

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ÜNSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YENİLENEBİLİR ALTERNATİF YAKITLARIN DİZEL MOTORLARDA
KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLAR ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aytekin HOÇUR

**OCAK 2015
GÜMÜŞHANE**

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YENİLENEBİLİR ALTERNATİF YAKITLARIN DİZEL MOTORLARDA
KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLAR ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aytekin HOÇUR

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“Makine Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28.11.2014

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 05.01.2015

OCAK 2015




KABUL ve ONAY

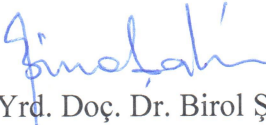


Doç. Dr. İsmet SEZER'in danışmanlığında Aytekin HOÇUR tarafından hazırlanan “ YENİLENEBİLİR ALTERNATİF YAKITLARIN DİZEL MOTORLARDA KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ ” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.


Başkan (Danışman)

: 
Doç. Dr. İsmet SEZER

Üye

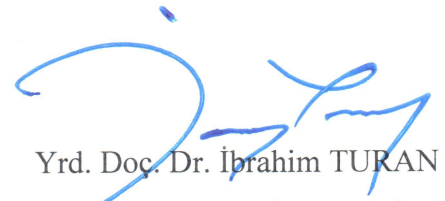
: 
Yrd. Doç. Dr. Birol ŞAHİN

Üye

: 
Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAŞOĞLU

ONAY

Bu tez **18/02** / 2015 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. İbrahim TURAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YENİLENEBİLİR ALTERNATİF YAKITLARIN DİZEL MOTORLARDA
KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLAR ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Aytekin HOÇUR

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İsmet SEZER

2015, 76 Sayfa

Dizel motorları yüksek verim ve yüksek moment, artan devir sayıları, dayanıklılık ve benzin motorlarına kıyasla daha düşük karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonu salınımı gibi üstünlükleri sebebiyle özellikle hafif karayolu taşıtlarında son yıllarda daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, dizel motorları özellikle petrol kökenli yakıtlar kullanıldığında yüksek oranda azot oksit (NO_x), is ve partikül madde (PM) emisyonu üretirler. Dizel motorlarında yakıt ekonomisi sağlamak ve zararlı egzoz emisyonlarını azaltmak için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler içinde konvansiyonel yakıtların özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla içerisinde belirli oranlarda çeşitli alternatif yakıtların katılması ve konvansiyonel yakıtların yerine özellikle yenilenebilir alternatif yakıtların kullanımı kirletici emisyonlarının azaltılması ve

gelecekteki enerji ihtiyacının karşılanması için umut verici bir çözüml olarak görölmektedir.

Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilcek yakıtlar arasında doğalgaz, hidrojen, biyogaz, biyodizel, alkoller ve çeşitli sentetik yakıtlar sayılabilir. Ayrıca motorinin özelliklerini iyileştirmek amacıyla özellikle içeriğinde oksijen bulunan metanol, etanol gibi alkoller, biyodizel ve çeşitli eterler dizel yakıtına belirli oranlarda katılabilmektedir.

Bu çalışmada dizel motorlarda kullanılmaya elverişli çeşitli yenilenebilir alternatif yakıtların saf olarak ve motorine karıştırılarak kullanılmasının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri teorik ve deneysel olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dizel motorlar, Egzoz emisyonları, Motor performansı, Oksijenatlar, Yenilenebilir alternatif yakıtlar

ABSTRACT

MS THESIS

**INVESTIGATION THE EFFECTS OF USING THE RENEWABLE
ALTERNATIVE FUELS IN DIESEL ENGINES ON PERFORMANCE AND
EMISSIONS**

Aytekin HOÇUR

Gümüşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İsmet SEZER

2015, 76 Pages

Diesel engines commonly have been begun to use on especially light duty vehicles in recent years due to reasons of the high efficiency, high torque, increased engine speed, durability and lower carbon monoxide (CO) and hydrocarbon (HC) emissions compared to gasoline engines. However, diesel engines emits a high percentage of nitric oxides (NO_x), smoke and particulate matter (PM) when operates with petroleum based fuels. Several methods have been applied in diesel engines to get fuel economy and decrease the harmful exhaust emissions. Among these methods, the addition of various alternative fuels into the conventional fuels to improve their properties and using of some renewable alternative fuels instead of conventional fuels are regarded as a promising solution to reduce the pollutant emissions and meet the future energy demand.

Alternative fuels that can be used in diesel engines are listed as natural gas, hydrogen, biogas, biodiesel and various synthetic fuels. Additionally, oxygen containing fuels such as methanol, ethanol, biodiesel and various ethers can be added to diesel fuel at different ratios to improve its properties.

In this study, the effects of various renewable alternative fuels which are suitable for diesel engines by using pure or an additive in diesel engines on engine performance and exhaust emissions have been investigated as theoretically and experimentally.

Keywords: Diesel engines, Exhaust emissions, Engine performance, Oxygenates, Renewable alternative fuels

TEŞEKKÜR

Günümüzde içten yanmalı motorlar başta karayolu taşıtları olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılan güç kaynaklarıdır. İçten yanmalı motorlarda genel olarak petrolden elde edilen fosil kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Her geçen gün taşıt sayısının artmasına paralel olarak yakıt tüketimi de katlanarak artmaktadır. Bunun sonucunda hem sınırlı olan petrol kaynakları azalmakta hem de petrole olan talep arttığı için petrol fiyatları sürekli yükselmektedir. Ayrıca motorlu taşıt sayısının sürekli artması sonucunda özellikle trafiğin yoğun olduğu şehirlerde taşıtlardan yayılan egzoz gazları atmosferi ve çevreyi kirleterek ekolojik dengeye ve insan sağlığına zarar vermektedir. Motorlu taşıtlarla ilgili bu sorunlar motorlarda kullanılacak alternatif yakıtlarla ilgili araştırmalara önem kazandırmaktadır.

