise iyice artırdığını belirtmişlerdir. Duman emisyonlarında ise, karışım yakıtlarının SDY'dan daha düşük olduğunu, ancak setan iyileştiricinin duman emisyonunun ET karışımli yakıtı göre bir miktar artırdığını belirtmişlerdir.

Lapuerta ve ark. (2008) çalışmalarında, dizel yakıtına %10 BE ilavesinin dizel motorlarda kullanımını incelemişlerdir. Sonuç olarak, BE kullanımın SDY'na göre, ÖYT ve termik verim değerlerinin dizel yakıtından daha yüksek olduğunu, duman ve PM emisyonlarını azalttığını, NO_x ve HC emisyonlarını artırdığını göstermişlerdir. SDY'na BE ilavesinin maksimum silindir basıncını artırdığını, ortalama silindir sıcaklığı değerlerinin çok fazla değişmediğini, yanma başlangıcının elde edildiği KMA değerini artırdığını ve ısı salımı oranını artırdığını tespit etmişlerdir.

Rakopoulos ve ark. (2008b) çalışmalarında, SDY'na %5 -10 oranlarında ET ilave ederek performans ve emisyon değerlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, yakıtlardaki ET değerinin artması ile ÖYT ve termik verim değerlerinin arttığını, duman, CO ve NO_x emisyonlarının azaldığını, HC emisyonlarının ise arttığını belirtmişlerdir.

Huang ve ark. (2009) çalışmalarında, SDY'na %10-20-25-30 oranlarında ET ve faz ayrışımını önlemek amacı ile %5 oranında n-butanol ilavesi yapmışlardır. Bu karışımları kullanarak elde ettikleri performans ve emisyon değerlerini, SDY ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, karışımdaki ET ilavesinin artması ile ÖYT değerlerinin de arttığını, düşük yükte CO emisyonu değerlerinin arttığını, yüksek yükte azaldığını, HC emisyonlarının arttığını, NO_x emisyonlarının genelde azaldığını, duman emisyonlarının azaldığını ortaya koymuşlardır.

Erkal (2010) çalışmasında, SDY'na ET karıştırarak (ET oranı, %5-10-15-20) turbo şarjlı ve doğal emişli olmak üzere iki durumda dizel motorda yakıt olarak kullanmış, performans ve emisyon parametrelerini incelemiştir. Her iki durumda da karışım yakıtlarının motor gücü ve termik verim değerlerinin azaldığını, ÖYT değerlerinin arttığını, karışım yakıtlarındaki ET oranının arttıkça güçteki ve termik verimdeki azalma oranları ile ÖYT'deki artma oranlarının yükseldiğini belirtmiştir. Egzoz emisyonları açısından incelendiğinde, her iki durumda da ET karışımli yakıtların is ve NO_x emisyon değerlerinin azaldığını, CO ve HC değerlerinin ise arttığını sunmuştur. Yine karışımdaki ET oranının artması ile is ve NO_x emisyonlarındaki azalma oranları ile CO ve HC emisyonlarındaki artış oranlarının arttığını belirtmiştir.

Ancak gerek doğal emiş gerekse turbo şarjlı durumda, orta ve yüksek motor yüklerinde SDY'nin NO_x emisyonunun azalmakta olduğunu belirtmiştir.

Ishida ve ark. (2010) çalışmalarında, yakıt olarak gazyağı, %68 gazyağı+%29 BE+%3 oktanol (A yakıtı) ve %48 gazyağı+%48 BE ve %4 oktanol (B yakıtı) yakıtlarını dizel motorda yakıt olarak kullanmışlar, EGR etkisi ile birlikte incelemiştir. Sonuç olarak, karışımda BE ilavesinin artmasıyla tutuşma gecikmesinin arttığını, yine EGR etkisinin artmasıyla tutuşma gecikmesinin arttığını belirtmiştir. Karışımdaki BE miktarının artması ile yakıtın yanma miktarının da azaldığını söylemişlerdir. BE kullanımı ile maksimum silindir basıncı değerinin yükseldiğini, maksimum basıncın elde edildiği KMA değerinin ÜÖN'dan dan uzaklaştığını, EGR etkisinin artmasıyla maksimum silindir basıncının azaldığını belirtmişlerdir.

Lei ve ark. (2011) çalışmalarında, SDY'na %10-15-20-30 oranlarında ET ilave ederek farklı atmosfer basınçlarında, dizel motorunun performans ve emisyon parametrelerine etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak, karışımdaki ET içeriğinin artması ile ÖYT değerlerinin SDY'kine göre genelde düştüğünü, atmosfer basıncının artması ile, tüm yakıtların ÖYT değerlerinin düştüğünü belirtmişlerdir. SDY'na ET ilavesinin CO emisyonlarını artırdığını, karışımdaki ET oranının artması ile CO emisyonu değerlerinin daha da arttığını, atmosfer basıncının artması ile CO emisyonu değerlerinin tüm yakıtlar için genelde azaldığını belirtmişlerdir. ET kullanımının düşük motor devirlerinde NO_x emisyonlarını artırdığını, orta motor hızlarında çoğunlukla artırdığını, yüksek motor hızlarında ise genelde düşürdüğünü belirtmişler, düşük ve orta yüklerde atmosfer basıncının artmasıyla NO_x emisyonlarının genelde azaldığını, yüksek yüklerde ise arttığını göstermişlerdir.

Lei ve ark. (2012) çalışmalarında, SDY'na %5-10-15 oranlarında ET karıştırmışlar ve CLZ adı verdikleri yeni bir emülgatör ilave ederek elde ettikleri karışım yakıtlarının, dizel motorunun performans ve emisyon parametrelerine etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak, dizel-ET-CLZ karışımı yakıtları ile elde edilen termal verim değerlerinin SDY'kinden yüksek olduğunu, düşük yüklerde elde edilen CO emisyon değerlerinde SDY'dan elde edilen değerlere göre karışım yakıtlarında arttığını, orta ve yüksek yüklerde karışım yakıtlarının CO emisyonu değerlerinin dizele göre düştüğünü, SDY ile karşılaştırıldığında karışım yakıtlarının duman ve NO_x değerlerini düşürdüğünü, HC emisyonu değerlerini ise artırdığını ortaya koymuşlardır.

2.3. Biyodizel – Etanol/Biyoetanol Karışımları

Özdemir (2011) çalışmasında, atık kızartma yağından elde ettiği BD'i SDY'na %10-20-30 oranlarına karıştırılmış, %10'luk BD karışımına %5, %20 BD karışımına %10-%30 BD karışımına %15 oranlarında ET ilavesi yapmıştır. Sonuç olarak, BD kullanımının motor torkunu ve gücünü düşürdüğünü, ÖYT'ni artırdığını söylemiştir. Karışımdaki BD'in miktarı arttıkça tork ve güç değerlerindeki azalma ve ÖYT'deki artış oranı da artmaktadır. Karışımlara ET ilavesinin tork ve güç değerlerini artırdığını, ÖYT değerlerinde ise çok yüksek bir değişiklik olmadığını belirtmiştir. BD kullanımının CO ve HC emisyonlarını düşürdüğünü, BD karışımlarına ET ilavesinin CO emisyonlarını bir miktar artırdığını, HC emisyonlarını ise yüksek ET oranlı yakıtlarda daha da azalttığını göstermiştir. SDY'na BD'in karıştırılmasının NO_x emisyonlarını artırdığını ancak ET ilavesi ile bu artış oranlarının biraz azaldığını ortaya koymuştur.

Randazzo ve Sodre (2011) çalışmalarında, soya yağından elde ettikleri BD'i %3-5-10-20 oranlarında SDY ile karıştırmış, %20 BD içeren karışıma %2 ve %5 oranlarında ET ilave ederek emisyon parametrelerini incelemişlerdir. Sonuç olarak karışımlardaki BD oranının artması ile CO₂ emisyonlarında artış, NO_x emisyonlarında %5 BD içeren karışım haricinde artış, %5 karışım yakıtının değerlerinde ise çok küçük bir azalma, HC emisyonunda artan BD oranı ile azalma, PM, CO ve HC emisyonlarında %5 BD içeren karışım haricinde bir azalma, %5 karışım yakıtının değerlerinde artış olduğunu söylemişlerdir. %20 BD karışımlarına ET ilavesinin CO₂ ve NO_x emisyonlarını düşürdüğü, HC, PM ve CO emisyonlarında ET miktarının da yükselmesiyle bir artış olduğunu ortaya koymuşlardır.

Zhu ve ark. (2011) çalışmalarında, atık kızartma yağından elde ettikleri BD'e %5-10-15 oranlarında ET ilave ederek performans, emisyon ve yanma analizlerini SDY ve BD ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, BD'in silindir basıncının SDY'kinden yüksek olduğunu, ısı salımı oranının ise SDY'dan düşük olduğunu, BD'e ET ilavesi ile hem silindir basıncının hem de ısı salımı oranının arttığını belirtmişlerdir. BD'in yanma başlangıcının SDY'kinden erken olduğunu, BD'e ET ilavesi ile yanma başlangıcının SDY'dan geç olduğunu, yine BD'in yanma süresinin dizel yakıttan daha kısa olduğunu, ET ilavesi ile yanma süresinin SDY'kinden de daha uzun olduğu belirtmişlerdir. Hem BD'in hem de ET ilaveli BD karışımlarının termik verimlerinin dizelden yüksek olduğunu, BD'e ET ilavesinin termik verimde gözle görülür bir değişiklik

oluşturmadığını, en düşük ÖYT değerlerinin SDY ile elde edildiğini, BD'e ET ilavesinin ÖYT'ni bir miktar artırdığını sonuç olarak belirtmişlerdir. BD'in CO, HC ve PM emisyonlarının SDY'kinden düşük olduğunu, ET ilavesi ile CO emisyonlarının arttığını, HC emisyonlarının çok az bir miktar arttığını, PM emisyonlarının ise daha da azaldığını göstermişleridir. BD'in NO_x emisyonunun SDY'kinden daha yüksek olduğunu, ET ilavesinin ise NO_x emisyonlarını SDY'kinden de daha az değerlere düşürdüğünü ortaya koymuşlardır.

Zhu ve ark. (2011b) çalışmalarında, atık yağdan elde edilen BD'e %5 oranında metanol ve ET ilavesi yapmış, emme manifoldundan emilen havaya belirli oranlarda karbondioksit karıştırarak performans, emisyon ve yanma analizi sonuçlarını karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, emme manifolduna gönderilen karbondioksit miktarının artması ile tüm yüklerde maksimum silindir basıncının düştüğünü, düşük yükte ısı salımı oranında önemli bir değişiklik görülmediğini, yüksek yükte ise karbondioksit miktarının artmasıyla ısı salımının da arttığını belirtmişlerdir. BD'e metanol ilavesinin maksimum silindir basıncı değerini BD'e göre çok az bir miktar artırdığını, ET ilaveli BD ve SDY ile elde edilen silindir basıncının hemen hemen eşit olduğunu, karbondioksit ilavesinin en çok ET ilaveli BD'in silindir basıncını düşürdüğünü göstermişlerdir. Hem metanol hem de ET ilavesinin ısı salımı oranını artırdığını, ancak metanol ilavesinin ET ilavesine göre ısı salımını bir miktar daha fazla artırdığını, karbondioksit ilavesinin ise tüm yakıtların ısı salımını artırdığını söylemişlerdir. Karbondioksit ilavesi ile tüm yakıtların PM, CO ve HC emisyonlarında artış olduğunu, NO_x emisyonunda ise azalma olduğunu belirtmişlerdir. Hem ET hem de metanol ilavesinin bu emisyon değerlerini düşürdüğünü, ET ilavesinin CO ve HC emisyonlarının metanol ilavesine göre daha düşük olduğunu, metanol ilavesinin ise NO_x ve PM emisyonlarının ET'den daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Anbarasu ve ark. (2013) çalışmalarında, dizel motorunda yakıt olarak SDY, pamuk yağı BD'i ve BD-ET karışımlarını (ET oranı, %5-10-15) yakıt olarak kullanmışlar, yanma, performans ve emisyon karakteristiklerine etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, tüm BD-ET karışımlarının ve BD'in ısı salımı oranlarının, maksimum silindir basınçlarının, termal verim değerlerinin, HC ve NO_x emisyon değerlerinin SDY'den düşük olduğunu söylemişlerdir. BD'e ET ilavesinin, %5 oranı haricinde, ısı salımı oranını, maksimum silindir basıncını, termal verimi, HC ve NO_x emisyonlarını düşürdüğünü göstermişlerdir. Tüm BD-ET karışımlarının ve BD'in, CO emisyon değerlerinin genelde SDY'den düşük olduğunu, ET karışimli yakıtlarda

karışımdaki ET oranının yükselmesiyle CO emisyonunun BD'e göre azaldığını söylemişlerdir. En düşük is emisyonu değerinin SDY ile elde edildiğini, daha sonra ise sırası ile %5 ET içeren karışım yakıtı, BD ve %10 ET içeren yakıttan elde edildiğini, en yüksek is emisyonunun %15 ET içeren karışımla elde edildiğini ortaya koymuşlardır.

Su ve ark. (2013) çalışmalarında, kızartma yağından elde ettikleri BD'e %20 oranında ET ilave etmişler, yanma ve emisyon karakteristiklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, BD'in yanma veriminin ve maksimum silindir basıncının SDY'dan daha yüksek olduğunu, ET ilavesinin yanma verimini ve silindir basıncını düşürdüğünü, BD'in ısı salımı oranının SDY'kinden daha yüksek olduğunu, ET ilavesinin ısı salımı oranını artırdığını belirtmişlerdir. BD'in CO, HC, is ve NO_x emisyonu değerlerinin SDY'dan daha düşük olduğunu, BD'e ET ilavesinin tüm emisyon değerlerini bir miktar artırdığını ortaya koymuşlardır.

Imtenan ve ark. (2014) çalışmalarında, palm ve jatropha yağlarından elde ettikleri BD yakıtını %20 oranında SDY ile karıştırmışlar, yakıtların oksijen içeriğini artırabilmek için her ikisine de %5 ET ilave ederek motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Silindir basınç değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek basınç değerinin BD karışım yakıtları ile elde edildiğini ve palm yağı ile elde edilen BD yakıtının en yüksek basınç değerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. SDY-BD karışımlarına ET ilavesinin ise BD karışımlarının silindir basıncı değerlerini SDY'nin altına düşürdüğünü belirtmişlerdir. Bunun yanında, BD karışım yakıtlarının maksimum basınçlarının elde edildiği krank açısının SDY'kine göre ÜÖN'ya daha yakın olduğunu, karışıma ET ilave edildiğinde ise SDY'kine yaklaştığını belirtmişlerdir. Isı salımı oranlarında ise yine BD karışımları ile elde edilen değerlerin SDY'dan daha yüksek olduğunu, karışımlara ET ilavesi ile ısı salımı oranlarının SDY'kine göre azaldığını ortaya koymuşlardır. Silindir içi sıcaklık dağılımları incelendiğinde en yüksek sıcaklık değerinin SDY ile elde edildiğini, en düşük sıcaklık değerinin ise ET ilaveli yakıtlarla elde edildiğini belirtmişlerdir. Motor gücü değerlerine bakıldığında, hem BD karışımlarının hem de ET ilaveli yakıtların güç değerlerinde SDY'na göre azalma olduğunu göstermişlerdir. BD karışımlarının ve ET ilaveli yakıtların termik verim değerleri SDY'kine göre daha fazladır. Ancak ET ilavesi ile karışım yakıtlarının termik verimlerinde bir miktar azalma olduğunu söylemişlerdir. SDY ile açığa çıkan HC emisyonlarının hem BD karışımli yakıtlardan hem de ET ilaveli yakıtlardan daha yüksek olduğunu, BD karışım yakıtına ET ilavesinin HC emisyonu değerini artırdığını belirtmişlerdir. CO emisyonları incelendiğinde, BD karışımlarının CO emisyonlarının

SDY'dan daha az olduğunu, BD karışımlarına ET ilavesinin CO emisyonunu daha da azalttığını göstermişlerdir. SDY'na BD ilavesinin NO_x emisyonlarını artırdığını, BD karışimli yakıtlara ET ilavesinin NO_x emisyonlarını azalttığını, palm yağı BD'i karışımlarına eklenen ET'un NO_x emisyon değerlerini SDY'kine göre azalttığı de az olduğunu ortaya koymuşlardır. Duman emisyonlarında ise, SDY'nın duman emisyonu değerlerinin hem BD karışimli yakıtlardan hem de ET ilaveli yakıtlardan daha yüksek olduğunu, BD karışım yakıtına ET ilavesinin duman emisyonu değerini daha da azalttığını belirtmişlerdir.

2.4. Standart Dizel Yakıtı – Biyodizel – Etanol/Biyoetanol Karışımları

Shi ve ark. (2005), çalışmalarında, soya yağı BD'ne %20 oranında ET ilave etmiş, bu BD+ET karışımını %15 ve %20 oranlarında SDY ile karıştırmışlardır. Bununla birlikte, SDY'na %20 soya BD'i karıştırarak bu üç karışım yakıtının performans ve emisyonlarını SDY ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, tüm karışım yakıtlarının PM ve duman emisyonlarının SDY'dan düşük olduğunu, ET kullanımı ile bu emisyonların daha da düştüğünü, tüm karışımların NO_x emisyonlarının SDY'dan yüksek olduğunu, ET kullanımı ile bu emisyonların daha da arttığını, BD'in HC emisyonun SDY'dan daha düşük olduğunu ancak ET kullanımının HC değerlerini SDY'dan da fazla artırdığını, düşük motor hızlarında, biyodizelin CO emisyonlarını artırdığını, orta ve yüksek hızlarda ise azalttığını, ET ilavesinin ise BD karışımına göre CO emisyonlarını genelde düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Chen ve ark. (2007) çalışmalarında, kolza yağından elde ettikleri BD'i %10 oranında SDY'na karıştırmış, bu karışıma %10-20-30 oranlarında ET ilave ederek dizel motorunda kullanımını incelemişleridir. Sonuç olarak, HC, PM ve duman emisyonlarının SDY'na göre karışımdaki ET oranının artmasıyla daha da azaldığını belirtmişlerdir. Tüm karışımların maksimum silindir basıncı değerlerinin SDY'dan daha yüksek olduğunu, karışımdaki ET miktarının artması ile maksimum silindir basıncı değerinin daha da arttığını göstermişlerdir. ET ilavesi ile maksimum silindir basıncının elde edildiği KMA ÜÖN'dan uzaklaştığını belirtmişlerdir. Yine ET ilavesinin ısı salımı oranını artırdığını ortaya koymuşlardır.

Ejder (2007) çalışmasında, ET-SDY (ET oranı, %5-10-15)ve BD-SDY (BD oranı, %5-10-15)yakıtı karışımlarını dört silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motoruna yakıt olarak kullanmış ve motor performansına etkilerini incelemiştir. BD

kullanımı ile yapılan ölçümlerde, düşük ve orta yüklerde B5 yakıtı ile elde edilen tork ve güç değerlerinde bir miktar artış olduğunu, diğer karışımlarda ise karışımdaki BD oranındaki artışla tork ve güç değerinde azalma olduğunu göstermiş, yüksek yüklerde ise tüm karışım yakıtlarında, karışımdaki BD oranının artması ile tork değerinde azalma olduğunu ortaya koymuştur. ÖYT değerleri incelendiğinde, karışım yakıtlarının ÖYT değerlerinin genelde SDY'den yüksek olduğunu ancak orta yüklerde BD karışım yakıtlarının ÖYT değerlerinde bir azalma olduğunu göstermiştir. Yine orta motor yükleri haricinde karışım yakıtları ile elde edilen toplam verimin SDY'den az, orta yüklerde ise fazla olduğunu söylemiştir. ET-SDY karışımları ile yapılan ölçümler sonucunda, karışım yakıtlarının tork, güç ve toplam verim değerlerinin SDY'na göre azaldığını ve bu azalma oranının karışımdaki ET oranının artması ile arttığını söylemiştir. Karışım yakıtlarının ÖYT değerlerinde is artış olduğunu gözlemlemiştir.

Kwanchareon ve ark. (2007) çalışmalarında, SDY'na palm yağından elde ettikleri BD'i karıştırarak ET ilave etmişlerdir. 10-20-30-40 °C'de hazırlamış oldukları karışımların, %85 SDY-%15 BD (A yakıtı), %85 SDY-%10 BD-%5 ET (B yakıtı), %85 SDY-%5 BD-%10 ET (C yakıtı) ve %85 SDY-%15 ET (D yakıtı), emisyon değerlerini SDY ve BD ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, özellikle yüksek motor yükünde karışım yakıtlarının CO ve HC emisyonlarının daha düşük olduğunu, bunun yanında SDY ile kıyaslandığında NO_x emisyonlarının arttığını söylemişlerdir.

Baydan (2008) çalışmasında, aspir metil esterini (AME) %20 oranında SDY ile karıştırarak %5-10-15 oranlarında BE ilave etmiş, performans ve emisyon analizlerini SDY ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, AME'nin tork ve güç değerlerinin SDY'dan daha düşük olduğunu, karışımdaki BE yüzdesinin artmasıyla tork ve güç değerlerinin daha da azaldığını, AME karışımının ÖYT değerinin SDY'dana daha fazla olduğunu, etanol ilavesi ile ÖYT değerlerinin daha da arttığını belirtmiştir. SDY'na %20 AME'i katılmasının duman emisyonlarını azalttığını, BE ilavesi ile duman emisyonlarının daha da düştüğünü belirtmiştir.

Labeckas ve Slavinskas (2009) çalışmalarında, kolza yağı BD'li, ET ve SDY'larını farklı oranlarda şu şekilde karıştırmışlardır; tüm karışımlar için temel yakıtı BD kabul edip %2.5-5-7.5-10 oranlarında ET ile, %2.5-5-7.5-10 oranlarında SDY ile, %2.5-5-7.5 oranlarında ET+SDY(%50-%50) karışımlarını BD'e ilave etmişlerdir. Sonuç olarak, tüm karışımlar için ET oranının artması ile ortalama efektif basınç değerlerinin düştüğünü, ÖYT değerlerinin genel olarak arttığını ve termik verimin azaldığını belirtmişlerdir.

Barabas ve ark. (2010) çalışmalarında, SDY- %10 BD-%5 BE (1. karışım), SDY-%25 BD-%5 BE (2. karışım) ve SDY-%10 BD-%10 BE (3. karışım) karışımlarını hazırlayarak performans ve emisyon değerlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, en yüksek termik verim değerlerinin SDY ile elde edildiğini, karışım yakıtlarında ise en yüksek termik verim değerinin 3. karışım ile elde edildiğini göstermişlerdir. Tüm karışım yakıtlarının ÖYT değerlerinin SDY'kinden yüksek olduğunu, karışım yakıtları ile elde edilen en düşük ÖYT değerinin 3. karışımla elde edildiğini sunmuşlardır. Tüm karışımların HC, CO ve duman emisyonu değerlerinin SDY'na göre düştüğünü, en düşük CO değerlerinin orta yüklerde 3. karışım ile yüksek yükte ise 1. karışım ile elde edildiğini, en düşük HC emisyonlarının 2. karışım ile elde edildiğini, en düşük duman emisyonu değerlerinin ise 1. karışım ile elde edildiğini belirtmişlerdir. NO_x emisyonu değerleri incelendiğinde, düşük yükte en yüksek NO_x'in 2. karışım en düşük 3. karışım ile, orta yükte en düşük NO_x'in SDY en yüksek değer 3. karışım ile, yüksek yükte en düşük NO_x'in 3. karışım en yüksek değer 2. karışım ile elde edildiğini göstermişlerdir. Tüm karışım yakıtlarının CO₂ değerlerinin SDY'kinden yüksek olduğunu, karışım yakıtları ile elde edilen en düşük CO₂ değerinin 3. karışımla elde edildiğini sunmuşlardır.

Çelikten (2011) çalışmasında, kolza ve soya yağlarından elde ettiği BD'i SDY'na %20 oranında karıştırmış, %5 ET ilavesi yapmış, faz ayrışımını önlemek için %1 oranında isopropil alkol eklemiştir. Elde ettiği karışımları yakıt olarak kullanarak performans ve emisyon parametrelerini SDY ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, karışım yakıtlarının tork değerlerinin SDY'dan daha düşük olduğunu, en düşük tork değerinin soya yağı BD karışımının kullanımı ile elde edildiğini, karışım yakıtlarının ÖYT değerlerinin SDY'dan daha yüksek olduğunu, en yüksek ÖYT değerinin soya yağı BD karışımının kullanımı ile elde edildiğini belirtmiştir. Egzoz emisyon değerleri incelendiğinde, karışım yakıtlarının CO, HC ve duman emisyonu değerlerinin SDY'dan daha düşük olduğunu, en düşük değerlerin ise CO emisyonu için kolza yağı BD karışımının kullanımı ile, HC ve duman emisyonları için soya yağı BD karışımının kullanımı ile elde edildiğini, karışım yakıtlarının NO_x değerlerinin SDY'dan daha yüksek olduğunu, en yüksek değerlerin soya yağı BD karışımının kullanımı ile elde edildiğini ortaya koymuştur.

Jagadish ve ark. (2011) çalışmalarında, palm yağından elde ettikleri BD ile SDY'nı %10-20 oranlarında karıştırmış, %5 BD+%85 SDY+%10 ET karışımının, %10 BD+%70 SDY+%20 ET karışımının ve %10 BD+%60SDY+%30 ET karışımının

emisyon parametrelerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, BD kullanımının NO emisyonunu SDY'na göre artırdığını, ET kullanımının ise düşürdüğünü, EGR kullanımının tüm yakıtlar için NO emisyonunu düşürdüğünü, ET'ün HC emisyonlarını artırdığını, BD kullanımı ile HC emisyonlarının azaldığını, tüm yakıtlar için EGR kullanımının genelde emisyonunu artırdığını, tüm karışımların PM emisyonlarının SDY'na göre daha düşük olduğunu, ET kullanımının PM emisyonunu bir miktar daha azalttığını, EGR kullanımının tüm yakıtlar için PM emisyonunu artırdığını belirtmişlerdir.

Qi ve ark. (2011) çalışmalarında, soya yağından elde ettikleri BD'i SDY'na %30 oranında karıştırmış ve %5 oranında ET ilave ederek %70 SDY+%25 BD+ %5 ET karışımını elde etmişlerdir. Bu yakıtları, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanmışlar, yanma ve emisyon karakteristiklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, ET kullanımının BD karışımına göre ÖYT değerini düşürdüğünü, HC ve NO_x değerlerini genelde artırdığını, duman ve CO emisyonu değerlerini ise düşürdüğünü belirtmişlerdir. ET karışımlı yakıtın düşük yükte ki maksimum silindir basıncı değerinin BD karışımlı yakıtı göre daha düşük olduğunu ve maksimum basıncın elde edildiği KMA değerinin ÜÖN dan daha uzak olduğunu göstermişlerdir. Yüksek yükte ise, ET ilaveli yakıtın maksimum basınç değerinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, ET ilaveli yakıtın ısı salımı oranının daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Yılmaz (2012) çalışmasında, atık yağ BD kullanarak %45 SDY+%45 BD+%10 metanol, %40 SY+%40 BD+%20 metanol ile %45 SDY+%45 BD+%10 ET, %40 SY+%40 BD+%20 ET karışımlarını yakıt olarak kullanarak SDY ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, karışımların ÖYT değerlerinin SDY'dan daha yüksek olduğunu, ET karışımlı yakıtların ÖYT değerlerinin metanol karışımlı yakıtlara göre daha düşük olduğunu, egzoz gazı sıcaklıklarında önemli bir değişim olmadığını, NO emisyonunun karışımlardaki alkol oranının artması ile azaldığını, CO ve HC emisyonlarının ise azaldığını söylemiştir.

Yılmaz ve ark. (2014) çalışmalarında, kızartma yağından elde etmiş oldukları BD'i SDY ile karıştırarak %3-5-15 ve 25 oranında ET ilave ederek emisyon değerlerini SDY ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, karışımlara ET ilavesi ile egzoz gaz sıcaklığının arttığını, NO ve CO emisyonlarının azaldığını, HC emisyonlarının ise düşük ve yüksek yüklerde arttığını, orta yükte azaldığını belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu bölümde, tez aşamasında kullanılmış olan test yakıtları, yakıt karışımları için kullanılan ölçüm aletleri ve karıştırıcı, deneylerin yapıldığı test motoru, egzoz emisyon cihazı, motor test düzeneği ekipmanları ile silindir içi basınç ölçüm sistemi ekipmanları sunulmuştur.

3.1.1. Test yakıtları

Tez çalışmasında temel yakıt olarak kullanılan dizel yakıtı, Euro Diesel (EUD) ticari yakıtıdır.

EUD ile karıştırılmak üzere biyodizel üretmek için kullanılan aspir tohumları, Konya Ilgın ilçesinde bulunan Derman Tarım İnşaat Gıda Sanayii Ticaret Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Tohumlardan yağ çıkarma işlemi Esen Yağ İmalat Atölyesi'nde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen aspir tohumu yağından, Aspir Yağı Biyodizeli (Aspir Yağı Metil Esteri) üretimi transesterifikasyon yöntemi ile Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Biyodizel Laboratuvarı'nda DPT 2004/7 no'lu proje kapsamında kurulan 100 L/h kapasiteli Programlanabilir Kontrol Cihazı (PLC) destekli Pilot Üretim Tesisi'nde gerçekleştirilmiştir. Biyodizel üretiminde TS EN 14214 standartlarına uygun olarak, yoğunluğu 20 °C'de 792 kg/m³ olan 0.99 saflık derecesine sahip Merck marka metanol (CH₃OH) ve katalizör olarak yine Merck firmasına ait 0.97'den yüksek saflık derecesine sahip sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır.

Tesis, 150 litre kapasiteli ham yağ tankı, 100 litre kapasiteli reaktör, 150 litrelik yıkama (dinlendirme) tankı, 50 litrelik metoksit, metanol ve katalizör tankları ile 230 litrelik saf su, biyodizel, gliserin ve atık su tanklarından oluşmaktadır.

EUD ve biyodizel karışımlarına ilave yakıt olarak eklenen biyoetanol, şeker pancarından elde edilen yakıt biyoetanolüdür ve Konya Şeker Fabrikası Çumra Şeker Entegre Tesislerinden temin edilmiştir.

3.1.2. Yakıt karışımları için kullanılan ölçüm aletleri ve karıştırıcı

Test yakıtlarının hazırlanmasında Şekil 3.1’de gösterilen VITLAB marka 1 litre ve 2 litre ölçüm kapasiteli iki adet ölçüm kabı ve hassas ölçü miktarlarının ayarlanmasında 100 ml’lik enjektörler kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Ölçüm kapları ve enjektör

Hazırlanan test yakılarını karıştırmak için Tops marka Şekil 3.2’de görülen manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Hazırlanan test yakıtları Paşabahçe tarafından üretilen özel fermantasyon kavanozlarında muhafaza edilerek mümkün olduğu kadar oksijen ile teması kesilmiştir.



Şekil 3.2. Karıştırıcı ve fermantasyon kabı

3.1.3. Test motoru

Bu çalışmada, Şekil 3.3’de gösterilen proje kapsamında yeni alınmış ANTOR marka, tek silindirli bir dizel motor kullanılmıştır. Motora ait teknik özellikler Çizelge 3.1.’de sunulmuştur.



Şekil 3.3. Test motoru

Çizelge 3.1. Test motorunun teknik özellikleri

Model	3 LD 510
Motor tipi	Dört zamanlı, Direkt enjeksiyonlu
Silindir sayısı	1
Silindir hacmi, cm ³	510
Çap X Strok, mm X mm	85 X 90
Sıkıştırma oranı	17.5:1
Maksimum motor devri, d/d	3300
Maksimum motor torku, Nm	32.8
Maksimum motor gücü, kW	9
Soğutma şekli	Su soğutmalı
Enjektör markası – püskürtme basıncı, bar	STANADYNE 41445190 – 190

3.1.4. Egzoz emisyon cihazı

Test sürecinde egzoz emisyonlarının ölçümü için Şekil 3.4. de gösterilen Bosch-BEA 350 model emisyon ölçüm cihazı ve duman emisyonu ölçümü için Bosch RTM 430 model duman ölçüm kiti kullanılmıştır. Cihaz, CO, CO₂, HC, NO emisyonlarını ve duman koyuluğunu, egzoz gazının hacimsel debisine oranını (%) olarak ölçebilmektedir. Cihaza ait teknik özellikler Çizelge 3.2.'de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Bosch BEA 350 egzoz emisyonu ölçüm cihazı teknik özellikleri

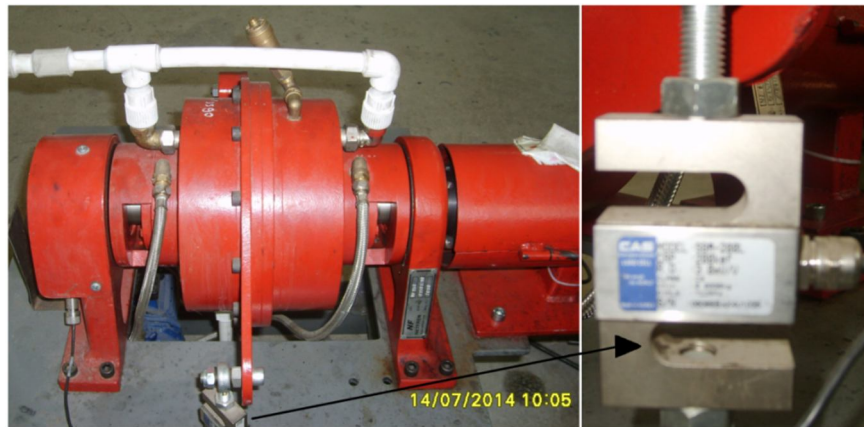
ÖLÇÜM	ÖLÇME ARALIĞI	HASSASİYET
CO ₂ , % v/v	0 – 18	0.01
CO, % v/v	0 – 10	0.001
HC, ppm	0 – 9999	1 ppm
NO, ppm	0 – 5000	1 ppm
Duman, %	0 – 100	0.1



Şekil 3.4. Bosch BEA 350 egzoz emisyonu ölçüm cihazı

3.1.5. Motor test düzeneği ve dinamometre

Motorun yüklenmesi için Şekil 3.5.'de gösterilen Net Fren NF150 marka hidrolik dinamometre test sistemine monte edilmiştir. Motorun yüklenmesi anındaki değerler, 1 gr hassasiyetinde, 0–200 kg aralığında ölçüm yapabilen CAS marka SBA 200L model yük hücresi kullanılarak okunmuştur. Dinamometrenin devir ölçüm aralığı 0-6500 d/d ve tork ölçüm aralığı 0 - 450 Nm'dir.



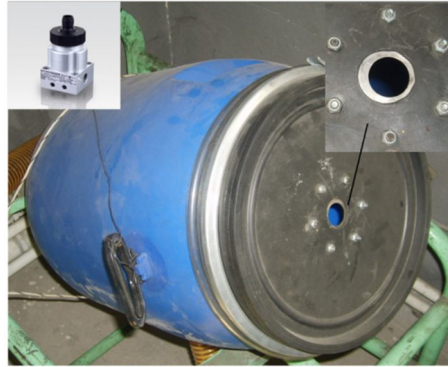
Şekil 3.5. NF 150 hidrolik dinamometre ve yük hücresi

Yakıt tüketimi, Şekil 3.6.'da gösterilen, 2.5 L kapasiteli bir yakıt deposunun altında bulunan Cas marka BCL-1L model, 0-3 kg ölçüm kapasiteli 0.01gr hassasiyetinde yük hücresi kullanılarak gr/s biriminden okumuştur.



Şekil 3.6. Yakıt deposu

Hava tüketimini ölçmek için, emme manifoldu hattına TS EN ISO 5167 standardına uygun orifis çapı 28 mm olan, flanşlı-keskin köşeli tip orifis plakası uygun bir hava sönümlenme tankı üzerinde yerleştirilmiştir. Orifis plakasının giriş ve çıkış basınç farkını ölçmek için BD Sensor marka DMD 341 tip fark basınç sensörü kullanılmıştır. Kullanılan sensor 0 – 1000 mbar ölçüm aralığına ve %0.001 ölçüm hassasiyetine sahiptir. Hava tüketimi ölçümü için kullanılan ekipmanlar Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



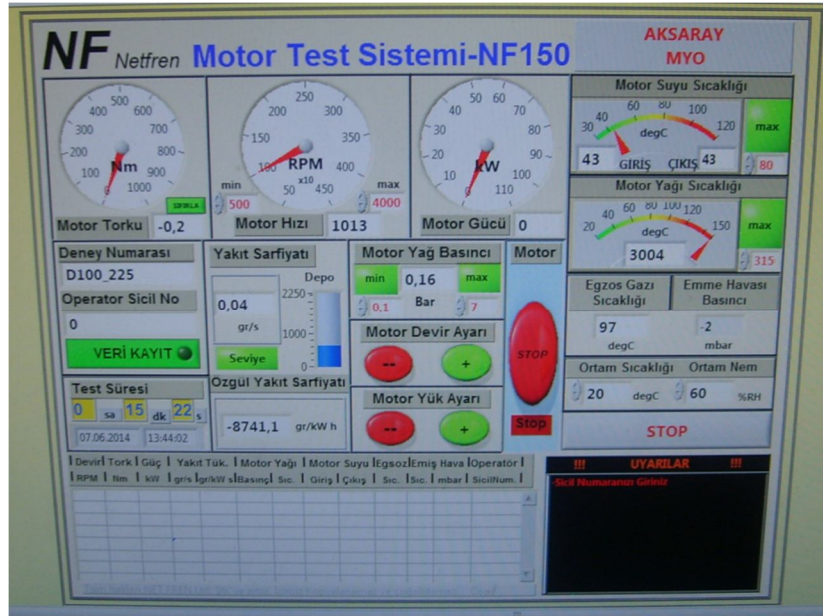
Şekil 3.7. Hava tüketimi ölçüm düzeneği ekipmanları

Motor suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları, motor yağı ve egzoz gazı sıcaklıklarının ölçümü için Şekil 3.8.'de gösterilen k tipi PT 100 sıcaklık ölçerleri kullanılmıştır.



Şekil 3.8. k tipi sıcaklık ölçer

Test sürecinde elde edilen ve yukarıda bahsedilen veriler, Net Fren firması tarafından hazırlanmış olan ve arayüzü Şekil 3.9.'da gösterilen LabVIEW bilgisayar yazılımı kullanılarak oluşturulan yazılım sayesinde ölçülmüş ve depolanmıştır. Bu yazılım sayesinde motorun frenleme yükü kontrolü de sağlanmaktadır.



Şekil 3.9. Motor yük kontrolü ve ölçümü için kullanılan yazılımı

Motorun soğutucu akışkanının debisi için Şekil 3.10.'da gösterilen Bass Instruments firmasına ait TDSS.0.10.0.15. tip, 3-20 L/d ölçüm aralığına, 0.01 ölçüm hassasiyetine sahip debimetre kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Soğutucu akışkan debisi için kullanılan debimetre

3.1.6. Silindir basıncı ölçüm sistemi

Silindir basıncı ölçüm sistemi, Şekil 3.11.'de de gösterildiği gibi, silindir basınç sensörü, amplifikatör, enkoder (manyetik devir algılayıcısı), veri toplama kartı ve sinyal koşullandırıcı ve filtresi elemanlarından oluşmaktadır. Silindir içi basıncın ölçülmesinde Kistler marka 6052C model piezoelektrik basınç sensörü kullanılmıştır. Silindir içi basınç sensörü için motor silindir kapağına açılan yuva, üretici firmanın önerdiği şekilde, test motorunu üreten firma tarafından yapılmıştır. Basınç sensörü tarafından, silindir içi basıncına bağlı olarak üretilen voltajın basınç sinyaline dönüştürülmesini sağlayan ve hassas filtreleme özelliğine sahip olan, basınç sensoruna uyumlu Kistler marka 5018A model amplifikatör kullanılmıştır. Silindirde meydana gelen basıncın krank açısına bağlı değişiminin algılanabilmesi için Kübler marka ve Sendix 5000 model enkoder kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Silindir basıncı ölçüm sistemi ekipmanları

Çizelge 3.3. Silindir basıncı ölçüm sistemi elemanlarının özellikleri

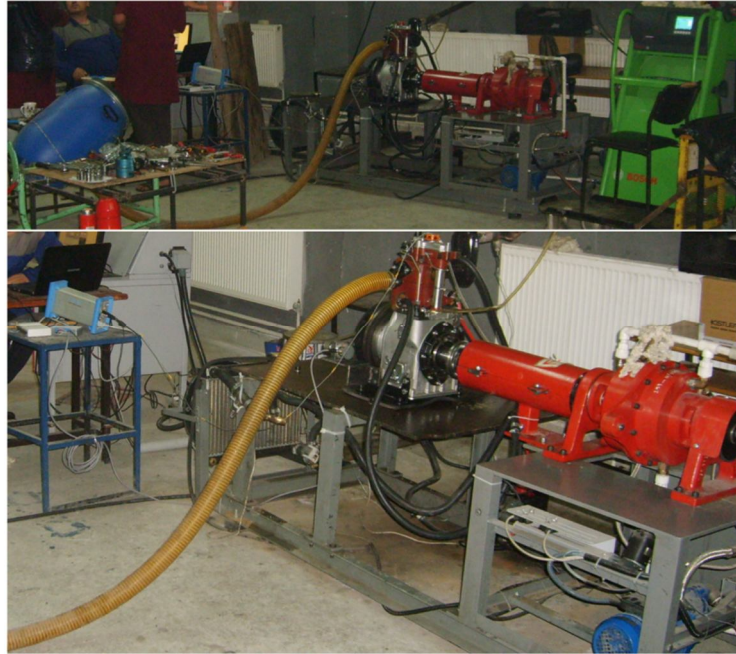
Basınç Sensörü	
Marka – Model	Kistler – 6052C
Tip	Piezoelektrik
Ölçüm aralığı, bar	0 – 250
Çalışma sıcaklığı, °C	-20 – 350
Amplifikatör	
Marka – Model	Kistler – 5018A
Kanal sayısı	1
Ölçüm aralığı, pC	2 – 2200000
Çıkış sinyali, volt	-10 – 10
Frekans, kHz	0 – 200
Çalışma sıcaklığı, °C	0 – 50
Enkoder	
Marka – Model	Kübler – Sendix 5000
Ölçüm aralığı, d/d	0 – 12000
Çalışma sıcaklığı, °C	-40 – 85

Çizelge 3.3.'de silindir basınç ölçüm sistemi elemanlarının özellikleri sunulmuştur. Test süresince elde edilen silindir basıncı – krank açısı değerleri, National Instruments firmasına ait NI usb 6210 model data logger ile Nel Elektronik firması tarafından hazırlanan sinyal koşullandırıcı ve filtreleyici ile arayüz görüntüsü Şekil 3.12.'de gösterildiği gibi olan FebriS yazılımı sayesinde okunmuş ve depolanmıştır.



Şekil 3.12. FebriS arayüzü

Test yakıtlarının hazırlanması ve motor testlerinin yapılmasında kullanılan bu malzeme ve ekipmanlar ile Şekil 3.13.'de gösterilen test düzeneği kurulmuştur.



Şekil 3.13. Motor test düzeneği

3.2. Yöntem

Bu bölümde, testlerde kullanılan biyodizelin üretimi, test yakıtlarının hazırlanması, test düzeneğinin hazırlanması, testlerin yapılışı, testlerde ölçülen ve hesaplanan parametreler ile egzoz emisyon ölçümleri sunulmuştur.