Bu tez çalışmasında dizel motorlarda kullanılmaya elverişli özellikle yenilenebilir alternatif yakıtların saf veya motorinde katkı olarak kullanılmasının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tez çalışmam süresince bana bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. İsmet SEZER'e teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalardaki katkılarından dolayı Gümüşhane Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında görevli tekniker Emrah KARA'ya teşekkür ederim. Ayrıca bana maddi manevi destek veren ve özveride bulunan aile bireylerime teşekkürlerimi sunarım.

Aytekin HOÇUR
Gümüşhane, 2015

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	III
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Dizel Motorları	3
1.3. Dizel Motorlarda Kullanılabilecek Alternatif Yakıtlar	5
1.4. Literatür Araştırması	9
1.5. Tez Çalışmasının Amaç ve Kapsamı	11
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	13
2.1. Teorik Çalışma	13
2.2. Deneysel Çalışma	19
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	25
3.1. Teorik Çalışma Sonuçlarının İrdelenmesi	25
3.1.1. Püskürtme Karakteristiklerinin İrdelenmesi.....	26
3.1.2. Yanma Karakteristiklerinin İrdelenmesi	30
3.1.3. Performans Karakteristiklerinin İrdelenmesi	37
3.1.4. Emisyon Karakteristiklerinin İrdelenmesi	46
3.2. Deneysel Çalışma Sonuçlarının İrdelenmesi	50
3.1.1. Püskürtme Karakteristiklerinin İrdelenmesi.....	50
3.1.2. Yanma Karakteristiklerinin İrdelenmesi	51
3.1.3. Performans Karakteristiklerinin İrdelenmesi	54
3.1.4. Emisyon Karakteristiklerinin İrdelenmesi	62
4. SONUÇLAR	67
5. ÖNERİLER	69
6. KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Dört zamanlı dizel motorların çalışma prensibi.....	3
Şekil 1.2. Dört zamanlı dizel motorların gerçek çevrimi.....	3
Şekil 1.3. Esterleştirme ile biyodizel üretimi.....	10
Şekil 2.1. Simülasyon programı kullanıcı ara yüzüne ait görseller	13
Şekil 2.2. Yakıt demeti ve yanma odası geometrisi.....	14
Şekil 2.3. Yakıt demeti karakteristik bölgeleri	15
Şekil 2.4. Deney düzeneğinin şematik görünüşü	20
Şekil 2.5. Egzoz ölçüm cihazı.....	21
Şekil 3.1. Modelden elde edilen verilerin deneysel verilerle karşılaştırılması	25
Şekil 3.2. Maksimum püskürtme basıncının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	26
Şekil 3.3. Ortalama damlacık çapının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	27
Şekil 3.4. Tutuşma gecikmesi yakıt buharlaşma oranının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	28
Şekil 3.5. Yakıt demeti nüfuz derinliğinin teorik incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi	29
Şekil 3.6. Yakıt demeti konisi açısının teorik incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi	29
Şekil 3.7. Tutuşma gecikmesi süresinin teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	30
Şekil 3.8. Yanma süresinin teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi ...	31
Şekil 3.9. Kütleli yanma oranının teorik incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi	32
Şekil 3.10. Isı yayılım oranının teorik incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi	32
Şekil 3.11. Silindir basıncının teorik incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi ..	33
Şekil 3.12. Maksimum silindir basıncının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	34
Şekil 3.13. Maksimum basınç artışının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	35

Şekil 3.14.	Ortalama silindir sıcaklığının teorik incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi	35
Şekil 3.15.	Maksimum silindir sıcaklığının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	36
Şekil 3.16.	Hava fazlalık katsayısının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	37
Şekil 3.17.	Egzoz gazı sıcaklığının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	38
Şekil 3.18.	Torkun teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	39
Şekil 3.19.	Efektif gücün teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	40
Şekil 3.20.	Ortalama efektif basıncın teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	40
Şekil 3.21.	Hacimsel verimin teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi..	41
Şekil 3.22.	Mekanik verimin teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi...	42
Şekil 3.23.	İndike verimin teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi.....	43
Şekil 3.24.	Efektif verimin teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi.....	44
Şekil 3.25.	Özgül yakıt tüketiminin teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	45
Şekil 3.26.	Azot oksit (NO) emisyonunun teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	46
Şekil 3.27.	Yanma sıcaklıklarının teorik incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi	47
Şekil 3.28.	Partikül madde (PM) emisyonunun teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	48
Şekil 3.29.	Karbondioksit (CO ₂) emisyonunun teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	49
Şekil 3.30.	Püskürtme basıncının deneysel incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi	50
Şekil 3.31.	Kütleli yanma oranının deneysel incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi	51
Şekil 3.32.	Isı yayılım oranının deneysel incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi	52

Şekil 3.33. Silindir basıncının deneysel incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi	53
Şekil 3.34. Ortalama silindir sıcaklığının deneysel incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi	53
Şekil 3.35. Hava fazlalık katsayısının deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	54
Şekil 3.36. Egzoz gazı sıcaklığının deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	55
Şekil 3.37. Efektif gücün deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi....	56
Şekil 3.38. Torkun deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi.....	57
Şekil 3.39. Ortalama efektif basıncın deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	57
Şekil 3.40. Hacimsel verimin deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	58
Şekil 3.41. Mekanik verimin deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	59
Şekil 3.42. İndike verimin deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi ..	60
Şekil 3.43. Efektif verimin deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi .	61
Şekil 3.44. Özgül yakıt tüketiminin deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	62
Şekil 3.45. Azot oksit (NO _x) emisyonlarının deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	63
Şekil 3.46. Hidrokarbon (HC) emisyonunun deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	64
Şekil 3.47. Karbon monoksit (CO) emisyonunun deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	65
Şekil 3.48. Karbondioksit (CO ₂) emisyonunun deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi	66

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Teorik çalışmada kullanılan yakıtların özellikleri	14
Tablo 2.2. Teorik ve deneysel çalışmada kullanılan motorun özellikleri	20
Tablo 2.3. Egzoz ölçüm cihazı özellikleri.....	22
Tablo 2.4. Deneysel çalışmada kullanılan yakıtların özellikleri	22

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

b_e	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
b_m	: Yakıt demeti ön kısmının kalınlığı (mm)
d_0	: Başlangıçtaki damlacık çapı (μm)
d_{32}	: Ortalama damlacık çapı (μm)
d_k	: Belli bir andaki damlacık çapı (μm)
D	: Silindir çapı (m)
h_{wfr}	: Duvar yüzeyi ön akış bölgesi yüksekliği (mm)
h	: Hava/yakıt oranı
h_{min}	: Stokiyometrik hava/yakıt oranı
H	: Strok uzunluğu (m)
H_u	: Yakıt alt ısı değeri (kJ/kg)
K	: Buharlaşma katsayısı
l	: Belli bir andaki yakıt demeti boyu (mm)
l_m	: Yakıt demeti nüfuz derinliği (mm)
\dot{m}_{hava}	: Hava debisi (kg/h)
$\dot{m}_{yakıt}$: Yakıt debisi (kg/h)
M	: Boyutsuz parametre
M_d	: Döndürme momenti (Nm)
n	: Devir sayısı (d/dk)
N_e	: Efektif güç (kW)
p	: Basınç (Pa)
P_{me}	: Ortalama efektif basınç (bar)
R	: Gaz sabiti (kJ/kg)
U_{0m}	: Nozul çıkışında ortalama yakıt hızı (m/s)
T	: Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$ veya K)
We	: Boyutsuz parametre
x	: Isı yayılım oranı
V_h	: Silindir hacmi (m^3)
Z	: Silindir sayısı

α	: Hava fazlalık katsayısı
η_e	: Efektif verim (%)
η_v	: Hacimsel verim (%)
λ_w	: Isı transfer katsayısı (W/m ² K)
μ	: Dinamik viskozite (Pa.s)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)
σ_f	: Yakıt yüzey gerilimi (N/m)
τ	: Zaman (s)
τ_{id}	: Tutuşma gecikmesi süresi (s)
ω	: Açısal hız (rad/s)
BD	: Biyodizel yakıtı
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbondioksit
CN	: Setan sayısı
D	: Dizel yakıtı
DEE	: Dietil eter
E	: Etanol
E15	: %15 etanol ve %85 dizel içeren yakıt karışımı
E15DEE2	: %15 etanol, %2 dietil eter ve %83 dizel içeren yakıt karışımı
E15DEE4	: %15 etanol, %4 dietil eter ve %81 dizel içeren yakıt karışımı
KYME	: Kanola yağı metil esterleri
NO _x	: Azot oksit emisyonu
PM	: Partikül madde emisyonu
SYME	: Soya yağı metil esterleri
SYME20	: %20 SYME ve %80 dizel içeren yakıt karışımı
SYME40	: %40 SYME ve %60 dizel içeren yakıt karışımı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Motorlu taşıtların, insanlara birçok yönden büyük kolaylıklar sağladığı ve günlük yaşantımızda vazgeçilemez bir yere sahip olduğu bilinmektedir. Ancak zaman içinde taşıt sayısının sürekli olarak artması taşıtlarla ilgili iki önemli sorunu gündeme getirmiştir. Bunlardan birincisi motorlu taşıtlarda petrolden elde edilen yakıtların kullanılması ve petrolün tükenebilir bir enerji kaynağı olması yanında petrol fiyatlarının sürekli artmasıdır. Diğer sorun ise taşıtlardan yayılan eksoz gazlarından kaynaklanan çevre kirliliği ve bu kirliliğin doğurmuş olduğu olumsuz sonuçlardır.

Petrolün tükenebilir bir enerji kaynağı olması ve dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmının petrolden karşılanması nedeniyle petrol fiyatları sürekli artış göstermektedir. 1974 petrol krizi ve 1991 Körfez savaşı, dünya petrol fiyatlarının artmasına neden olmuş ve özellikle ekonomik güçleri zayıf olan ülkeleri sarsmıştır. Ülkemiz de petrol fiyatlarındaki dalgalanmalardan en çok etkilenen ülkeler arasındadır (Çetinkaya ve Çelik, 1997). Uzmanlara göre petrol tüketimi önümüzdeki 10-20 yılda en üst düzeye ulaşacak ve petrole talep azalmadıkça petrol fiyatları sürekli artmaya devam edecektir (Nadim vd., 2001).