3.2.1. Biyodizel Üretimi

Önce tohumlardan yağ çıkarma işlemi yapılmıştır. Bu işlemde, tohumlara vals ile pullandırma yöntemi kullanılarak ısıtılarak uygulanmış daha sonra preslenerek aspir yağı elde edilmiştir. Elde edilen aspir yağı filtreleme işleminden geçirildikten sonra, ham yağ tankına alınmış oradan da 80 L ham aspir yağı reaktöre pompalanmıştır. Yağın sıcaklığı metanolün kaynama sıcaklığının (65°C) biraz altı olan 55° C'ye ulaşıncaya kadar reaktörde karıştırılarak ısıtılmıştır. Isıtılan yağ hedeflenen sıcaklığa geldikten sonra, metoksit tankında hazırlanan 16 L metanol (hacimsel olarak yağ hacminin %20'si oranında) ve 280 gr sodyum hidroksit (1 L yağ için 3.5 gr oranında) karışımı, ham yağ içerisine gönderildikten sonra yine 55° C sabit sıcaklıkta reaktör içerisinde 80 d/d hızla 1 saat karıştırılmıştır. Daha sonra karışım yeteri kadar dinlendirilmiş ve dibe çöken gliserol alınmıştır.

Buradan sonra yıkama/dinlendirme tankına gönderilen ham biyodizel burada yaklaşık 20 saat dinlendirilerek soğutulmuştur. Biyodizel içerisinde reaksiyona girmeyen metanol, kalan yağ asitleri, katalizör madde ve kalabilecek olan gliserolün uzaklaştırılması için biyodizel, yaklaşık 25 L saf su ile yıkamaya tabi tutulmuştur. Yıkama işlemine başlamadan önce biyodizel ve su 50° C sıcaklığa getirilmiş ve yıkamaya başlanılmıştır. Yıkama işlemi sonunda suyun çökmesi için 18 saat beklenmiş ve çöken su atık su tankına çekilmiştir.

Biyodizel içerisinde kalma ihtimali bulunan suyun, biyodizelden uzaklaştırılması için dinlendirme/yıkama tankının ısıtıcısı çalıştırılarak biyodizel 100°C (suyun kaynama sıcaklığı)'ye kadar ısıtılmış ve 4 saat kurutma işlemi yapılmıştır. Tank içerisinde oluşan su buharı vakum pompası sayesinde tahliye edilmiş ve biyodizelin kurutma işlemi sonuçlandırılmıştır. Daha sonra elde edilen biyodizel filtreden geçirilmiş ve cam fermantasyon kavanozlarına alınarak depolanmıştır.

3.2.2. Test yakıtlarının hazırlanması

Karışım yakıtları hazırlanırken literatür araştırması ve EPDK'nın biyoyakıtlar ile ilgili almış olduğu kararlar dikkate alınmıştır. Bu karar doğrultusunda ilk karışım olarak hacimce %3 biyodizel içeren test yakıtı ile karışımların oluşturulmasına başlanılmıştır. Daha sonraki karışımlar ise genel olarak yüksek oranda biyodizel karışımlarının kullanılabilirliğinin araştırılması amacı ile hazırlanmıştır. Biyoetanol ise, literatürde de karşılaşılan ve biyodizelin olumsuz yakıt özelliklerinin (özellikle yüksek NO_x emisyonu ve SFTN değerleri gibi) bir kısmının giderilebilmesi amacı ile ilave edilmiştir.

Yakıt karışımları hacimsel oranlarla karıştırılmış, oluşturulurken önce biyodizel EUD yakıtına ilave edilerek gözle görülür şekilde homojenlik sağlanana kadar karıştırılmış daha sonra biyoetanol ilave edilerek tekrar homojenleşinceye kadar karıştırma işlemi devam etmiştir. Biyodizel ve EUD yakıtlarının yoğunluklarının yakın olması nedeni ile karışımlarının homojenliği kolay sağlanmıştır. Biyoetanolin ise karışım yakıtlarının içerisine enjektör ile püskürtülerek diğer yakıtlara iyice nüfuz etmesi sağlanmıştır. 35-40 °C sıcaklıkta karıştırılan yakıtlarda göz ile görülebilecek düzeyde faz ayrışımı olmamıştır. Tüm yakıtlar Şekil 3.14'de gösterildiği gibi cam fermantasyon kavanozlarında muhafaza edilmiştir. Testlere başlamadan karışımlar tekrar karıştırılarak deneyler esnasında oluşabilecek bir ayrışım önlenmeye çalışılmıştır. Test yakıtları ve karışım oranları Çizelge 3.4.'de sunulmuştur.



Şekil 3.14. Test yakıtları

Test yakıtlarını hazırlamada kullanılan EUD, biyodizel ve biyoetanole ait analizler Gebze’de bulunan TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü’nde yaptırılmış ve elde edilen analiz sonuçları Çizelge 3.5.’de sunulmuştur. Yalnızca biyoetanolumun alt ısıl değeri Bozok üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Biyosistem mühendisliği bölümü biyoyakıt laboratuvarında ölçülmüştür.

Çizelge 3.4. Test yakıtları karışım oranları

TEST YAKITI	EUD, % v/v	BİYODİZEL, % v/v	BİYOETANOL, %v/v
EUD	100	-	-
B3	97	3	-
B3E5	92	3	5
B3E10	87	3	10
B10	90	10	-
B10E5	85	10	5
B10E10	80	10	10
B15	85	15	-
B15E5	80	15	5
B15E10	75	15	10
B20	80	20	-
B20E5	75	20	5
B20E10	70	20	10

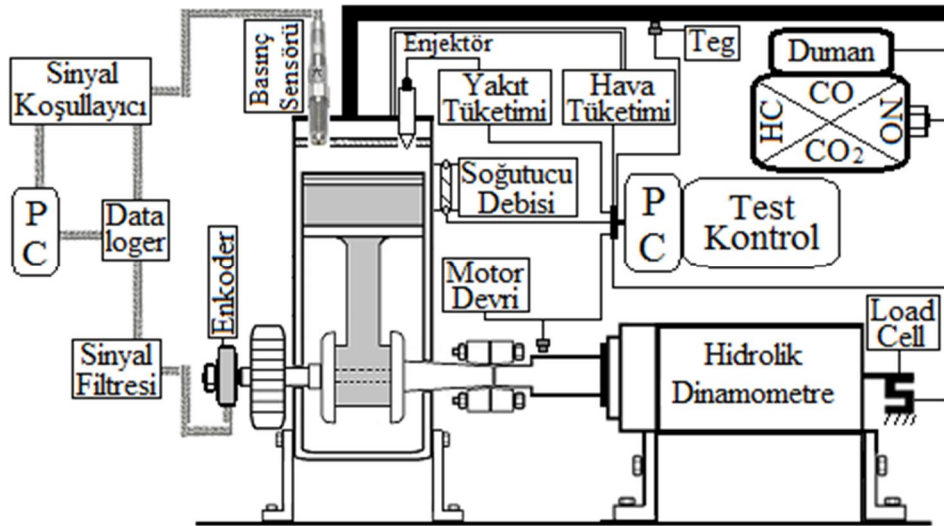
Çizelge 3.5. Test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri

ÖZELLİK	BİRİM	EUD	BİYODİZEL	BİYOETANOL	ANALİZ METODU
Yoğunluk, 15°C’de	kg/m ³	834.5	885.6	794	EN ISO 12185
Kinematik Viskozite, 40 °C’ta	mm ² /s	2.794	4.353	1.1	EN ISO 3104
Yağ Asidi Metil Ester içeriği	% (m/m)	-	97.24	-	EN 14103
Alt Isıl Değer	Mj/kg	43.14	38.59	27.166	ASTM D 240
Setan Sayısı		55.2	55.7	-	EN ISO 5165
Su içeriği	mg/kg	70	400	170	EN ISO 12937
Asit sayısı	mgKOH/g	<0.1	0.15	-	ASTM D 664
İyot sayısı	gr iyot/100g	-	117	-	EN 14111
Parlama noktası	°C	68.5	156.5	-	ISO 2719
Oksidasyon Kararlılığı, 110 °C’de	saat	2	0.31	>1	EN ISO 12205
Karbon Kalıntısı	%, m/m	<0.1	0.2	0.007	EN ISO 10370
SFTN	°C	-14	-8	-	EN 116
Bakır Şerit Korozyon		1a	1a	1a	EN ISO 2160
Bulutlanma Noktası	°C	-12	-4	-	EN 23015
Oksijen İçeriği	%, m/m	-	10.32	34.91	EN 13132
Safılık	%	-	-	99.8	EN 13132

3.2.3. Test düzeneğinin hazırlanması

Test düzeneğini üç temel ölçüm sistemi oluşturmaktadır. Bu sistemler; motor torku, yakıt tüketimi, hava tüketimi, motor soğutma suyu sıcaklığı, egzoz gazı sıcaklığı

ve motor yağ sıcaklığı ölçümlerinin yapıldığı motor test sistemi, egzoz gaz analizlerinin yapıldığı emisyon ölçüm sistemi ve silindir içi yanma analizlerinin yapıldığı silindir basıncı ölçüm sistemidir. Hazırlanan test düzeneği Şekil 3.15.'da şematik olarak gösterilmiştir. Testlerde kullanılan ölçüm cihazlarından, egzoz emisyon cihazının kalibrasyonu Bosch firması tarafından yapılmıştır. Silindir basıncı ölçüm sistemi elemanları ve soğutucu için kullanılan debimetre tedarikçi firmalar tarafından kalibre edilerek tarafımıza teslim edilmiştir. Motor test sistemi ekipmanları olan tork ve yakıt tüketimi için kullanılan yük hücreleri ile hava tüketimi için kullanılan fark basınç transmitteri imalatçı firmaların önerdiği şekilde tarafımızca kalibre edilmiştir. Test motoru katalogta belirtilen değer olan 50 saat boyunca çalıştırılarak rodaj süresi geçirilmiş, bu süre sonunda motor yağı ve filtresi değiştirilmiştir.



Şekil 3.15. Test düzeneği şematik görünüşü

3.2.4. Testlerin yapılışı

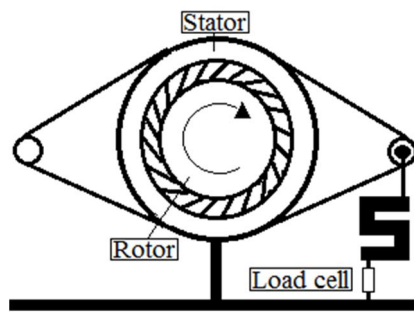
Testler, Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Otomotiv Teknolojisi Programı laboratuvarında yapılmıştır. Testlere başlamadan önce, kullanılan cihazların kalibrasyonları yapılmış, motorun rodaj süresi geçirilmiş ve ön testler yapılarak motorun çalışma şartları belirlenmiştir. Ön testler sonucunda, motorun kararlı hale gelme süresi tespit edilmiştir. Tüm test şartlarında tüm yakıtlar için testlerden önce motorun kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Ön testler sonucunda karşılaşılan tüm eksiklikler giderildikten sonra ana test sürecine geçilmiştir.

Tam gaz konumunda, 1000 d/d motor hızından başlayarak dinamometre yükü kontrolü ile 200 d/d aralıklarla motor hızları sabit tutularak 3000 d/d'ya kadar, motor performansı, egzoz emisyonları ve yanma karakteristikleri analizleri yapılmıştır. Testlere önce EUD yakıtı ile başlanmış, daha sonra biyodizel karışımı yakıtlar olan, B3, B10, B15 ve B20 yakıtları test edilmiş, son olarak biyoetanol ilaveli yakıtlar olan B3E5, B3E10, B10E5, B10E10, B15E5, B15E10, B20E5, B20E10 yakıtları test edilmiştir.

3.3. Testlerde Ölçülen Parametreler

3.3.1. Efektif motor torku

Testlerde, motor torku ölçümleri için kullanılan dinamometre ve yük hücresi (load cell)'nin şematik olarak görünüşü Şekil 3.16.'da gösterildiği gibidir. Dinamometre Şekil 3.13.'de gösterildiği gibi test motoruna bağlanmıştır. Motorun dönmesi ile birlikte, rotorda aynı yöne dönmeye başlar. Kanatçıklar arasına su dolmaya başladığı andan itibaren rotorun dönme kuvveti statora tesir ederek döndürmeye çalışır. Stator dönmek isterken yük hücresine baskı yapar ve bir kuvvet oluşturur. Bu kuvvet motorun döndürme kuvvetidir. Yük hücresi ile motor merkezi arasındaki mesafe Denklem 3.1.'de de gösterildiği gibi uygulanarak motorun o anki ürettiği tork ölçülmüştür.



Şekil 3.16. Hidrolik dinamometre ve yük hücresinin şematik görünüşü

$$M_e = F \cdot L, (Nm) \quad (3.1.)$$

Burada; M_e (Nm) efektif motor torkunu, F (N)yük hücresinden okunan motorun döndürme kuvvetini, L (m) ise yük hücresi ile rotor merkezi arasındaki mesafeyi göstermektedir.

3.3.2. Yakıt tüketimi

Yakıt tüketimi, Şekil 3.7.'de gösterilmiş olan yakıt tankı altında bulunan yük hücresi ve motor test yazılımı sayesinde ölçülmüştür. Yakıt hücresi, yakıt miktarındaki değişim değerlerini veri toplama kartına gönderir, yazılım ise bu değerleri kullanarak yakıt miktarının zamana bağlı değişimlerini dijital olarak gösterir. Ölçülen yakıt tüketimi birimi gr/s'dir.

3.3.3. Motor ve egzoz sıcaklıkları

Testlerde, motor soğutma suyu, yağ sıcaklığı ve egzoz gaz sıcaklığı Şekil 3.9.'da görülen PT 100 sıcaklık ölçerleri kullanılarak tespit edilmiştir. Sıcaklık ölçerler, egzoz gaz sıcaklığı için, egzoz manifolduna mümkün olan en yakın mesafeye, motor yağı sıcaklığı ölçümü için kartere, soğutma suyu sıcaklığı için, soğutucunun radyatöre girdiği ve çıktığı noktalara bağlanmıştır.

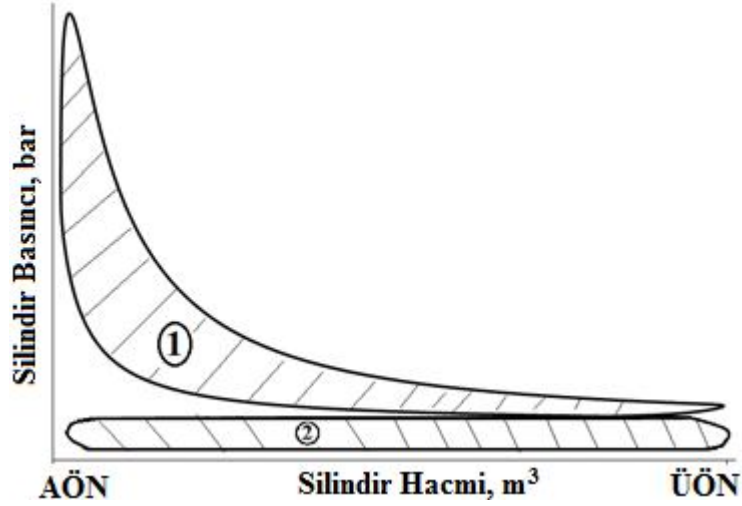
3.3.4. Silindir basıncı

Silindir basıncı, motorun her bir çevrimi için, bir iş çevrimi boyunca her 1° KMA aralığında 720° KMA boyunca alınan silindir içi basınç verilerinin ölçülmesi ile tespit edilmiştir. Silindir içi basınç verileri en az 50 çevrimin Savitzky-Golay filtreleme yöntemi uygulandıktan sonra ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

3.4. Testlerde Hesaplanan Parametreler

3.4.1. Ortalama indike efektif basınç

Ortalama indike efektif basınç (P_{imep}), Şekil 3.17.'de gösterilen basınç-hacim diyagramında taralı alanın FebrIS yazılımı tarafından kullanılan nümerik integrasyon yöntemi ile hesaplanmıştır. 1 numaralı taralı alan güç zamanında meydana gelen basınç ile sıkıştırma zamanında harcanan basıncın farkıdır. 2 numaralı boyalı alan emme ve egzoz zamanları için harcanan basınçtır. P_{imep} bu iki alanın farkıdır.



Şekil 3.17. Dört zamanlı bir dizel motoruna ait basınç-hacim diyagramı

3.4.2. İndike motor gücü ve indike motor torku

İndike motor gücü (P_i); yakıtın yanması sonucu açığa çıkan enerjinin yanma odasında birim zamanda meydana getirdiği güçtür ve Denklem 3.2. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$P_i = \frac{P_{imep} \cdot n \cdot Z \cdot V_h}{60 \cdot f}, (kW) \quad (3.2)$$

Burada; P_{imep} (kpa), V_h (m^3) kurs hacmini, n (d/d) motor hızını, Z silindir sayısını, f çevrim katsayısını (dört zamanlı motorlar için $f=2$) göstermektedir. İndike motor torkuda Denklem 3.3. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_i = \frac{P_i \cdot 9549}{n}, (Nm) \quad (3.3)$$

3.4.3. Efektif güç

Efektif güç, efektif motor torku değeri ve bu torkun elde edildiği açısal hız ile hesaplanmıştır. Efektif gücü (P_e) hesaplamak için kullanılan Denklem 3.7., Denklem 3.4., 3.5. ve 3.6. denklemleri ile elde edilmiştir.

$$P_e = \omega \cdot M_e, (kW) \quad (3.4)$$

Açısal hız birimi d/d cinsinden yazılırsa,

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30}, (rad/s) \quad (3.5)$$

Bulunan açısal hız Denklem 3.4.'de yerine yazılıp sonuç kW birimine dönüştürüldüğünde,

$$P_e = \frac{\pi n M_e}{30 \cdot 10^3}, (kW) \quad (3.6)$$

denklemini elde edilir. Gerekli sadeleştirmeler yapılsa,

$$P_e = \frac{M_e \cdot n}{9549.3}, (kW) \quad (3.7)$$

3.4.4. Efektif özgül yakıt tüketimi

Efektif özgül yakıt tüketimi (b_e), birim güç elde etmek için bir saat boyunca harcanan yakıt miktarını belirler ve Denklem 3.8. kullanılarak hesaplanır.

$$b_e = \frac{\dot{m}_y \cdot 3600}{P_e}, (gr/kWh) \quad (3.8)$$

Burada; \dot{m}_y (gr/s), yakıt debisini göstermektedir.

3.4.5. Efektif termik verim

Motorun termik verimi (η_t), silindire alınan yakıt enerjisinin güce dönüşüm oranını simgeler. Termik verim Denklem 3.10. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta_t = \frac{P_e}{\dot{m}_y \cdot H_u} \quad (3.9)$$

Denklem 3.8., Denklem 3.9.'a uygulanırsa,

$$\eta_t = \frac{3600}{b_e H_u} \quad (3.10)$$

Burada; H_u (kJ/kg), yakıtın alt ısı değerini göstermektedir.

3.4.6. Volümetrik verim

Volümetrik verim (η_v), emme zamanında, silindire alınan havanın, aynı çalışma şartlarında silindire alınması gereken teorik hava miktarına oranıdır. Volümetrik verim Denklem 3.11. ile hesaplanmıştır.

$$\eta_v = \frac{2\dot{m}_h}{\rho_h V_h n} \quad (3.11)$$

Burada; \dot{m}_h (m^3/dk) emilen havanın debisi, ρ_h (kg/m^3) emilen havanın yoğunluğunu göstermektedir.

3.4.7. Mekanik verim

Mekanik verim (η_m), Denklem 3.12.'de gösterildiği gibi ortalama efektif basıncın, ortalama indike efektif basınca oranı ile hesaplanmıştır.

$$\eta_m = \frac{P_{mep}}{P_{imep}} \quad (3.12)$$

3.4.8. Net ve kümülatif ısı salımı

Yanma sırasında, iç enerji artışı ve mekanik işe dönüşen net ısı salımı krank açısına bağlı olarak termodinamiğin birinci yasası kullanılarak Denklem 3.13.'de verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\frac{dQ_{net}}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{\gamma}{\gamma-1} V \frac{dP}{d\theta}, \quad (J) \quad (3.13)$$

Burada; dQ (J) yanma sonunda silindir duvarı ve yanma odası duvarına geçen enerjiyi, γ özgül ısılar oranını, θ ($^{\circ}$ KMA) krank açısını göstermektedir.

Kümülatif ısı salımı, hesaplanan ısı salımı ile silindir duvarına gerçekleşen ısı transferinin toplamı olarak Denklem 3.14.'da verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\frac{dQ_{küm}}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{\gamma}{\gamma-1} V \frac{dP}{d\theta} + \frac{dQ_w}{d\theta}, (J) \quad (3.14)$$

Burada Q_w silindir duvarına geçen ısı miktarıdır.

3.4.9. Ortalama efektif basınç

İndike basınca etki eden tüm kayıplardan sonra kalan ve efektif motor gücünün elde edildiği basınçtır.

$$P_{mep} = \frac{P_e f.60}{V_h.Z.n}, (bar) \quad (3.15)$$

3.4.10. Enerji verimi ve analizi

Enerji; kinetik, potansiyel, kimyasal, ısı, manyetik, mekanik ve nükleer enerji gibi değişik biçimler alabilir. Tüm bunların toplamı sistemin toplam enerjisini oluşturur. Termodinamiğin birinci kanunu, enerjinin termodinamik bir kavram olduğunu ve enerjinin korunumunu ve dönüşümünü ifade etmektedir. Bu kanuna göre enerji yok edilemez ve yoktan var edilemez, ancak başka bir enerji formuna dönüşebilir (Çalışkan, 2009).

Bir sistem için enerji dengesi Denklem 3.16.'da gösterildiği gibi ifade edilir.

$$E_T = E_g - E_{\zeta} \quad (3.16)$$

Burada; E_T sistemin toplam enerjisini, E_g sisteme giren enerjiyi, E_{ζ} ise sistemden çıkan enerjiyi göstermektedir. İçten yanmalı motorlarda enerji analizi Denklem 3.17. uygulanarak açıklanabilir.

$$\dot{Q} + \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta h_\zeta - \sum \dot{m}_g h_g \quad (3.17)$$

Burada; Q üretilen ısı enerjisini, W net gücü, \dot{m} kütle akış değerlerini ζ sistemden çıkışı, g sisteme girişi ve h özgül entalpiyi göstermektedir. Sisteme giren yakıt enerjisi denklem 3.18.' de gösterilen eşitlik ile hesaplanabilir.

$$E_{\text{yakıt}} = \dot{m}_{\text{yakıt}} H_u \quad (3.18)$$

Burada; $E_{\text{yakıt}}$ sisteme giren yakıt enerjisini, $\dot{m}_{\text{yakıt}}$ kütleli yakıt debisini, H_u yakıtın alt ısı değerini göstermektedir. Egzozdan kaybedilen ısı enerjisi Denklem 3.19.' da gösterilen denklem ile hesaplanmıştır.

$$Q_{\text{eg}} = \dot{m}_{N_2}(h_{N_2} - h_0) + \dot{m}_{H_2O}(h_{H_2O} - h_0) + \dot{m}_{CO_2}(h_{CO_2} - h_0) + \dot{m}_{CO}(h_{CO} - h_0) + \dot{m}_{O_2}(h_{O_2} - h_0) \quad (3.19)$$

Burada; \dot{m} gaz kütlelerini, h gazların özgül entalpilerini, h_0 ölçüm anındaki havanın entalpisini ve Q_{eg} egzozdan kaybedilen ısı miktarını göstermektedir. Egzoz emisyonu değerleri hacimsel oran (v/v) biriminden ölçülmüştür. Q_{eg} değerinin hesaplanabilmesi için emisyon değerlerinin g/kWh birimine dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüşüm, Pilusa ve ark. (2012)' nin yapmış oldukları çalışmada tespit ettikleri dönüşüm katsayıları kullanılarak hesaplanmıştır.

3.5. Egzoz Emisyonu Ölçümü

Farklı yakıtlar kullanılarak yapılan testler sonucunda elde edilen karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), yanmamış hidrokarbon (HC), azot monoksit (NO), duman koyuluğu ve egzoz gaz sıcaklığı (T_{eg}) değerleri karşılaştırılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Test sonuçlarına göre biyodizel ve biyoetanolun etkileri, motor performansı, yanma karakteristikleri ve egzoz emisyon parametreleri olarak ayrı ayrı incelenmiştir.

4.1. Motor Performans Parametreleri

Farklı yakıtlar kullanarak elde edilen testler sonucunda elde edilen motor performans değerleri efektif ve indike motor torku, efektif ve indike motor gücü, efektif özgül yakıt tüketimi parametreleri olarak karşılaştırılmıştır.

4.1.1. Efektif ve indike motor torku

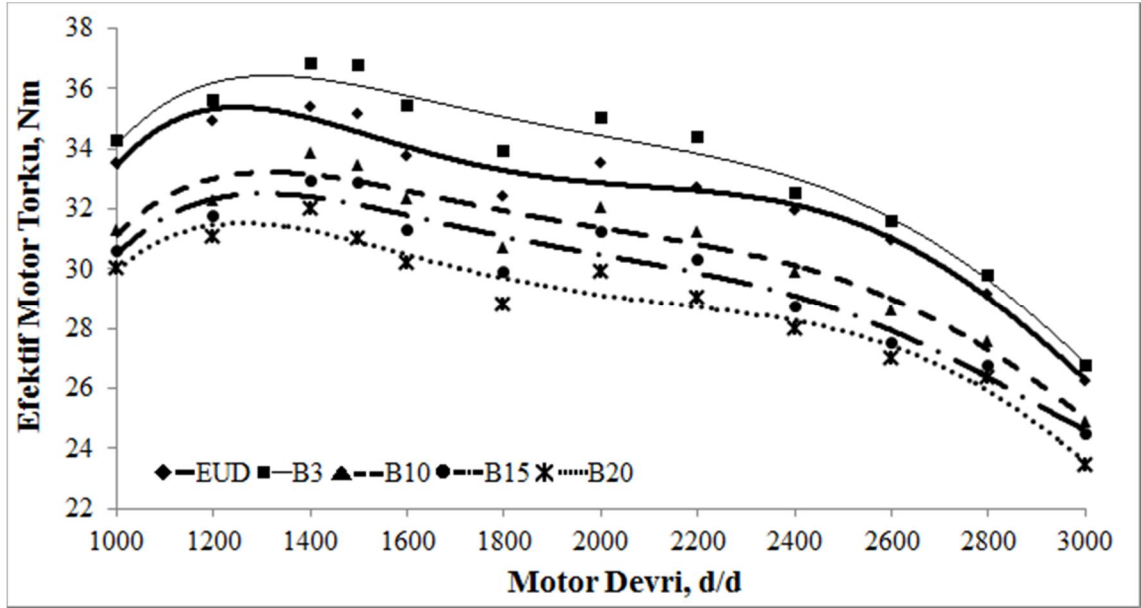
Efektif motor torku, volandan ölçülen tork değerleridir. Testlerde kullanılan her bir karışım yakıtının efektif tork değeri EUD yakıtının efektif tork değeri ile karşılaştırılmıştır. Tüm yakıtlar için, motor devrinin artması ile efektif tork değerleri 1400 d/d motor hızına kadar artmış, daha sonra düşmeye başlamıştır. Motor devrindeki artış ile birim çevrimde silindire emilen hava miktarı ve hava hızı artmış, silindir içerisinde oluşan türbülansın da iyileşmesi ile yanma verimi artmıştır. Maksimum motor torkunun elde edildiği noktadan itibaren, motor hızındaki artış nedeni ile yanma için gereken süre kısalmış, yakıtın yanma verimi düşmüştür. Ayrıca sürtünme kayıplarının da artması motor torkunu düşürmüştür.

Tüm test yakıtları için elde edilen maksimum efektif motor torku 1400 d/d motor hızında elde edilmiş ve tüm yakıtların efektif tork değerlerinin B3 yakıtı haricinde EUD yakıtından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Efektif motor torkuna biyodizel karışımlarının ve biyoetanol ilavesinin etkisi ayrı ayrı incelenmiştir.

4.1.1.1 Biyodizel kullanımının efektif motor torkuna etkisi

Biyodizel karışumlu yakıtların efektif motor torkuna etkileri Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. En yüksek tork değerlerinin B3 yakıtı ile elde edildiği, en düşük tork değerlerinin ise B20 yakıtı ile elde edildiği görülmektedir. Maksimum tork değerleri karşılaştırıldığında 1400 d/d motor hızında, EUD yakıtı ile elde edilen efektif tork değeri 35.36 Nm olarak ölçülürken, B3, B10, B15 ve B20 yakıtları ile elde edilen

efektif tork değeri sırası ile 36.85 Nm, 33.86 Nm, 32.92 ve 31.99 Nm olarak ölçülmüştür. Biyodizel kullanımı sonucunda, B3 yakıtı ile elde edilen efektif tork değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %3.4 artmış, B10 yakıtı ile elde edilen efektif tork değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %5.47, B15 yakıtı ile elde edilen tork değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %7.98 ve B20 yakıtı ile elde edilen tork değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %11 azalmıştır.



Şekil 4.1. Biyodizelin efektif motor torkuna etkisi

B3 yakıtı kullanım ile efektif motor torkunun artması, Çizelge 3.5.'de gösterildiği gibi biyodizelin %10 civarında oksijen içermesi ile viskozite ve yoğunluğunun EUD yakıtına göre yüksek olması ile açıklanabilir. Biyodizel oksijen içerdiği için tam yanmanın oluşmasına ve özellikle zengin karışım bölgelerinde daha iyi yanmanın oluşmasına yardım eder. EUD karışımına %3 oranında ilave edilen biyodizel viskozitenin ve yoğunluğun bir miktar artmasına da neden olur. Viskozitenin bir miktar artması pompa kaçaklarının azalmasına ve hacimsel olarak bir miktar daha fazla yakıtın silindire püskürtülmesine sebep olmaktadır. Yoğunluğun küçük bir miktar artması ise kütleli olarak biraz daha fazla yakıtın püskürtülmesine neden olur. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri ile Ulusoy ve Alibaş (2002)'in, Usta ve ark.(2005)'nin, Aktaş ve Sekmen (2007)'in, Ejder (2007)'in, Uyumaz (2009)'in ve Lesnik ve ark. (2014)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.

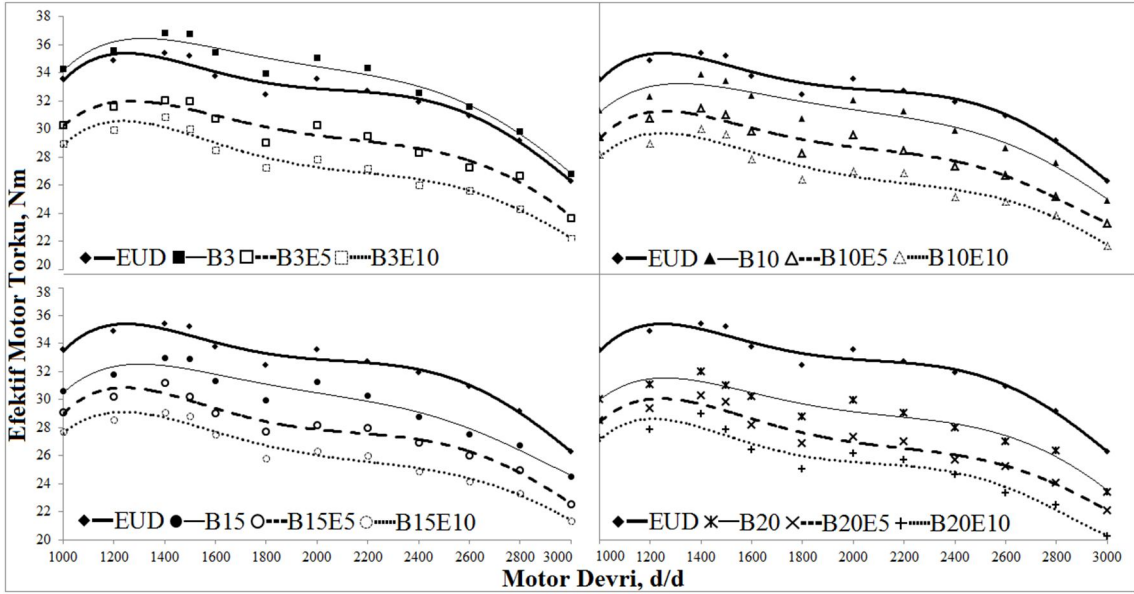
Diğer yandan, karışımdaki biyodizel oranının artması ile efektif motor torkunun azalmasının nedeni, öncelikle biyodizel yakıtının EUD yakıtına göre daha düşük alt ısıl değere sahip olmasıdır. Alt ısıl değerinin düşmesi ile yanma sonu silindir içerisinde oluşan ısı enerjisi azaldığı için karışımdaki biyodizel oranının artması efektif motor torkunu düşürmüştür. Bununla birlikte, biyodizelin viskozitesinin yüksek olması nedeni ile karışım yakıtlarının viskoziteleri de artmıştır. Viskozitenin artması kötü püskürtme karakteristiklerine neden olmuştur. Püskürtülen karışım yakıtlarının viskoziteleri yüksek olduğu için yakıt zerreciklerinin çapları EUD yakıtına göre daha iridir. Bu nedenle karışım yakıtları püskürtüldüğünde iyi atomizasyon olamamakta, silindir içerisinde sıkıştırılmış havaya iyi nüfuz edememektedir. Bu durumun yakıtın buharlaşma süresini uzattığı ve yakıtın daha uzun bir genleşme süresince yanmasına neden olduğu için karışımdaki biyodizel oranının artması efektif motor torkunu düşürmüştür. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Balcı (2005)'nin, Usta ve ark.(2005)'nin, Yücesu ve İklıç (2006)'ın, Alpgiray ve Gülhan (2007)'in, Ejder (2007)'in, Keskin ve ark. (2007)'nin, Kegl (2008)'in, Demir (2009)'in, Özsezen ve Çanakçı (2009)'nin, Çengelci ve ark. (2011)'nin, Özener ve ark. (2014)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Bunlara ek olarak kaynak araştırmasında bahsedilen daha birçok araştırmacının çalışmasında da biyodizelin efektif torku düşürdüğünü gösteren bulgular sunulmuştur.

4.1.1.2. Biyoetanol kullanımının efektif motor torkuna etkisi

Şekil 4.2. biyodizel karışımlarına biyoetanol ilavesinin efektif motor torkuna etkilerini göstermektedir. Biyodizel karışımlarına biyoetanol ilavesi ile efektif tork değerleri düşmüştür. Maksimum tork değerleri karşılaştırıldığında 1400 d/d motor hızında, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının en yüksek tork değeri 32.03 Nm, B3E10 yakıtı ile elde edilen en yüksek efektif tork değeri 29.97 Nm olarak elde edilmiştir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının en yüksek efektif tork değeri 31.43 Nm, B10E10 yakıtı ile elde edilen en yüksek efektif tork değeri 29.97 Nm olarak elde edilmiştir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının en yüksek efektif tork değeri 31.19 Nm, B15E10 yakıtı ile elde edilen en yüksek efektif tork değeri 29.09 Nm olarak elde edilmiştir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının en yüksek efektif tork değeri 30.3

Nm, B20E10 yakıtı ile elde edilen en yüksek efektif tork değeri 28.95 Nm olarak tespit edilmiştir.

Yine grafiklerde de görüldüğü gibi eşit biyoetanol içeriğine sahip karışımlarda biyodizel yüzdesi arttıkça efektif motor torkunda ki düşüş azalmaktadır.



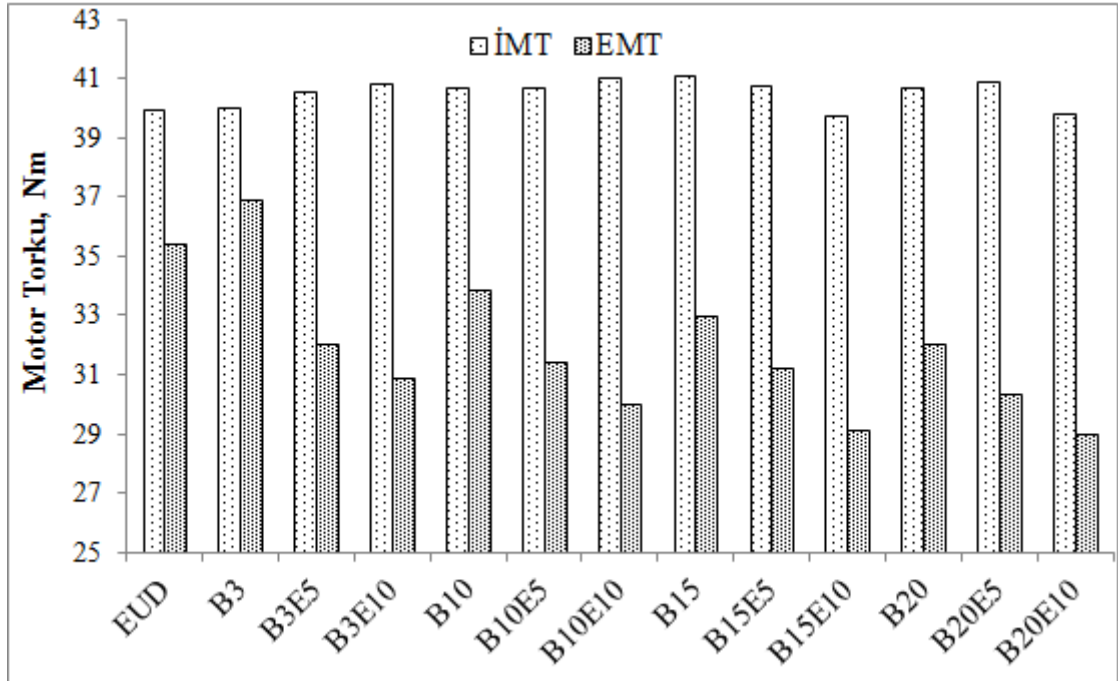
Şekil 4.2. Biyodizel karışımlarına biyoetanol ilavesinin efektif motor torkuna etkisi

Biyoetanol kullanımı sonucunda, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının tork değerleri B3 yakıtına göre ortalama olarak %12.79, EUD yakıtına göre ortalama olarak %9.84 azalmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen tork değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama olarak %18.45, EUD yakıtına göre ortalama olarak %15.7 düşüş görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının tork değerleri B10 yakıtına göre ortalama olarak %7.43, EUD yakıtına göre ortalama olarak %12.5 azalmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen tork değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama olarak %13.07, EUD yakıtına göre ortalama olarak %17.83 düşüş görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının tork değerleri B15 yakıtına göre ortalama olarak %6.82, EUD yakıtına göre ortalama olarak %14.27 azalmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen tork değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama olarak %12.53, EUD yakıtına göre ortalama olarak %19.52 düşüş görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının tork değerleri B20 yakıtına göre ortalama olarak %6.51, EUD yakıtına göre %16.79 azalmıştır. B20E10 yakıtı ile elde edilen tork değerlerinde B20 yakıtına göre %11.91, EUD yakıtına göre %21.61 düşüş görülmektedir.

Test sonuçlarına göre karışımlara biyoetanol ilavesi ile efektif motor torkunun azalmasının en önemli nedeni biyoetanolün hem EUD yakıtına hem de biyodizele göre çok daha düşük alt ısıl değere sahip olmasıdır. Etanol ilaveli yakıtların alt ısıl değerlerinin biyodizel karışimli yakıtlardan daha düşük olması yanma sonucu oluşan ısı enerjisini azaltmış ve karışımdaki biyoetanol oranının artması efektif motor torkunu düşürmüştür. Bununla birlikte çok düşük setan sayısına sahip biyoetanolün (Çizelge 1.5.) karışım yakıtlarına ilave edilmesi karışım yakıtlarının da setan sayılarını düşürmüştür. Setan sayısının düşmesi TG artırarak kontrollü yanma için gerekli olan zamanı azaltır ve yanmayı kötüleştirir. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Can ve ark. (2004)'nın, Çelikten (2004)'in, Ejder (2007)'in ve Baydan (2008)'in ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.

4.1.1.3. İndike motor torku

İndike motor torku, ölçülen ortalama indike basınç değerleri ile hesaplanan tork değeridir. Şekil 4.3.'de tüm test yakıtları için maksimum efektif tork değerlerinin elde edildiği 1400 d/d motor hızında hesaplanan indike tork değerleri ile efektif tork değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.3. 1400 d/d motor hızında indike ve efektif torkların karşılaştırılması

İndike ve efektif torklar arasındaki fark o anki sürtünme, pompalama ve yanma karakteristiklerine bağlı olarak değişim göstermiştir. Test yakıtlarının indike torkları arasındaki fark ise silindir içi yanma karakteristiklerine göre değişim göstermiştir. En yüksek indike motor torku B15 yakıtı ile 41.07 Nm olarak, en düşük indike tork değeri ise B15E10 yakıtı ile 39.72 Nm olarak elde edilmiştir.

4.1.2. Efektif ve indike motor gücü

Efektif motor gücü, volandan ölçülen tork ile hesaplanan değerlerdir. Testlerde kullanılan her bir karışım yakıtının efektif güç değeri EUD yakıtının efektif güç değeri ile karşılaştırılmıştır. Tüm yakıtlar için, motor devrinin artması ile efektif güç değerleri 2800 d/d motor hızına kadar artmış, daha sonra düşmeye başlamıştır. Motor devrindeki artış ile birim zamanda silindire emilen hava miktarı ve hava hızı artmış, silindir içerisinde oluşan türbülansın da iyileşmesi ile yanma verimi artmıştır. Maksimum motor gücünün elde edildiği noktadan itibaren, motor hızındaki artış nedeni ile yanma için gereken süre kısalmış, supapların açık kalma süreleri azaldığı için silindir içerisine yeterli hava alınamamış ve yanma sonucu oluşan atık gazlar egzoz zamanında tamamen atılamamıştır. Bu da yakıtın yanma verimi düşmüştür. Ayrıca sürtünme ve pompalama kayıplarının da artması motor gücünü düşürmüştür.

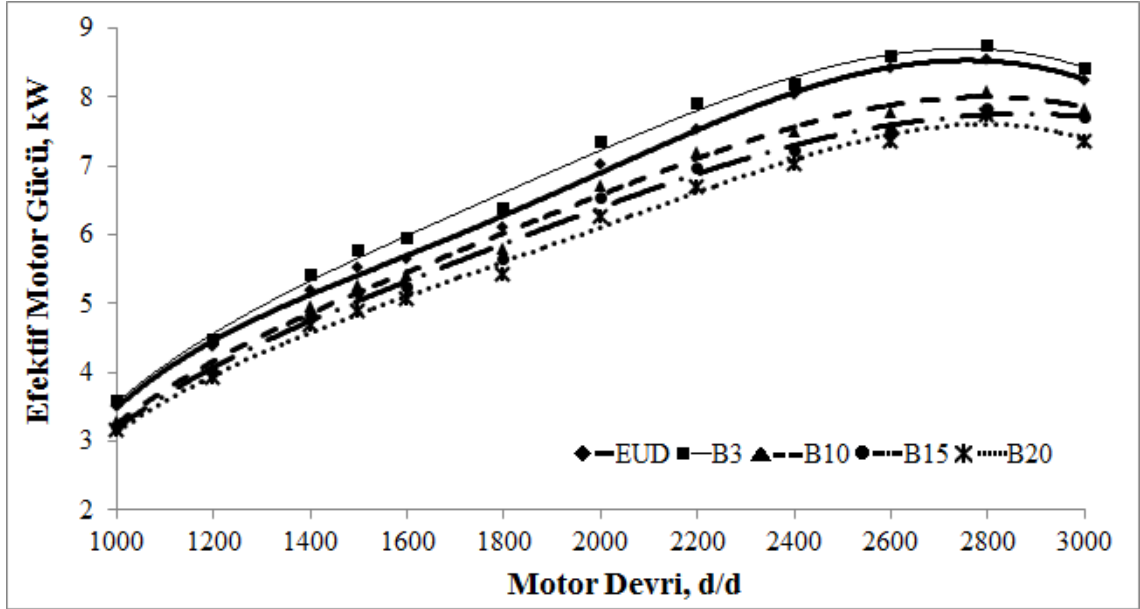
Tüm test yakıtları için elde edilen maksimum efektif motor gücü değerleri 2800 d/d motor hızında elde edilmiş ve tüm yakıtların efektif güç değerlerinin B3 yakıtı haricinde EUD yakıtından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Efektif motor gücüne biyodizel karışımlarının ve biyoetanol ilavesinin etkisi ayrı ayrı incelenmiştir.