Ayrıca dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin miktarı kesin olarak bilinmemekte ise de, günümüzdeki tüketim oranları dikkate alındığında yaklaşık olarak doğal gazın 123 yıllık, ham petrolün 67 yıllık ve kömürün 230 yıllık bir rezerve sahip olduğu tahmin edilmektedir. Bu tahmini süreler bir miktar artabilir veya azalabilir. Ancak bu durum fosil yakıt kaynaklarının yakın bir gelecekte tükeneceği gerçeğini ortadan kaldırmamaktadır (Bilgin vd., 2001). Göz önünde bulundurulması gereken başka bir durum da petrol ürünlerinin yaklaşık 1/3'ünün karayolu taşıtlarında tüketilmesi ve trafiğe çıkan taşıt sayısının her geçen yıl daha hızlı artmasıdır.

Diğer taraftan fosil kökenli yakıtların çeşitli yakma sistemlerinde yakılması sonucunda meydana gelen çevre kirliliği ekolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır (Bilgin vd., 2001). Çevre kirliliğinin oluşumunda motorlu taşıtlar oldukça büyük bir paya sahiptir. Taşıtlardan yayılan egzoz gazları içinde çeşitli kirletici (zararlı) emisyonlar bulunmakta ve bu kirletici emisyonların çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir. İçten yanmalı motorların kullanımının yaygınlaşması ve motorlu

taşıt sayısının sürekli artmasıyla egzoz emisyonlarının çevre üzerindeki olumsuz etkileri daha fazla dikkat çekmeye başlamıştır. Özellikle trafiğin yoğun olduğu büyük şehirlerde taşıtlardan yayılan egzoz gazları çevre kirliliğinin ana kaynağıdır. Bu nedenle taşıtlardan yayılan kirletici emisyonların kontrolü büyük önem taşımaktadır.

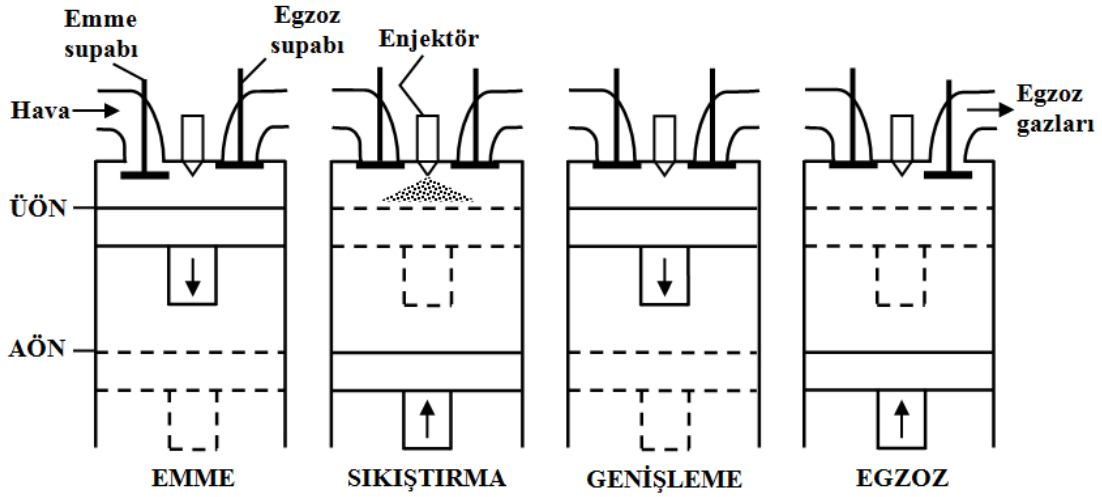
Dünyada çevre kirliliğinin artmasıyla ortaya çıkan olumsuz durumlar çevre bilincinin gelişmesine neden olmuş ve özellikle gelişmiş ülkeler çevreyi korumak amacıyla yasal düzenlemeler yapmışlardır. Bu bağlamda taşıtlardan yayılan kirletici egzoz emisyonlarıyla ilgili olarak da birçok ülkede yasal uygulamalar yapılmaktadır. Örneğin Amerika'da emisyonlarla ilgili ilk yasal düzenleme 1970'lerde yapılmış ve yapılan her yeni düzenlemede izin verilen emisyon sınırları sürekli azaltılmıştır. Yakın geçmişte ise bu yasal düzenlemeler motorlu taşıtlar dışında içten yanmalı motorların kullanıldığı diğer alanları da kapsayacak şekilde genişletilmiştir (Singer ve Harley, 2000).

Çevreyi korumak amacıyla kirletici egzoz emisyonlarıyla ilgili olarak yapılan yasal düzenlemeler ve taşıtlarda kullanılan petrole dayalı yakıtlarla ilgili yukarıda sözü edilen sorunlar otomobil üreticilerini ve konuyla ilgilenen bilim adamlarını yeni arayışlara yönlendirmiştir. Kirletici egzoz emisyonlarını azaltmak amacıyla taşıtlarda katalitik konvertörler (katalitik dönüştürücüler) vb. donanımlar kullanılmakta ve motor tasarımında yenilikler yapılmaktadır. Ayrıca hem kirletici emisyonları azaltmak hem de motor performansını artırmak için alternatif yakıtların ve yakıt karışımlarının kullanılmasıyla ilgili çalışmalara da literatürde ve uygulamada sıkça rastlanmaktadır.

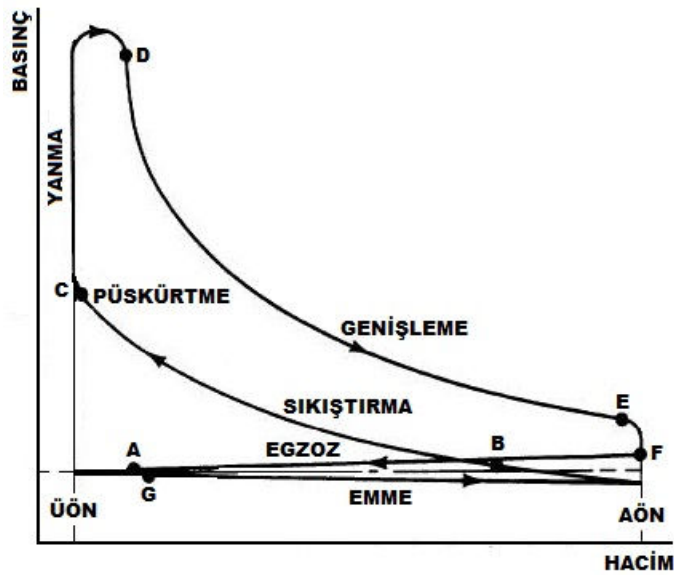
Bu tez çalışmasında, biyodizel, etanol (E), dietil eter (DEE) gibi kimyasal yapılarında oksijen bulunan yenilenebilir alternatif yakıtların dizel motorlarda saf veya katkı olarak kullanılmasının motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Teorik çalışmada kanola yağı metil esteri (KYME) ve soya yağı metil esteri (SYME) biyodizel yakıtlarının saf olarak kullanılmasının ve SYME biyodizel yakıtının % 20 ve 40 gibi farklı oranlarda dizel (D) yakıtına katılmasının performans ve emisyonlara etkileri internet üzerinden serbest erişime açık olan DIESEL-RK isimli programda tek silindirli direk püskürtmeli bir dizel motoru için model oluşturularak incelenmiştir. Deneysel çalışmada ise dizel yakıtına % 15 oranında etanol ve % 2 ve 4 oranlarında dietil eter katılarak elde edilen farklı yakıt karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri Gümüşhane Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan içten yanmalı motor deney düzeneği kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir.

1.2. Dizel Motorları

Dört zaman ilkesine göre çalışan dizel motorlarının çalışma prensibi ilk olarak 1892 yılında Alman mühendis Rudolf Diesel tarafından ortaya konulmuştur (MEB, 2011). Günümüze kadar bu motorlarda birçok geliştirme yapılmasına rağmen temel çalışma prensibi aynı kaldığından Rudolf Diesel'in adıyla anılırlar. Aşağıdaki şekillerde çalışma prensibi ve gerçek çevrimi verilen dört zamanlı dizel motorları yakın geçmişe kadar daha çok otobüs, kamyon, traktör, iş makineleri, deniz ve demiryolu taşıtları gibi yüksek güç gerektiren ağır hizmet tipi taşıtlarda ve sabit güç tesislerinde yaygın olarak kullanılmıştır.



Şekil 1.1. Dört zamanlı dizel motorların çalışma prensibi



Şekil 1.2. Dört zamanlı dizel motorların gerçek çevrimi (MEB, 2011)

Ancak, aşağıda sıralanan avantajları ve üretim teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde dizel motorları günümüzde hafif tip taşıtlarda da yaygın olarak tercih edilen bir konuma gelmişlerdir (MEB, 2011).

1) Dizel motorlarının sıkıştırma oranları benzin motorlarına göre daha yüksek olduğundan verimleri % 35-40 gibi daha yüksek değerlerdedir.

2) Verimlerinin yüksek olması ve benzin motorlarına göre daha fakir yakıt-hava karışımlarıyla çalışmaları nedeniyle dizel motorlarının yakıt sarfiyatları benzin motorlarına göre daha düşüktür.

3) Dizel motorlarda kullanılan motorinin litre fiyatı benzine göre daha ucuzdur.

4) Dizel motorlarda kullanılan motorin yangın açısından benzine göre daha emniyetlidir.

5) Zehirleyici özelliği olan karbon monoksit (CO) gazının salınımı dizel motorlarında benzin motorlarına göre daha düşüktür.

6) Dizel motorlarında üretilen moment yaklaşık sabit olduğundan çekiş karakteristikleri benzin motorlarından daha iyidir ve benzin motorlarına göre daha dayanıklı malzemelerden üretildiklerinden daha uzun ömürlüdürler.

7) Benzin motorlarına kıyasla dizel motorları turbo şarj ve süper şarj gibi aşırı doldurma sistemlerinin uygulanmasına daha elverişlidir. Bu sayede motor hacmi değiştirilmeden daha yüksek güçlerin elde edilmesine imkan sağlarlar.

Yukarıdaki avantajlarının yanında dizel motorların bazı dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir (MEB, 2011).

1) Dizel motorlarının devir sayıları benzin motorlarına göre daha düşük olduğundan güç / ağırlık oranları (özgül güçleri) daha düşük değerlerdedir.

2) Dizel motorlarda dayanıklı malzemeler ve hassas yakıt donanımları kullanıldığında ilk alış ve bakım maliyetleri benzin motorlarına göre daha yüksektir.

3) Dizel motorlarında sıkıştırma ve yanma basınçları benzin motorlarına göre daha yüksek olduğundan daha gürültülü ve titreşimli çalışırlar.

4) Dizel motorlarının ilk harekete geçişleri ve soğuk havalarda çalışmaları benzin motorlarına göre daha uzun sürer.

5) Dizel motorları yüksek oranda azot oksit (NO_x) ve partikül madde (PM) emisyonları yayarlar.