4.1.2.1. Biyodizel kullanımının efektif motor gücüne etkisi

Biyodizel karışimli yakıtların efektif motor gücüne etkileri Şekil 4.4.'de gösterilmiştir. En yüksek güç değerlerinin B3 yakıtı ile elde edildiği, en düşük güç değerlerinin ise B20 yakıtı ile elde edildiği görülmektedir. Maksimum güç değerleri karşılaştırıldığında 2800 d/d motor hızında, EUD yakıtı ile elde edilen efektif güç değeri 8.54 kW olarak ölçülürken, B3, B10, B15 ve B20 yakıtları ile elde edilen efektif güç değeri sırası ile 8.74 kW, 8.08 kW, 7.84 kW ve 7.72 kW olarak ölçülmüştür.

B3 yakıtı ile elde edilen efektif motor gücünün EUD yakıtından daha yüksek olması efektif motor torkunda olduğu gibi biyodizelin oksijen içermesi ve pompalama

kaçaklarını azaltması ile açıklanabilir. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri ile Ulusoy ve Alibaş (2002)'in, Aktaş ve Sekmen (2007)'in, Ejder (2007)'in, Uyumaz (2009)'in Tomic ve ark. (2013)'nın ve Lesnik ve ark. (20014)'nın ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.



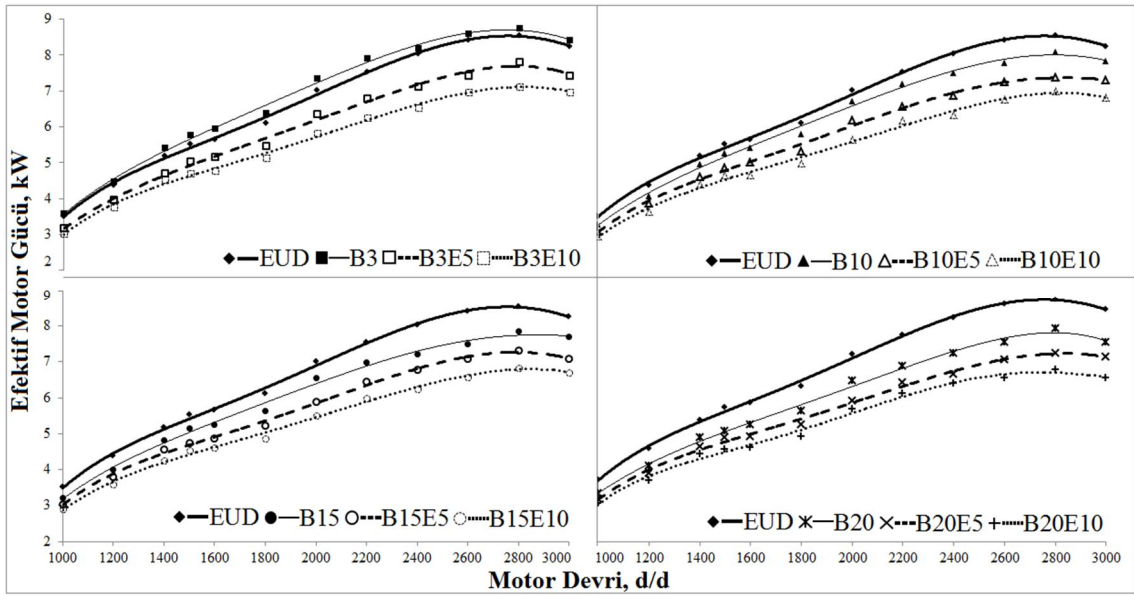
Şekil 4.4. Biyodizelin efektif motor gücüne etkisi

Karışım yakıtlarında biyodizel miktarının artması ile efektif motor gücünün düşmesinin nedeni, yine biyodizelin alt ısıl değerinin EUD yakıtından düşük olması, yüksek viskozitesi nedeni ile püskürtme karakteristiğinin kötü olması ve bu yüzden yanma performansının düşmesi olarak açıklanabilir. Bunun yanında karışımdaki biyodizel oranının artması yakıt içerisinde ki oksijenin de artmasına sebep olacağından birim zamanda silindire alınan yakıt miktarının azalması motor gücündeki azalmanın nedeni olabilir. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Balcı (2005)'nin, Yücesu ve İkılıç (2006)'in, Alpgiray ve Gülhan (2007)'in, Keskin ve ark. (2007)'nin, Özsezen (2007)'in, Keçli (2008)'in, Utlu ve Koçak (2008)'in, Demir (2009)'in, Çengelci ve ark. (2011)'nin, Liaquat ve ark. (2011)'nin, Fattah ve ark. (2014)'nin ve Mofijur ve ark. (2014)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Bunlara ek olarak kaynak araştırmasında bahsedilen daha birçok araştırmacının çalışmasında da biyodizelin efektif gücü düşürdüğünü gösteren bulgular sunulmuştur.

4.1.2.2. Biyoetanol kullanımının efektif motor gücüne etkisi

Şekil 4.5. biyodizel karışımlarına biyoetanol ilavesinin efektif motor gücüne etkilerini göstermektedir. Biyodizel karışımlarına biyoetanol ilavesi ile efektif güç değerleri düşmüştür. Maksimum güç değerleri karşılaştırıldığında 2800 d/d motor hızında, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının en yüksek güç değeri 7.81 kW, B3E10 yakıtı ile elde edilen en yüksek efektif güç değeri 7.13 kW olarak elde edilmiştir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının en yüksek efektif güç değeri 7.38 kW, B10E10 yakıtı ile elde edilen en yüksek efektif güç değeri 6.99 kW olarak elde edilmiştir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının en en yüksek efektif güç değeri 7.32 kW, B15E10 yakıtı ile elde edilen en yüksek efektif güç değeri 6.84 kW olarak elde edilmiştir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının en yüksek efektif güç değeri 7.05 kW, B20E10 yakıtı ile elde edilen en yüksek efektif güç değeri 6.58 kW olarak tespit edilmiştir.

Grafiklerde de görüldüğü gibi karışımdaki biyoetanol yüzdesinin artması ile efektif motor gücü değerleri daha da düşmüştür.



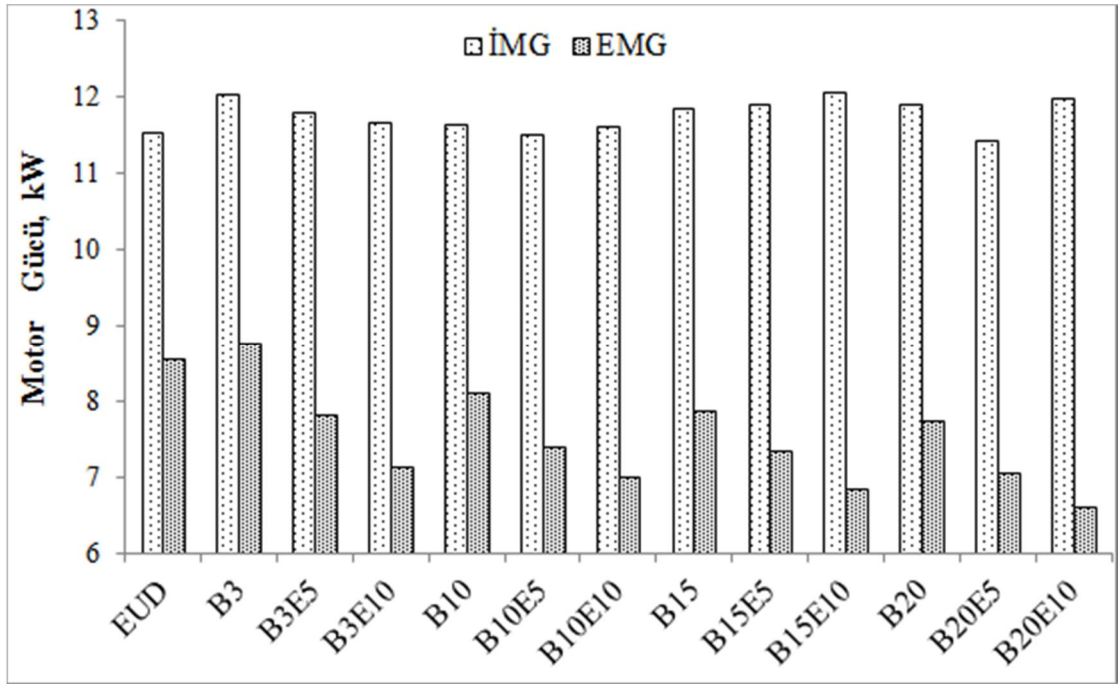
Şekil 4.5. Biyodizel karışımlarına biyoetanol ilavesinin efektif motor gücüne etkisi

Biyodizel karışımlarına biyoetanol ilavesinin motor gücünü düşürmesi, biyoetanolin EUD ve biyodizele göre çok daha düşük alt ısıl değere ve setan sayısına sahip olması sonucu biyodizel karışimli yakıtların ısıl değer ve setan sayılarını düşürmesi ile yanmayı olumsuz etkilemesi olarak açıklanabilir.

Ayrıca, biyoetanolün viskozitesinin ve yoğunluğunun düşük olması, karışım yakıtlarının viskozite ve yoğunluklarını da düşüreceğinden pompa ve enjektör kaçaklarının artması ve biyoetanolün yüksek oksijen içeriğinin karışım yakıtlarının oksijen içeriklerini artırması ile birim zamanda silindire alınan yakıt miktarının düşmesinin de motor gücünü azalttığı düşünülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri De caro ve ark. (2001)'nın, Can ve ark. (2004)'nın, Çelikten (2004)'in, Ejder (2007)'in, Baydan (2008)'in ve Erkal (2010)'in ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.

4.1.2.3. İndike motor gücü

İndike motor gücü, ölçülen ortalama indike basınç değerleri ile hesaplanan güç değeridir. Şekil 4.6.'da tüm test yakıtları için maksimum efektif güç değerlerinin elde edildiği 2800 d/d motor hızında hesaplanan indike güç değerleri ile efektif güç değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.6. 2800 d/d motor hızında indike ve efektif güçlerin karşılaştırılması

Sonuç olarak, en yüksek indike motor gücü B15E10 yakıtı ile 12.03 kW olarak, en düşük indike güç değeri ise B20E5 yakıtı ile 11.41 kW olarak elde edilmiştir. EUD yakıtı ile elde edilen indike güç değeri ise 11.53 kW olarak bulunmuştur.

4.1.3. Efektif özgül yakıt tüketimi

Efektif özgül yakıt tüketimi (EÖYT), efektif motor gücü ve ölçülen yakıt tüketimi ile hesaplanan özgül yakıt tüketimi değerleridir. Birim zamanda birim güç elde edebilmek için harcanan yakıt tüketimi miktarıdır. Testlerde kullanılan her bir karışım yakıtının EÖYT değeri EUD yakıtının EÖYT değeri ile karşılaştırılmıştır. Tüm yakıtlar için, motor devrinin artması ile EÖYT değerleri belirli bir motor hızına kadar düşmüş, daha sonra artmaya başlamıştır. Orta motor hızlarında, yanma için gerekli zamanın yeterli olması ve iyi türbülans ile karışımın daha homojen olması yanma verimini artırmakta ve EÖYT değerlerini düşürmektedir. Düşük motor hızlarında özellikle silindir içi türbülansın düşük olması EÖYT'nin yüksek olmasına sebep olmaktadır. Yüksek motor hızlarında ise sürtünme ve pompalama kayıplarının artması, homojen karışım ve tam yanma için yeterli zamanının olmaması EÖYT değerlerini artırmıştır.

Tüm test yakıtları için elde edilen EÖYT değerleri B3 yakıtı haricinde EUD yakıtından daha yüksektir. EÖYT'ne biyodizel karışımlarının ve biyoetanol ilavesinin etkisi ayrı ayrı incelenmiştir.

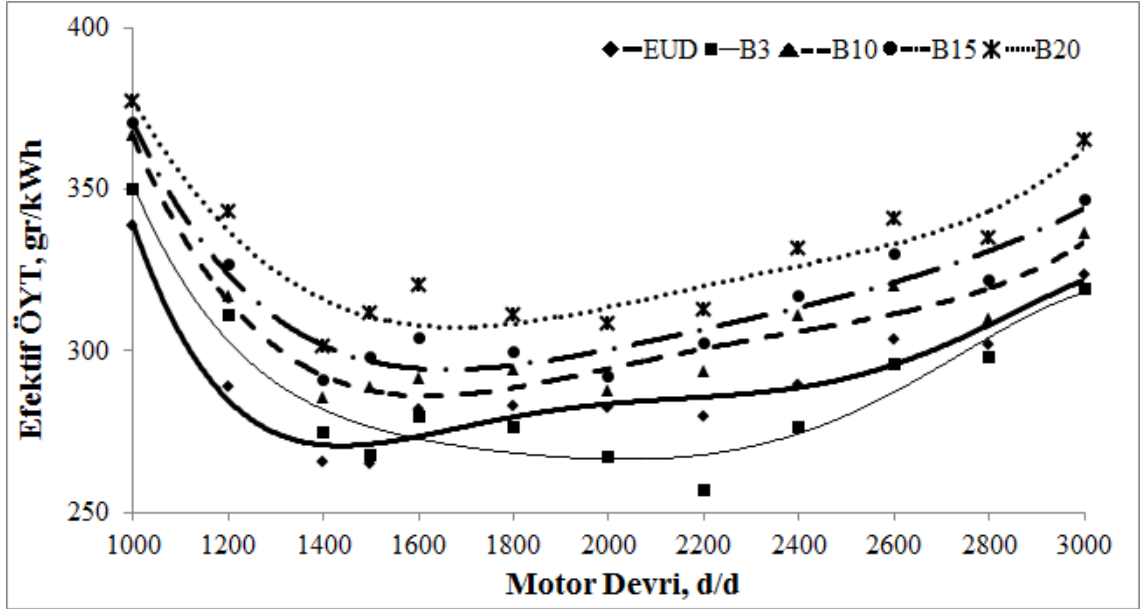
4.1.3.1. Biyodizel kullanımının efektif özgül yakıt tüketimine etkisi

Biyodizel karışimli yakıtların EÖYT'ne etkileri Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. En düşük EÖYT değerleri EUD yakıtı ile 1500 d/d motor hızında 264.71 gr/kWh, B3 yakıtı ile 2200 d/d motor hızında 257.06 gr/kWh, B10 yakıtı ile 1400 d/d motor hızında 285.52 gr/kWh, B15 yakıtı ile 1400 d/d motor hızında 291.17 gr/kWh ve B20 yakıtı ile 1400 d/d motor hızında 301.07 gr/kWh olarak elde edilmiştir.

Biyodizel kullanımı sonucunda, B3 yakıtı ile elde edilen EÖYT değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %0.9 azalmış, B10 yakıtı ile elde edilen EÖYT değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %5.7, B15 yakıtı ile elde edilen EÖYT değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %8.51 ve B20 yakıtı ile elde edilen EÖYT değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %13.03 artmıştır.

Biyodizel kullanımının EÖYT değerlerini artırmasının nedenlerinden birisi biyodizelin yoğunluğunun ve viskozitesinin EUD'den yüksek olması sebebi ile püskürtme karakteristiklerinin olumsuz etkilenmesidir. Bu olumsuzluk yanma kalitesini ve verimini düşürdüğü için biyodizel karışımlarının EÖYT değerleri EUD'e göre daha yüksektir. Bir diğer sebep ise, biyodizelin alt ısıl değerinin EUD yakıtına göre düşük

olması ile aynı motor gücünü elde edebilmek için daha fazla yakıtın harcamasını gerektirmesidir. Yalnızca orta ve yüksek motor devirlerinde B3 yakıtının EÖYT değerleri EUD'den daha düşüktür. Bunun en önemli nedeni, motor hızının artması ile efektif motor gücündeki artışın EUD'den daha yüksek olmasıdır.



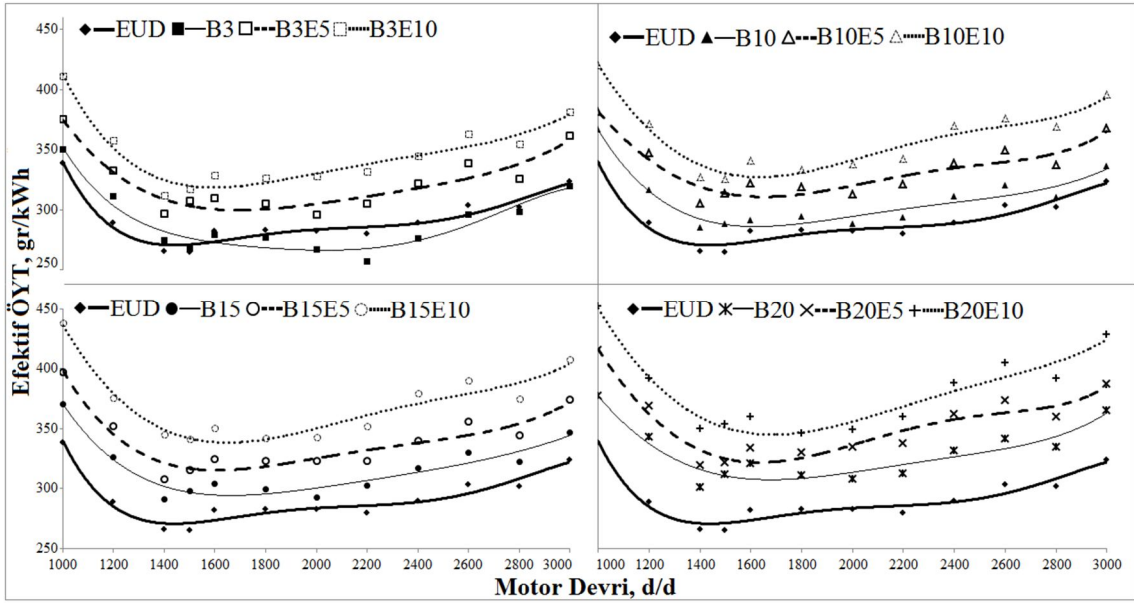
Şekil 4.7. Biyodizelin EÖYT'ne etkisi

Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Rakopoulos ve ark. (2008a)'nın, Lin ve Li (2009)'nin, Nabi ve ark. (2009)'nin, Kaya (2010)'nin, Enweremadu ve ark. (2011)'nin, Parekh ve Goswami (2012)'nin, Swaminathan ve Sarangan (2012)'nin, Ong ve ark. (2014)'nin ve Özener ve ark. (2014)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Bunlara ek olarak kaynak araştırmasında bahsedilen daha birçok araştırmacının çalışmasında da biyodizelin EÖYT'ni düşürdüğünü gösteren bulgular sunulmuştur.

4.1.3.2. Biyoetanol kullanımının efektif özgül yakıt tüketimine etkisi

Şekil 4.8. biyodizel karışımlarına biyoetanol ilavesinin EÖYT'ne etkilerini göstermektedir. Biyodizel karışımlarına biyoetanol ilavesi ile EÖYT değerleri artmıştır. En düşük EÖYT değerleri karşılaştırıldığında, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının en düşük EÖYT değeri 2000 d/d motor hızında 295.68 gr/kWh, B3E10 yakıtı ile elde edilen en düşük EÖYT değeri 1400 d/d motor hızında 312.34 gr/kWh olarak elde edilmiştir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5

yakıtının en düşük EÖYT değeri 1400 d/d motor hızında 305.41 gr/kWh, B10E10 yakıtı ile elde edilen en düşük EÖYT değeri 1500 d/d motor hızında 325.6 gr/kWh olarak elde edilmiştir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının en düşük EÖYT değeri 1400 d/d motor hızında 308.2 gr/kWh, B15E10 yakıtı ile elde edilen en düşük EÖYT değeri 1500 d/d motor hızında 341.4 gr/kWh olarak tespit edilmiştir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının en düşük EÖYT değeri 1400 d/d motor hızında 319.19 gr/kWh, B20E10 yakıtı ile elde edilen en düşük EÖYT değeri 1800 d/d motor hızında 346.22 gr/kWh olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. Biyodizel karışımlarına biyoetanol ilavesinin EÖYT'ne etkisi

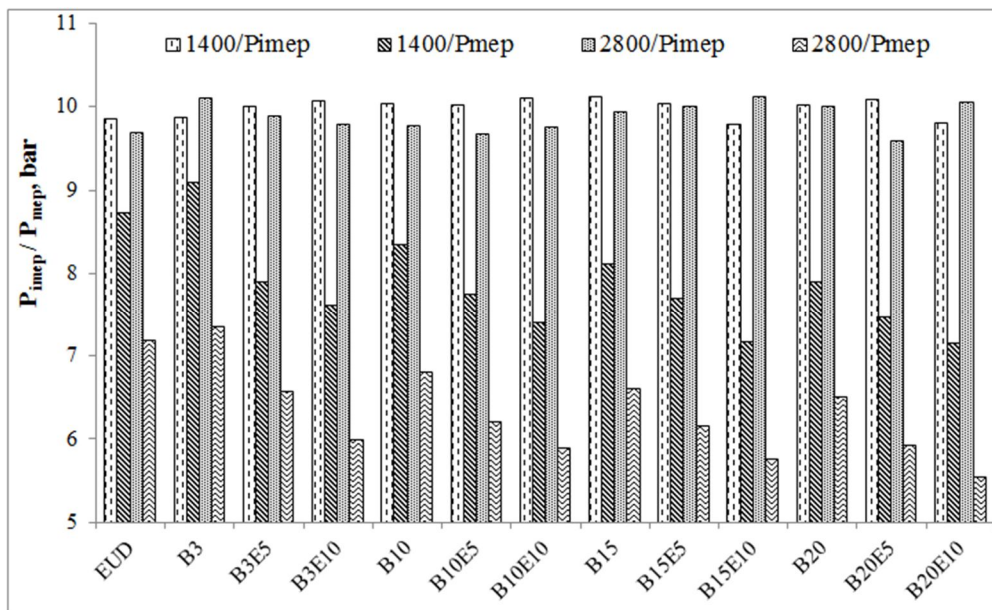
Biyoeetanol kullanımı sonucunda, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının EÖYT değerleri B3 yakıtına göre ortalama olarak %11.75, EUD yakıtına göre ortalama olarak %10.62 artmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen EÖYT değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama olarak %19.85, EUD yakıtına göre ortalama olarak %18.61 artış görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının EÖYT değerleri B10 yakıtına göre ortalama olarak %8.5, EUD yakıtına göre ortalama olarak %14.67 artmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen EÖYT değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama olarak %16.41, EUD yakıtına göre ortalama olarak %23.03 artış görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının EÖYT değerleri B15 yakıtına göre ortalama olarak %7.39, EUD yakıtına göre ortalama olarak %16.51 artmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen EÖYT değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama olarak %16.84, EUD yakıtına göre ortalama

olarak %26.77 artış görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının EÖYT değerleri B20 yakıtına göre ortalama olarak %7.17, EUD yakıtına göre %21.11 artmıştır. B20E10 yakıtı ile elde edilen EÖYT değerlerinde B20 yakıtına göre %15.53, EUD yakıtına göre %30.57 artış görülmektedir.

Biyodizel karışımlarına biyoetanol ilavesinin EÖYT değerlerini artırmasının en önemli sebebi biyoetanolin alt ısıl değerinin EUD ve biyodizele göre çok daha düşük olması ve bu nedenle aynı performansı elde edebilmek için daha fazla yakıt tüketme ihtiyacı olarak açıklanabilir. Bununla birlikte biyoetanol ilavesinin efektif motor gücünü düşürmesi de EÖYT değerlerinin artmasına neden olmuştur. Karışımdaki biyoetanol oranının artması ile EÖYT değerleri daha da artmıştır. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Rakopoulos ve ark.. (2007)'nin, Kim ve Choi (2008)'nin, Lapuerta ve ark. (2008)'nin, Huang ve ark. (2009)'nin, Erkal (2010)'in ve Lei ve ark. (2011)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Bunlara ek olarak kaynak araştırmasında bahsedilen daha birçok araştırmacının çalışmasında da biyoetanolin EÖYT'ni düşürdüğünü gösteren bulgular sunulmuştur.

4.1.4. Ortalama indike efektif basınç ve ortalama efektif basınç

Testler sonucunda elde edilen ortalama indike basınç ve ortalama efektif basınç değerleri maksimum tork ve güç değerlerinin elde edildiği motor hızlarında karşılaştırılmış ve Şekil 4.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Test yakıtlarının P_{imap} ve P_{mep} değerlerinin karşılaştırılması

Testler sonucunda motorun sürtünme kayıplarına bağlı olarak tüm efektif basınç değerlerinin indike basınç değerlerinden düşük olduğu görülmektedir. Motor hızındaki artışla sürtünme kayıpları da arttığı için tüm basınç değerleri genelde azalmıştır.

Biyodizel kullanımı ile ortalama indike efektif basıncı EUD yakıtına göre artmıştır. Biyoetanol kullanımı ise düşük biyodizel karışımı yakıtlarda ortalama indike efektif basıncı artırmış, yüksek biyodizel karışımı yakıtlarda ise bir miktar düşürmüştür. En yüksek ortalama indike efektif basınç değeri 1400 d/d motor hızında B15 yakıtı ile 10.12 bar, en düşük ise B20E5 yakıtı ile 9.58 bar olarak ölçülmüştür.

4.2. Yanma Analizi

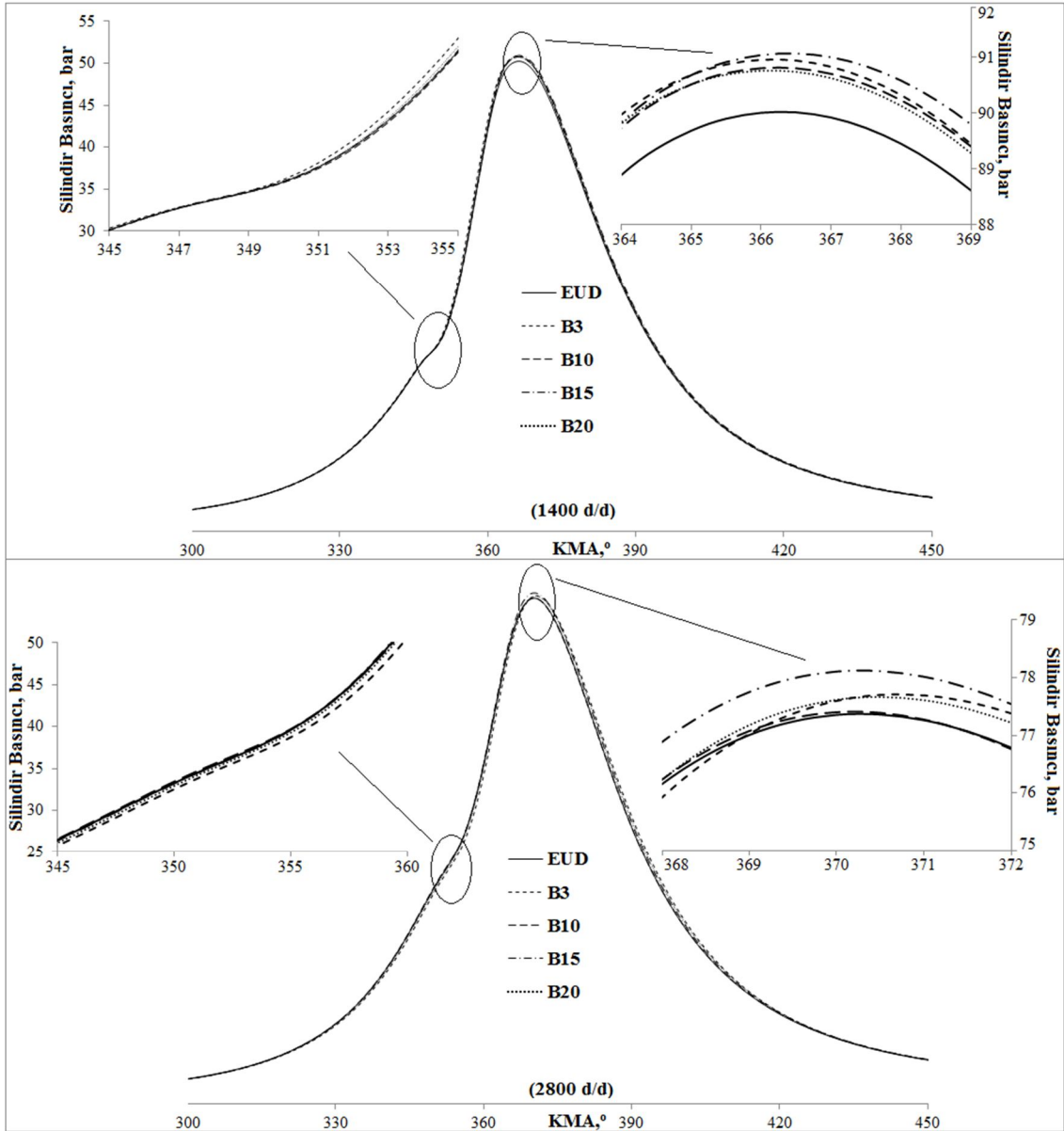
Yanma analizi her bir test yakıtı için maksimum efektif motor torkunun ve maksimum efektif motor gücünün elde edildiği devirlerde, basınç ve ısı salımı karakteristiklerinin karşılaştırılması şeklinde incelenmiştir. Silindir basıncının ölçülmesi ile ısı salımı karakteristikleri önceki bölümde verilen Denklem 3.14. ve 3.15. kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, önce biyodizel kullanımının etkileri sonra biyoetanol kullanımının etkileri olarak incelenmiştir.

4.2.1. Silindir basıncı

Yanma sonu açığa çıkan basınç, yanma süresi ve iş zamanı süresince elde edilen toplam basınçtır ve bu basınç sayesinde diğer zamanlar oluşur. Bu bölümde bir çevrim boyunca oluşan basıncın ve maksimum basınçların KMA'na göre değişimi incelenmiştir.

4.2.1.1. Biyodizel kullanımının silindir basıncına etkisi

Biyodizel kullanımı ile maksimum efektif tork değeri olan 1400 d/d ve maksimum efektif gücü değeri olan 2800 d/d motor hızlarında elde edilen silindir basıncı değişimi şekil 4.10.'da gösterilmiştir. 1400 d/d motor hızında, tüm yakıtlar için en yüksek silindir basıncı değeri 366 °KMA'da elde edilmiştir. 2800 d/d motor hızında ise B3 yakıtı için elde edilen en yüksek basınç değeri 371 °KMA'iken diğer yakıtlar için en yüksek basınç değeri 370 °KMA değerinde elde edilmiştir.



Şekil 4.10. Biyodizel kullanımının 1400 d/d ve 2800 d/d motor hızlarında silindir basıncına etkisi

Her iki motor hızında da biyodizel kullanımı ile elde edilen basınç değerlerinin tümü EUD yakıtından yüksektir. En yüksek basınç değeri B15 yakıtı ile 1400 d/d motor hızında, 366 °KMA'da 91.25 bar olarak ölçülmüştür. Aynı durumda elde edilen en düşük silindir basıncı değeri EUD yakıtı ile 90.15 bar olarak ölçülmüştür. 2800 d/d motor hızında elde edilen maksimum silindir basıncı değeri B15 yakıtı ile 370 °KMA'da 78.43 bar ölçülürken aynı durumda en düşük basınç değeri EUD yakıtı ile 77.60 bar ölçülmüştür.

Maksimum silindir basıncının oluştuğu KMA değeri, yanmanın başlangıcına ve yakıtın özelliklerine göre değişmektedir. Aynı püskürtme açısında püskürtülen yakıtın

yanma başlangıcını belirleyen en önemli parametre setan sayısıdır. Üretilen biyodizel ile EUD yakıtının setan sayıları arasında çok fazla fark görülmemiştir (Çizelge 3.5.). Bu nedenle ölçülen maksimum basınç değerleri 1400 d/d motor hızında tüm yakıtlar için, 2800 d/d motor hızında ise B3 yakıtı ile ölçülen değer haricinde diğer yakıtlar için aynı KMA' da elde edilmiştir.

Biyodizel kullanımı ile 1400 d/d motor hızında bir çevrim boyunca silindir basıncı değerleri incelendiğinde, B3 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %0.666 azalmış, B10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı EUD yakıtına göre ortalama %0.02, B15 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %0.46 ve B20 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %0.141 artmıştır. 2800 d/d motor hızında bir çevrim boyunca silindir basıncı değerleri incelendiğinde, B3 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı değeri EUD yakıtına göre ortalama % 0.558, B10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %1.49, B15 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %0.786 ve B20 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %0.892 azalmıştır.

Motor hızının artması ile maksimum basıncın elde edildiği KMA değerlerinin ÜÖN' dan daha uzaklaştığı görülmektedir. Bu durum, artan piston hızına göre yanma hızının aynı oranda artmaması ile açıklanabilir. Motor hızındaki artış maksimum silindir basıncını da düşürmüştür. Bu düşüşün nedeni tam yanmanın gerçekleşmesi için yeterli sürenin olmaması ile açıklanabilir.

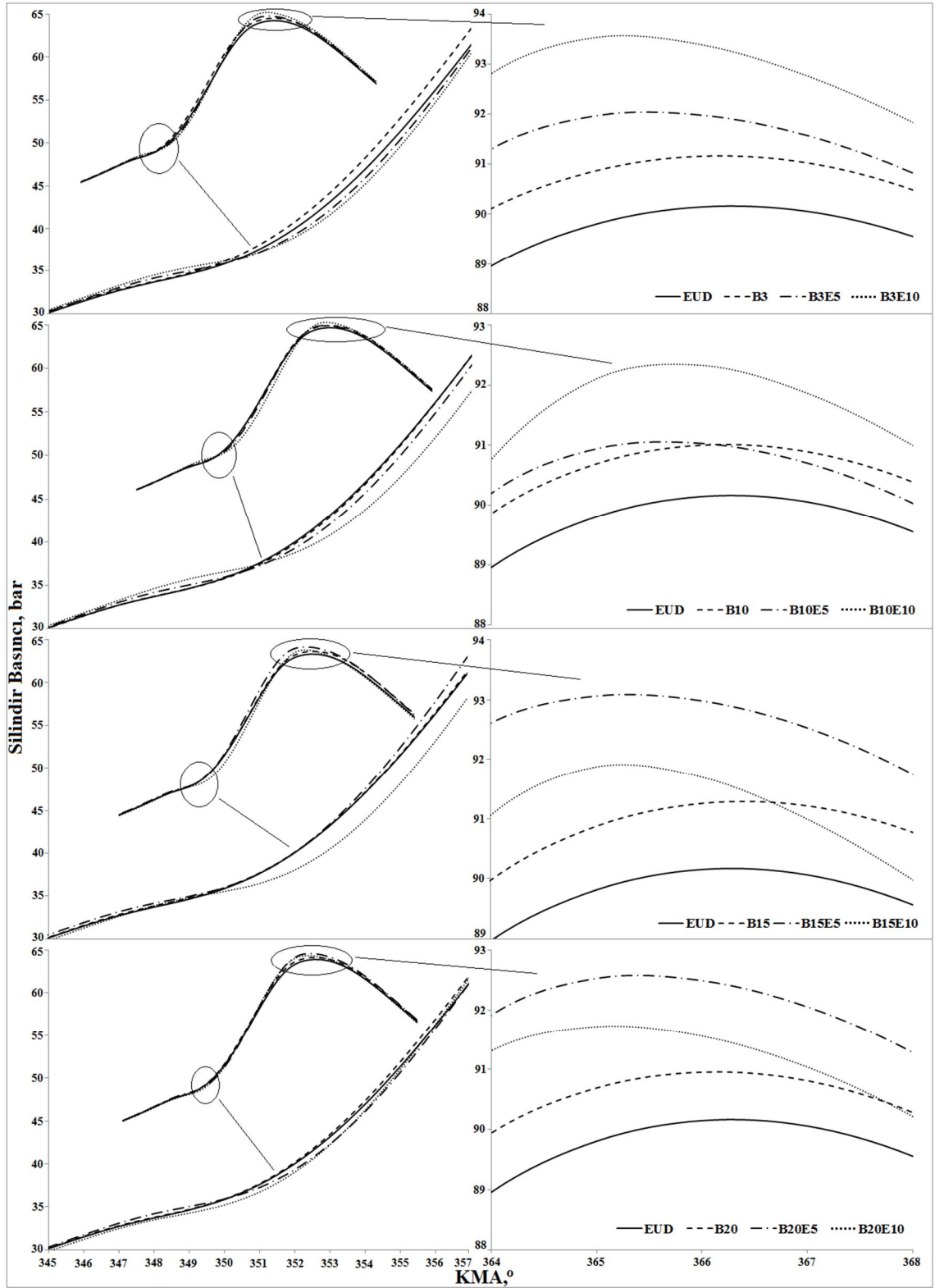
Biyodizel kullanımının maksimum silindir basıncı değerini artırması, içeriğinde bulunan oksijenin EUD yakıtına göre bir anlık yanma hızını artırması ile açıklanabilir. Bununla birlikte biyodizel karışımlarının tutuşma gecikmesi sürelerindeki bir miktar azalma da maksimum silindir basıncı değerlerindeki artışın bir nedeni olarak düşünülmektedir. 2800 d/d motor hızında ölçülen silindir basıncı değerlerinde biyodizel kullanımı ile maksimum basınç değerlerindeki artışın azaldığı görülmektedir. Ayrıca yine biyodizel karışımlarının kötü püskürtme karakteristiklerinin de motor hızının artması ile yanma verimini düşürmesi olarak açıklanabilir. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Balcı (2005)' nin, Özsezen (2007)' nin, Sahoo ve Das (2009)' in, Dhar ve ark (2012)' nin, Rounce ve ark. (2012)' nin, Su ve ark. (2013)' nin ve Lesnik ve ark. (2014)' nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.

4.2.1.2. Biyoetanol kullanımının silindir basıncına etkisi

Biyodizel karışımli yakıtlara biyoetanolun ilavesi ile silindir basıncı değerlerinin değişimi maksimum tork ve maksimum güç değerlerinde farklı etkilere sebep olmuştur. Şekil 4.11. 1400 d/d motor hızında biyoetanol ilavesinin silindir basıncına etkisini göstermektedir. 1400 d/d motor hızında, biyoetanol ilaveli yakıtların maksimum basınçlarının EUD ve biyodizel karışımli yakıtlardan daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca biyoetanol ilavesi ile maksimum basınç değerleri ÜÖN'ya yaklaştırmıştır. Bu durum, biyoetanol ilavesinin setan sayısını azaltmasına rağmen yanma süresini kısaltması ile açıklanabilir.

Maksimum silindir basıncı değerleri karşılaştırıldığında, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının maksimum silindir basıncı değeri 366 °KMA'da 91.98 bar, B3E10 yakıtı ile elde edilen maksimum silindir basıncı değeri 365 °KMA'da 93.54 bar olarak elde edilmiştir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının maksimum silindir basıncı değeri 366 °KMA'da 91.03 bar, B10E10 yakıtı ile elde edilen maksimum silindir basıncı değeri 366 °KMA'da 92.36 bar olarak elde edilmiştir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının maksimum silindir basıncı değeri 365 °KMA'da 93.06 bar, B15E10 yakıtı ile elde edilen maksimum silindir basıncı değeri 365 °KMA'da 91.87 bar olarak tespit edilmiştir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının maksimum silindir basıncı değeri 365 °KMA'da 92.53 bar, B20E10 yakıtı ile elde edilen maksimum silindir basıncı değeri 365 °KMA'da 91.72 bar olarak tespit edilmiştir.

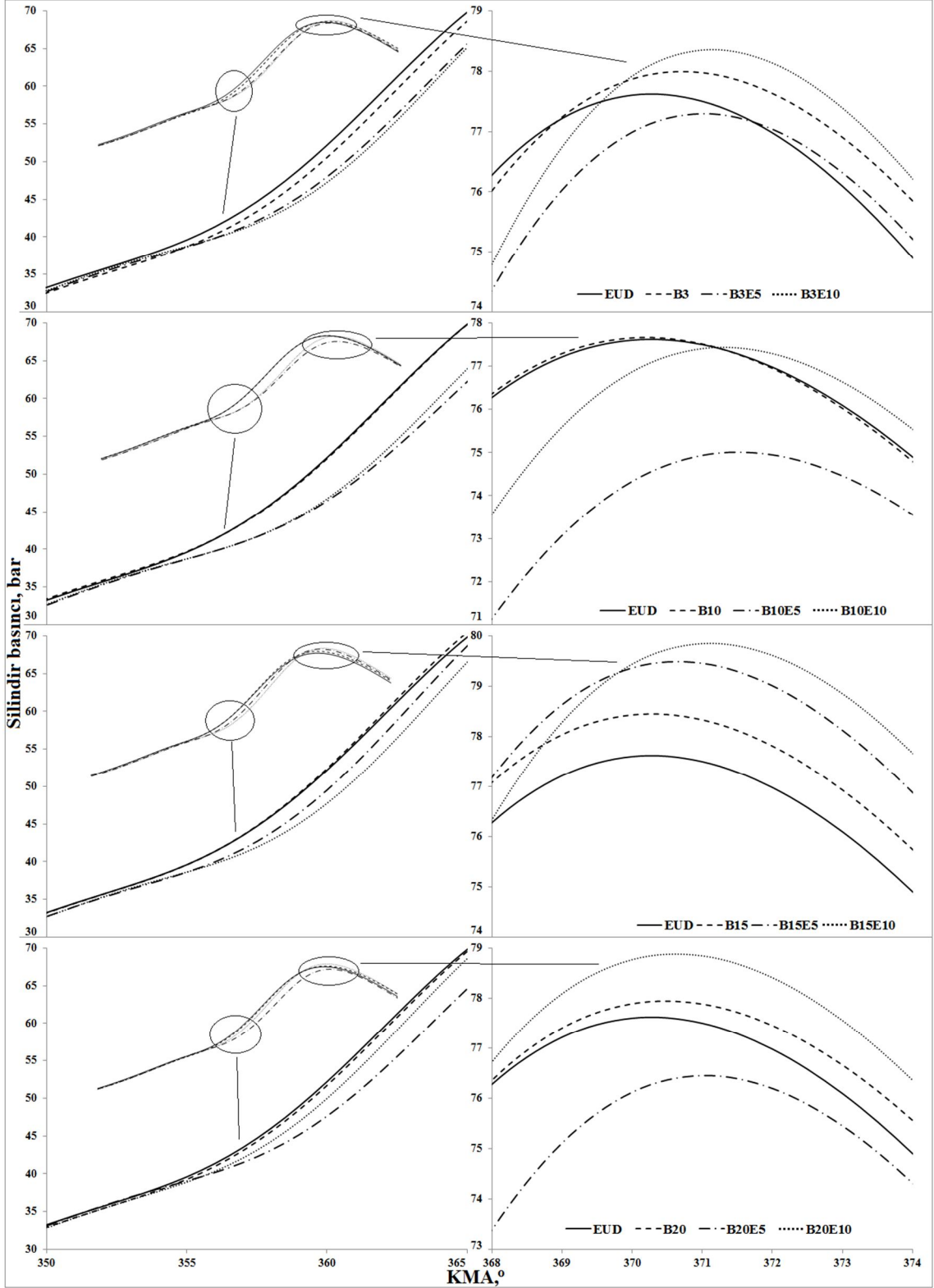
Şekil 4.12. 2800 d/d motor hızında biyoetanol ilavesinin silindir basıncına etkisini göstermektedir. B15E5 ve B15E10 yakıtları haricinde %5 biyoetanol içeren karışımların maksimum silindir basıncı değerleri biyodizel karışımlarına göre düşmüştür. Biyoetanol ilavesi ile maksimum basınç değerleri ÜÖN'dan uzaklaştırmıştır. Bu durumun, biyoetanolun setan sayısını düşürmesi ile tutuşma gecikmesini artırması olarak açıklanabilir.