1.3. Dizel Motorlarda Kullanılabilecek Alternatif Yakıtlar

Fosil kökenli kaynakların sınırlı oluşu ve bunların tüketimdeki artışa paralel olarak fiyatlarının yükselmesi, çevre kirliliğinin doğurduğu olumsuz sonuçlar alternatif enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. Bu bağlamda motorlardan yayılan kirlenici emisyonları azaltmak, motor performansını ve verimini artırıp yakıt tüketimi azaltmak amacıyla özellikle yenilenebilir alternatif yakıtların motorlarda kullanımı son yıllarda en çok araştırılan konulardan biri haline gelmiştir. Dizel motorlarda kullanılabilecek alternatif yakıtlar arasında doğalgaz, biyogaz, hidrojen, biyodizel ve çeşitli sentetik yakıtlar sayılabilir. Ayrıca petrol kökenli dizel yakıtının özelliklerini iyileştirmek amacıyla özellikle yapısında oksijen bulunan metanol ve etanol gibi alkoller ve dimetil eter (DME), dietil eter gibi eterler dizel yakıtına belirli oranlarda katılarak kullanılabilmektedir (Öğüt ve Kuş, 1999). Aşağıda dizel motorlarda kullanılmaya elverişli bu yakıtlara ilişkin genel bilgilere yer verilmiştir.

Doğal gaz, yüksek oranda metan içeren ve dünya genelinde en bol miktarda elde edilebilen bir gaz yakıttır. Düşük egzoz emisyonu değerine ve yaklaşık 130 gibi yüksek oktan sayısına sahiptir. Yüksek oktan sayısına sahip olması buji ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranının 14 değerine kadar çıkarılmasına imkan sağlar. En önemli yetersizliği yüksek basınç altında veya düşük sıcaklıkta etkin olarak depolanabilmesidir (Kızıltan, 1988). Ayrıca birim hacimdeki ısı değeri düşüktür ve buji ateşlemeli motorlarda kullanıldığında hacimsel verimde düşüşe neden olur. Bunun sonucunda maksimum motor gücünde yaklaşık % 10 mertebesinde bir düşüş meydana gelir. Ancak bu güç düşüşü sıkıştırma oranının artırılmasıyla giderilebilmektedir. Doğal gazla çalışan araçların emisyon değerlerinin düşük olması yanında bu araçlardan yayılan egzoz emisyonlarının reaktivitesi de oldukça düşüktür. Örneğin doğal gazla çalışan araçlardan yayılan emisyonların ozon oluşumuna katkısı hidrojen dışındaki diğer yakıtlardan daha düşük seviyededir. Doğal gazla çalışan araçlarda egzoz gazı resirkülasyonu (EGR) uygulamasının NO_x emisyonlarını %50 oranında azalttığı belirtilmektedir (Das ve Reddy, 1996). Doğal gazla çalışan taşıtlar üzerinde yapılan çalışmalarda benzine göre % 10 daha düşük CO emisyonu değerleri elde edildiği bildirilmektedir (URL-1, 2014). Doğal gaz dizel motorlarda kullanımı ise çift yakıt uygulaması şeklinde olabilmektedir.

Biyogaz, yüksek oranda CH₄ içeren, bunun yanında bileşiminde CO₂ ve az miktarda hidrojen sülfür (H₂S), azot (N), karbon (C) vb. bulunan bir gaz yakıttır. Biyogaz organik

maddelerin (yeşil bitkilerin) oksijensiz ortamda biyolojik bozunuma uğratılması sonucunda elde edilir. Biyogazın ısı değeri, içerisindeki CH₄ oranına bağlıdır. Örneğin; %100 CH₄'ten oluşan biyogazın alt ısı değeri H_u=25200 kJ/m³ iken %70 CH₄ ve %30 CO₂ ve diğer gazlardan oluşan biyogaz için H_u=18900 kJ/m³'tür. Biyogazın oktan sayısı da yine bileşimine bağlı olarak değişir. % 100 CH₄'ten oluşan biyogaz için oktan sayısı 100 iken, % 70 CH₄ ve % 30 CO₂ ve diğer gazlardan oluşan biyogaz için oktan sayısı 130 değerine kadar çıkabilir. Biyogaz hem Diesel hem de benzin motorlarında (buji ile ateşlemeli motorlarda) kullanılmaya uygun bir yakıttır (Mitzlaff, 1988). Biyogazın dizel motorlarda kullanımı doğalgazda olduğu gibi çift yakıt uygulaması şeklinde yapılabilmektedir.

Hidrojen gelecekte çevre kirliliği ve enerji krizine çözüm olabilecek tek yakıt olarak görülmektedir (Das ve Reddy, 1996). Hidrojen, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan, güneş enerjisi ve nükleer enerjiden, su gibi sonsuz bir kaynaktan elde edilebilir. Hidrojen motor yakıtı olarak petrol kökenli yakıtlara göre birçok önemli avantaja sahiptir. 130 gibi yüksek oktan sayısı, yüksek yanma hızı ve tutuşma yeteneği, ateşleme enerjisinin düşük olması, geniş tutuşma ve yanma aralıkları, yüksek ısı değeri ve termik verim ve kirlenici egzoz gazı emisyonlarının azlığı hidrojeni çekici kılmaktadır (Öğüt ve Kuş, 1999; URL-1, 2014). Hidrojenin en önemli özelliklerinden birisi de çok fakir karışımlardan çok zengin karışımlara kadar uzanan geniş bir hava-yakıt karışım oranı yelpazesinin olmasıdır. Hidrojen hava fazlalık katsayısının 0,15-4,35 değerleri arasında tutuşma sağlanabilmektedir. Kimyasal yapısı nedeniyle hidrojenin yanması sonucunda sadece H₂O oluşur. HC, CO ve CO₂ gibi kirlenici emisyonlar oluşmaz. Günümüzde suyun elektrolizi ve benzeri kimyasal yollarla elde edilebilen hidrojen pahalıya mal olmaktadır. Ayrıca kullanımı ve depolanması ile ilgili birçok zorluklar vardır (Öğüt ve Kuş, 1999; Kızıltan, 1988). Hidrojen ile çalışan motorlar üzerinde yapılan çalışmalarda EGR uygulamasının NO_x emisyonlarını azalttığı, ayrıca hidrojene su veya Helyum, Argon gibi asal gazların eklenmesinin emisyonların kontrolünde yararlı olduğu görülmüştür (Das ve Reddy, 1996). Hidrojen buji ateşlemeli motorlarda kullanılabileceği gibi çift yakıtlı dizel motorlarda da kullanılmaya uygun bir yakıttır. Hidrojenin üretimi, dağıtımı, taşıtlarda depolanması ve kullanımı ile ilgili eksiklikler giderilebilirse gelecek için en ideal yakıt olarak düşünülmektedir.

Birçok bitki tohumunun yağları dizel yakıtı ile yaklaşık aynı ısı değere sahip olup biyodizel yakıt kaynağı olarak görülmektedir (Öğüt ve Kuş, 1999; URL-1, 2014). Biyodizel yakıtlarla ilgili çalışmalar soya fasulyesi, ayçiçeği, yer fıstığı, pamuk çekirdeği,

zeytin, kolza tohumu, palmiye ve susam yağları ile bunların karışımları veya esterleri üzerinde yapılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları olan bu bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel veya biyodizelin petrol kökenli yakıtlarla belli oranlardaki karışımları dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilir. Ayrıca bitkisel yağların yanı sıra hayvansal yağlar ve atık kızartma yağları da biyodizel yakıt kaynakları olarak kullanılabilir. Biyodizel yakıtlarla ilgili olarak yapılan kısa süreli deneysel çalışmalar ümit vericidir. Ancak uzun süreli kullanım sırasında yetersiz yanmadan kaynaklanan bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Biyodizel yakıtların kullanımı ile ilgili uzun süreli deneysel çalışmalarda yanma odası ve enjektörlerde kurum bağlama, segmanlarda yapışma (sakız oluşumu) ve motor yağlama yağında incelme gibi sorunlarla karşılaşmış olup bu sorunlar çözüm beklemektedir (Usta vd., 2005).

Alkoller de motorlarda kullanılabilen sıvı yakıtlardandır. Motorlarda yakıt olarak kullanılan alkollerin başında metanol ve etanol gelmektedir (Karabektaş, 2003; Eyidoğan vd., 2011). Metanol odun, kömür gibi katı yakıtların ısı altında damıtılmaları yoluyla, doğalgaza birtakım distilasyon işlemleri uygulanarak veya CO ve H₂'nin katalitik ortamda sentezleri sonucunda elde edilir. Ancak metanol üretiminde kullanılan kaynakların çoğunun yenilenebilir olmaması nedeniyle metanolün alternatif yakıt olarak kullanılması geçici bir süre için söz konusudur. Ayrıca günümüzdeki metanol üretim enerji dengesi negatiftir. Yani metanolün üretimi için yanma sonunda vereceği enerjiden fazla enerjiye ihtiyaç vardır. Metanolün diğer olumsuz yönleri ise zehirli ve gözü tahriş edici olmasıdır. Metanol yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın setan sayısı çok düşüktür. Bu sebeple dizel motorlarında kullanımında bir takım problemler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle metanol dizel motorlarında ancak buji kullanılması durumunda veya dizel yakıtıyla karıştırılması durumunda kullanılabilir. Fakat oktan sayısının yüksek olması nedeniyle buji ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranının artırılmasına imkan sağladığından rahatlıkla kullanılabilir. Metanolün ısı değeri petrol kökenli yakıtlara göre daha düşüktür ve buharlaşma ısısı yüksektir. Buharlaşma ısısının yüksek oluşu motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmaktadır. Metanolün kullanımında karşılaşılan diğer bir problem aşırı derecede korozyona neden olmasıdır (Öğüt ve Kuş, 1999; URL-1, 2014; Karabektaş, 2003). Bu sebeple metanolün kullanılabilmesi için özel yakıt püskürtme pompalarına, yakıt depolarına, yakıt sistemlerine ve yakıt istasyonlarında özel depolama tanklarına ihtiyaç vardır. Ayrıca metanolün nem tutma özelliğinin yüksek olması metanol içeren yakıt karışımlarında faz ayrışmasına neden olabilmektedir. Metanolün alev sıcaklığının düşük