Şekil 4.11. Biyoetanol kullanımının 1400 d/d motor hızında silindir basıncına etkisi

Testler sonucunda 2800 d/d motor hızında elde edilen maksimum silindir basınçları, B3E5 yakıtı ile 371 °KMA'da 77.3 bar, B3E10 yakıtı ile 371 °KMA'da 78.35 bar, B10E5 yakıtı ile 372 °KMA'da 74.95 bar, B10E10 yakıtı ile 371 °KMA'da 77.41

bar, B15E5 yakıtı ile 371 °KMA'da 79.46 bar, B15E10 yakıtı ile 371 °KMA'da 79.85 bar, B20E5 yakıtı ile 371 °KMA'da 76.45 bar ve B20E10 yakıtı ile 371 °KMA'da 78.85 bar olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.12. Biyoetanol kullanımının 2800 d/d motor hızında silindir basıncına etkisi

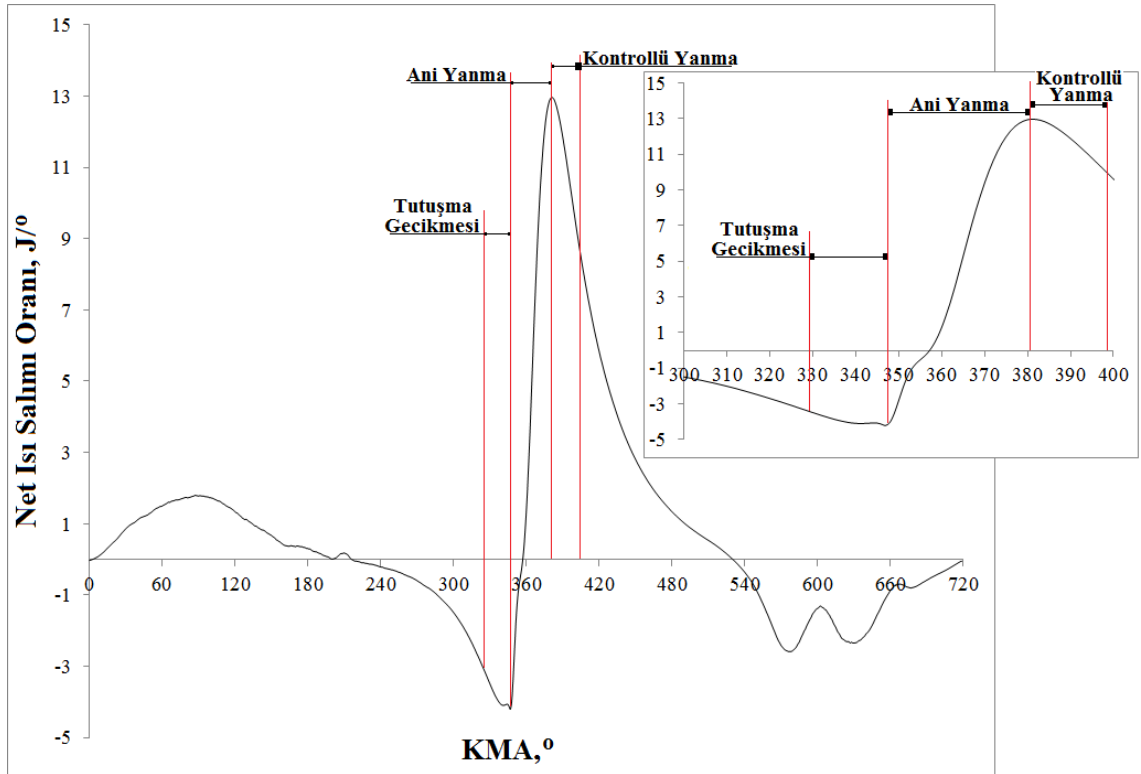
Biyometanol kullanımı ile 1400 d/d motor hızı incelendiğinde, B3 yakıtına biyometanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının silindir basıncı değeri B3 yakıtına göre ortalama %1.14, EUD yakıtına göre %0.464 artmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama %0.505 artış, EUD yakıtına göre ortalama %0.169 düşüş görülmektedir. B10 yakıtına biyometanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının silindir basıncı değeri B10 yakıtına göre ortalama %0.506, EUD yakıtına göre %0.522 azalmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama %0.9, EUD yakıtına göre ortalama %0.91 artış görülmektedir. B15 yakıtına biyometanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının silindir basıncı değeri B15 yakıtına göre ortalama %1.75, EUD yakıtına göre ortalama %1.33 azalmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama %0.712, EUD yakıtına göre ortalama %0.319 düşüş görülmektedir. B20 yakıtına biyometanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının silindir basıncı değeri B20 yakıtına göre ortalama %0.301, EUD yakıtına göre ortalama %0.44 artmıştır. B20E10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı değerlerinde B20 yakıtına göre ortalama %1.77, EUD yakıtına göre ortalama %1.68 düşüş görülmektedir.

Biyometanol kullanımı ile 2800 d/d motor hızı incelendiğinde, B3 yakıtına biyometanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının silindir basıncı değeri B3 yakıtına göre ortalama %1.4, EUD yakıtına göre ortalama %1.96 azalmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama %1.41, EUD yakıtına göre ortalama %1.98 düşüş görülmektedir. B10 yakıtına biyometanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının silindir basıncı değeri B10 yakıtına göre ortalama %1.58, EUD yakıtına göre ortalama %0.31 azalmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama %0.12, EUD yakıtına göre ortalama %1.65 düşüş görülmektedir. B15 yakıtına biyometanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının silindir basıncı değeri B15 yakıtına göre ortalama %0.05, EUD yakıtına göre ortalama %0.843 azalmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama %3.3, EUD yakıtına göre ortalama %4.04 düşüş görülmektedir. B20 yakıtına biyometanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının silindir basıncı değeri B20 yakıtına göre ortalama %3.2, EUD yakıtına göre ortalama %4.1 azalmıştır. B20E10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı değerlerinde B20 yakıtına göre ortalama %3.96, EUD yakıtına göre %4.81 düşüş görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Xing-cai ve ark. (2004)'nin, Rakopoulos ve ark. (2007)'nin, Lapuerta ve ark. (2008)'nin

ve Anbarasu ve ark. (2013)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.

4.2.2. Isı salımı ve ısı salımı oranı

Yanma sonucu oluşan ısının silindir içerisinde KMA'na bağlı olarak değişimi ısı salımı parametresi olarak incelenmiştir. Isı salımı her bir KMA'da değişen hacim, basınç, ısı transferi ve yakıtın özgül ısıları oranına bağlıdır. Isı salımı, net ısı salımı ve kümülatif ısı salımı olarak incelenmiştir. Net ısı salımı (NIS) silindir içerisindeki ısı transferi ihmal edilerek hesaplanan ısı salımı değerleridir. Kümülatif ısı salımı (KIS) ise silindir duvarından ve yanma odasından geçen ısı transferinin hesaba katılması ile elde edilmiştir. Her bir KMA'da ısı salımlarının değişim hızı ısı salım oranı olarak ifade edilmiştir. Isı salımı oranı yanmanın incelenmesi açısından oldukça önemlidir. Şekil 4.13.'de EUD yakıtına ait net ısı salımı oranı ve başlıca yanma safhaları gösterilmiştir.



Şekil 4.13. 1400 d/d motor hızında EUD yakıtının net ısı salımı oranı ve yanma safhaları

Isı salımı oranı, püskürtme başlangıcı ile başlayan karışım oluşma bölgesi ve yanmanın başlaması ile meydana gelen kontrollü difüzyon bölgesi olarak incelenmiştir. Yakıt püskürtülmeye başladığı andan itibaren yanma başlangıcına kadar geçen sürede

yani tutuşma gecikmesinde, sıkıştırılmış hava içerisine yakıt püskürtülerek karışım zenginleştirilir. Tutuşma gecikmesinin sonuna doğru ısı salımı oranı bir anda artmaya başlamıştır. Tutuşma gecikmesi süresince ısı salımı oranı değerinin negatif değerlerde olmasının nedeni püskürtülen yakıtın buharlaşma süreci esnasında ortamdaki ısı çekmesidir. Difüzyon bölgesinde ise tutuşma gecikmesi sonunda biriken yakıt bir anda yanmaya başlayarak ani yanma safhasını oluşturmuştur. Daha sonraki bölümde kontrollü yanma gerçekleşerek silindir hacminin genişlemesi ve yanmanın sona ermesi ile ısı salımı oranı azalmıştır. Egzoz supabının açılması ile ortamda ani ısı ve sıcaklık düşüşü olduğundan ısı salımı oranı yine negatif değere düşmüştür. Tüm test yakıtları için elde edilen ısı salımı oranı değerleri büyük oranda benzerlik göstermiştir.

4.2.2.1. Biyodizel kullanımının ısı salımına etkisi

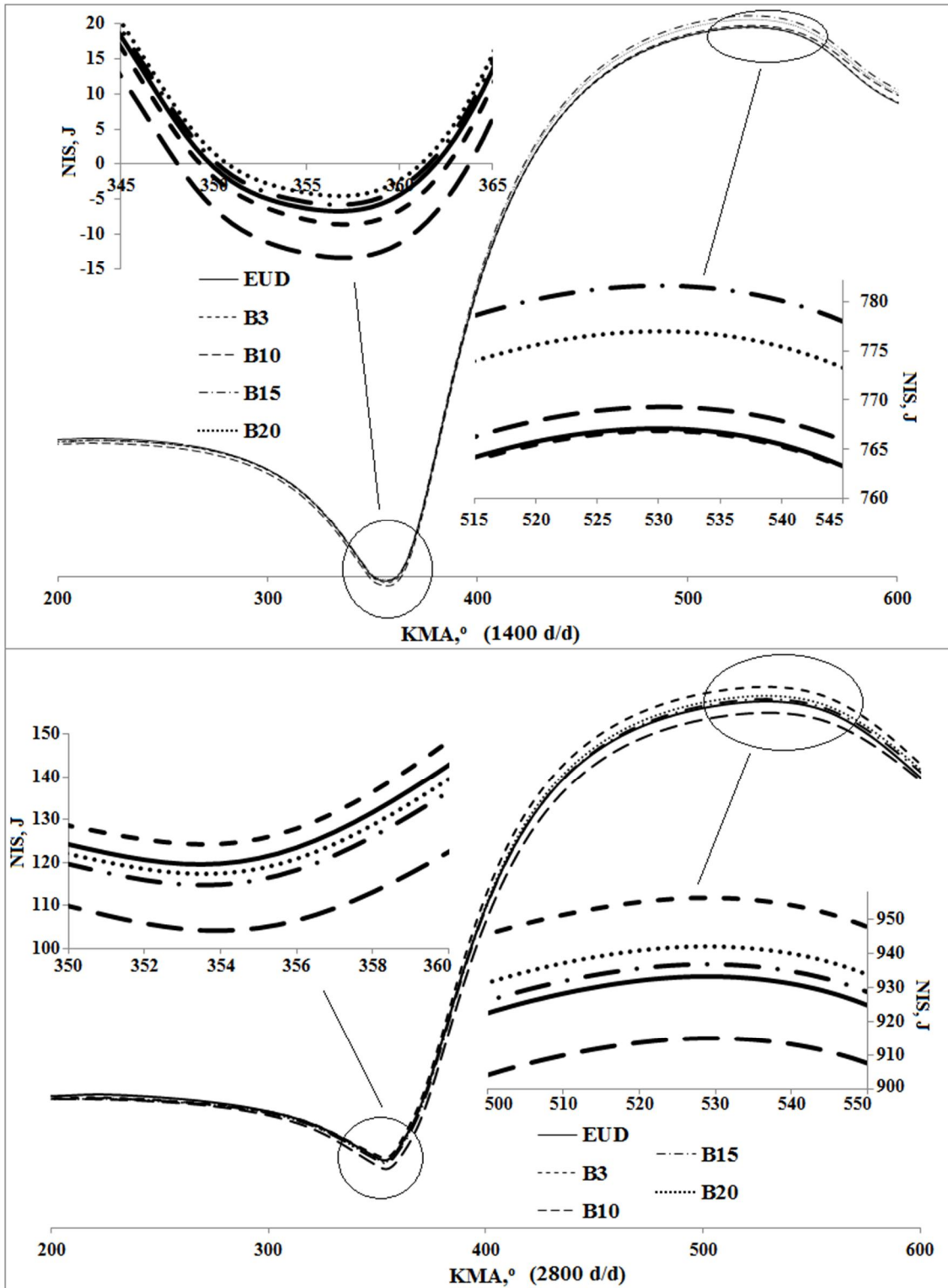
Biyodizel kullanımının NIS ve KIS'na etkileri maksimum tork ve güç değerlerinin elde edildiği motor hızlarında hesaplanmıştır. Şekil 4.14 biyodizel kullanımının 1400 ve 2800 d/d motor hızlarında elde edilen NIS'nı göstermektedir. Tüm yakıtlar için motor hızının artması ile maksimum NIS değerlerinin arttığı ve değerlerin ÜÖN'ya yaklaştığı görülmektedir. Bu durum motor hızındaki artışın silindir sıcaklık değerlerini artırması ve ısı transferi hızının düşmesi ile açıklanabilir.

1400 d/d motor hızında maksimum NIS değerleri incelendiğinde, tüm biyodizel karışimli yakıtların maksimum NIS değerleri 530 °KMA'da elde edilmiştir. En yüksek NIS B15 yakıtı ile 783.91 J, en düşük NIS ise B3 yakıtı ile 767.58 J olarak elde edilmiştir.

2800 d/d motor hızında maksimum NIS değerleri incelendiğinde tüm biyodizel karışımları için maksimum NIS değerleri 529 °KMA'da elde edilmiştir. En yüksek NIS değeri B3 yakıtı ile 962.44 J, En düşük NIS değeri ise B10 yakıtı ile 916.59 J olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.15. 1400 ve 2800 d/d motor hızlarında biyodizel kullanımı ile elde edilen KIS değerlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Motor hızının artması ile maksimum KIS değerleri azalmıştır. Bu durum motor hızının artması ile silindir duvarına ve yanma odasına geçen ısı transferi süresinin ve miktarının kısılması ile açıklanabilir. Biyodizel kullanımı ile maksimum KIS değerlerinin elde edildiği KMA değeri ÜÖN'dan uzaklaşmıştır. Bu durum biyodizelin viskozitesinin ve yoğunluğunun yüksek olması

nedeni ile püskürtme karakteristiklerini kötüleştirir ve yanma başlangıcını geciktirmesi olarak açıklanabilir.



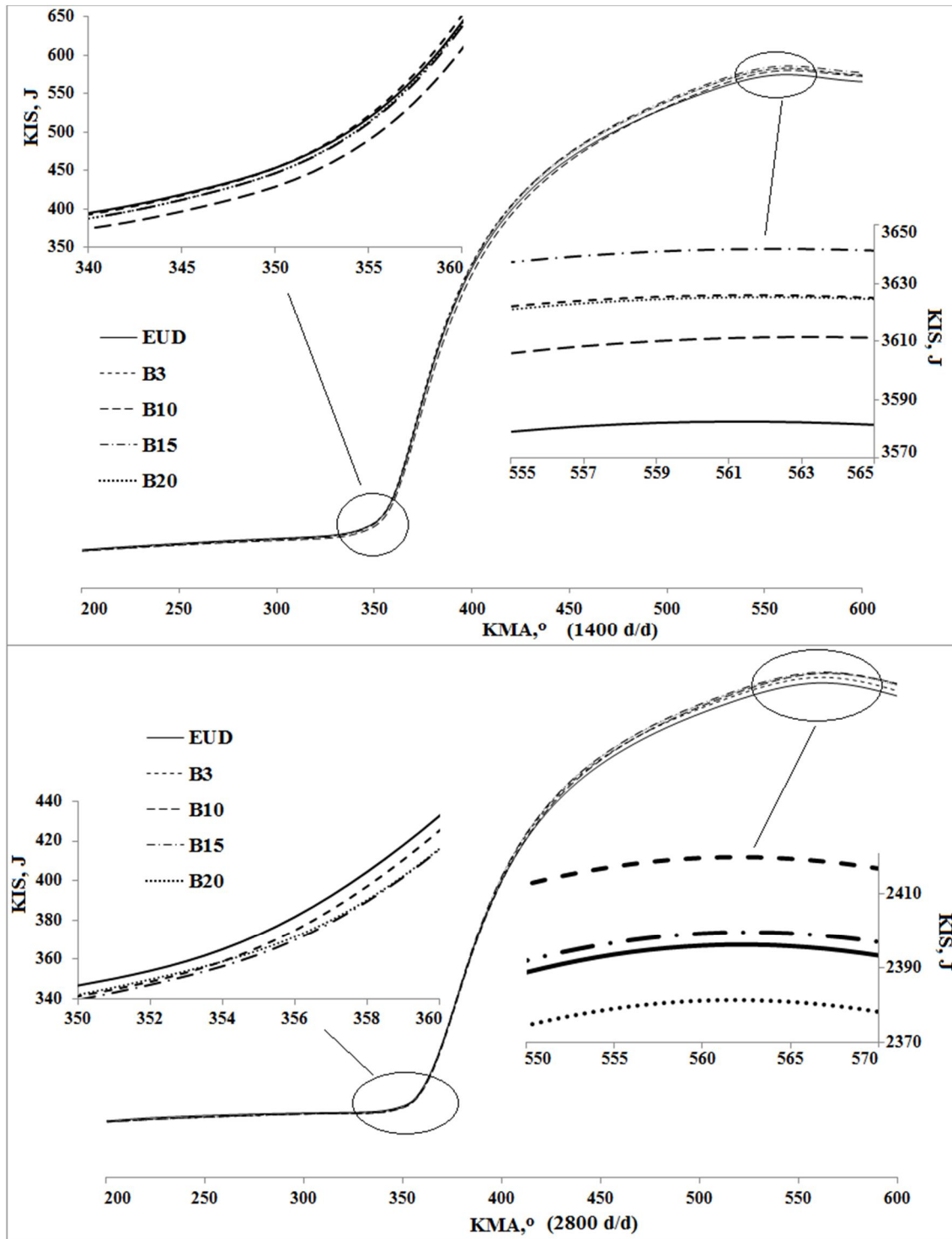
Şekil 4.14. 1400 ve 2800 d/d motor hızlarında biyodizel kullanımının NIS'na etkisi

1400 d/d motor hızında maksimum KIS değerleri incelendiğinde, EUD yakıtı ile elde edilen maksimum KIS değeri 561 °KMA'da 3582.74 J, B3 yakıtı ile 562 °KMA'da 3626.91 J, B10 yakıtı ile 563 °KMA'da 3612.11 J, B15 yakıtı ile 562 °KMA'da 3642.96 J ve B20 yakıtı ile 562 °KMA'da 3626.23 J olarak elde edilmiştir.

2800 d/d motor hızında maksimum KIS değerleri incelendiğinde, EUD yakıtı ile elde edilen maksimum KIS değeri 562 °KMA'da 2399.65 J, B3 yakıtı ile 562 °KMA'da 2426.31 J, B10 yakıtı ile 565 °KMA'da 2446.2 J, B15 yakıtı ile 563 °KMA'da 2451.63 J ve B20 yakıtı ile 563 °KMA'da 2446.05 J olarak elde edilmiştir.

Biyodizel kullanımı ile 1400 d/d motor hızında bir çevrim boyunca net ısı salımı değerleri incelendiğinde, B3 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %3.6 ve B10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı EUD yakıtına göre ortalama %9.29 azalmış, B15 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %2.13 ve B20 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %3.14 artmıştır. 2800 d/d motor hızında bir çevrim boyunca net ısı salımı değerleri incelendiğinde, B3 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı değeri EUD yakıtına göre ortalama % 1.63, B10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %1.61 artmış, B15 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %0.363 ve B20 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %1.52 azalmıştır.

Biyodizel kullanımı ile 1400 d/d motor hızında bir çevrim boyunca kümülatif ısı salımı değerleri incelendiğinde, B3 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %0.29, B10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı EUD yakıtına göre ortalama %0.41 azalmış, B15 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %0.075, B20 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %0.629 azalmıştır. 2800 d/d motor hızında bir çevrim boyunca kümülatif ısı salımı değerleri incelendiğinde, B3 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı değeri EUD yakıtına göre ortalama % 0.109 azalmış, B10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %1.43 ve B15 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %0.314 artmış ve B20 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %0.432 azalmıştır.



Şekil 4.15. 1400 ve 2800 d/d motor hızlarında biyodizel kullanımının KIS'na etkisi

Biyodizel kullanımı hem maksimum NIS değerlerini hem de KIS değerlerini genelde artırmıştır. Bu artış, biyodizelin yüksek viskozitesinin püskürtme karakteristiklerini kötüleştirilmesi ve EUD yakıtına göre buharlaşma ısısının daha yüksek olması, yanma başlangıcı anında daha çok birikmiş yakıt oluşmasına neden olması ve böylece daha fazla yakıtın bir anda yanmaya başlaması ile açıklanabilir. Elde edilen bu

sonuçlar Patterson ve ark. (2005)'nin, Dhar ve ark. (2012)'nin ortaya koydukları ile uyumludur.

4.2.2.2. Biyoetanol kullanımını ısı salımına etkisi

Biyoetanol kullanımının NIS ve KIS'na etkileri maksimum tork ve güç değerlerinin elde edildiği motor hızlarında hesaplanmıştır. Şekil 4.16. ve Şekil 4.17. biyoetanol kullanımının 1400 ve 2800 d/d motor hızlarında elde edilen NIS'nı göstermektedir. Tüm yakıtlar için motor hızının artması ile maksimum NIS değerlerinin genelde arttığı ve değerlerin bazı durumlarda ÜÖN'ya yaklaştığı görülmektedir. Bu durum motor hızındaki artışın silindir sıcaklık değerlerini artırması ve ısı transferi hızının düşmesi ile açıklanabilir.

1400 d/d motor hızında maksimum NIS değerleri incelendiğinde, B3E5 yakıtı ile elde edilen maksimum NIS değeri 530 °KMA'da 775.91 J, B3E10 yakıtı ile 530 °KMA'da 772.86 J, B10E5 yakıtı ile 530 °KMA'da 772.79 J, B10E10 yakıtı ile 531 °KMA'da 772.17 J, B15E5 yakıtı ile 530 °KMA'da 770.76 J, B15E10 yakıtı ile 527 °KMA'da 767.77 J, B20E5 yakıtı ile 530 °KMA'da 779.95 J ve B20E10 yakıtı ile 527 °KMA'da 727.6 J olarak elde edilmiştir.

2800 d/d motor hızında maksimum B3E5 yakıtı ile elde edilen maksimum NIS değeri 529 °KMA'da 939.48 J, B3E10 yakıtı ile 529 °KMA'da 935.23 J, B10E5 yakıtı ile 528 °KMA'da 927.37 J, B10E10 yakıtı ile 528 °KMA'da 935.92 J, B15E5 yakıtı ile 529 °KMA'da 957.95 J, B15E10 yakıtı ile 528 °KMA'da 907.55 J, B20E5 yakıtı ile 528 °KMA'da 915.56 J ve B20E10 yakıtı ile 528 °KMA'da 896.79 J olarak elde edilmiştir.

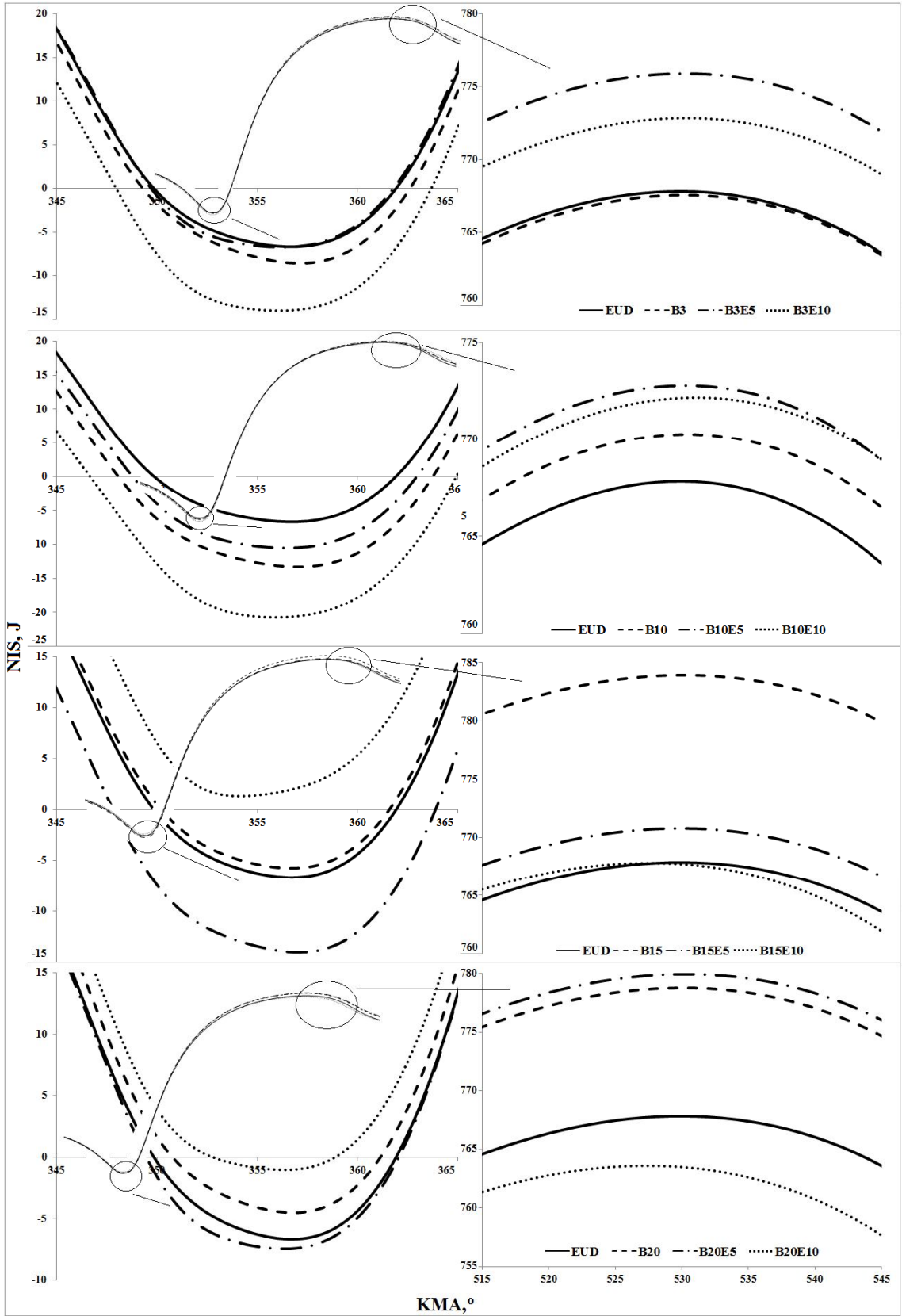
Biyoetanol kullanımı ile 1400 d/d motor hızı incelendiğinde, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının net ısı salımı değeri B3 yakıtına göre ortalama %2.76, EUD yakıtına göre %0.347 artmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama %3.17, EUD yakıtına göre ortalama %10.18 düşüş görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının net ısı salımı değeri B10 yakıtına göre ortalama %2.7 artmış, EUD yakıtına göre %5.46 azalmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama %1.84 düşüş, EUD yakıtına göre ortalama %18.18 düşüş görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının net ısı salımı değeri B15 yakıtına göre ortalama %13.33, EUD yakıtına göre ortalama %14.89 azalmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı değerlerinde B15 yakıtına göre

ortalama %12.52, EUD yakıtına göre ortalama %18.48 artış görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının net ısı salımı değeri B20 yakıtına göre ortalama %3.57, EUD yakıtına göre ortalama %0.211 azalmıştır. B20E10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı değerlerinde B20 yakıtına göre ortalama %9.42, EUD yakıtına göre ortalama %12.31 artış görülmektedir.

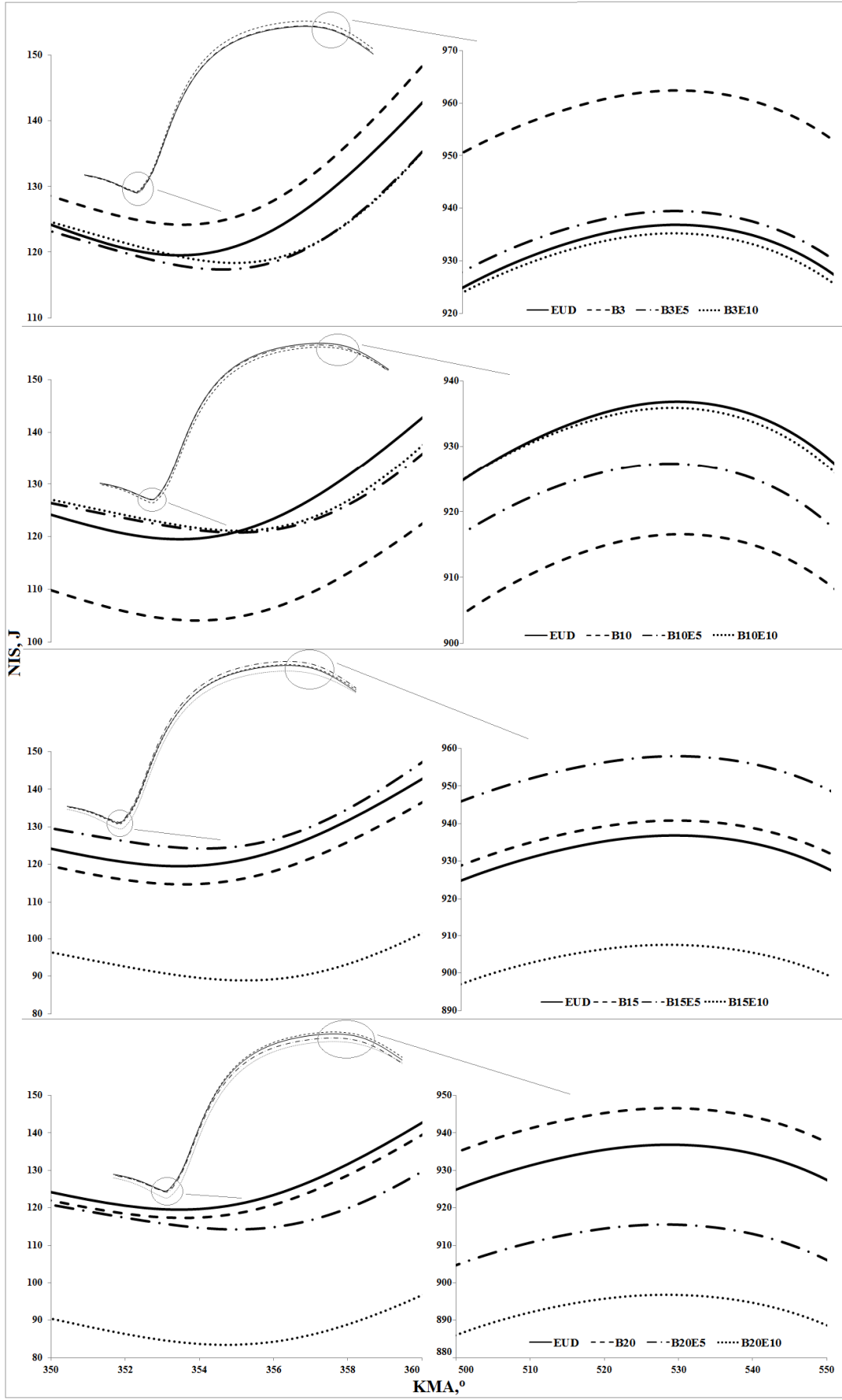
Biyoetanol kullanımı ile 2800 d/d motor hızı incelendiğinde, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının net ısı salımı değeri B3 yakıtına göre ortalama %5.17, EUD yakıtına göre ortalama %3.45 azalmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama %6.07, EUD yakıtına göre ortalama %4.37 düşüş görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının net ısı salımı değeri B10 yakıtına göre ortalama %4.43, EUD yakıtına göre ortalama %6.39 azalmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama %0.883, EUD yakıtına göre ortalama %1.9 düşüş görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının net ısı salımı değeri B15 yakıtına göre ortalama %3.6, EUD yakıtına göre ortalama %3.9 artmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama %20.82, EUD yakıtına göre ortalama %17.81 artış görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının net ısı salımı değeri B20 yakıtına göre ortalama %5.22, EUD yakıtına göre ortalama %11.35 azalmıştır. B20E10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı değerlerinde B20 yakıtına göre ortalama %0.48, EUD yakıtına göre %13.6 artış görülmektedir.

Şekil 4.18 ve Şekil 4.19. 1400 ve 2800 d/d motor hızlarında biyoetanol kullanımı ile elde edilen KIS değerlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Motor hızının artması ile maksimum KIS değerleri NIS değerlerine olduğu gibi, motor hızının artması ile ısı transferi süresinin ve miktarının kısılması nedeni ile azalmıştır. Yine biyoetanol kullanımı ile maksimum KIS değerlerinin elde edildiği KMA değerinin ÜÖN'dan genellikle uzaklaştığı görülmektedir. Bu durum biyoetanolün setan sayısını düşürerek tutuşma gecikmesi süresini uzatması ile açıklanabilir.

1400 d/d motor hızında maksimum KIS değerleri incelendiğinde, B3E5 yakıtı ile elde edilen maksimum KIS değeri 562 °KMA'da 3626.75 J, B3E10 yakıtı ile 563 °KMA'da 3612.11 J, B10E5 yakıtı ile 563 °KMA'da 3657.65 J, B10E10 yakıtı ile 566 °KMA'da 3672.59 J, B15E5 yakıtı ile 562 °KMA'da 3701 J, B15E10 yakıtı ile 558 °KMA'da 3476.21 J, B20E5 yakıtı ile 563 °KMA'da 3660.57 J ve B20E10 yakıtı ile 558 °KMA'da 3541.15 J olarak elde edilmiştir.



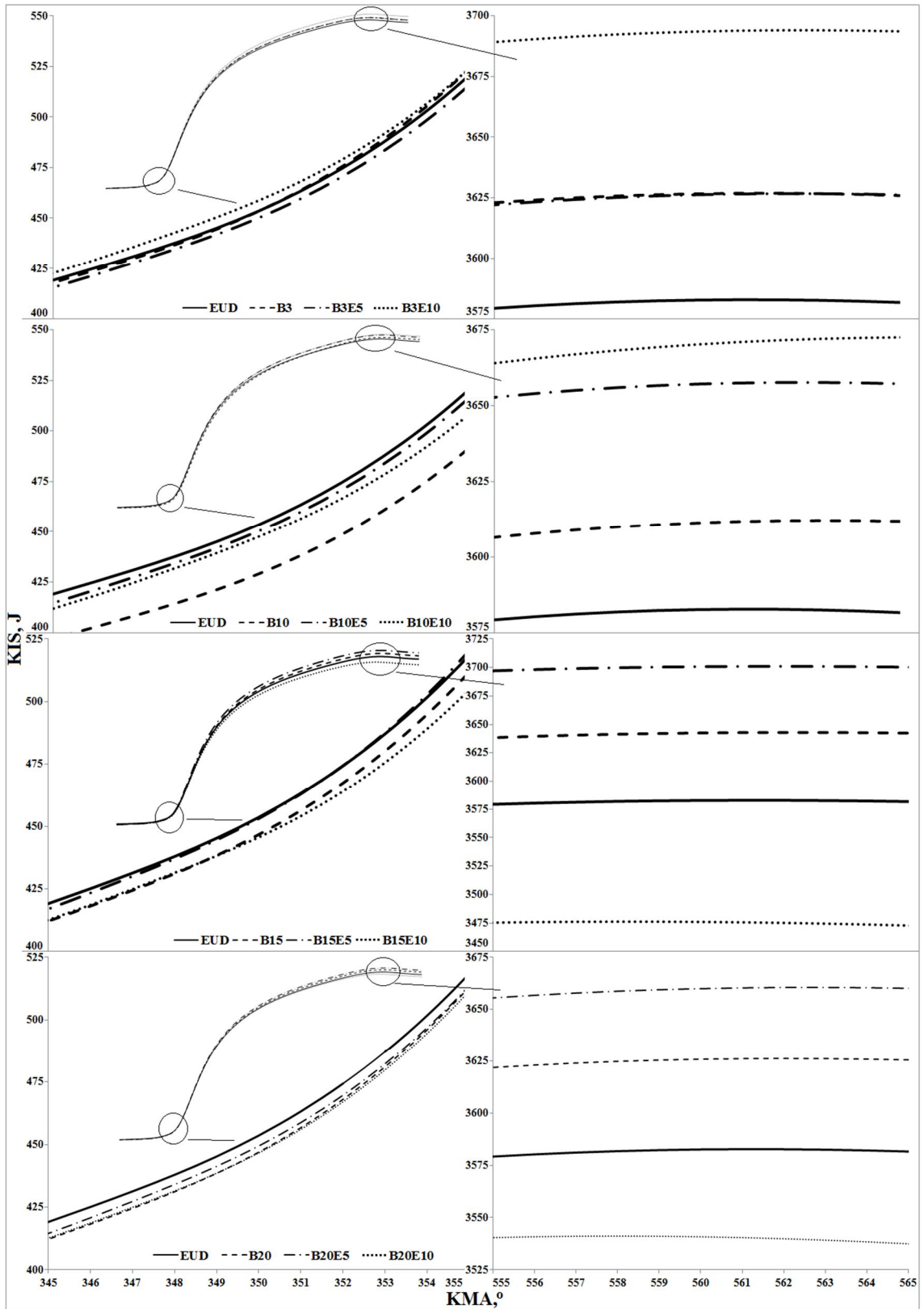
Şekil 4.16. 1400 d/d motor hızında biyoetanol kullanımının NIS'na etkisi



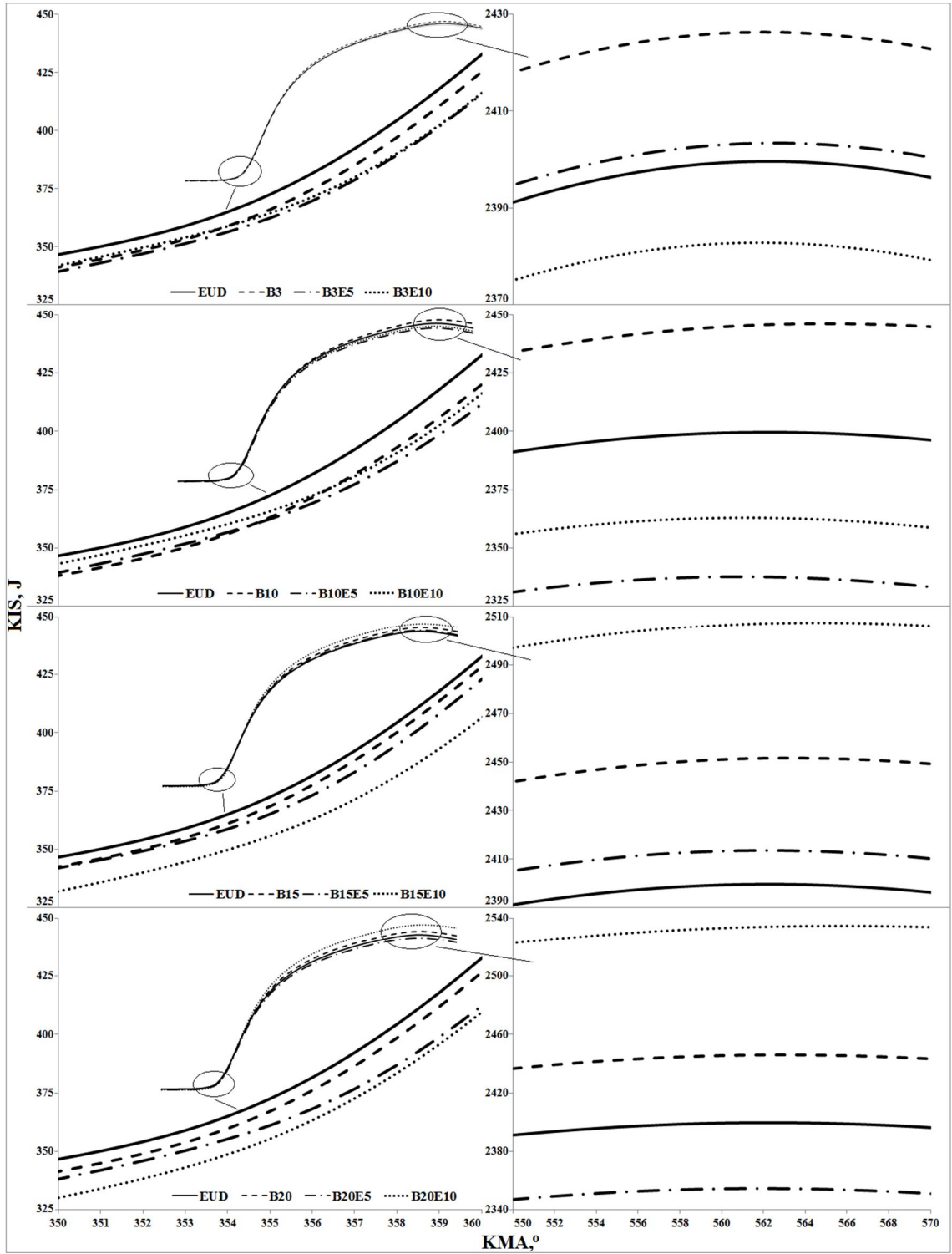
Şekil 4.17. 2800 d/d motor hızında biyoetanol kullanımının NIS'na etkisi

2800 d/d motor hızında maksimum B3E5 yakıtı ile elde edilen maksimum KIS değeri 563 °KMA'da 2403.42 J, B3E10 yakıtı ile 563 °KMA'da 2382.86 J, B10E5 yakıtı ile 561 °KMA'da 2337.66 J, B10E10 yakıtı ile 561 °KMA'da 2362.98 J, B15E5 yakıtı ile 562 °KMA'da 2413.58 J, B15E10 yakıtı ile 565 °KMA'da 2507.55 J, B20E5 yakıtı ile 562 °KMA'da 2354.58 J ve B20E10 yakıtı ile 566 °KMA'da 2534.89 J olarak elde edilmiştir.

Biyometanol kullanımı ile 1400 d/d motor hızı incelendiğinde, B3 yakıtına biyometanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının kümülatif ısı salımı değeri B3 yakıtına göre ortalama %0.481, EUD yakıtına göre %0.056 artmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama %2.01, EUD yakıtına göre ortalama %1.56 artış görülmektedir. B10 yakıtına biyometanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının kümülatif ısı salımı değeri B10 yakıtına göre ortalama %0.157, EUD yakıtına göre %0.357 artmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama %13.87, EUD yakıtına göre ortalama %1.94 artış görülmektedir. B15 yakıtına biyometanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının kümülatif ısı salımı değeri B15 yakıtına göre ortalama %2.37, EUD yakıtına göre ortalama %2.67 azalmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama %3.77, EUD yakıtına göre ortalama %3.96 artış görülmektedir. B20 yakıtına biyometanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının kümülatif ısı salımı değeri B20 yakıtına göre ortalama %1.47, EUD yakıtına göre ortalama %0.774 artmıştır. B20E10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı değerlerinde B20 yakıtına göre ortalama %5.28, EUD yakıtına göre ortalama %4.2 artış görülmektedir.



Şekil 4.18. 1400 d/d motor hızında biyoetanol kullanımının KIS'na etkisi



Şekil 4.19. 2800 d/d motor hızında biyoetanol kullanımının KIS'na etkisi

Biyoetanol kullanımı ile 2800 d/d motor hızı incelendiğinde, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının kümülatif ısı salımı değeri B3 yakıtına göre ortalama %2.29, EUD yakıtına göre ortalama %2.08 azalmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama %2.55, EUD

yakıtına göre ortalama %2.29 düşüş görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının kümülatif ısı salımı değeri B10 yakıtına göre ortalama %5.55, EUD yakıtına göre ortalama %4.29 azalmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama %2.86, EUD yakıtına göre ortalama %1.61 düşüş görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının kümülatif ısı salımı değeri B15 yakıtına göre ortalama %0.031 azalmış, EUD yakıtına göre ortalama %0.282 artmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama %7.98, EUD yakıtına göre ortalama %7.79 artış görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının kümülatif ısı salımı değeri B20 yakıtına göre ortalama %5.28, EUD yakıtına göre ortalama %5.91 azalmıştır. B20E10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı değerlerinde B20 yakıtına göre ortalama %6.56, EUD yakıtına göre %6.71 artış görülmektedir.

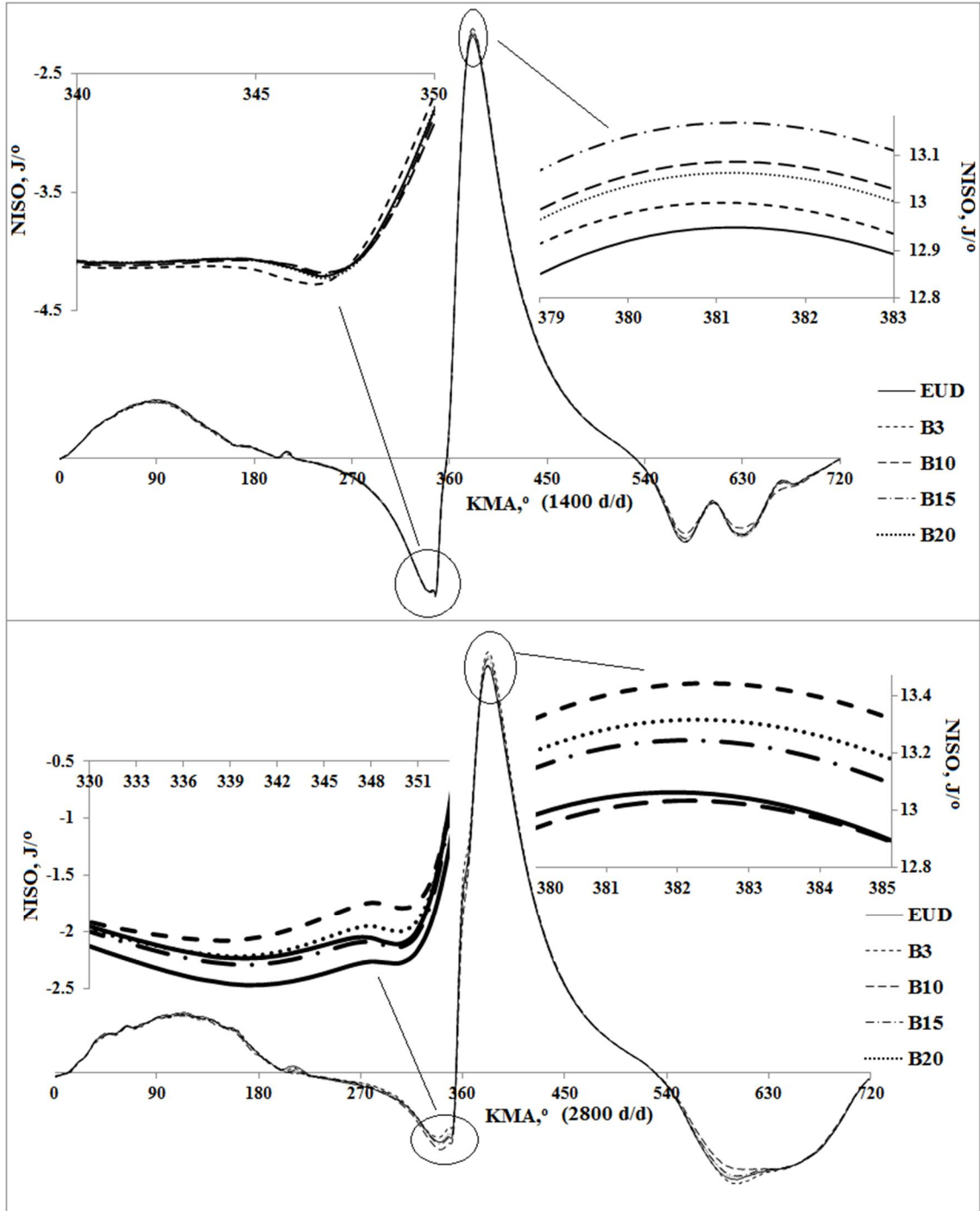
Karışımlara biyoetanol ilavesi genelde maksimum KIS ve NIS değerlerini artırmıştır. Biyoetanolün tutuşma gecikmesini artırması ile silindir içerisinde daha çok miktarda ön karışımın birikmesine sebep olur. Bu karışımın biyoetanol sayesinde buharlaşma hızı daha yüksek olduğundan bir anda daha fazla miktarda yakıt yandığı için KIS ve NIS değerlerinin arttığı düşünülmektedir. Bulunan bu sonuçlar ve nedenleri Chen ve ark. 2007 ile uyumludur.

4.2.2.3. Biyodizel kullanımının ısı salımı oranına etkisi

Biyodizel kullanımının net ısı salımı oranı (NISO) ve net ısı salımı oranı (KISO)'na etkileri maksimum tork ve güç değerlerinin elde edildiği motor hızlarında hesaplanmıştır. Şekil 4.20. biyodizel kullanımının 1400 ve 2800 d/d motor hızlarında elde edilen NISO'nı göstermektedir. Tüm yakıtlar için motor hızının artması ile maksimum NISO değerlerinin 2800 d/d motor hızında B10 yakıtı haricinde bir miktar arttığı görülmektedir. Bu durum, yüksek motor hızlarında biyodizelin kötü püskürtme karakteristiklerinin biraz daha düzelmesi ve ısı transfer hızının da azalması olarak açıklanabilir.

1400 d/d motor hızında maksimum NISO değerleri tüm biyodizel karışımları için 381° KMA'da elde edilmiştir. Elde edilen maksimum NISO değerleri EUD yakıtı ile 12.96 J/°, B3 yakıtı ile 13.02 J/°, B10 yakıtı ile 13.11 J/°, B15 yakıtı ile 13.21 J/°, B20 yakıtı ile 13.09 J/° olarak elde edilmiştir.

2800 d/d motor hızında maksimum NISO değerleri tüm biyodizel karışımları için 382° KMA'da elde edilmiştir. Elde edilen maksimum NISO değerleri EUD yakıtı ile 13.1 J/°, B3 yakıtı ile 13.51 J/°, B10 yakıtı ile 13.06 J/°, B15 yakıtı ile 13.3 J/°, B20 yakıtı ile 13.37 J/° olarak elde edilmiştir.



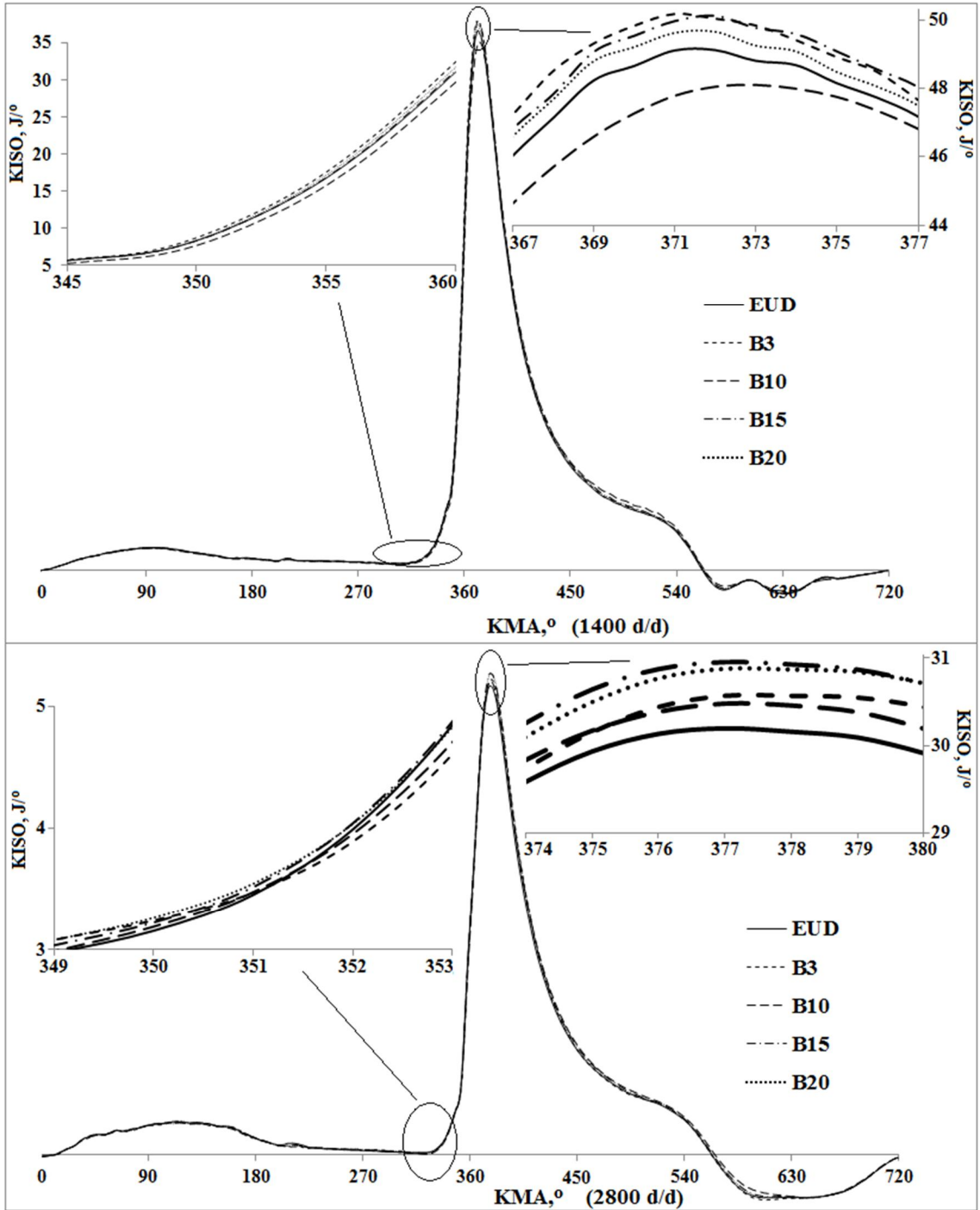
Şekil 4.20. 1400 ve 2800 d/d motor hızlarında biyodizel kullanımının NISO'na etkisi

Biyodizel kullanımı ile 1400 d/d motor hızında bir çevrim boyunca net ısı salımı oranı değerleri incelendiğinde, B3 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı oranı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %1.44 artmış, B10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı oranı EUD yakıtına göre ortalama %0.011 azalmış, B15 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı oranı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %2.7, B20 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı oranı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %2.51 artmıştır. 2800 d/d motor hızında bir çevrim boyunca net ısı salımı oranı değerleri incelendiğinde, B3 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı oranı değeri EUD yakıtına göre ortalama % 3.32, B10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı oranı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %3.69, B15 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı oranı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %1.7, B20 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı oranı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %0.266 azalmıştır.

Biyodizel kullanımı ile 1400 d/d motor hızında bir çevrim boyunca kümülatif ısı salımı oranı değerleri incelendiğinde, B3 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı oranı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %0.887, B10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı oranı EUD yakıtına göre ortalama %1.88, B15 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı oranı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %1.15, B20 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı oranı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %0.568 artmıştır.

2800 d/d motor hızında bir çevrim boyunca kümülatif ısı salımı oranı değerleri incelendiğinde, B3 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı oranı değeri EUD yakıtına göre ortalama % 0.864, B10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı oranı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %5.71, B15 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı oranı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %3.94, B20 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı oranı değerleri EUD yakıtına göre ortalama %2.28 artmıştır.

Şekil 4.21. 1400 ve 2800 d/d motor hızlarında biyodizel kullanımı ile elde edilen KISO değerlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Motor hızının artması ile maksimum KISO değerleri azalmıştır. Bu durum motor hızının artması ile silindir duvarına ve yanma odasına geçen ısı transferi hızının ve miktarının azalması ile açıklanabilir. Biyodizel kullanımı ile maksimum KISO değerlerinin elde edildiği KMA değeri motor hızındaki artışla ÜÖN'dan uzaklaşmıştır. Bu durum, motor hızının artması ile yanma başlangıcının gerçekleştiği KMA değerinin artması ile açıklanabilir.



Şekil 4.21. 1400 ve 2800 d/d motor hızlarında biyodizel kullanımının KISO'na etkisi

1400 d/d motor hızında elde edilen maksimum KISO değerleri EUD yakıtı ile 49.16 J/° , B3 yakıtı ile 50.22 J/° , B10 yakıtı ile 48.13 J/° , B15 yakıtı ile 50.17 J/° , B20 yakıtı ile 49.7 J/° olarak elde edilmiştir.

2800 d/d motor hızında elde edilen maksimum KISO değerleri EUD yakıtı ile 30.28 J/° , B3 yakıtı ile 30.68 J/° , B10 yakıtı ile 30.59 J/° , B15 yakıtı ile 31.1 J/° , B20 yakıtı ile 31.02 J/° olarak elde edilmiştir.

EUD yakıtına biyodizel karıştırılması ile NISO ve KISO değerlerinin arttığı görülmektedir. Karışımların viskozite ve yoğunluk değerleri EUD yakıtından daha yüksektir. Bu durum püskürtme karakteristiklerini kötüleştirir. Ayrıca karışımlardaki biyodizelin buharlaştırma ısını artırması da yanmayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenlerden dolayı yanma başlangıcına kadar geçen süre içerisinde silindirde daha fazla miktarda yakıt birikir ve oksijen içeriği nedeni ile bir anda yüksek hızda yanma başlar. Bu durum biyodizel karışımlarının ısı salımı oranlarının artmasına neden olur.

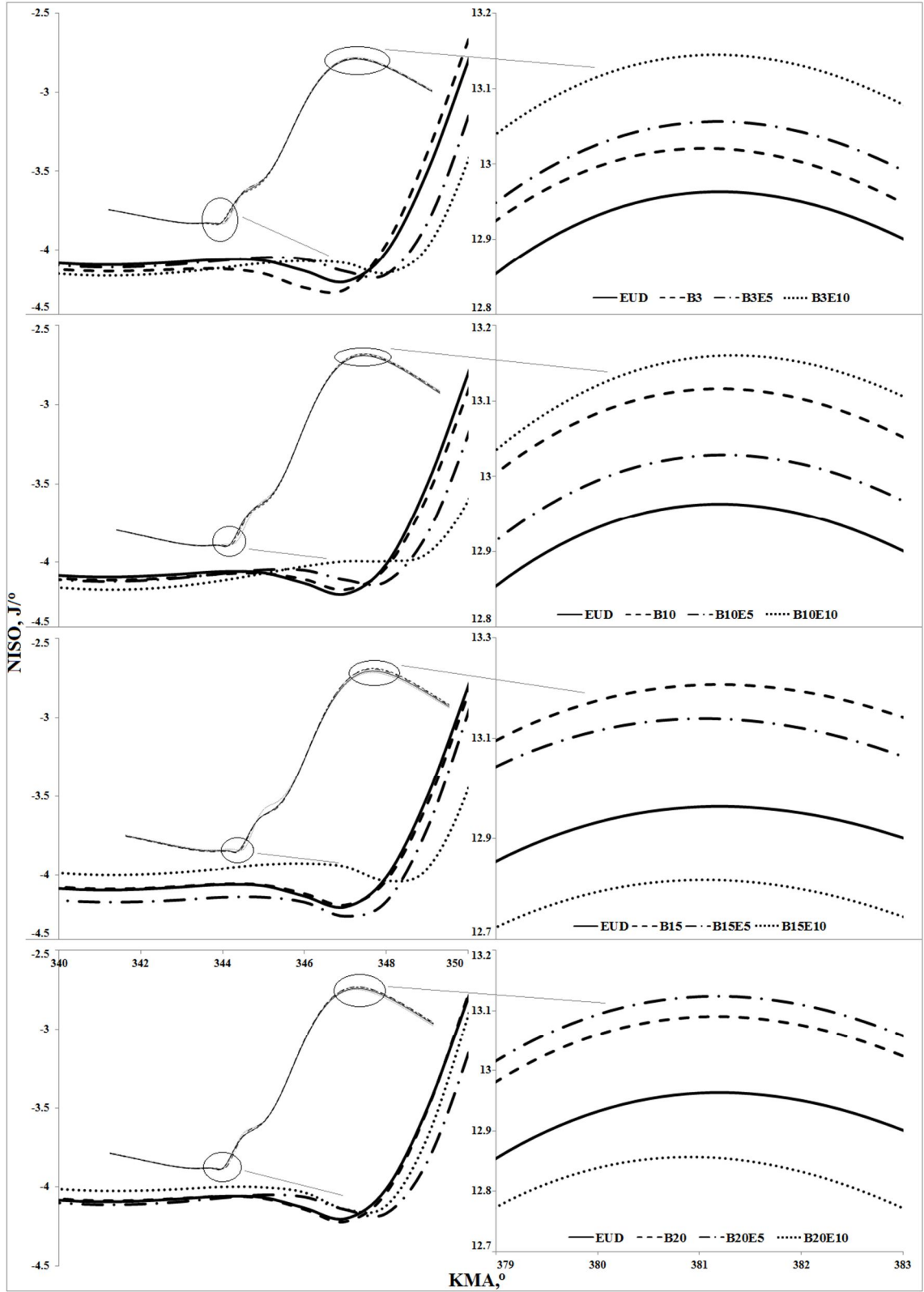
Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Özsezen (2007)'nin, Dhar ve ark. (2012)'nin, Su ve ark. (2013)'nin ve Imtenana ve ark. (2014)'nin ortaya koydukları sonuçlar ile uyumludur.

4.2.2.4. Biyoetanol kullanımının ısı salımı oranına etkisi

Biyoetanol kullanımının 1400 ve 2800 d/d motor hızlarında elde edilen NISO değerlerine etkileri Şekil 4.22. ve Şekil 4.23.,'de gösterilmektedir. Tüm yakıtlar için motor hızının artması ile maksimum NISO değerlerinin 2800 d/d motor hızında B20E5 yakıtı haricinde bir miktar arttığı görülmektedir. Bu durum, yüksek motor hızlarında biyoetanolün yanma hızını artırmada ki etkisinin ve ısı transfer hızının da azalması olarak açıklanabilir.

1400 d/d motor hızında maksimum NISO değerleri tüm biyoetanol karışımları için 381° KMA'da elde edilmiştir. Elde edilen maksimum NISO değerleri B3E5 yakıtı ile 13.05 J/°, B3E10 yakıtı ile 13.14 J/°, B10E5 yakıtı ile 13.03 J/°, B10E10 yakıtı ile 13.16 J/°, B15E5 yakıtı ile 13.14 J/°, B15E10 yakıtı ile 12.82, B20E5 yakıtı ile 13.12 J/°, ve B20E10 yakıtı ile 12.86 J/° olarak elde edilmiştir.

2800 d/d motor hızında maksimum NISO değerleri tüm biyoetanol karışımları için 382° KMA'da elde edilmiştir. Elde edilen maksimum NISO değerleri B3E5 yakıtı ile 13.22 J/°, B3E10 yakıtı ile 13.21 J/°, B10E5 yakıtı ile 13.05 J/°, B10E10 yakıtı ile 13.16 J/°, B15E5 yakıtı ile 13.4 J/°, B15E10 yakıtı ile 13.52, B20E5 yakıtı ile 12.95 J/°, ve B20E10 yakıtı ile 13.38 J/° olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.22. 1400 d/d motor hızında biyoetanol kullanımının NISO'na etkisi

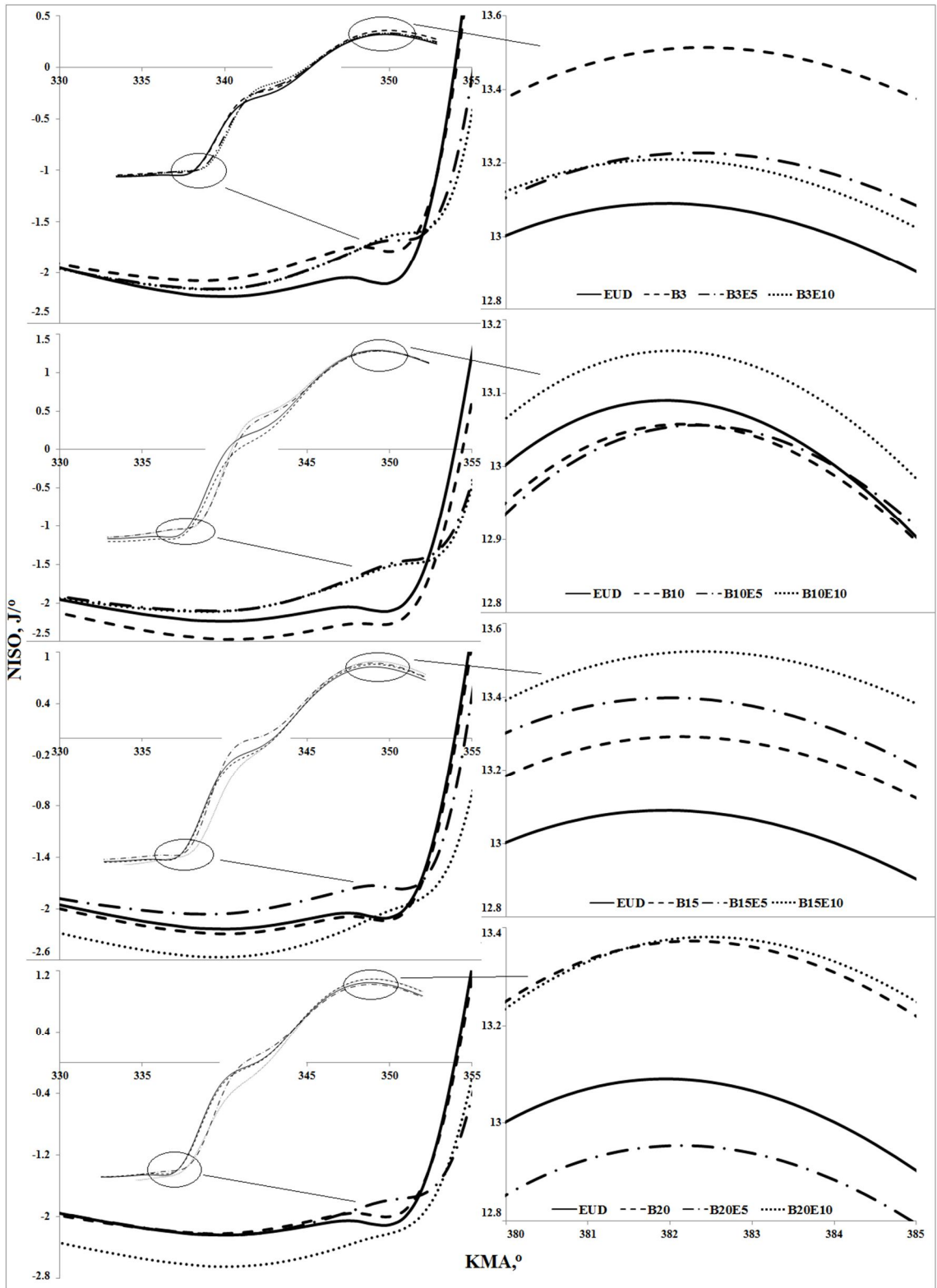
Şekil 4.24. ve Şekil 4.25. 1400 ve 2800 d/d motor hızlarında biyoetanol kullanımı ile elde edilen KISO değerlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Motor hızının artması ile maksimum KISO değerleri azalmıştır. Bu durum motor hızının

artması ile silindir duvarına ve yanma odasına geçen ısı transferi hızının ve miktarının azalması ile açıklanabilir. Biyoetanol kullanımı ile maksimum KISO değerlerinin elde edildiği KMA değeri motor hızındaki artışla ÜÖN'dan uzaklaşmıştır. Bu durum, motor hızının artması ile yanma başlangıcının gerçekleştiği KMA değerinin artması ile açıklanabilir.

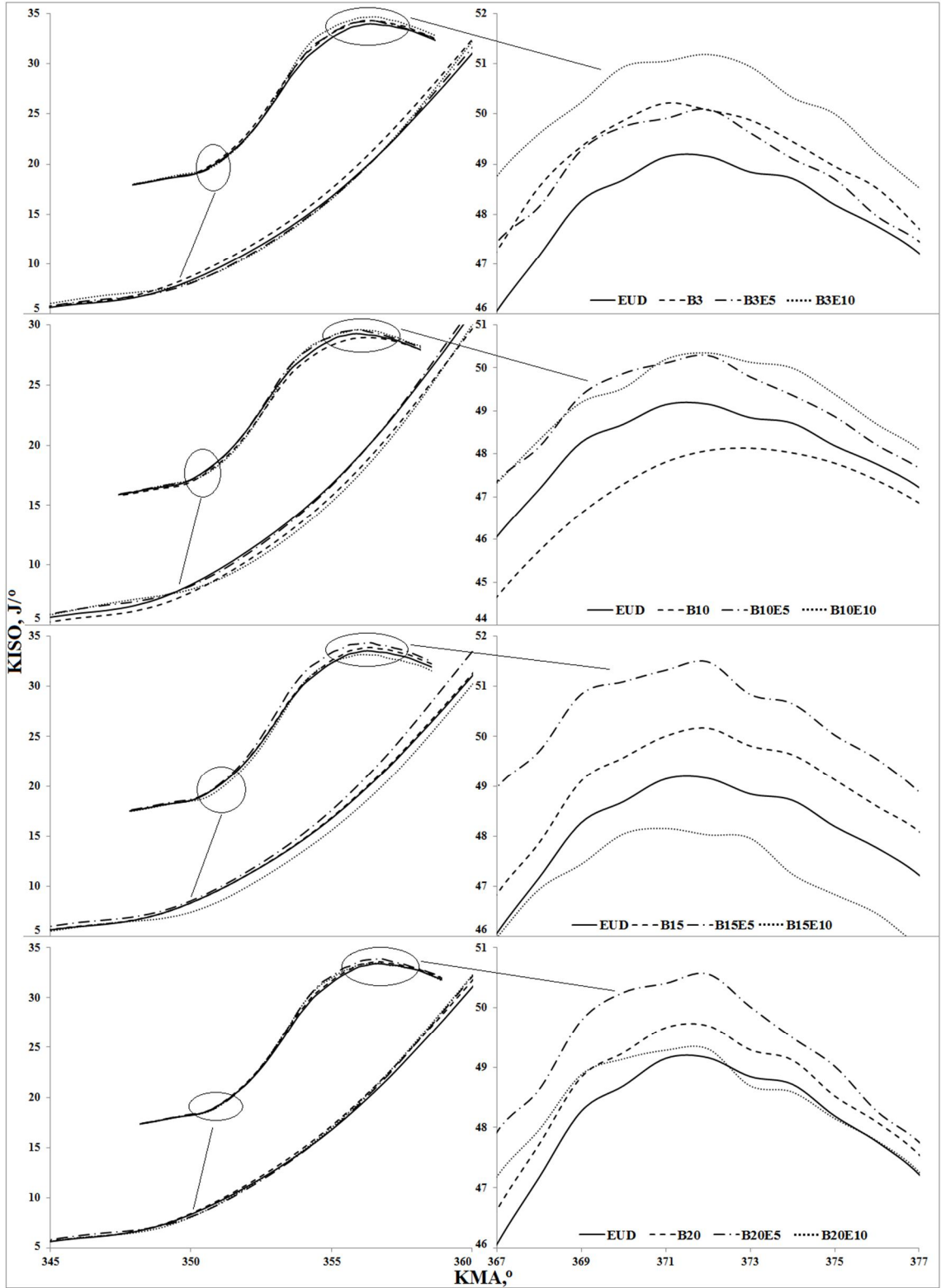
1400 d/d motor hızında maksimum KISO değerleri B15E10 yakıtı haricinde tüm biyoetanol ilaveli karışımlar için 372° KMA'da, B15E10 yakıtı ile 371° KMA'da elde edilmiştir. Elde edilen maksimum KISO değerleri B3E5 yakıtı ile 50.1 J/°, B3E10 yakıtı ile 51.19 J/°, B10E5 yakıtı ile 50.3 J/°, B10E10 yakıtı ile 50.35 J/°, B15E5 yakıtı ile 51.49 J/°, B15E10 yakıtı ile 48.15 J/°, B20E5 yakıtı ile 50.56 J/°, ve B20E10 yakıtı ile 49.3 J/° olarak elde edilmiştir.

2800 d/d motor hızında maksimum KISO değerleri B10E5 yakıtı haricinde tüm biyoetanol ilaveli karışımlar için 377° KMA'da, B10E5 yakıtı ile 378° KMA'da elde edilmiştir. Elde edilen maksimum KISO değerleri B3E5 yakıtı ile 30.7 J/°, B3E10 yakıtı ile 31 J/°, B10E5 yakıtı ile 29.93 J/°, B10E10 yakıtı ile 30.62 J/°, B15E5 yakıtı ile 30.96 J/°, B15E10 yakıtı ile 33.16 J/°, B20E5 yakıtı ile 30.26 J/°, ve B20E10 yakıtı ile 33.07 J/° olarak elde edilmiştir.

Biyoetanol kullanımı ile 1400 d/d motor hızı incelendiğinde, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının net ısı salımı oranı değeri B3 yakıtına göre ortalama %1.1 azalmış, EUD yakıtına göre %1.17 artmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı oranı değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama %0.348 düşüş, EUD yakıtına göre ortalama %1.22 artış görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının net ısı salımı oranı değeri B10 yakıtına göre ortalama %14.14, EUD yakıtına göre %4 artmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı oranı değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama %2.56 artış, EUD yakıtına göre ortalama %2.32 düşüş görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının net ısı salımı oranı değeri B15 yakıtına göre ortalama %17.63 artmış, EUD yakıtına göre ortalama %1.31 azalmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı oranı değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama %1.97, EUD yakıtına göre ortalama %0.3 düşüş görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının net ısı salımı oranı değeri B20 yakıtına göre ortalama %3.33, EUD yakıtına göre ortalama %4.59 artmıştır. B20E10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı oranı değerlerinde B20 yakıtına göre ortalama %4.54, EUD yakıtına göre ortalama %0.67 düşüş görülmektedir.



Şekil 4.23. 2800 d/d motor hızında biyoetanoll kullanımının NISO'na etkisi

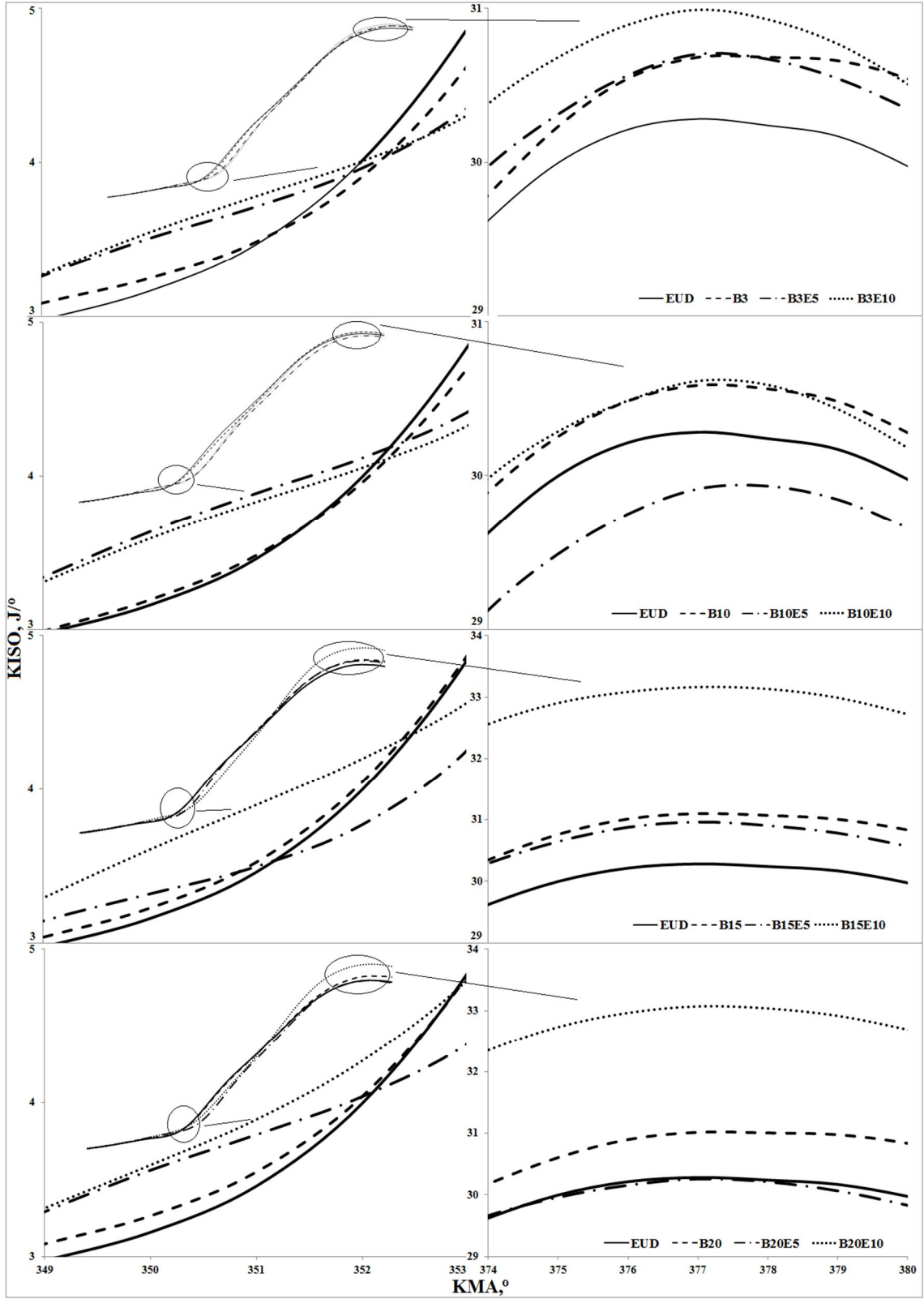


Şekil 4.24. 1400 d/d motor hızında biyoetanol kullanımının KISO'na etkisi

Biyoeanol kullanımı ile 2800 d/d motor hızı incelendiğinde, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının net ısı salımı oranı değeri B3 yakıtına göre ortalama %4.3, EUD yakıtına göre ortalama %5.99 azalmıştır. B3E10 yakıtı ile

elde edilen net ısı salımı oranı değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama %5.5, EUD yakıtına göre ortalama %7.1 düşüş görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının net ısı salımı oranı değeri B10 yakıtına göre ortalama %3.87 artmış, EUD yakıtına göre ortalama %7.2 azalmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı oranı değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama %23.98 artış, EUD yakıtına göre ortalama %10.31 artış görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının net ısı salımı oranı değeri B15 yakıtına göre ortalama %5.42 artmış, EUD yakıtına göre ortalama %4.49 azalmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı oranı değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama %1.29 artış, EUD yakıtına göre ortalama %7.61 düşüş görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının net ısı salımı oranı değeri B20 yakıtına göre ortalama %1.81, EUD yakıtına göre ortalama %3.98 azalmıştır. B20E10 yakıtı ile elde edilen net ısı salımı oranı değerlerinde B20 yakıtına göre ortalama %10.95, EUD yakıtına göre %3.71 düşüş görülmektedir.

Biyoetanol kullanımı ile 1400 d/d motor hızı incelendiğinde, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının kümülatif ısı salımı oranı değeri B3 yakıtına göre ortalama %0.8, EUD yakıtına göre %1.36 artmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı oranı değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama %2.91, EUD yakıtına göre ortalama %3.48 artış görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının kümülatif ısı salımı oranı değeri B10 yakıtına göre ortalama %0.527, EUD yakıtına göre %2.62 artmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı oranı değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama %7.3, EUD yakıtına göre ortalama %6.76 düşüş görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının kümülatif ısı salımı oranı değeri B15 yakıtına göre ortalama %0.744 azalmış, EUD yakıtına göre ortalama %0.27 artmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı oranı değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama %5.46, EUD yakıtına göre ortalama %4.27 düşüş görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının kümülatif ısı salımı oranı değeri B20 yakıtına göre ortalama %1.65, EUD yakıtına göre ortalama %2.38 artmıştır. B20E10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı oranı değerlerinde B20 yakıtına göre ortalama %2.91, EUD yakıtına göre ortalama %3.47 düşüş görülmektedir.



Şekil 4.25. 2800 d/d motor hızında biyoetanol kullanımının KISO'na etkisi

Biyoetanol kullanımı ile 2800 d/d motor hızı incelendiğinde, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının kümülatif ısı salımı oranı değeri B3 yakıtına göre ortalama %0.245, EUD yakıtına göre ortalama %0.083 azalmıştır. B3E10

yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı oranı değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama %1.58, EUD yakıtına göre ortalama %1.87 düşüş görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının kümülatif ısı salımı oranı değeri B10 yakıtına göre ortalama %6.8, EUD yakıtına göre ortalama %3.27 azalmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı oranı değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama %7.17, EUD yakıtına göre ortalama %3.59 düşüş görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının kümülatif ısı salımı oranı değeri B15 yakıtına göre ortalama %2.47 azalmış, EUD yakıtına göre ortalama %1.51 artmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı oranı değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama %5.3, EUD yakıtına göre ortalama %9.95 artış görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının kümülatif ısı salımı oranı değeri B20 yakıtına göre ortalama %2.19, EUD yakıtına göre ortalama %0.228 azalmıştır. B20E10 yakıtı ile elde edilen kümülatif ısı salımı oranı değerlerinde B20 yakıtına göre ortalama %10.87, EUD yakıtına göre %12.42 artış görülmektedir.

Biyodizel karışımlarına biyoetanol ilavesi ile özellikle yüksek etanol içerikli karışımlarda maksimum NISO ve KISO değerleri genelde artmıştır. Biyoetanolumun setan sayısının düşük olması ve tutuşma gecikmesini artırması bu süreçteki birikmiş yakıt miktarının artmasına neden olur. Bununla birlikte biyoetanol ilavesi ile karışım yakıtlarının oksijen içeriği de artar. Böylece birikmiş yakıt bir anda yanmaya başlar ve oksijenin de etkisi ile yanma hızı artar. Bu durum NISO ve KISO değerlerinin artmasına neden olur. Elde edilen bu sonuçlar Xing-cai ve ark. (2004)'nın, Chen ve ark. (2007)'nin, Rakopoulos ve ark. (2007)'nin, Lapuerta ve ark. (2008)'nin, Qi ve ark. (2011)'nin, Zhu ve ark. (2011a)'nin, Anbarasu ve ark. (2013)'nin, Su ve ark. (2013)'nin ve Imtenana ve ark. (2014)'nin ortaya koydukları sonuçlar ile büyük ölçüde uyumludur.

Biyoetanol kullanımında bazı durumlarda ısı salımı oranları azalmıştır. Bunun nedeninin anlık olarak püskürtülen yakıtın sıkıştırılmış hava ile homojen olarak karışamaması gibi nedenlerle yanma hızının düşmesinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

4.2.3. Tutuşma gecikmesi ve yanma süresi

Püskürtme başlangıcı (PB), yanma başlangıcı (YB), yanma süresi (YS) ve tutuşma gecikmesi (TG) silindir içi yanma sürecinin incelenmesi için önemli parametrelerdir. Tutuşma gecikmesi, püskürtme başlangıcı ile yanma başlangıcı

arasında geçen süredir. Yanma süresi, yanma başlangıcı ile yanma sonu arasında geçen süredir. Yanma süresi aynı zamanda yanma hızının da bir göstergesidir. Çizelge 4.1. test yakıtlarının maksimum tork ve güç değerlerinde, yanma süresi ve tutuşma gecikmesi değerlerinin KMA ve zaman ile değişimlerini göstermektedir.

Çizelge 4.1. Test yakıtlarının tutuşma gecikmesi ve yanma süresi

	1400 d/d						2800 d/d									
	PB		YB		TG		YS		PB		YB		TG		YS	
	°KMA	°KMA	°KMA	ms	°KMA	ms	°KMA	°KMA	°KMA	ms	°KMA	°KMA	°KMA	ms	°KMA	ms
EUD	329	347	18	2.2394	50	6.1964	331	350	19	1.1404	40	2.3866				
B3	328	347	19	2.3823	49	6.0777	332	350	18	1.0639	41	2.4037				
B3E5	328	348	20	2.4744	50	6.1083	332	351	19	1.1338	40	2.3825				
B3E10	328	348	20	2.4968	49	6.0416	331	352	21	1.2301	37	2.1828				
B10	330	347	17	1.9798	50	5.8203	331	350	19	1.1198	41	2.4				
B10E5	328	348	20	2.4812	50	6.1462	332	352	20	1.198	39	2.3248				
B10E10	329	348	19	2.3644	49	6.0243	332	352	20	1.1746	38	2.2163				
B15	329	347	18	2.2173	50	6.092	331	350	19	1.139	40	2.3881				
B15E5	329	347	18	2.2393	50	6.1468	331	351	20	1.1929	38	2.2443				
B15E10	329	348	19	2.3517	48	5.8768	332	352	20	1.1731	38	2.2497				
B20	329	347	18	2.2402	50	6.1648	331	350	19	1.1461	41	2.4485				
B20E5	329	348	19	2.363	45	5.5575	331	352	21	1.2582	38	2.2667				
B20E10	329	347	18	2.2432	48	5.9376	332	350	18	1.0736	40	2.3855				

Motor hızının artması ile tutuşma gecikmesi değerlerinin genelde azaldığı görülmektedir. Biyodizel ve EUD yakıtının setan sayılarının yakın değerlerde olması nedeni ile biyodizel karışimli yakıtların KMA olarak tutuşma gecikmesi değerlerinde önemli bir değişim görülmemektedir. Biyoetanol kullanımının ise setan sayısını düşürmesi nedeni ile tutuşma gecikmesini bir miktar artırdığı tespit edilmiştir.

Yanma süresi, motor hızının artması ile kısalmıştır. Motor hızındaki artış, emilen hava hızını, silindir içi türbülansı ve yanma hızını artırır. Bu durumun yanma süresinin kışalmasına neden olduğu düşünülmüştür. Biyodizel karışımlarının KMA olarak yanma süresini çok fazla etkilemediği, biyoetanol kullanımının ise yanma süresini genelde kısalttığı görülmektedir. Bu durum, biyoetanolun iyi buharlaşma özelliği ve oksijen içermesi nedeni ile yanma hızını artırması ile açıklanabilir.

Test yakıtlarının tutuşma gecikmesi ve yanma süresi değerlerinin KMA'na göre değişimlerinin daha detaylı incelenebilmesi için bu parametreler milisaniye (ms) biriminden süre olarak da incelenmiştir.

Test yakıtlarının tutuşma gecikmesi değerlerinin zamana bağlı değişimleri incelendiğinde, biyodizel kullanımının setan sayısını artırması sebebi ile biyodizel

karışımlarının tutuşma gecikmesi değerlerinin genel olarak düştüğü, biyoetanol ilavesinin ise setan sayısını düşürmesi sebebi ile tutuşma gecikmesini genel olarak artırdığı görülmektedir. Biyodizel kullanımın zaman zaman tutuşma gecikmesini artırması veya değiştirmemesi kötü püskürtme karakteristiği yüzünden yanma başlangıcını geciktirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.3. Motor Verimleri

Motor verimleri, efektif termik verim, volümetrik verim ve mekanik verim olmak üzere incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, biyodizel karışımları ve biyoetanol ilavesi olarak incelenmiştir.

4.3.1. Efektif termik verim

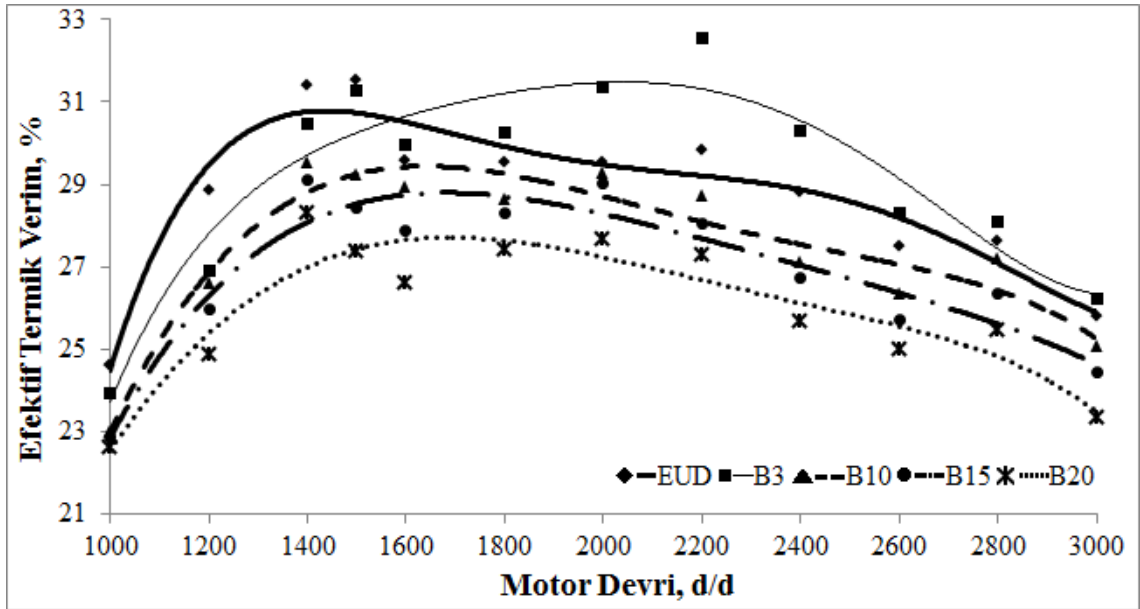
Silindire alınan yakıt enerjisinin ne kadarı güce dönüştürülebilirse efektif termik verim değerleri o kadar iyi olur. Efektif termik verim, motor performans analizinin de önemli bir göstergesidir. Testlerde kullanılan her bir karışım yakıtının efektif termik verim değeri EUD yakıtının efektif termik verim değeri ile karşılaştırılmıştır. Efektif termik verim, EÖYT ile ters orantılı olarak yorumlanabilir. Bu nedenle, tüm yakıtlar için, motor devrinin artması ile efektif termik verim değerlerinin belirli bir motor hızına kadar artması ve daha sonra azalmaya başlaması, orta motor hızlarında yanma veriminin iyileşmesi ile açıklanabilir. Düşük motor hızlarında silindir içi türbülansın kötü olması, yüksek motor hızlarında ise homojen karışım ve tam yanma için yeterli zamanın olmaması efektif termik verim değerlerini düşürmüştür. Tüm test yakıtları için elde edilen efektif termik verim değerleri B3 yakıtı haricinde EUD yakıtından daha düşüktür.

4.3.1.1. Biyodizel kullanımının efektif termik verime etkisi

Şekil 4.26. EUD yakıtına biyodizel karıştırılarak elde edilen test yakıtlarının efektif termik verim değerlerinin karşılaştırılmasını göstermektedir. Biyodizel kullanımının termik verim değerlerini B3 yakıtı haricinde düşürdüğü görülmektedir. Karışım yakıtlarındaki biyodizel oranının artması efektif termik verim değerlerini daha da düşürmüştür. EUD yakıtı ile elde edilen en yüksek efektif termik verim değeri

%31.52, B3, B10, B15 ve B20 yakıtları ile elde edilen termik verim değerleri ise sırası ile %32.56, %29.53, %29.12 ve %28.31 olarak elde edilmiştir.

Biyodizel kullanımı sonucunda, B3 yakıtı ile elde edilen efektif termik verim değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %1.41 artmış, B10 yakıtı ile elde edilen efektif termik verim değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %4.33, B15 yakıtı ile elde edilen efektif termik verim değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %6.31 ve B20 yakıtı ile elde edilen efektif termik verim değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %9.56 azalmıştır. B3 yakıtı kullanımı ile efektif termik verimin artması, düşük oranda biyodizel ilavesi ile karışımın içeriğinde oksijen bulunması sayesinde olduğu düşünülmektedir. Biyodizel oksijen içerdiği için yanma verimini artırarak tam yanmanın oluşmasına yardımcı olduğu söylenebilir. Yine çok düşük miktarda biyodizel ilavesi ile viskozite ve yoğunluğun artması da pompalama kaçaklarını azalttığı için hacimsel ve kütleli olarak bir miktar daha fazla yakıtın da püskürtülmesi efektif termik verim değerlerini bir miktar artırmıştır. Elde edilen bu sonuçlar, Çanakçı ve hoşöz (2006)'ün, Kegl (2008)'in, Dhar ve ark. (2012)'nin, Swaminathan ve Sarangan (2012)'nin ve Tomic ve ark. (2013)'nin, ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.26. Biyodizelin efektif termik verime etkisi

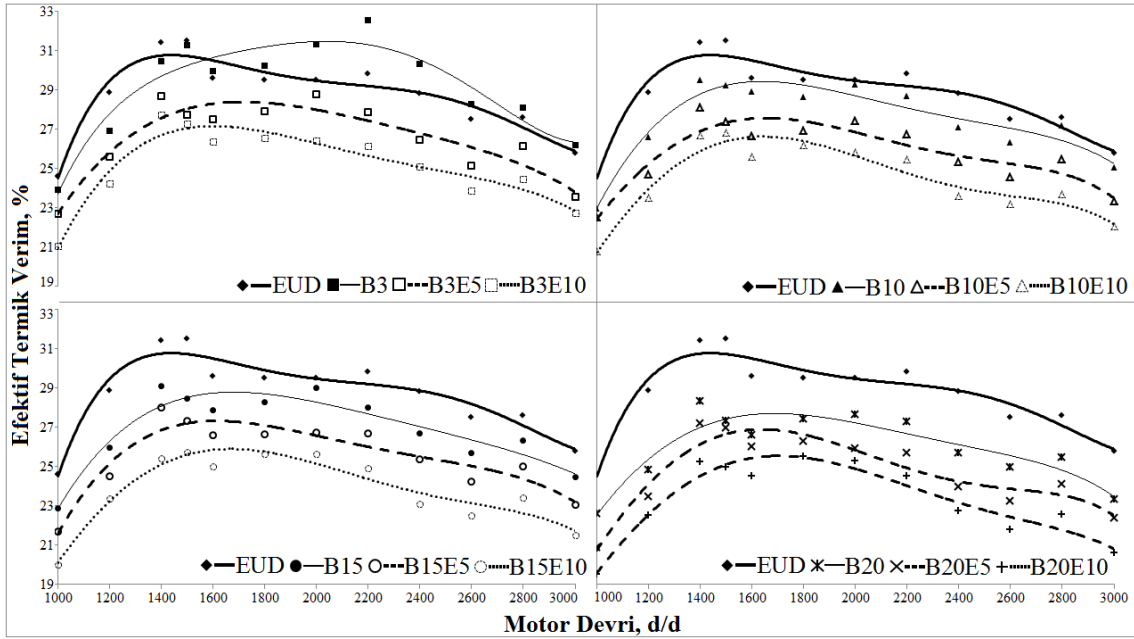
Karışımındaki biyodizel oranının artmasının efektif termik verim değerlerini düşürmesi, biyodizelin kullanımı ile karışım yakıtlarının alt ısıl değerlerinin düşmesi, viskozite ve yoğunluk değerlerinin artması ile püskürtme karakteristiklerinin

kötüleşmesi olarak açıklanabilir. Elde edilen bu sonuçlar, Enweremadu ve ark. (2011)'nin, Chauhan ve ark. (2012)'nin, Parekh ve Goswami (2012)'nin, Prasad ve ark. (2012)'nin ve Mofijur ve ark. (2014)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Bunlara ek olarak kaynak araştırmasında bahsedilen daha birçok araştırmacının çalışmasında da biyodizelin efektif termik verimi düşürdüğünü gösteren bulgular sunulmuştur.

4.3.1.2. Biyoetanol kullanımının efektif termik verime etkisi

Şekil 4.27. karışım yakıtlarına biyoetanol ilavesinin efektif termik verim değerlerine etkisini göstermektedir. Karışım yakıtlarına biyoetanol ilavesi efektif termik verim değerlerini düşürmüştür, karışımlardaki biyoetanol oranının artması ile termik verim değerleri daha da düşmüştür. Maksimum efektif termik verim değerleri karşılaştırıldığında, biyoetanol ilavesi ile elde edilen en yüksek efektif termik verim değeri B3E5 yakıtı ile %28.8, en düşük termik verim değeri ise B20E10 yakıtı ile %25.51 olarak elde edilmiştir.

Biyoetanol kullanımı sonucunda, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının efektif termik verim değerleri B3 yakıtına göre ortalama olarak %8.86, EUD yakıtına göre ortalama olarak %7.66 azalmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen efektif termik verim değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama olarak %13.5, EUD yakıtına göre ortalama olarak %12.39 düşüş görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının efektif termik verim değerleri B10 yakıtına göre ortalama olarak %6.19, EUD yakıtına göre ortalama olarak %10.27 azalmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen efektif termik verim değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama olarak %11, EUD yakıtına göre ortalama olarak %14.87 düşüş görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının efektif termik verim değerleri B15 yakıtına göre ortalama olarak %5.23, EUD yakıtına göre ortalama olarak %11.22 azalmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen efektif termik verim değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama olarak %11.31, EUD yakıtına göre ortalama olarak %16.91 düşüş görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının efektif termik verim değerleri B20 yakıtına göre ortalama olarak %5, EUD yakıtına göre %14.1 düşmüştür. B20E10 yakıtı ile elde edilen efektif termik verim değerlerinde B20 yakıtına göre %10.84, EUD yakıtına göre %18.85 düşüş görülmektedir.



Şekil 4.27. Biyoetanolanun efektif termik verime etkisi

Biyoetanol kullanımı ile 2800 d/d motor hızı incelendiğinde, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının efektif termik verim değeri B3 yakıtına göre %6.91, EUD yakıtına göre %5.31 azalmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen efektif termik verim değerlerinde B3 yakıtına göre %12.96, EUD yakıtına göre %11.46 düşüş görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının efektif termik verim değeri B10 yakıtına göre %6.4, EUD yakıtına göre %7.85 azalmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen efektif termik verim değerlerinde B10 yakıtına göre %12.92, EUD yakıtına göre %14.27 düşüş görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının efektif termik verim değeri B15 yakıtına göre %4.96, EUD yakıtına göre %9.41 azalmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen efektif termik verim değerlerinde B15 yakıtına göre %10.98, EUD yakıtına göre %15.15 düşüş görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının efektif termik verim değeri B20 yakıtına göre %5.26, EUD yakıtına göre %12.65 azalmıştır. B20E10 yakıtı ile elde edilen efektif termik verim değerlerinde B20 yakıtına göre %11.47, EUD yakıtına göre %18.37 düşüş görülmektedir.

Biyoetanol kullanımı ile termik verim değerlerinin düşmesi, biyoetanolanın düşük setan sayısının TG'ni artırarak yanma verimini düşürmesi ve yine karışım yakıtlarının alt ısıl değerlerini düşürerek, yanma sonu enerjisinin düşürmesi ile açıklanabilir. Biyoetanol kullanımı ile elde edilen efektif işin azalması da termik verimin azalma nedenlerinden birisi olarak düşünülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar, Huang ve ark.

(2009)'nın, Labeckas ve Slavinskas (2009)'ın Erkal (2010)'ın, ve Kaya (2010)'nın ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.

4.3.2. Volümetrik verim

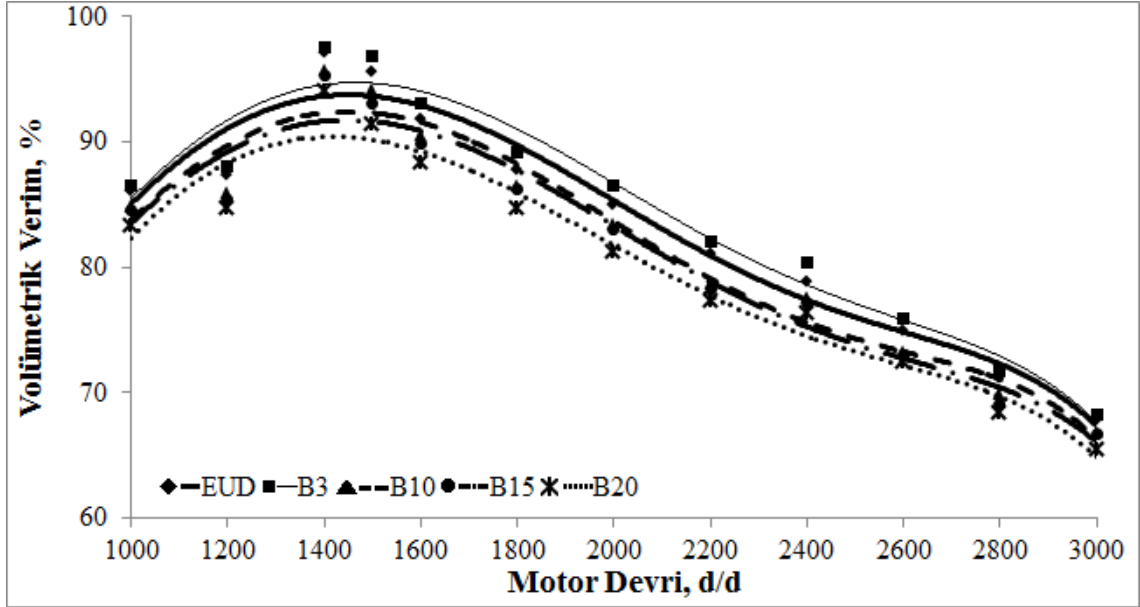
Volümetrik verim, testlerde ölçülen hava tüketimi miktarının, test motorunun silindir hacmine oranı ile hesaplanmıştır. Motor performansı ve emisyon parametrelerinin yorumlanmasında kullanılan en önemli parametrelerden birisidir. Volümetrik verimin artması ile tam yanmaya daha yakın bir yanma gerçekleştiği için performans ve emisyon değerlerinde iyileşme görülür. Motor hızının artması ile emilen havanın hızı da artmaya başlar. Emilen havanın hızının artması ile orta motor hızlarında silindire daha çok hava emilir. Motor hızı arttıkça emilen hava hızının artmasına rağmen volümetrik verimin azalması emme supabının açık kalma süresinin kısalması ile açıklanabilir.

4.3.2.1. Biyodizel kullanımın volümetrik verime etkisi

Şekil 4.28. EUD yakıtına biyodizel karıştırılarak elde edilen test yakıtlarının volümetrik verim değerlerinin karşılaştırılmasını göstermektedir. Tüm karışım yakıtları için maksimum volümetrik verim değerleri 1400 d/d motor hızında elde edilmiştir. Biyodizel kullanımının volümetrik verim değerlerini B3 yakıtı haricinde düşürdüğü görülmektedir. Karışım yakıtlarındaki biyodizel oranının artması volümetrik verim değerlerini daha da düşürmüştür. EUD yakıtı ile elde edilen en yüksek volümetrik verim değeri %97.07, B3, B10, B15 ve B20 yakıtları ile elde edilen termik verim değerleri ise sırası ile %97.55, %95.75, %95.28 ve %94.05 olarak elde edilmiştir.

Biyodizel kullanımı sonucunda, B3 yakıtı ile elde edilen volümetrik verim değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %1.12 artmış, B10 yakıtı ile elde edilen volümetrik verim değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %1.72, B15 yakıtı ile elde edilen volümetrik verim değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %2.3 ve B20 yakıtı ile elde edilen volümetrik verim değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %3.69 azalmıştır.

Biyodizelin yanma sonu sıcaklığının EUD yakıtından yüksek olması artık egzoz gazlarının da daha sıcak olduğunu göstermektedir. Bu nedenle silindire alınan havanın da sıcaklığı arttığından volümetrik verim düştüğü tahmin edilmektedir.



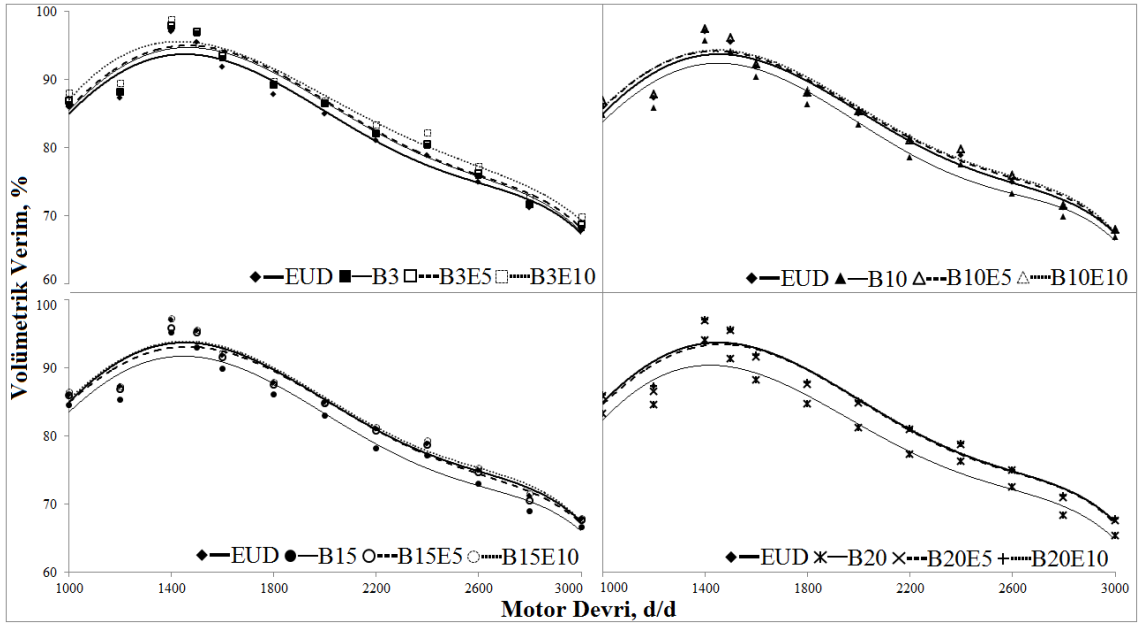
Şekil 4.28. Biyodizelin volümetrik verime etkisi

4.3.2.2. Biyoetanol kullanımının volümetrik verime etkisi

Şekil 4.29. biyoetanol ilavesinin volümetrik verime etkisi gösterilmiştir. Biyoetanol ilavesi ile volümetrik verim değerlerinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni, biyoetanolün gizli buharlaşma ısısının yüksek olması sebebi ile sıkıştırma zamanı sonuna doğru püskürtülen yakıtın, emilen havanın sıcaklığını düşürmesi ve daha fazla havanın silindire alınması olarak düşünülmektedir. Biyoetanol ilavesi ile elde edilen en yüksek volümetrik verim değeri B3E10 yakıtı ile %98.89 olarak elde edilmiştir. .

Biyoetanol kullanımı sonucunda, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının volümetrik verim değerleri B3 yakıtına göre ortalama olarak %0.33, EUD yakıtına göre ortalama olarak %1.46 artmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen volümetrik verim değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama olarak %1.46, EUD yakıtına göre ortalama olarak %2.6 artış görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının volümetrik verim değerleri B10 yakıtına göre ortalama olarak %2.33, EUD yakıtına göre ortalama olarak %0.57 artmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen volümetrik verim değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama olarak %2.59, EUD yakıtına göre ortalama olarak %0.82 artış görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının volümetrik verim değerleri B15 yakıtına göre ortalama olarak %1.97 artmış, EUD yakıtına göre ortalama olarak %0.38 azalmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen volümetrik verim değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama

olarak %2.74, EUD yakıtına göre ortalama olarak %0.37 artış görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının volümetrik verim değerleri B20 yakıtına göre ortalama olarak %3.6 artmış, EUD yakıtına göre %0.23 düşmüştür. B20E10 yakıtı ile elde edilen volümetrik verim değerlerinde B20 yakıtına göre %3.84, EUD yakıtına göre %0.05 artış görülmektedir.



Şekil 4.29. Biyoetanolun volümetrik verime etkisi

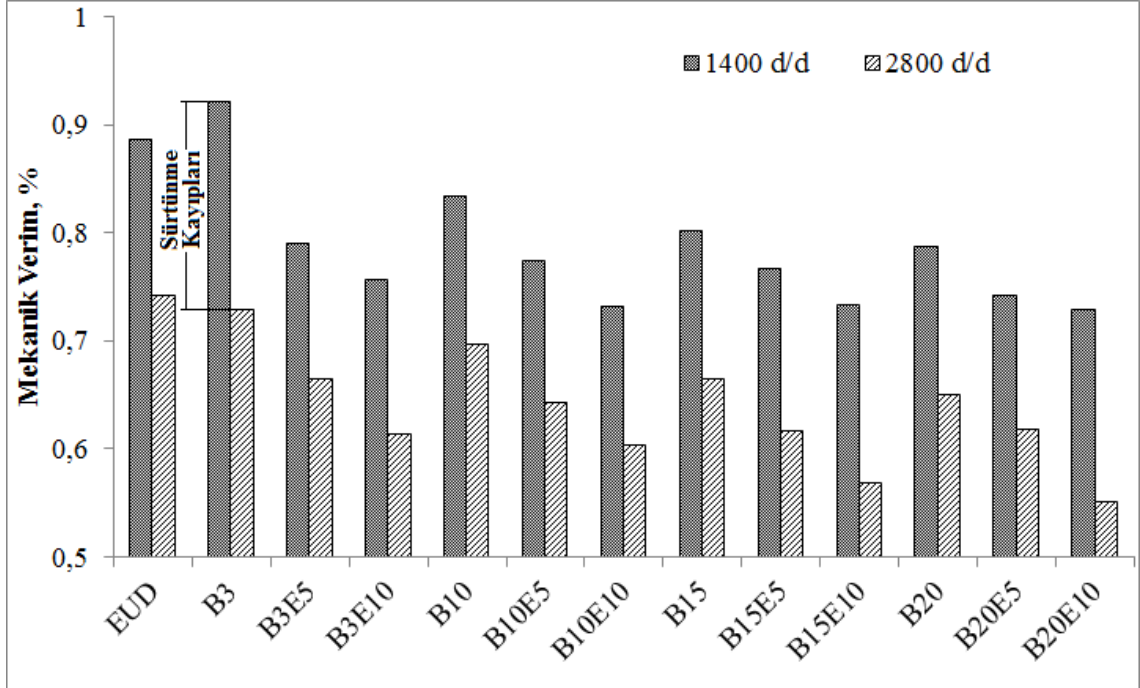
4.3.3. Mekanik verim

Silindir içinde oluşan indike basıncın etkisi volandan çıkana kadar mekanik sürtünme ve pompalama kayıpları nedeni ile azalır. Mekanik verim, volandan ölçülen güç değeri ile hesaplanan ortalama efektif basınç değerinin silindir içerisinde oluşan ortalama indike efektif basınç değerine oranı ile hesaplanmıştır.

Şekil 4.30. tüm test yakıtları için maksimum tork ve güç değerlerinin elde edildiği motor hızlarındaki mekanik verim değerlerini göstermektedir. Elde edilen değerlere göre, motor hızının artması ile artan sürtünme ve pompalama kayıpları mekanik verim değerlerini düşürmüştür.

B3 yakıtı haricindeki tüm test yakıtları ile elde edilen mekanik verim değerleri EUD yakıtına göre azalmıştır. Bu durum, test yakıtlarının indike ortalama efektif basınç değerlerinin birbirlerine yakın olmasına rağmen test yakıtlarının tork ve güç değerlerinin EUD yakıtından düşük olması ile açıklanabilir. Bununla birlikte, özellikle

biyoetanol ilavesinin yakıtların viskozite değerlerini ve yağlayıcı özelliğini düşürmesi yakıt sisteminde ve piston-segman yüzeyi arasında sürtünme kayıplarının artmasına sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.30. Maksimum tork ve güç değerlerinde elde edilen mekanik verim değerleri

4.4. Egzoz Emisyon Verileri

Farklı yakıtlar kullanarak elde edilen testler sonucunda elde edilen egzoz emisyon değerleri, egzoz gazı sıcaklığı, HFK, CO, CO₂, HC, NO ve duman koyuluğu parametreleri olarak karşılaştırılmıştır.

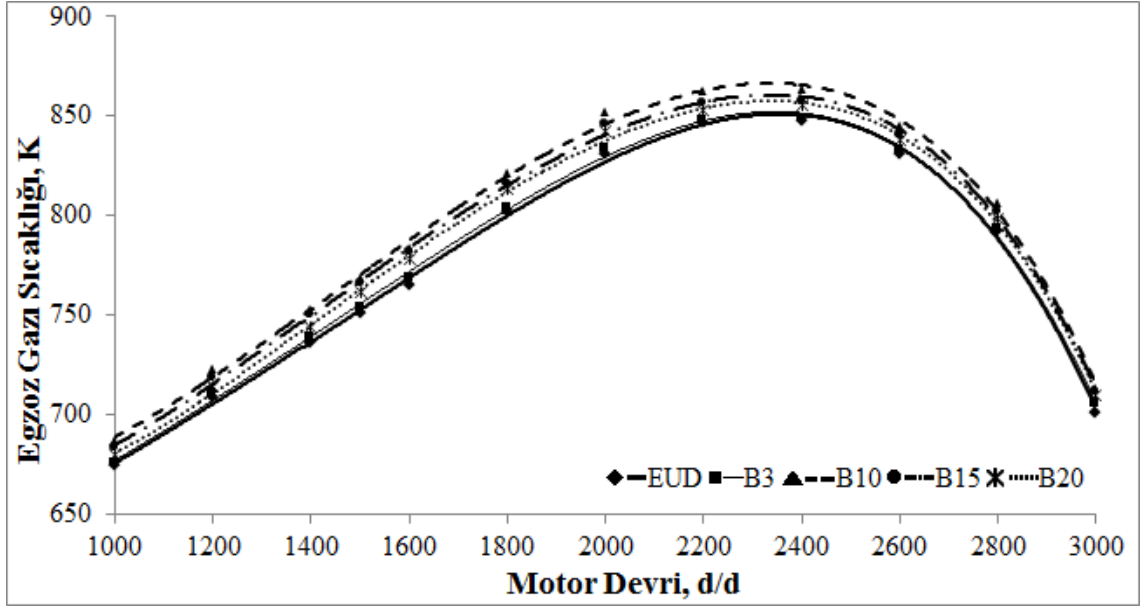
4.4.1. Egzoz gazı sıcaklığı

Egzoz gazı sıcaklığı, emisyon parametrelerinin değerlendirilmesinde önemli bir göstergedir. Maksimum egzoz gazı sıcaklık değerleri, maksimum basıncın elde edildiği motor hızına yakın değerlerde elde edilmiştir.

4.4.1.1. Biyodizel kullanımının egzoz gazı sıcaklığına etki

Şekil 4.31.'de biyodizel karışimli yakıtların egzoz gazı sıcaklığına etkisi gösterilmiştir. Tüm biyodizel karışımlarının maksimum egzoz gazı sıcaklığı 2400 d/d

motor hızında elde edilmiştir. EUD ile elde edilen maksimum egzoz gazı sıcaklığı değeri 847.25 K, B3, B10, B15 ve B20 yakıtı ile elde edilen maksimum egzoz gazı sıcaklığı değerleri ise sırası ile 848.73 K, 863.26 K, 857.64 K ve 855.46 K olarak ölçülmüştür.



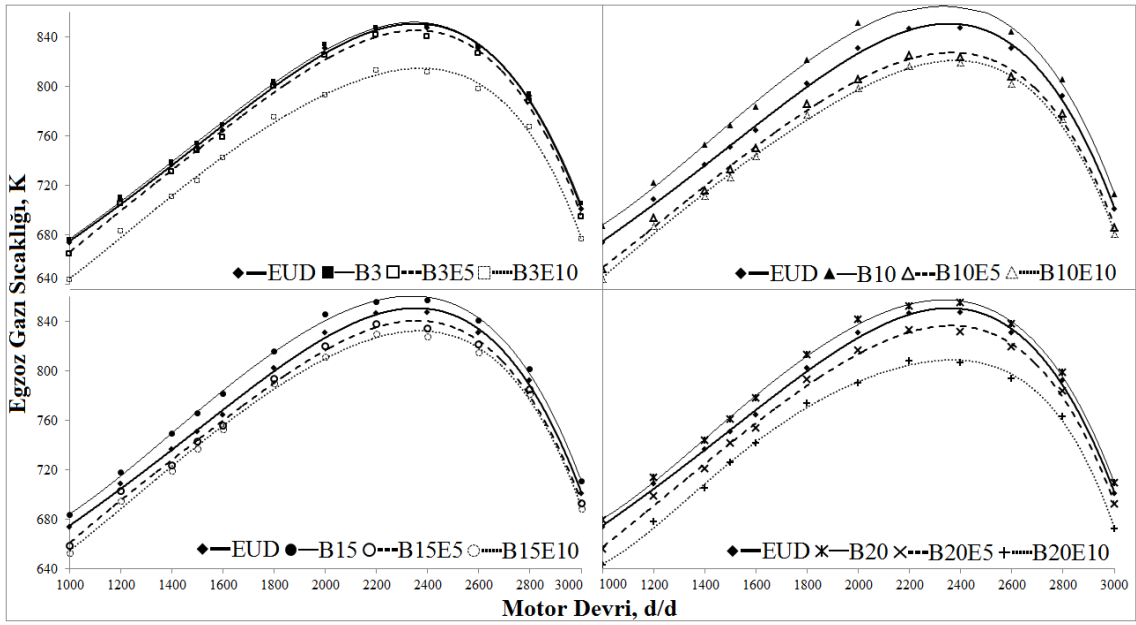
Şekil 4.31. Biyodizel kullanımının egzoz gazı sıcaklığına etkisi

Biyodizel kullanımı sonucunda, B3 yakıtı ile elde edilen egzoz gazı sıcaklığı değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %0.02, B10 yakıtı ile elde edilen egzoz gazı sıcaklığı değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %2.05, B15 yakıtı ile elde edilen egzoz gazı sıcaklığı değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %1.52 ve B20 yakıtı ile elde edilen egzoz gazı sıcaklığı değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %1.07 artmıştır.

Tüm biyodizel karışımlarının egzoz gazı sıcaklık değerleri EUD yakıtından daha yüksektir. Bu durum, biyodizelin oksijen içeriği ile yanmanın EUD yakıtına göre daha yakın olması ile açıklanabilir. Ayrıca biyodizel kullanımı ile tutuşma gecikmesinin bir miktar kısılması ve yanmanın daha erken başlaması yanma süresini de kısalttığından egzoz gaz sıcaklığının arttığı düşünülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar Balcı (2005)'nin, Usta ve ark. (2005)'nin, Lin ve Li (2009)'nin, İlkılıç ve ark. (2011)'nin ve Ong ve ark. (2014)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.

4.4.1.2. Biyoetanol kullanımının egzoz gazı sıcaklığına etkisi

Şekil 4.32.'da biyoetanol karışımlarının egzoz gazı sıcaklığına etkisi gösterilmiştir. Biyoetanol kullanımı ile maksimum egzoz gazı sıcaklığı değerlerinin 2200 d/d motor hızında elde edildiği görülmektedir. Karışım yakıtlarına biyoetanol ilavesi ile elde edilen maksimum egzoz sıcaklığı değerleri incelendiğinde en yüksek egzoz gazı sıcaklığı değeri B3E5 yakıtı ile 841.88 K, en düşük sıcaklık değeri ise B20E10 yakıtı ile 808.26 K olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.32. Biyoetanol kullanımının egzoz gazı sıcaklığına etkisi

Biyoetanol kullanımı sonucunda, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının egzoz gazı sıcaklığı değerleri B3 yakıtına göre ortalama olarak %0.9, EUD yakıtına göre ortalama olarak %0.7 azalmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen egzoz gazı sıcaklığı değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama olarak %4, EUD yakıtına göre ortalama olarak %3.73 düşüş görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının egzoz gazı sıcaklığı değerleri B10 yakıtına göre ortalama olarak %4.42, EUD yakıtına göre ortalama olarak %2.45 azalmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen egzoz gazı sıcaklığı değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama olarak %5.22, EUD yakıtına göre ortalama olarak %3.27 düşüş görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının egzoz gazı sıcaklığı değerleri B15 yakıtına göre ortalama olarak %2.71, EUD yakıtına göre ortalama olarak %1.24 azalmıştır. B15E10

yakıtı ile elde edilen egzoz gazı sıcaklığı değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama olarak %3.43, EUD yakıtına göre ortalama olarak %1.97 düşüş görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının egzoz gazı sıcaklığı değerleri B20 yakıtına göre ortalama olarak %2.63, EUD yakıtına göre %1.59 düşmüştür. B20E10 yakıtı ile elde edilen egzoz gazı sıcaklığı değerlerinde B20 yakıtına göre %5.13, EUD yakıtına göre %4.12 düşüş görülmektedir.

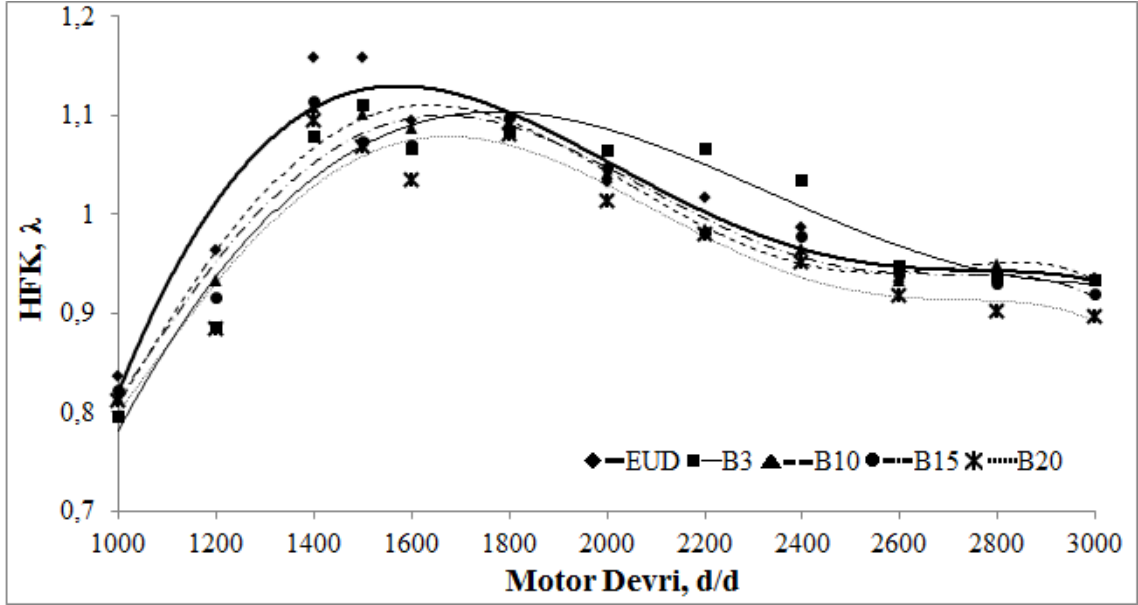
Testler sonucunda biyoetanol kullanımının egzoz gazı sıcaklığını düşürdüğü, karışımlardaki biyoetanol yüzdesinin artması ile sıcaklık değerlerinin daha da düştüğü görülmektedir. Bu durum, biyoetanolun gizli buharlaşma ısısının yüksek olması nedeni ile buharlaşabilmek için daha çok ortam ısıyı çekmesi ile sıcaklığı düşürmesi olarak açıklanabilir. Ayrıca biyoetanolun yüksek oranda oksijen içermesi yanma hızını da artırdığı için egzoz sıcaklığının düştüğü düşünülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar He ve ark. (2003)'nın, Ejder (2007)'in ve Rakopoulos ve ark. (2007)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.

4.4.2. Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)

Emilen hava miktarının, yakıtın tam yanması için gerekli olan hava miktarına oranı HFK olarak ifade edilir. Maksimum HFK değerleri maksimum güç değerinin elde edildiği motor hızına çok yakındır. Motor hızının artması ile HFK değerlerinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni, motor hızına bağlı olarak emilen hava miktarının da artması ile açıklanabilir.

4.4.2.1. Biyodizel kullanımının HFK'na etkisi

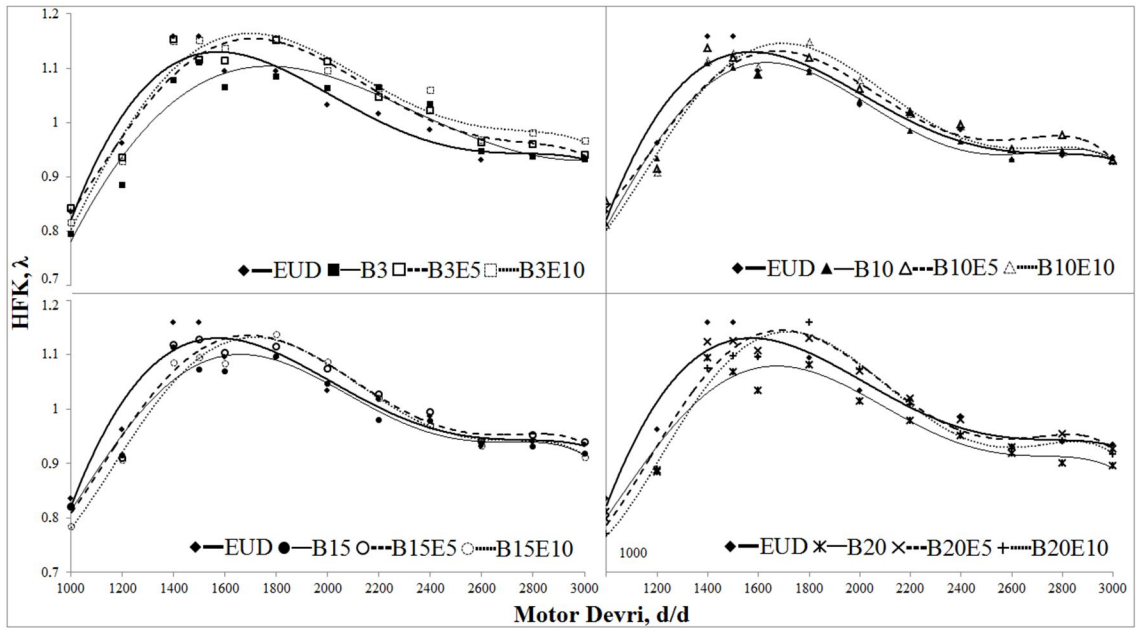
Şekil 4.33. biyodizel karışımlarının HFK değerlerine etkisini göstermektedir. Tüm biyodizel karışımlarının maksimum HFK değerleri 1800 d/d motor hızında elde edilmiştir. Biyodizel karışımlarının HFK değerleri, B3 yakıtı haricinde EUD yakıtından biraz düşüktür. EUD ile elde edilen maksimum HFK değeri 1.094 iken B3, B10, B15 ve B20 yakıtları ile elde edilen HFK değerleri ise sırası ile 1.085, 1.092, 1.097 ve 1.08 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.33. Biyodizel kullanımının HFK'na etkisi

4.4.2.2. Biyoetanol kullanımının HFK'na etkisi

Karışım yakıtlarına biyoetanol ilavesi ile elde edilen HFK değerleri Şekil 4.34.'de gösterilmiştir. Biyoetanol ilavesi tüm yakıtlar için HFK değerlerini azaltmış, biyoetanol ilavesinin artması ile HFK değerleri daha da azalmıştır. Maksimum HFK değerleri biyodizel karışımlarında da olduğu gibi 1800 d/d motor hızında elde edilmiştir. En yüksek HFK değeri B20E10 yakıtı ile 1.158 olarak ölçülmüştür.



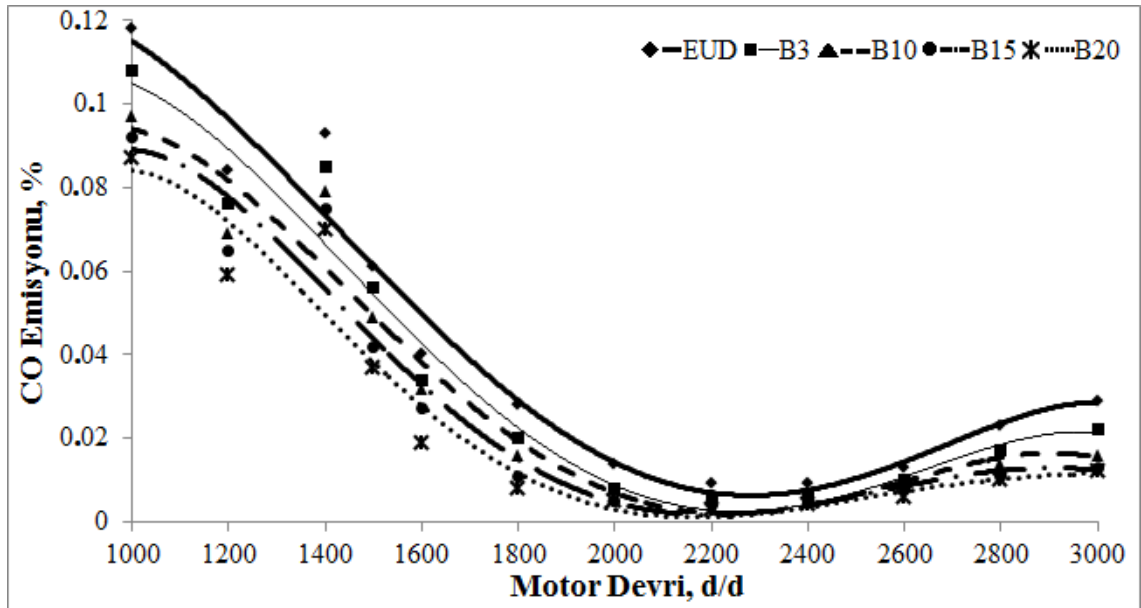
Şekil 4.34. Biyoetanol kullanımının HFK'na etkisi

4.4.3. CO emisyonu

CO emisyonunun oluşmasının en önemli nedeni yanma odasındaki oksijenin yetersiz olmasıdır. Testlerde motor hızının artması ile CO emisyonlarının azaldığı görülmektedir. Bu durum, artan motor hızı ile birlikte HFK'nın da artması olarak açıklanabilir.

4.4.3.1. Biyodizel kullanımının CO emisyonuna etkisi

Biyodizel kullanımının CO emisyonuna etkisi Şekil 4.35.'de gösterilmiştir. En yüksek CO emisyonu değerleri 1000 d/d motor hızında EUD yakıtı ile elde edilirken, en düşük CO emisyonu değerleri 2200 d/d motor hızlarında B20 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyodizel kullanımının CO emisyonu değerlerini düşürdüğü, karışımdaki biyodizel oranının artması ile CO emisyonlarının daha da azaldığı görülmektedir. Bu durum, içeriğinde oksijen bulunan biyodizelin EUD yakıt ile karıştırıldığında karışım yakıtlarının da oksijen içermesi ile açıklanabilir. Yakıtların oksijen içermesi C atomlarının yeteri kadar O atomu bulması ve CO₂ gazına dönüşmesi ile açıklanabilir. Bununla birlikte biyodizelin stokiometrik hava/yakıt oranının EUD yakıtından daha düşük olması, yanma esnasında daha az oksijene ihtiyaç duymasının ve yanma verimini iyileştirmesinin CO emisyonlarının azalmasına neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.35. Biyodizel kullanımının CO emisyonuna etkisi

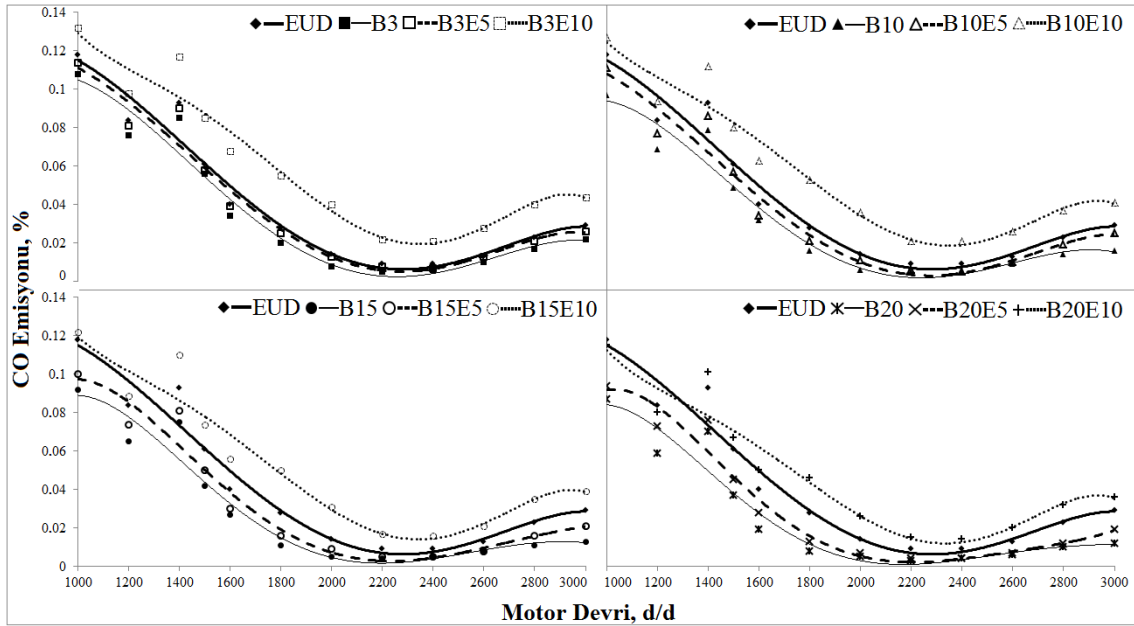
Biyodizel kullanımı sonucunda, B3 yakıtı ile elde edilen CO emisyonu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %22.69, B10 yakıtı ile elde edilen CO emisyonu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %32.83, B15 yakıtı ile elde edilen CO emisyonu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %41.54 ve B20 yakıtı ile elde edilen CO emisyonu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %49.96 azalmıştır. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Rakopoulos ve ark. (2008a)'nın, Özsezen ve Çanakçı (2009)'nın, Parekh ve Goswami (2012)'nin, Fattah ve ark. (2014)'nin, Lesnik v ark. (2014)'nin, Mofijur ve ark. (2014), Ong ve ark. (2014)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Bunlara ek olarak kaynak araştırmasında bahsedilen daha birçok araştırmacının çalışmasında da biyodizelin CO emisyonunu düşürdüğünü gösteren bulgular sunulmuştur.

4.4.3.2. Biyoetanol kullanımının CO emisyonuna etkisi

Şekil 4.36. karışım yakıtlarına biyoetanol ilavesinin CO emisyonlarına etkisini göstermektedir. Karışımlara biyoetanol ilavesinin CO emisyonu değerlerini artırdığı, biyoetanol ilavesinin artması ile CO emisyonlarının daha da arttığı görülmektedir. En yüksek CO emisyonu değerinin 1000 d/d motor hızında B3E10 yakıtı ile elde edilirken biyoetanol ilaveli yakıtlar için en düşük CO emisyonu değeri 2200 ve 2400 d/d motor hızlarında B20E5 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyoetanol kullanımı ile CO emisyonlarının artmasının nedeni, biyoetanolün setan sayısını düşürmesinin yanmayı kötüleştirilmesi, yanma hızının artması ile C ve O atomlarının reaksiyona girmek için yeterli zamanın olmaması ile açıklanabilir. Ayrıca biyoetanolün kendiliğinden buharlaşma özelliğinin daha iyi olması silindir içerisindeki hava ile daha önce karışmasını sağlar. Bu durumun hava ve yakıtın homojen olarak karışmasını engellemesi ve tam yanma oluşumunu azaltması nedeni ile biyoetanolün CO emisyonunu azalttığı düşünülmüştür.

Biyoeanol kullanımı sonucunda, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının CO emisyonu değerleri B3 yakıtına göre ortalama olarak %22.68 artmış, EUD yakıtına göre ortalama olarak %22.69 azalmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen CO emisyonu değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama olarak 1.52 kat, EUD yakıtına göre ortalama olarak %80.38 artış görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının CO emisyonu değerleri B10 yakıtına göre ortalama olarak %24.59 artmış, EUD yakıtına göre ortalama olarak %18.48 azalmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen CO emisyonu değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama olarak 1.79 kat,

EUD yakıtına göre ortalama olarak %70.33 artış görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının CO emisyonu değerleri B15 yakıtına göre ortalama olarak %26.51 artmış, EUD yakıtına göre ortalama olarak %28.92 azalmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen CO emisyonu değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama olarak 1.92 kat, EUD yakıtına göre ortalama olarak %50.32 artış görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının CO emisyonu değerleri B20 yakıtına göre ortalama olarak %28.35 artmış, EUD yakıtına göre %37.59 düşmüştür. B20E10 yakıtı ile elde edilen CO emisyonu değerlerinde B20 yakıtına göre 2.13 kat, EUD yakıtına göre %35.46 artış görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Abu-Qudais ve ark. (2000)'nın, He ve ark. (2003)'nin, Kim ve Choi (2008)'nin, Huang ve ark. (2009)'nin, Erkal (2010)'ın ve Lei ve ark. (2011)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Bunlara ek olarak kaynak araştırmasında bahsedilen daha birçok araştırmacının çalışmasında da biyoetanolün CO emisyonunu artırdığını gösteren bulgular sunulmuştur.



Şekil 4.36. Biyoetanol kullanımının CO emisyonuna etkisi

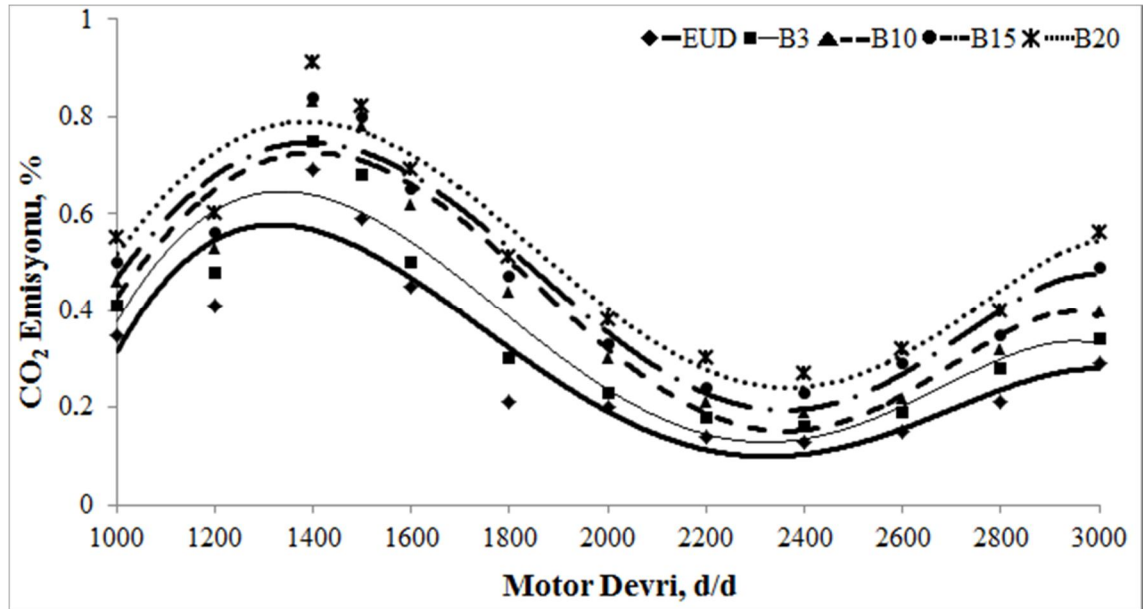
4.4.4. CO₂ emisyonu

Tam yanmanın bir göstergesi olan CO₂ emisyonu hidrokarbon içerikli yakıtların yanması sonucu açığa çıkan ve atmosferde yarattığı sera etkisi ile küresel ısınmaya neden olan bir gazdır. Ancak Peterson ve Hustrulid (1998) ve Dizge ve ark. (2005) gibi

araştırmacılar, biyodizel kullanımı ile oluşan CO₂ gazının bitkiler tarafından fotosentez için kullanıldığını düşünmektedirler. Tüm test yakıtları için CO₂ emisyonu değerleri düzgün bir salınım yapmış ve maksimum torkun olduğu 1400 d/d motor hızında maksimum değere ulaşmıştır.

4.4.4.1. Biyodizel kullanımının CO₂ emisyonuna etkisi

Şekil 4.37. biyodizel karışımly yakıtların CO₂ emisyonu değerlerine etkisini göstermektedir. Biyodizel kullanımı ile elde edilen CO₂ emisyonu değerlerinin EUD yakıtından daha yüksek olduğu görülmektedir. Karışımlardaki biyodizel oranının artması ile CO₂ emisyonu değerleri de artmıştır. En yüksek CO₂ emisyonu B20 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyodizelin CO₂ emisyonu değerlerini artırması, biyodizelin C atomu sayısının EUD yakıtına göre yüksek olması ile açıklanabilir. Bununla birlikte, oksijen içeriği sayesinde biyodizel karışımlarının yanması esnasında, hidrojenden ayrılan C atomu yeteri kadar oksijen bulup CO, HC veya duman yerine CO₂ emisyonuna dönüştüğü düşünülmektedir.



Şekil 4.37. Biyodizel kullanımının CO₂ emisyonuna etkisi

Biyodizel kullanımı sonucunda, B3 yakıtı ile elde edilen CO₂ emisyonu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %21.33, B10 yakıtı ile elde edilen CO₂ emisyonu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %45.3, B15 yakıtı ile elde edilen CO₂

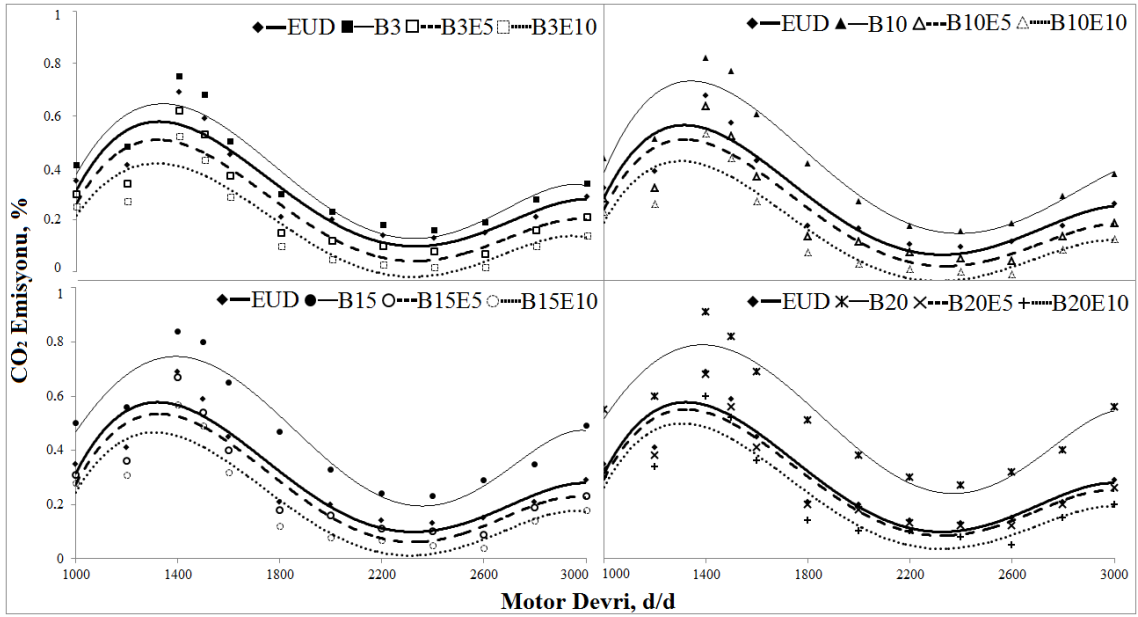
emisyonu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %62.29 ve B20 yakıtı ile elde edilen CO₂ emisyonu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %81.62 artmıştır. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Yücesu ve İkılı (2006)'ın, Utlu ve Koçak (2008)'ın, Yücel (2008)'in, Kaya (2010)'nın, çelikten ve Gr (2011)'nn, Randazzo ve Sodre (2011)'nin, Chauhan ve ark. (2012)'nin ve zener ve ark. (2014)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.

4.4.4.2. Biyoetanol kullanımının CO₂ emisyonuna etkisi

şekil 4.38. biyoetanol kullanımı ile elde edilen CO₂ emisyonu değerlerinin değişimini göstermektedir. testler sonucunda biyoetanol kullanımının CO₂ emisyonunu düşürdüğü ve karışımdaki biyoetanol oranının artması ile CO₂ emisyonu değerlerinin daha da düşüğü görülmektedir. Biyoetanol karışımlı yakıtlar ile elde edilen en yüksek CO₂ emisyonu B20E5 yakıtı ile elde edilirken en düşük CO₂ emisyonu ise B3E10 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyoetanol ilavesinin CO₂ emisyonu değerlerini düşürmesi, öncelikle biyoetanolun EUD ve biyodizele göre çok daha düşük C atomu içermesi ile açıklanabilir. Bununla birlikte, biyoetanolun silindir içerisinde daha homojen bir karışım oluşmasına engel olması ve yanma hızının artması ile C ve O atomlarının reaksiyon sürelerini kısaltması ile açıklanabilir.

Biyoetanol kullanımı sonucunda, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının CO₂ emisyonu değerleri B3 yakıtına göre ortalama olarak %38.16, EUD yakıtına göre ortalama olarak %25.81 azalmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen CO₂ emisyonu değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama olarak %60.05, EUD yakıtına göre ortalama olarak %52.61 düşüş görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının CO₂ emisyonu değerleri B10 yakıtına göre ortalama olarak %43.6, EUD yakıtına göre ortalama olarak %19.98 azalmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen CO₂ emisyonu değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama olarak %60.9, EUD yakıtına göre ortalama olarak %45.37 düşüş görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının CO₂ emisyonu değerleri B15 yakıtına göre ortalama olarak %46.38, EUD yakıtına göre ortalama olarak %16.26 azalmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen CO₂ emisyonu değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama olarak %59.92, EUD yakıtına göre ortalama olarak %38.88 düşüş görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının CO₂ emisyonu değerleri B20 yakıtına göre ortalama olarak %47.16, EUD yakıtına göre %7.76 dşmştr. B20E10

yakıtı ile elde edilen CO₂ emisyonu değerlerinde B20 yakıtına göre %58.47, EUD yakıtına göre %29.41 düşüş görülmektedir.



Şekil 4.38. Biyoetanol kullanımının CO₂ emisyonuna etkisi

Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Çelikten (2004)'in, Erkal (2010)'ın ve Randazzo ve Sodre (2011)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.

4.4.5. HC emisyonu

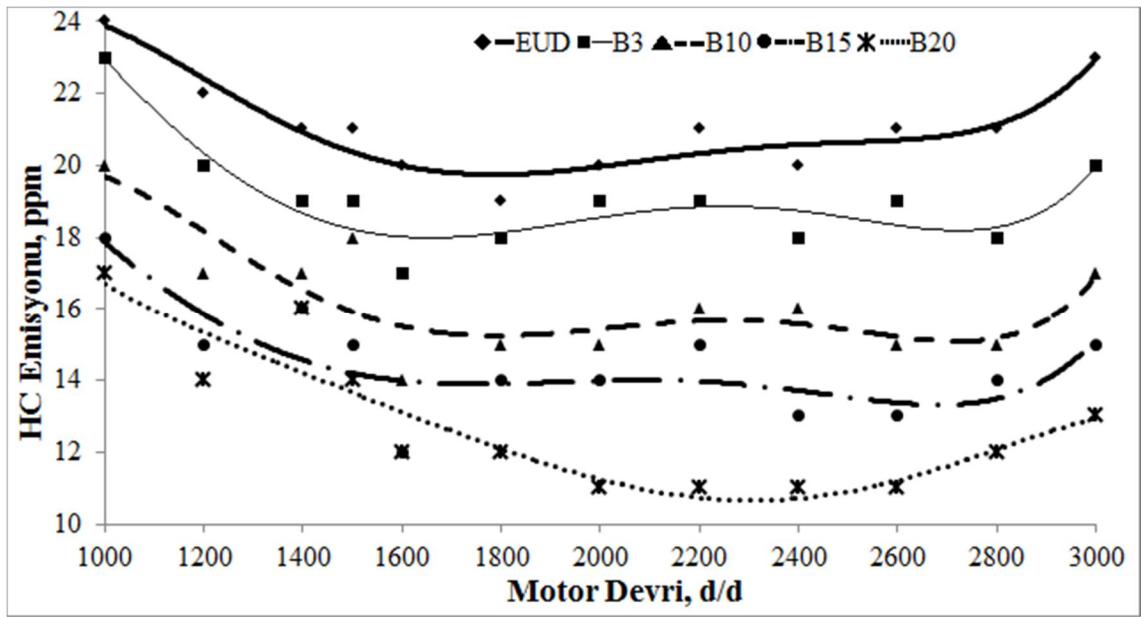
Yakıtın tam olarak yanamaması, yanma sıcaklığının düşmesi ve oksijenin yetersiz olması gibi nedenler HC emisyonunun oluşmasına sebep olur. Özellikle silindir cidarı ile piston arasında alevin sönmesi nedeni ile yanma tamamlanamamakta, bu durum HC emisyonu oluşumuna neden olmaktadır. Motor hızındaki değişim HC emisyonu değerlerini çok fazla etkilemese de en düşük HC emisyonu değerleri maksimum güç değerinin elde edildiği motor hızına yakın devirlerde elde edilmiştir.

4.4.5.1. Biyodizel kullanımının HC emisyonuna etkisi

Şekil 4.39.'da biyodizel kullanımının HC emisyonlarına etkisi gösterilmiştir. Biyodizel kullanımı ile elde edilen HC emisyonu değerleri EUD yakıtından daha

düşüktür. Karışım yakıtlarındaki biyodizel oranının artması HC emisyonunu daha da düşürmüştür. En düşük HC emisyonu B20 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyodizel karışımlarının HC emisyonu değerlerini düşürmesi, biyodizelin oksijen içeriğinin yanma verimini iyileştirerek egzoz gazı sıcaklığını artırması ile açıklanabilir. Biyodizel karışimli yakıtların EUD yakıtından daha erken yanmaya başlaması tam yanma için gerekli zamana da imkan sağlaması biyodizel kullanımının HC emisyonlarını azalttığı düşünülmektedir.

Biyodizel kullanımı sonucunda, B3 yakıtı ile elde edilen HC emisyonu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %9.49, B10 yakıtı ile elde edilen HC emisyonu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %22.98, B15 yakıtı ile elde edilen HC emisyonu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %31.27 ve B20 yakıtı ile elde edilen HC emisyonu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %39.26 azalmıştır.



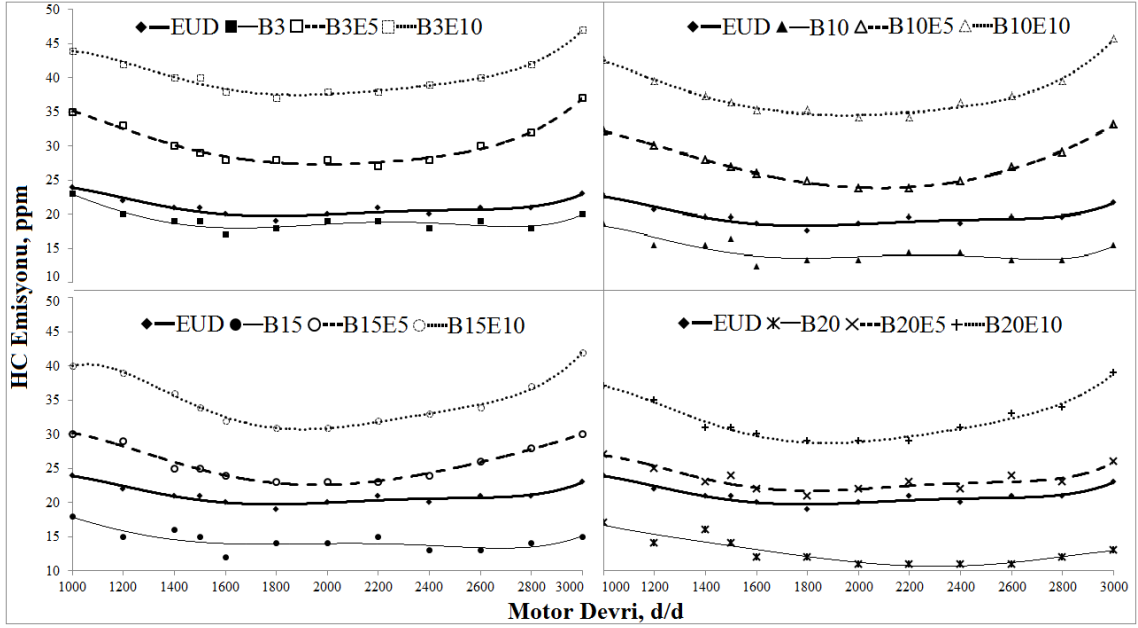
Şekil 4.39. Biyodizel kullanımının HC emisyonuna etkisi

Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Aktaş ve Sekmen (2007)'nin, Parekh ve Goswami (2012)'nin, Rounce ve ark. (2012)'nin, Tan ve ark. (2012)'nin, Fattah ve ark. (2014)'nin, Lesnik ve ark. (2014)'nin ve Mofijur ve ark. (2014)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Bunlara ek olarak kaynak araştırmasında bahsedilen daha birçok araştırmacının çalışmasında da biyodizelin HC emisyonunu düşürdüğünü gösteren bulgular sunulmuştur.

4.4.5.2. Biyoetanol kullanımının HC emisyonuna etkisi

Şekil 4.40. karışım yakıtlarına biyoetanol ilavesinin HC emisyonuna etkisini göstermektedir. Karışım yakıtlarına biyoetanol ilavesi ile HC emisyonlarını artmış, ilave edilen biyoetanol miktarının artması ile HC emisyonları daha da artmıştır. biyoetanol ilaveli yakıtlar için en düşük HC emisyonu B20E5 yakıtı ile, en yüksek HC emisyonu ise B3E10 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyoetanolün HC emisyonunu artırması, özellikle biyoetanol ilaveli yakıtların HFK değerlerinin daha düşük olması ile zengin karışım olması ve yakıtın tam olarak yanamaması ile açıklanabilir. Ayrıca biyoetanolün yüksek miktarda oksijen içeriğinin yanma hızını artırması ile alevin silindir cidarlarına daha yaklaşımadan sönmeye sebep olduğu ve bu yüzden HC emisyonunu artırdığı düşünülmektedir.

Biyoetanol kullanımı sonucunda, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının HC emisyonu değerleri B3 yakıtına göre ortalama olarak %59.47, EUD yakıtına göre ortalama olarak %44.07 artmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen HC emisyonu değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama olarak 1.22 kat, EUD yakıtına göre ortalama olarak %91.73 artış görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının HC emisyonu değerleri B10 yakıtına göre ortalama olarak %75.98, EUD yakıtına göre ortalama olarak %34.94 artmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen HC emisyonu değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama olarak 1.37 kat, EUD yakıtına göre ortalama olarak %82.14 artış görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının HC emisyonu değerleri B15 yakıtına göre ortalama olarak %79.12, EUD yakıtına göre ortalama olarak %22.34 artmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen HC emisyonu değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama olarak 1.43 kat, EUD yakıtına göre ortalama olarak %66.13 artış görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının HC emisyonu değerleri B20 yakıtına göre ortalama olarak %85.82, EUD yakıtına göre %11.4 artmıştır. B20E10 yakıtı ile elde edilen HC emisyonu değerlerinde B20 yakıtına göre 1.56 kat, EUD yakıtına göre %53.15 artış görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Xing-cai ve ark. (2004)'nın, Shi ve ark. (2005)'nin, Rakopoulos ve ark. (2007)'nin ve Jagadish ve ark. (2011)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Bunlara ek olarak kaynak araştırmasında bahsedilen daha birçok araştırmacının çalışmasında da biyoetanolün HC emisyonunu artırdığını gösteren bulgular sunulmuştur.



Şekil 4.40. Biyoetanol kullanımının HC emisyonuna etkisi

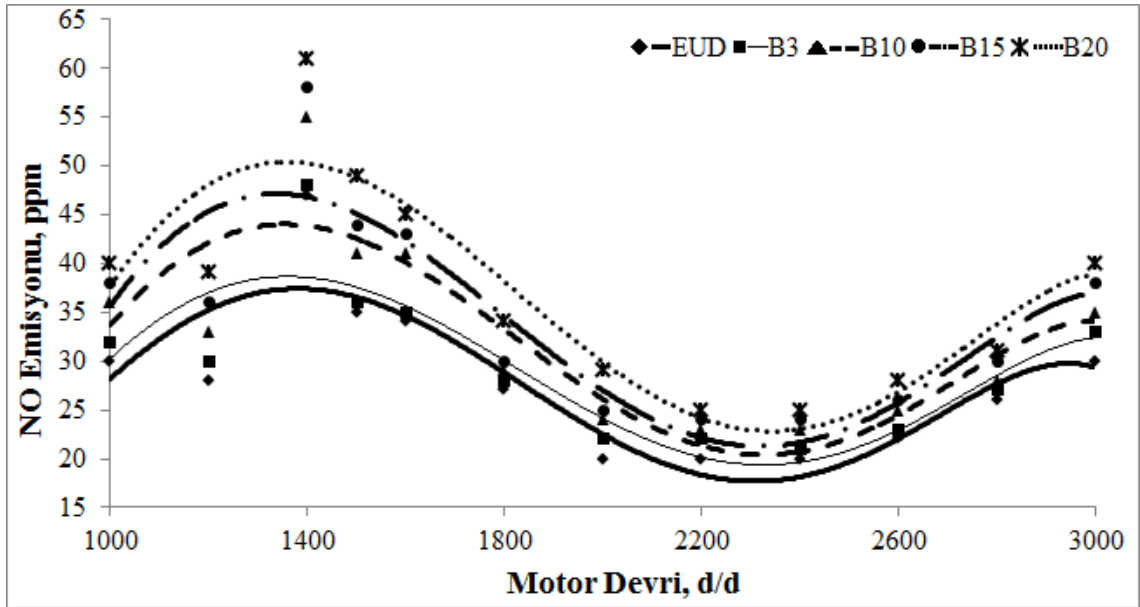
4.4.6. NO emisyonu

Silindirlere emilen havanın yaklaşık %78'ini azot (N) oluşturmaktadır. Normal şartlarda reaksiyona girmeyen N ve O atomları yüksek sıcaklıklarda tepkimeye girerek çeşitli azot oksit bileşiklerinin oluşmasına sebep olur. Bu azot oksitler atmosfere atıldıktan sonra yağın yağmur damlaları ile birleşerek asit yağmurlarının oluşmasına sebep olur. Testler sonucunda en yüksek NO emisyonu değerleri maksimum tork değerlerinin elde edildiği 1400 d/d motor hızında elde edilmiştir.

4.4.6.1. Biyodizel kullanımının NO emisyonlarına etkisi

Şekil 4.41. biyodizel karışımlarının NO emisyonlarına etkisini göstermektedir. Biyodizel karışımlarının NO değerleri EUD yakıtından daha yüksektir. Karışımlardaki biyodizel oranının artması ile NO emisyonları daha da artmıştır. Biyodizel kullanımı ile elde edilen maksimum NO değeri B20 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyodizel karışımlarının HFK değerleri EUD yakıtına oldukça yakın değerlerdedir. Biyodizelin oksijen içeriği ile birlikte egzoz gaz sıcaklığının da EUD yakıtından yüksek olması ve silindir içerisinde bulunan N atomlarının yeteri kadar O atomu bularak tepkimeye girmesine neden olması biyodizel karışımlarının NO emisyonunu artırdığı düşünülmektedir.

Biyodizel kullanımı sonucunda, B3 yakıtı ile elde edilen NO emisyonu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %5.74, B10 yakıtı ile elde edilen NO emisyonu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %15.67, B15 yakıtı ile elde edilen NO emisyonu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %22.26 ve B20 yakıtı ile elde edilen NO emisyonu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %31.29 artmıştır.

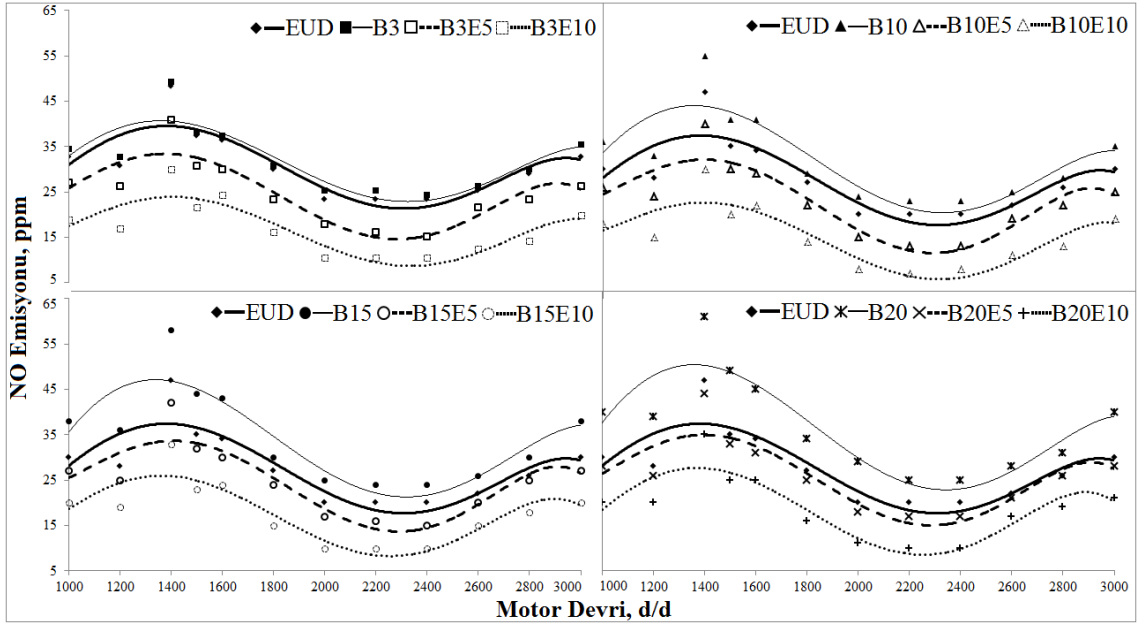


Şekil 4.41. Biyodizel kullanımının NO emisyonuna etkisi

Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Demir (2009)'in, Mofijur ve ark. (2014)'nin, Dhar ve ark. (2012)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Bunlara ek olarak kaynak araştırmasında bahsedilen daha birçok araştırmacının çalışmasında da biyodizelin NO ve NO_x emisyonlarını artırdığını gösteren bulgular sunulmuştur.

4.4.6.2. Biyoetanol kullanımının NO emisyonuna etkisi

Karışım yakıtlarına biyoetanol ilavesinin NO emisyonuna etkisi Şekil 4.42.'de gösterilmiştir. Test sonuçlarına göre biyoetanol ilavesinin NO emisyonlarını düşürdüğü, ilave edilen biyoetanol miktarının artması ile NO emisyonu değerlerinin daha da azaldığı görülmektedir. Biyoetanol ilavesi ile en düşük NO emisyonu değeri B3E10 yakıtı ile, en yüksek NO değeri ise B20E5 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyoetanolin gizli buharlaşma ısısının yüksek olması dolayısıyla silindir içi artık gazların sıcaklığının düşmesi N ve O atomlarının tepkimeye girme oranını düşürdüğü tahmin edilmektedir.



Şekil 4.42. Biyoetanol kullanımının NO emisyonuna etkisi

Biyoetanol kullanımı sonucunda, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının NO emisyonu değerleri B3 yakıtına göre ortalama olarak %29.01, EUD yakıtına göre ortalama olarak %25.08 azalmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen NO emisyonu değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama olarak %58.1, EUD yakıtına göre ortalama olarak %55.86 düşüş görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının NO emisyonu değerleri B10 yakıtına göre ortalama olarak %30.08, EUD yakıtına göre ortalama olarak %19.23 azalmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen NO emisyonu değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama olarak %54.67, EUD yakıtına göre ortalama olarak %47.55 düşüş görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının NO emisyonu değerleri B15 yakıtına göre ortalama olarak %28.01, EUD yakıtına göre ortalama olarak %12.14 azalmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen NO emisyonu değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama olarak %48.83, EUD yakıtına göre ortalama olarak %37.44 düşüş görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının NO emisyonu değerleri B20 yakıtına göre ortalama olarak %29.54, EUD yakıtına göre %7.78 düşmüştür. B20E10 yakıtı ile elde edilen NO emisyonu değerlerinde B20 yakıtına göre %49.61, EUD yakıtına göre %34 düşüş görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Jagadish ve ark. (2011)'nin, Yılmaz (2012)'nin ve Yılmaz ve ark. (2014)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Bunlara ek olarak

kaynak araştırmasında bahsedilen daha birçok araştırmacının çalışmasında da biyoetanolun NO ve NO_x emisyonlarını düşürdüğünü gösteren bulgular sunulmuştur.

4.4.7. Duman koyuluğu

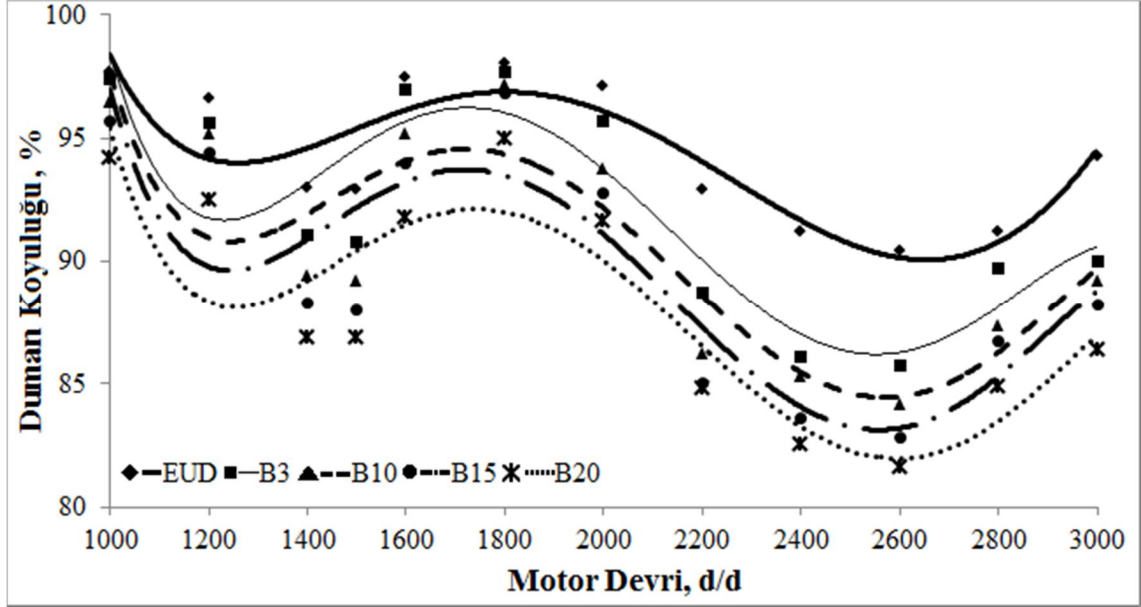
Yanma esnasında oksijenin yetersiz olması, hidrokarbon bileşikli yakıtın çok bulunduğu kısımda katı halde karbon parçacıklarının oluşmasına neden olur. Bu nedenle emilen hava miktarı ve yakıt içerisinde bulunan oksijen miktarı duman koyuluğunu etkileyen en önemli parametrelerdir. Testlerde tüm yakıtlar için duman koyuluğu değerleri düzgün bir salınım yapmış ve en yüksek duman koyuluğu değerleri 1800 d/d motor hızında, en düşük duman koyuluğu değerleri ise 2600 d/d motor hızında elde edilmiştir.

4.4.7.1. Biyodizel kullanımının duman koyuluğuna etkisi

Şekil 4.43. biyodizel kullanımının duman koyuluğuna etkisini göstermektedir. Biyodizel kullanımı ile duman koyuluğu değerleri EUD yakıtına göre azalmıştır. Karışımdaki biyodizel oranının artması duman koyuluğunu daha da düşürmüştür. Biyodizel kullanımı ile en düşük duman koyuluğu B20 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyodizel karışımlarının duman koyuluğu değerlerinin EUD yakıtından düşük olması, biyodizelin oksijen içeriği sayesinde C atomlarının tepkimeye girebilmek için daha çok O atomu bulması ve böylece C atomlarının CO veya CO₂ olarak atılması ile açıklanabilir. Bununla birlikte biyodizel karışımlarının EUD yakıtına göre yanmaya daha erken başlaması, C atomlarının O atomları ile tepkimeye girmesi için gerekli yanma zamanının sağlanması biyodizelin duman koyuluğunu düşürmesinin sebebi olarak düşünülmektedir.

Biyodizel kullanımı sonucunda, B3 yakıtı ile elde edilen duman koyuluğu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %2.45, B10 yakıtı ile elde edilen duman koyuluğu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %3.93, B15 yakıtı ile elde edilen duman koyuluğu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %5.04 ve B20 yakıtı ile elde edilen duman koyuluğu değerleri EUD yakıtına göre ortalama olarak %6.56 azalmıştır. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Kegl (2008)'in, Lin ve Li (2009)'nin, Nabi ve ark. (2009)'nın, Enweremadu ve ark. (2011)'nin, Prasad ve ark. (2012)'nin ve Ong ve ark. (2014)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik

göstermektedir. Bunlara ek olarak kaynak araştırmasında bahsedilen daha birçok araştırmacının çalışmasında da biyodizelin duman koyuluğunu düşürdüğünü gösteren bulgular sunulmuştur.



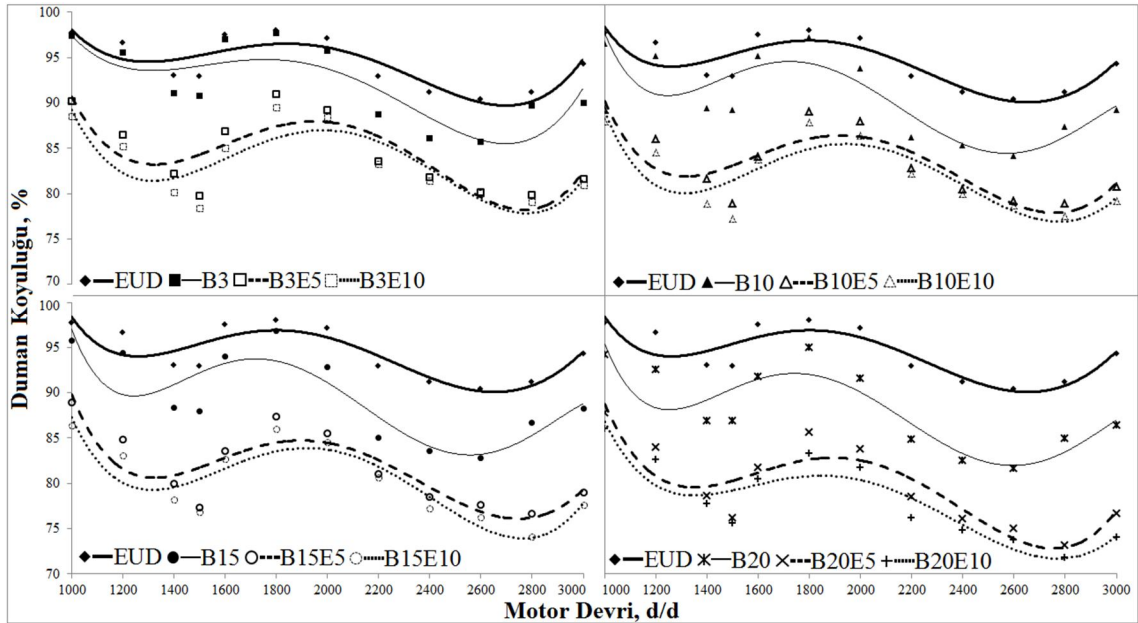
Şekil 4.43. Biyodizel kullanımının duman koyuluğuna etkisi

4.4.7.2. Biyoetanol kullanımının duman koyuluğuna etkisi

Şekil 4.44. biyodizel karışımlarına biyoetanol ilavesinin duman koyuluğuna etkisi gösterilmiştir. Biyoetanol ilavesi duman koyuluğu değerlerini düşürmüştür, ilave edilen biyoetanol miktarının artması ile duman koyuluğunun daha da azaldığı görülmektedir. Biyoetanol kullanımı ile elde edilen en düşük duman koyuluğu B20E10 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyoetanol ilaveli yakıtların yüksek oksijen içerikleri sayesinde C atomları için yeterli O atomunun bulunması ve biyoetanolün daha az C atomu içeriyor olmasının duman koyuluğunu azalttığı düşünülmektedir.

Biyoetanol kullanımı sonucunda, B3 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B3E5 yakıtının duman koyuluğu değerleri B3 yakıtına göre ortalama olarak %8.36, EUD yakıtına göre ortalama olarak %10.62 azalmıştır. B3E10 yakıtı ile elde edilen duman koyuluğu değerlerinde B3 yakıtına göre ortalama olarak %9.5, EUD yakıtına göre ortalama olarak %11.75 düşüş görülmektedir. B10 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B10E5 yakıtının duman koyuluğu değerleri B10 yakıtına göre ortalama olarak %8.21, EUD yakıtına göre ortalama olarak %11.85 azalmıştır. B10E10 yakıtı ile elde edilen duman koyuluğu değerlerinde B10 yakıtına göre ortalama olarak %9.55,

EUD yakıtına göre ortalama olarak %13.14 düşüş görülmektedir. B15 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B15E5 yakıtının duman koyuluğu değerleri B15 yakıtına göre ortalama olarak %8.88, EUD yakıtına göre ortalama olarak %13.5 azalmıştır. B15E10 yakıtı ile elde edilen duman koyuluğu değerlerinde B15 yakıtına göre ortalama olarak %10.43, EUD yakıtına göre ortalama olarak %14.99 düşüş görülmektedir. B20 yakıtına biyoetanol ilavesi ile elde edilen B20E5 yakıtının duman koyuluğu değerleri B20 yakıtına göre ortalama olarak %9.64, EUD yakıtına göre %15.57 düşmüştür. B20E10 yakıtı ile elde edilen duman koyuluğu değerlerinde B20 yakıtına göre %11.44, EUD yakıtına göre %17.25 düşüş görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Shi ve ark. (2005)'nin, Kim ve Choi (2008)'nin, Lapuerta ve ark. (2008)'nin, Rakopoulos ve ark. (2008b)'nin ve Qi ve ark. (2011)'nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Bunlara ek olarak kaynak araştırmasında bahsedilen daha birçok araştırmacının çalışmasında da biyoetanolun duman koyuluğunu düşürdüğünü gösteren bulgular sunulmuştur.

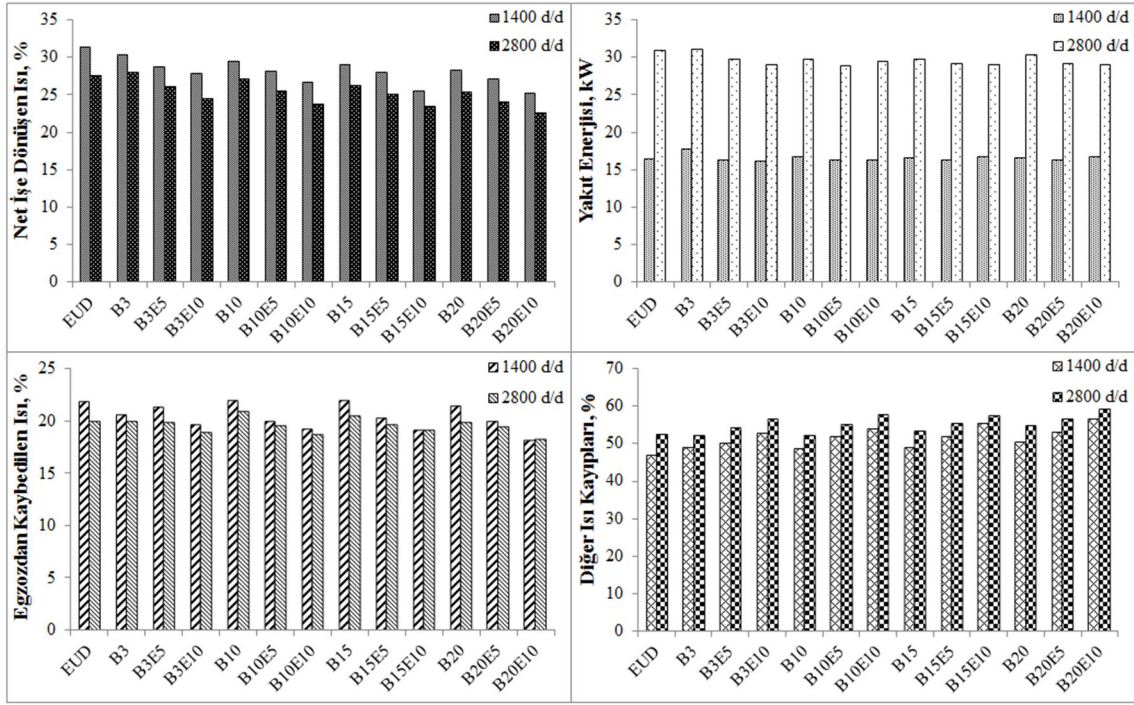


Şekil 4.44. Biyoetanol kullanımının duman koyuluğuna etkisi

4.5. Enerji Analizi

Enerji analizi olarak yakıttan elde edilen enerjinin işe dönüşüm miktarı ve ısı kaybı oranları maksimum tork ve güç değerleri için incelenmiştir. Yakıt enerjisi, silindire alınan yakıt miktarına ve yakıtın ısıl enerjisine bağlıdır. Yakıttan elde edilen

enerjinin tamamı işe dönüştürülemez. Bu durum, yakıtın tam olarak yanamaması, egzoz zamanında kaybedilen ısı enerjisi, silindir yüzeyi ve pistonu olan ısı transferi, soğutma suyu ve yağlama yağına geçen ısı transferi ile açıklanabilir. Şekil 4.45.' de her bir test yakıtının yakıt enerjileri, işe dönüşen ısı enerjileri ve kayıp ısı enerjileri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.45. Test yakıtlarının enerji analizlerinin karşılaştırılması

Tüm yakıtlar için motor hızının artmasının; birim zamanda silindire alınan yakıt miktarını artırması ile yakıt enerjisi değerlerini artırdığı; EÖYT değerlerini artırması ile işe dönüşen ısı enerjisi miktarını azalttığı; egzoz zamanında egzoz supabının açık kalma süresini azaltması ile artık egzoz gazlarının daha büyük miktarda silindirde kalmasının egzozdan kaybedilen ısı enerjisi miktarını azalttığı; ısı transferini artırması ile ısı kayıplarını da artırdığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.2. maksimum tork ve güç değerlerinde tüm test yakıtlarının enerji analizi değerlerini göstermektedir. Maksimum tork değerinde biyodizel kullanımının yakıt enerjisi değerlerini EUD yakıtına göre artırdığı, karışımdaki biyodizel oranının artması ile bu artışın azaldığı görülmektedir. Bu durum, biyodizelin yüksek viskozite ve yoğunluğu sayesinde azalan pompalama kaçakları ile silindire kütleli olarak daha fazla yakıtın gönderilmesi, yakıt miktarının artması ile de biyodizel kullanımın yakıt enerjisini artırması ile açıklanabilir.

Maksimum güç değerinde ise B3 yakıtı haricinde yakıt enerjisinin düştüğü görülmektedir. Bu durum yüksek viskoziteli ve yoğunluklu karışım yakıtlarının yüksek motor hızında yüksek püskürtme direncine sahip olması ve yakıt miktarını düşürmesi ile açıklanabilir. Biyoetanol kullanımının ise tüm karışım yakıtlarının alt ısıl değerlerini düşürmesi nedeni ile tüm test durumlarında yakıt enerjisini de düşürdüğü görülmektedir.

Egzozdan kaybedilen ısı enerjisi incelendiğinde, biyodizel karışımlı yakıtların egzoz gazı sıcaklığı değerlerini artırmasının EUD yakıtına göre daha yüksek ısı kaybına sebep olduğu düşünülmektedir. Biyoetanol ilavesinin egzozdan kaybedilen ısı enerjisi miktarını düşürdüğü görülmektedir. Bunun nedeni olarak biyoetanol ilaveli karışımların egzoz gazı sıcaklığını düşürmesi ve EUD yakıtına göre nispeten daha düşük emisyon değerlerine sahip olması egzozda giden ısı enerjisi miktarını azaltmıştır.

Biyodizel ve biyoetanolum oksijen içeriğinin yanma hızını ve ısı transferi süresini artırması ile silindir cidarlarına ve soğutma suyuna transfer olan ısı enerjisini artırdığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.2. 1400 ve 2800 d/d motor hızlarında test yakıtlarının enerji analizi değerleri

	Yakıt Enerjisi, kW		Net işe Dönüşen Isı, kW		Egzozdan Kaybedilen Isı, kW		Diğer Isı Kayıpları, kW	
	1400 d/d	2800 d/d	1400 d/d	2800 d/d	1400 d/d	2800 d/d	1400 d/d	2800 d/d
EUD	16.5	30.92	5.18	8.54	3.6	6.19	7.72	16.19
B3	17.74	31.11	5.4	8.74	3.66	6.23	8.68	16.14
B3E5	16.35	29.82	4.69	7.81	3.49	5.92	8.17	16.09
B3E10	16.25	29.06	4.52	7.13	3.2	5.52	8.53	16.41
B10	16.81	29.74	4.96	8.09	3.7	6.23	8.15	15.42
B10E5	16.37	28.96	4.61	7.38	3.28	5.69	8.48	15.89
B10E10	16.4	29.45	4.39	6.99	3.17	5.53	8.84	16.93
B15	16.58	29.79	4.83	7.84	3.65	6.1	8.1	15.85
B15E5	16.31	29.23	4.57	7.32	3.32	5.75	8.42	16.16
B15E10	16.71	29.08	4.26	6.84	3.2	5.58	9.25	16.66
B20	16.56	30.32	4.69	7.72	3.56	6.03	8.31	16.57
B20E5	16.32	29.17	4.44	7.05	3.26	5.68	8.62	16.44
B20E10	16.77	29.12	4.24	6.59	3.06	5.33	9.47	17.2

4.6. Belirsizlik Analizi

Belirsizlik analizi, test sonuçlarının doğruluğunu ortaya koymak için yapılmaktadır. Elde edilen test sonuçlarının doğruluğu, test düzeneğinde kullanılan ölçü

aletlerinin ölçüm hassasiyetlerine, cihazların kalibrasyonlarına, kullanımına ve deney ortamına bağlıdır.

Deneysel bir çalışmada hesap yolu ile elde edilen verilerin belirsizliği, kurulan denklemin her bir bağımsız değişkeninin belirsizliğine bağlıdır. Denklem 4.1. belirsizlik analizinin hesaplanmasında kullanılan ifadeyi göstermektedir (Holman, 1994).

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} w_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad 4.1.$$

Burada; W_R belirsizlik, R ölçülen veya hesaplanan değer, n değişken sayısı, w ölçü cihazının hassasiyetini göstermektedir.

Çizelge 4.3.'de 1400 ve 2800 d/d motor hızlarında EUD yakıtı ile yapılan testler için hesaplanan belirsizlik analizi sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Test sonuçlarının belirsizlik analizi

	BELİRSİZLİK			
	1400d/d		2800 d/d	
	Belsz. Değeri	Belsz. Oranı	Belsz. Değeri	Belsz. Oranı
Efektif Motor Gücü	±0.0037	%0.07	±0.0032	%0.04
Termik Verim	±0.008	%2.5	±0.004	%1.4

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Testler sonucunda biyodizel ve biyoetanol kullanımının motor performansı, silindir içi yanma analizi, egzoz emisyon değerleri ve enerji analizi incelenmiş, sonuçlar ortaya konulmuştur.

5.1. Motor Performansı Sonuçları

Elde edilen motor performansı sonuçlarına göre; özellikle biyodizelin ve biyoetanolun EUD yakıtına göre daha düşük alt ısıl değere sahip olmasına bağlı olarak yanma enerjisinin azalması, biyodizelin viskozite ve yoğunluğunun yüksek olması nedeni ile püskürtme karakteristiğini olumsuz etkilemesi, biyoetanolun setan sayısını düşürmesi nedeni ile yanma karakteristiklerini kötüleştirilmesi hem biyodizelin hem de biyoetanolun motor performans değerlerini olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Bunun yanında, biyodizelin EUD yakıtına düşük bir miktarda (%3) katılması ile artan viskozite ve yoğunluk değerlerinin pompalama kaçaklarını düşürdüğü, oksijen içeriğinin de yanmayı iyileştirmesi ile performans değerlerini olumlu etkilediği düşünülmektedir.

5.2. Yanma Analizi Sonuçları

Genel olarak, biyodizel ve biyoetanol kullanımının maksimum basınç ve ısı salımı oranı değerlerini artırdığı görülmektedir. Özellikle silindir basıncı değerlerinin artması ile motor performans değerlerinin de artması beklenirken B3 yakıtı haricinde biyoyakıt kullanımı ile performans değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Bu durum, biyoyakıt karışımlarının oksijen içermeleri sonucu yanma süreci esnasında, alevin büyümeden sönmeye yani alev çapının küçük olması ve piston tepesine gelen basınç kuvvetinin daha az piston yüzeyine etki etmesi ile açıklanabilir. Bununla birlikte, kötü püskürtme karakteristiğinden dolayı sıkıştırılmış hava içine püskürtülen yakıtın tam anlamıyla homojen olarak karışmaması sonucu birden fazla alev çekirdeğinin oluşmasına sebep olup yanma karakteristiğini kötüleştirilmesi ile de açıklanabilir. Ayrıca biyoyakıt karışimli yakıtlar ile elde edilen maksimum basınç değerleri haricinde kalan bölgelerde, özellikle yüksek motor hızında silindir basıncı değerlerinin ortalama olarak EUD yakıtından daha düşük olduğu görülmektedir.

Biyodizel kullanımının tutuşma gecikmesi değerlerini genelde kısalttığı, biyoetanolun ise artırdığı görülmektedir. Tutuşma gecikmesinin öncelikli olarak setan sayısına bağlı olması, biyodizelin setan sayısını artırıp biyoetanolun ise düşürmesi sonucunda elde edilen değerler beklenen sonuçlara büyük ölçüde yakındır.

5.3. Motor Verimleri Sonuçları

Biyodizel ve biyoetanolun düşük alt ısıl değerleri, biyoetanolun düşük setan sayısı, biyodizelin yüksek viskozite ve yoğunluk değerleri motor performansında olduğu gibi termik verim sonuçlarında olumsuz etkilediği düşünülmektedir.

Biyodizelin yüksek egzoz gazı sıcaklığının volümetrik verimi düşürdüğü, biyoetanolun ise daha yüksek gizli buharlaşma ısısının volümetrik verimi artırdığı tahmin edilmektedir.

5.4. Egzoz Emisyonu Sonuçları

Biyodizelin bir miktar oksijen içermesi, tam yanmaya yakın bir yanma imkanı sağlaması sebebi ile CO, HC ve duman koyuluğu değerlerini düşürmesine rağmen egzoz gazı sıcaklığını artırmasının NO emisyonu değerlerini artırdığı tahmin edilmektedir. Biyoetanolun ise yüksek oranda içerdiği oksijen ve yüksek gizli buharlaşma ısısı değerlerinin yanmayı olumsuz etkileyerek CO ve HC emisyonu değerlerini artırdığı, düşük miktarda C atomu içerdiği için duman koyuluğu ve CO₂ emisyonlarını düşürdüğü, egzoz gazı sıcaklığını düşürdüğü için de NO emisyonlarını azalttığı düşünülmektedir.

5.5. Enerji Analizi Sonuçları

Enerji verimliliği toplam yakıt enerjisinin net işe dönüştürülebilme oranı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen performans değerleri enerji verimliliğinde de etkili olmuştur. Performansı yüksek olan yakıtın enerji verimi de yüksek olmuştur.

Egzozdan kaynaklanan ısı kayıpları değerlerinde ise büyük ölçüde egzoz gazı sıcaklıkları etkili olmuştur. Bununla birlikte, biyodizel karışimli yakıtların CO₂ salımı değerlerinin yüksek olması da egzozdan ısı kaçaklarının artmasına sebep olduğu söylenebilir.

Testler sonucunda elde edilen veriler genel olarak değerlendirilerek başlıca aşağıdaki sonuçlara varılmıştır;

- EUD yakıtına biyodizel ilavesinin özellikle alt ısı değer, viskozite, yoğunluk, SFTN, oksidasyon kararlılığı özelliklerini olumsuz etkilediği, setan sayısını iyileştirdiği,
- Biyodizel karışimli yakıtlara biyoetanol ilavesinin özellikle viskozite ve yoğunluk, SFTN, oksidasyon kararlılığı özelliklerini iyileştirdiği, setan sayısı ve alt ısı değeri düşürdüğü,
- EUD-biyodizel-biyoetanol karışimli yakıtların motor performans değerlerini düşürdüğü,
- EUD-biyodizel-biyoetanol karışimli yakıtların silindir içi yanma analizi sonuçlarının EUD yakıtına oldukça yakın olduğu,
- EUD-biyodizel-biyoetanol karışimli yakıtların CO emisyonlarını genelde düşürdüğü, ancak biyoetanol oranının artmasının CO emisyonu değerlerini artırdığı,
- EUD-biyodizel-biyoetanol karışimli yakıtların CO₂ emisyonlarını iyice düşürdüğü,
- EUD-biyodizel-biyoetanol karışimli yakıtların HC emisyonu değerlerini artırdığı,
- EUD-biyodizel-biyoetanol karışimli yakıtların NO emisyonu değerlerini düşürdüğü,
- EUD-biyodizel-biyoetanol karışimli yakıtların duman koyuluğu değerlerini iyice düşürdüğü görülmektedir.

Bu sonuçlar; EUD-biyodizel-biyoetanol karışimli yakıtların EUD yakıtına göre motor performans değerlerini bir miktar düşürmesine rağmen emisyon değerlerini oldukça olumlu etkilemesi ve yanma analizi sonuçlarının EUD yakıtına büyük ölçüde benzerlik göstermesi, biyodizel ve biyoetanol karışimli yakıtların, dizel motorlarda motor üzerinde herhangi bir modifikasyona ve herhangi bir çalışma veya işletme parametresinin değiştirilmesine ihtiyaç duyulmadan kullanılabilirliğinin mümkün olduğunu ortaya koymaktadır. B3 yakıtının EUD yakıtına göre daha iyi performans,

benzer yanma karakteristiği ve genel olarak daha iyi emisyon değerleri ortaya koyması en uygun test yakıtı olarak öne çıkarmıştır.

Bu çalışmadan sonra, biyoyakıt kullanımının dizel motorların yakıt sistemi ve hareketli parçaların malzeme özelliklerine etkileri, karışımların yakıt özellikleri ve iyileştirme çalışmaları yapılabilir.

KAYNAKLAR

Aakko, P., Nylund, N., 2004, Technical view on biofuels for transportation focus on ethanol end use aspects, *VTT Technical Research Centre of Finland-PRO3/5100/03*, Finland, 19-28.

Abu-Qudais, M., Haddad, O., Qudaisat, M., The effect of alcohol fumigation on diesel engine performance and emissions, *Energy Conversion & Management*, 41(4), 389-399.

Adıgüzel, A., O., 2011, Lignoselülozik biyokütleden biyoetanol üretimi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Semineri*, 31-33.

Akınerdem, F., Öztürk, Ö., 2008, Safflower and biodiesel quality in Turkey, *7th International Safflower Conference*, Avustralya.

Aktaş, A., Sekmen, Y., 2007, Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 199-206.

Alpgiray, B., Gürhan, R., (2007), Kanola yağının dizel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 13(3), 231-239.

Alptekin, E., Çanakçı, M., 2006, Biyodizel ve Türkiye'deki durumu, *Mühendis ve Makina*, 47(561), 57-64.

Altun, Ş., 2011, Performance and exhaust emissions of a DI diesel engine fueled with waste cooking oil and inedible animal tallow methyl esters, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 35(2011), 107-114.

Altun, Ş., Gür, M.A., Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılması, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(3), 35-42.

Altun, Ş., Öner, C., Aydın, H., Yücel, H.L., 2010, An experimentally investigation of usability of a blend of tallow methyl ester and diesel fuel substitution of diesel fuel in diesel engines, *Gazi University Journal of Science*, 23(3), 351-356.

Altuntaş A., 2006, Hardal yağı biyodizelinde depolama süresi ve şartlarının yakıt özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Konya, 29-30.

Anbarasu, A., Saravanan, M., Loganathan, M., 2013, The effect of ethanol addition in a biodiesel operated DI diesel engine on combustion, performance, and emission characteristics, *International Journal of Green Energy*, 10, 90-102.

Balat, M., Balat, H., Öz, C., 2008, Progress in bioethanol processing, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(5), 551-573.

Balcı, B., 2005, Diesel motor yakıtı olarak kullanılan atık bitkisel yağ esterlerinin maksimum basınç ve tutuşma gecikmesi açısından motorin ile karşılaştırılması, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-6, 20-77.

Barabas, I., Todorut, A., Baldean, D., 2010, Performance and emission characteristics of an CI engine fueled with diesel–biodiesel–bioethanol blends, *Fuel*, 89(12), 3827-3832.

Baydan, H.E., 2008, Biyoetanol, metil ester ve dizel yakıt karışımlarının dizel motorlarda kullanımının motor performansına etkisinin belirlenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 55-60.

Bezaire, N., Wadumesthrige, K., Simon Ng, K.Y., Salley, S.O., 2010, Limitations of the use of cetane index for alternative compression ignition engine fuels, *Fuel*, 89(12), 3807-3813.

Bolat, A., 2007, Orta segment bir tarım traktöründe biyodizelin motor performansı üzerine etkileri ve biyodizelin Türkiye için önemi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 30-38.

Can, Ö., Çelikten, i., Usta, N., 2004, Effects of ethanol addition on performance and emissions of a turbocharged indirect injection Diesel engine running at different injection pressures, *Energy Conversion and Management*, 45(15-16), 2429-2440.

Can, Ö., Çelikten, İ., Usta, N., 2005, Etanol karışimli motorin yakıtın diesel motoru egzoz emisyonlarına etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(2), 219-224.

Chauhan, B.S., Kumar, N., Cho, H.M., 2012, A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with Jatropha biodiesel oil and its blends, *Energy*, 37(1), 616-622.

Chen, H., Shuai, S., Wang, J., 2007, Study on combustion characteristics and PM emission of diesel engines using ester–ethanol–diesel blended fuels, *Proceedings of the Combustion Institute*, 31(2), 2981-2989.

Çağlayan, S., Kıymaz, T., Koç, A., Bölük, G., Bilgin, D., 2012, Dünya ve Türkiye biyo-enerji piyasalarındaki gelişmelerin ve potansiyel değişikliklerin Türk tarım ve hayvancılık sektörleri üzerindeki etkilerinin modellenmesi ve Türkiye için biyo-enerji politika alternatiflerinin oluşturulması, *T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü (TEPGE)*, TEPGE Yayın No: 204, ISBN:978-605-4672-01-1, Ankara, 9-15, 20-23.

Çalışkan, H., 2009, İçten yanmalı motorlarda ekserji analizi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 21-23.

Çanakçı, M., Hoşöz, M., 2006, Energy and exergy analyses of a diesel engine fuelled with various biodiesels, *Energy Sources-Part B*, 1(4), 379-394.

Çelikten, İ., 2004, Tam yükte çalışan indirekt püskürtmeli bir dizel motorunda, dizel ve dizel-etanol yakıt karışımlarının performans ve emisyon değişimlerine etkisi, *Teknoloji*, 7(1), 11-18.

Çelikten, İ., 2011, The effect of biodiesel, ethanol and diesel fuel blends on the performance and exhaust emissions in a di diesel engine, *Gazi University Journal of Science*, 24(2), 341-346.

Çelikten, İ., Gürü, M., 2011, petrodizel ve kanola biyodizeli performans ve emisyon kriterlerinin mangan esaslı katkı maddeleriyle geliştirilmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 26(3), 643-648.

Çengelci, E., Bayrakçeken, H., Aksoy, F., 2011, Hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin dizel yakıtı ile karşılaştırılması, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(1), 41-53.

Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y., Karaosmanoğlu, F., 2005, Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel, *Energy Conversion and Management*, 46(7-8), 1279-1291.

De Caro, P., S., Mouloungui, Z., Vaitilingom, G., Berge, J.C., 2001, Interest of combining an additive with diesel-ethanol blends for use in diesel engines, *Fuel*, 80(4), 565-574.

Demir, B., 2009, Küçük ölçekli bir biyodizel sisteminin oluşturulması, elde edilen pamuk yağı metil esterinin motor performans testleri, enerjetik ve ekserjetik değerlendirilmesi, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 3-4, 73-76, 101-220.

Demirci, A., Gümüş, M., Sayın, C., Atmaca, M., Binark, A.K., Işkan, M.O., 2011, Sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda biyodizel-dizel karışımlarının egzoz emisyonlarına etkisi, *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ-Türkiye, 25-27.

Dhar, A., Kevin, R., Agarwal, A.K., 2012, Production of biodiesel from high-FFA neem oil and its performance, emission and combustion characterization in a single cylinder DIC engine, *Fuel Processing Technology*, 97, 118-129.

Dizge N., Canlı O., Karpuzcu, M., 2005, Biyodizel kullanımının çevre için önemi, *3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, Mersin-Türkiye.

Doğan, P., 2009, Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Hava Yönetimi Dairesi Başkanlığı*, Eskişehir.

Ejder, S.B., 2007, Etanol - dizel, biyodizel - dizel yakıt karışımlarının kullanımının motor performansına etkilerinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-4, 54-118.

Enweremadu, C.C., Rutto, H.L., Peleowo, N., Performance evaluation of a diesel engine fueled with methyl ester of shea Butter, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 79, 142-146.

Erkal, G., 2010, Comparison of engine performance and emissions for conventional petroleum diesel fuel and diesel-ethanol blends, *The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University*, The Degree of Master of Science, 3-6, 23-84.

Eryılmaz, T., Yeşilyurt, M.K., Cesur C., Yumak, H., Aydın, E., Çelik, S.A., Yıldız, A.K., 2014a, Yozgat ili şartlarında yetiştirilen aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Dinçer çeşidinden üretilen biyodizelin yakıt özelliklerinin belirlenmesi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31(1), 63-72.

Eryılmaz, T., Yeşilyurt, M.K., Cesur C., Aydın, E., 2014b, Aspir (*Carthamus tinctorius* L.), Remzibey-05 tohum yağı metil esteri: potansiyel dizel motor uygulamaları için yakıt özellikleri, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(1), 85–90.

Fattah, I.M.R., Masjuki, H.H., Kalam, M., Wakil, M.A., Ashraful, A.M., Shahir, S.A., 2014, Experimental investigation of performance and regulated emissions of a diesel engine with *Calophyllum inophyllum* biodiesel blends accompanied by oxidation inhibitors, *Energy Conversion and Management*, 83, 232-240.

Gerpen, J.V., Knothe, G., 2005, The biodiesel handbook- Chapter IV, Editors: Gerhard Knothe, Jon Van Gerpen, Jürgen Krahl, *AOCS (American Oil Chemists' Society) Press*, Champaign/Illinois USA, 26-41.

Hansen, A.C., Zhang, Q., Lyne, P.W.E., 2005, Ethanol–diesel fuel blends—a review, *Bioresource Technology*, 96(3), 277-285.

Haşimoğlu, C., 2005, Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Sakarya, 72-88.

He, B., Shuai, S., Wang, J., He, H., 2003, The effect of ethanol blended diesel fuels on emissions from a diesel engine, *Atmospheric Environment*, 37(35), 4965-4971.

Hoekmana, S.K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., Natarajan, M., 2012, Review of biodiesel composition, properties, and specifications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 143-169.

Holman, J.P., 1994, Experimental Methods for Engineers, *McGraw-Hill Book Company*, New York.

Huang, J., Wang, Y., Li, S., Roskilly, A.P., Yu, H., Li, H., 2009, Experimental investigation on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with ethanol–diesel blends, *Applied Thermal Engineering*, 29(11-12), 2484-2490.

Imtenan, S., Masjuki, H.H., Varman, M., Kalam, M.A., Arbab, M.I., Sajjad, H., Ashrafur Rahman, S.M., 2014, Impact of oxygenated additives to palm and jatropa

biodiesel blends in the context of performance and emissions characteristics of a light-duty diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 83, 149-158.

Ishida, M., Yamamoto, S., Ueki, H., Sakaguchi, D., 2010, Remarkable improvement of NO_x – PM trade-off in a diesel engine by means of bioethanol and EGR, *Energy*, 35(12), 4572-4581.

İleri, E., Koçar, G., 2014, Experimental investigation of the effect of antioxidant additives on NO_x emissions of a diesel engine using biodiesel, *Fuel*, 125(1), 44-49.

İlkdoğan, U., 2012, Türkiye’de aspir üretimi için gerekli koşullar ve oluşturulacak politikalar, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Üniversitesi, Ankara, 156-157.

İlkılıç, C., Aydın, S., Behçet, R., Aydın, H., 2011, Biodiesel from safflower oil and its application in a diesel engine, *Fuel Processing Technology*, 92(3), 356-362.

Jagdish, D., Kumar, P.R., Murthy, K.M., 2011, Performance and emission characteristics of diesel engine run on biofuels based on experimental and semi analytical methods, *International journal of energy and environment*, 2(5), 899-908.

Karabaş, H., 2013, Ülkemiz ıslahçı çeşitlerinden Remzibey- 05 aspir (*Carthamus tinctorius* L.) tohumlarından üretilen biyodizelin yakıt özelliklerinin incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), 9-17.

Kaya, M., 2010, Biyodizel-dizel karışımı kullanılan bir dizel motorda püskürtme basıncının performans ve emisyonlara etkisi, *Marmara üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 49-79.

Kegl, B., 2008, Effects of biodiesel on emissions of a bus diesel engine, *Bioresource Technology*, 99(4), 863-873.

Keskin, A., Gürü, M., Altıparmak, A., 2007, Tall yağı biyodizelinin dizel yakıtı ile %90 oranındaki karışımının alternatif dizel yakıtı olarak incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(1), 57-63.

Keskin, A., Gürü, M., Altıparmak, D., Aydın, K., 2008, Using of cotton oil soapstock biodiesel–diesel fuel blends as an alternative diesel fuel, *Renewable Energy*, 33(4), 553-557.

Khanahmadzadeh, S., Khanahmadzadeh, A., 2012, Physico-chemical properties of biodiesel produced from safflower oil, *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2(11), 11521-11525.

Kim, H., Choi, B., 2008, Effect of ethanol–diesel blend fuels on emission and particle size distribution in a common-rail direct injection diesel engine with warm-up catalytic converter, *Renewable Energy*, 33(10), 2222-2228.

Kiss, A.A., 2010, Separative reactors for integrated production of bioethanol and biodiesel, *Computers and Chemical Engineering*, 34(5), 812-820.

Knothe, G., 2005, The biodiesel handbook- Chapter I, Editors: Gerhard Knothe, Jon Van Gerpen, Jürgen Krahl, *AOCS (American Oil Chemists' Society) Press*, Champaign/Illinois USA, 1-3.

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(7-8), 1053-1061.

Labeckas, G., Slavinskas, S., 2009, Comparative performance of direct injection diesel engine operating on ethanol, petrol and rapeseed oil blends, *Energy Conversion and Management*, 50(3), 792-801.

Lapuerta, M., Armas, O., Herreros, J.M., 2008, Emissions from a diesel–bioethanol blend in an automotive diesel engine, *Fuel*, 87(1), 25-31.

Lei, j., Bi, Y., Shen, L., 2011, Performance and emission characteristics of diesel engine fueled with ethanol-diesel blends in different altitude regions, *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2011(417421), 1-10.

Lei, J., Shen, L., Bi, Y., Chen, H., 2012, A novel emulsifier for ethanol-diesel blends and its effect on performance and emissions of diesel engine, *Fuel*, 93, 305-311.

Lesnik, I., Iljaz, J., Hribernik, A., Kegl, B., 2014, Numerical and experimental study of combustion, performance and emission characteristics of a heavy-duty DI diesel engine running on diesel, biodiesel and their blends, *Energy Conversion and Management*, 81, 534-546.

Liaquat, A.M., Kalam, M.A., Masjuki, H.H., Jayed, M.H., 2011, Engine performance and emissions analysis using “Envo Diesel” and coconut biodiesel blended fuel as alternative fuels, *2nd International Conference on Environmental Science and Technology*, Singapore, 1, 168-172.

Lin, C., Li, R., 2009, Engine performance and emission characteristics of marine fish-oil biodiesel produced from the discarded parts of marine fish, *Fuel Processing Technology*, 90(7-8), 883-888.

Liu, B., Benson, A., 2013, Suitability of biodiesel from winter safflower on the southern high plains, *The Texas Journal of Agriculture and Natural Resources*, 26, 1-13.

MEGEP, 2006, Dizel yakıt sistemleri, *Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara, 13-4.

Melikoğlu, M., Albostan, A., 2011, Türkiye’de biyoetanol üretimi ve potansiyeli, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(1), 151-160.

Meral, R., Kanberoğlu, G.S., 2012, Tahıllardan Etanol Üretimi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(3), 61-68.

Mihaela, P., Josef, R., Monica, N., Rudolf, Z., 2013, Perspectives of safflower oil as biodiesel source for South Eastern Europe (comparative study: Safflower, soybean and rapeseed), *Fuel*, 111, 114-119.

Mofijur, M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Atabani, A.E., Arbab, M.I., Cheng, S.F., Gouk, S.W., 2014, Properties and use of Moringa oleifera biodiesel and diesel fuel blends in a multi-cylinder diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 82, 169-176.

Moron-Villarreyes, J.A., Soldi, C., de Amorim, A.M., Pizzolatti, M.G., de Mendonça Jr, A.P., D'Oca, M.G.M., 2007, Diesel/biodiesel proportion for by-compression ignition engines, *Fuel*, 86(12-13), 1977-1982.

Nabi, N., Rahman, M., Akhter, S., 2009, Biodiesel from cotton seed oil and its effect on engine performance and exhaust emissions, *Applied Thermal Engineering*, 29(11-12), 2265-2270.

Nişancı, S., 2007, Biyodizel yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin deneysel araştırılması, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 38-60.

Oğuz, H., Öğüt, H., Gökdoğan, O., 2012, Türkiye tarım havzaları üretim ve destekleme modelinin biyodizel sektörüne etkisinin incelenmesi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(2,EK-A), 77-84.

Ong, H.C., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.I., Silitonga, A.S., Chong, W.T., Leong, K.Y., 2014, Optimization of biodiesel production and engine performance from high free fatty acid Calophyllum inophyllum oil in CI diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 81, 30-40.

Öğüt H., Oğuz H., Bacak S., Mengeş H. O., Köse A., Eryılmaz T., 2011, Balcı çeşit aspirin biyodizel özelliklerinin incelenmesi, *Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar Çalıştayı*, Konya.

Ölçüm, T., 2006, Biyodizel teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 60-64.

Özdemir, M., 2011, Bir dizel motorda biyodizel ve etanol kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 82-85, 90-115.

Özener, O., Yüksel, L., Ergenç, A.T., Özkan, M., 2014, Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics, *Fuel*, 115, 875-883.

Özkaynak, S., 2010, Dizel ve biyodizel yakıtının bir dizel motorundaki silindir içi basınç değişimine bağlı ısı yayılımının incelenmesi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 23-80.

Özsezen, A.N., 2007, Atık palmiye yağından üretilen biyodizelin motor performans ve emisyon karakterleri üzerine etkisinin incelenmesi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, Kocaeli, 64-145.

Özsezen, A.N., Çanakçı, M., 2009, Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2), 173-180.

Öztürk, M.G., 2008, Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak biyodizel kullanılmasının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale, 44-58.

Parekh, P.R., Goswami, J., 2012, Emission and performance of diesel engine using waste cooking oil bio diesel blends-review, *Journal of Engineering Research and Studies*, 3(1).

Patterson, J., Hassan, M.G., Clarke, A., Shama, G., Hellgardt, K., Chen, R., 2006, Experimental study of DI diesel engine performance using three different biodiesel fuels, *SAE*, 2006-01-0234.

Peterson, C.L., Hustrulid, T., 1998, Carbon cycle for rapeseed oil biodiesel fuels, *Biomass and Bioenergy*, 14(17-18), 91-101.

Pidol, L., Lecointe, B., Starck, L., Jeuland, N., 2012, Ethanol–biodiesel–diesel fuel blends: Performances and emissions in conventional diesel and advanced low temperature combustions, *Fuel*, 93, 329-338.

Pilusa, T.J., Mollagee, M.M., Muzenda, E., 2012, Reduction of vehicle exhaust emissions from diesel engines using the whale concept filter, *Aerosol and Air Quality Research*, 12, 994-1006.

Prasad, L., Pradhan, S., Das, L.M., Naik, S.N., 2012, Experimental assessment of toxic phorbol ester in oil, biodiesel and seed cake of *Jatropha curcas* and use of biodiesel in diesel engine, *Applied Energy*, 93, 245-250.

Qi, D.H., Chen, H., Geng, L.M., Bian, Y.Z., 2011, Effect of diethyl ether and ethanol additives on the combustion and emission characteristics of biodiesel-diesel blended fuel engine, *Renewable Energy*, 36(4), 1252-1258.

Rakopoulos, C.D., Antonopoulos, K.A., Rakopoulos, D.C., 2007, Experimental heat release analysis and emissions of a HSDI diesel engine fueled with ethanol–diesel fuel blends, *Energy*, 32(10), 1791-1808.

Rakopoulos, C.D., Rakopoulos, D.C., Hountalas, D.T., Giakoumis, E.G., Andritsakis, E.C., 2008a, Performance and emissions of bus engine using blends of diesel fuel with bio-diesel of sunflower or cottonseed oils derived from Greek feedstock, *Fuel*, 87(2), 147-157.

Rakopoulos, D.C., Rakopoulos, C.D., Kakaras, E.C., Giakoumis, E.G., 2008b, Effects of ethanol–diesel fuel blends on the performance and exhaust emissions of heavy duty DI diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 49(11), 3155-3162.

Randazzo, M.L., Sodre, J.L., 2011, Exhaust emissions from a diesel powered vehicle fuelled by soybean biodiesel blends (B3–B20) with ethanol as an additive (B20E2–B20E5), *Fuel*, 90(1), 98-103.

Rao, G.A.P., Mohan, P.R., Effect of supercharging on the performance of a DI Diesel engine with cotton seed oil, *Energy Conversion and Management*, 44(6), 937-944.

Rounce, P., Tsolakis, A., York, A.P.E., 2012, Speciation of particulate matter and hydrocarbon emissions from biodiesel combustion and its reduction by aftertreatment, *Fuel*, 96, 90-99.

Saha, A., 2006, vaporization characteristics of pure and blended biofuel droplet injected into hot stream of air, *College of Engineering and Computer Science at the University of Central Florida*, Master Thesis, Orlando/Florida, 15-16.

Sahoo, P.K., Das, L.M., 2009, Combustion analysis of Jatropha, Karanja and Polanga based biodiesel as fuel in a diesel engine, *Fuel*, 88(6), 994-99.

Shi, X., Yu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J., Li, R., 2005, Emission characteristics using methyl soyate–ethanol–diesel fuel blends on a diesel engine, *Fuel*, 84(12-13), 1543-1549.

Soysal, C., 2008, Dizel motorlarında biyodizel - dizel yakıtı karışımlarının kullanılmasının motor performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 37-153.

Su, J., Zhu, H., Bohac, S.V., 2013, Particulate matter emission comparison from conventional and premixed low temperature combustion with diesel, biodiesel and biodiesel–ethanol fuels, *Fuel*, 113, 221-227.

Swaminathan, C., Sarangan, J., 2012, Performance and exhaust emission characteristics of a CI engine fueled with biodiesel (fish oil) with DEE as additive, *Biomass and Bioenergy*, 39, 168-174.

Şahin, S., 2013, Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Tahvildari, K., Esmaili, S., Sharif, A.A.M., 2013, Studying some effective parameters on transesterification reaction to produce biodiesel from safflower oil, *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(3), 292-297.

Tan, P., Hu, Z., Lou, D., Li, Z., 2012, Exhaust emissions from a light-duty diesel engine with Jatropha biodiesel fuel, *Energy*, 39(1), 356-362.

Tomic, M.D., Savin, L.D., Micic, R.D., Smikic, M.D., Furman, T.F., 2013, Effects of fossil diesel and biodiesel blends on the performances and emissions of agricultural tractor engines, *Thermal Science*, 17(1), 263-278.

TPAOGM (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü, 2013, 2012 yılı ham petrol ve doğal gaz sektör raporu, Türkiye, 2-4.

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), 2014, *Basın odası haberleri*, 2014/9.

Uludağ, V.K., 2010, Biyodizel kullanımında püskürtme avansının performans ve emisyonlara etkisi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 47-70.

Ulusoy, Y., Alibaş, K., 2002, Diesel motorlarda biodiesel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16, 37-50.

Uslu, K., 2006, Dizel motorlarında farklı püskürtme avanslarında dizel yakıtı + etanol kullanımının performans ve emisyonlara etkisi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, 15-73.

Usta, N., Öztürk, E., Can, Ö., Conkur, E.S., Nas, S., Çon, A.H., Can, A.Ç., Topcu, M., 2005, Combustion of biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/waste sunflower oil mixture in a Diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 46(5), 741-755.

Utlu, Z., Koçak, M.S., 2008, The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions, *Renewable Energy*, 33(8), 1936-1941.

Uyumaz, A., 2009, Pamuk yağı esaslı biyodizel ile çalışan bir dizel motorunda yakıt püskürtme avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 32-33, 42-43, 45-48, 72-98.

Üçgül, İ., Akgül, E., 2010, Biyokütle teknolojisi, *Yekarum Dergi*, 1(1), 3-11.

Varatharajan, K., Cheralathan, M., Velraj, R., 2011, Mitigation of NOx emissions from a jatropha biodiesel fuelled DI diesel engine using antioxidant additives, *Fuel*, 90(8), 2721-2725.

Xing-cai, L., Jian-guang, Y., Wu-gao, Z., Zhen, H., 2004, Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol–diesel blend fuel, *Fuel*, 83(14-15), 2013-2020.

Yılmaz, N., 2012, Comparative analysis of biodiesel ethanol diesel and biodiesel methanol diesel blends in a diesel engine, *Energy*, 40(1), 210-213.

Yılmaz, N., Vigil, F.M., Donaldson, A.B., Darabseh, T., 2014, Investigation of CI engine emissions in biodiesel–ethanol–diesel blends as a function of ethanol concentration, *Fuel*, 115, 790-793.

Yücel, L.H., 2008, Pamuk yağının alternatif dizel yakıtı olarak kullanılması", *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1), 185-192.

Yücesu, H.S., İlkılıç, C., 2006, Effect of cotton seed oil methyl ester on the performance and exhaust emission of a diesel engine, *Energy Sources - Part A*, 28(4), 389-398.

Zhu, H., Bohac, S.V., Nakashima, K., Hagen, L.M., Huang, Z., Assanis, D.N., 2013a, Effect of fuel oxygen on the trade-offs between soot, NOX and combustion efficiency in premixed low-temperature diesel engine combustion, *Fuel*, 112, 459-465.

Zhu, H., Bohac, S.V., Nakashima, K., Hagen, L.M., Huang, Z., Assanis, D.N., 2013b, Effect of biodiesel and ethanol on load limits of high-efficiency premixed low-temperature combustion in a diesel engine, *Fuel*, 106, 773-778.

Zhu, L., Cheung, C.S., Zhang, W.G., Huang, Z., 2011a, Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with ethanol-biodiesel blends, *Fuel*, 90(5), 1743-1750.

Zhu, L., Cheung, C.S., Zhang, W.G., Huang, Z., 2011b, Effect of charge dilution on gaseous and particulate emissions from a diesel engine fueled with biodiesel and biodiesel blended with methanol and ethanol, *Applied Thermal Engineering*, 31(14-15), 2271-2278.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İlker ÖRS
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Aksaray / 1980
Telefon : 0 505 528 01 30
Faks : 0 382 215 31 51
e-mail : ilkerors@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Selçuklu End. Mes. Lisesi, Selçuklu, Konya	1997
Üniversite	: Zonguldak Karaelmas Ünv. Tek.Eğt.Fak., Karabük	2003
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi FBE, Konya	2007
Doktora	: Selçuk Üniversitesi FBE, Konya	2014

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2005-2009	Selçuk Ünv. Tek. Eğt. Fak.	Araştırma Görevlisi
2009-	Aksaray Ünv. Tek. Bil. MYO	Öğretim Görevlisi

UZMANLIK ALANI

İçten yanmalı motorlar, Taşıt ve motor performansları, Egzoz emisyonları, Alternatif motor yakıtları, Yenilenebilir enerji, Yakıtlar ve yanma.

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Sugozu, İlker; Eryılmaz, Tanzer; **Örs, İlker**; Solmaz, Özgür, 2011, Biodiesel Production from Animal Fat - Palm Oil Blend and Performance Analysis of Its Effects on a Single Cylinder Diesel Engine, Energy Education Science and Technology Part A- Energy Science and Research, 28(1), 505-514.

Örs, İlker; Tarakçıoğlu, Necmettin; Ciniviz, Murat, 2009, Bir Taşıtta Yakıt Olarak Benzin-Etanol Karışımlarının Kullanımının Tekerlek Tahrik Gücüne ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 2A0017, 192-201 (Yüksek Lisans Tezinden Yapılmıştır).

Örs, İlker; Tarakçıoğlu, Necmettin; Ciniviz, Murat, 2009, Yakıt Olarak Benzin Etanol Karışımlarının Taşıt Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, *Politeknik Dergisi*, 12(1), 13-19. (Yüksek Lisans Tezinden Yapılmıştır).