olması yanmanın iyileşmesini ve yanma ürünleri içindeki NO_x ve CO'nun azalmasını sağlamaktadır. Diğer taraftan sera etkisini önemli ölçüde etkileyen CO₂ emisyonu da metanol kullanılması durumunda bir miktar azalmaktadır. Etanol içerisinde şeker, selüloz veya nişasta gibi maddeler bulunan patates, tahıllar, şeker kamışı ve şeker pancarı gibi tarım ürünlerinin fermantasyonu sonucu elde edilen alkol türüdür. Etanol yenilenebilir, temiz ve zehirsiz bir yakıttır. Etanolün ısı değeri petrol kökenli yakıtlara göre daha düşüktür. Etanol yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın setan sayısı çok düşüktür ve dizel motorlarında kullanımı bir takım problemler oluşturur. Bu sebeple etanol dizel motorlarında ancak buji kullanılması durumunda veya dizel yakıtla karıştırılarak kullanılabilir. Fakat oktan sayısı yüksek olduğundan buji ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığından etanolün bu motorlarda kullanımı daha avantajlıdır. Etanolün buharlaşma ısı yüksek buhar basıncı ise düşüktür. Buharlaşma ısısının yüksek oluşu motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırır. Etanolün en önemli dezavantajlarından biri içinde bulunan suyun yakıt donanımı ve emme sistemi üzerindeki korozyon etkisidir. Korozyonu önlemek için yakıt ve emme sistemi koruyucu maddelerle kaplanmaktadır. Ayrıca etanolün nem tutuculuk özelliğinin yüksek olması etanol-benzin yakıt karışımlarında faz ayrışmasına neden olabilmektedir (URL-1, 2014; Karabektaş, 2003; Eyidoğan vd., 2011). Etanolün alev sıcaklığının düşük olması yanma işleminin iyileşmesini ve yanma ürünleri içindeki NO_x ve CO'nun azalmasını sağlamaktadır. Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı gibi alkoller tek başına motor yakıtı olarak kullanılabilirdiği gibi petrol kökenli yakıtlara belirli oranlarda katılarak karışımlar şeklinde de kullanılabilirler. Ancak, alkollerin yakıt katkısı olarak kullanımı daha avantajlı bir uygulama olarak görülmektedir. Bu nedenle alkoller Brezilya, A.B.D. ve bazı Avrupa ülkelerinde yakıt katkısı olarak kullanılmaktadır.

Metil Tersiyer Bütil Eter (MTBE) (Bilgin vd., 2001; Bunkar vd. 2012), Etil Tersiyer Bütil Eter (ETBE) (Li vd., 2009), DME ve DEE (Sezer, 2011) gibi eterler de alkoller gibi yakıt olarak veya petrol kökenli yakıtlara belirli oranlarda katılarak kullanılabilirler. Genel olarak eterler asidik veya bazik bir katalizör eşliğinde alkollerden su çekilmesiyle elde edilirler. MTBE ve DME metanoldan üretilirken ETBE ve DEE etanoldan elde edilir. Bu nedenle ETBE ve DEE yenilenebilir yakıtlar olarak değerlendirilebilir. MTBE ve ETBE yüksek oktan sayısına sahip olmaları nedeniyle buji ateşlemeli motorlarda kullanılmaya uygun iken DME ve DEE yüksek setan sayıları nedeniyle dizel motorlar için daha uygundur.

1.4. Literatür Araştırması

1970'lerden beri alkollerin dizel motorlarda kullanımı üzerine çalışmalar devam etmektedir. İlk çalışmalarda is ve partikül madde azaltımı üzerine odaklanılmıştır. Alkollerin dizel yakıtta eklenmesi ile dizel yakıtın özelliklerinde hem kimyasal hem de fiziksel bazı değişiklikler olmaktadır. Özellikle setan sayısı, viskozite ve ısı değer düşmektedir (Henham vd., 1991). Değişen özellikler nedeniyle alkollerin dizel motorlarda kullanımında bazı zorluklar oluşmaktadır (Abu-Qudais vd., 2000). Bu zorlukları yenmek için farklı teknikler geliştirilerek alkol içeren dizel yakıtların dizel motor teknolojisine uyumları sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu teknikler genel olarak dört ana başlıkta toplanabilir:

1) Püskürtmeden önce alkol-dizel karışımı (Reddy vd., 1999; Xiao vd. 2000; Abu-Qudais vd. 2000; Ajav vd., 1999; Bilgin vd., 2002)

2) Fumigasyon (hava emme hattına alkol püskürtülmesi) (Abu-Qudais vd., 2000; Ajav vd., 1999; Goering vd., 1992)

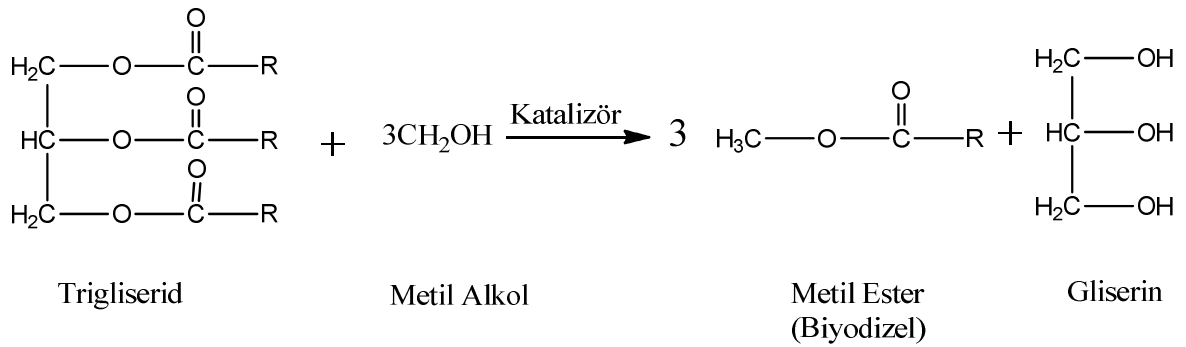
3) Alkol-dizel emülsiyonu (ayrışmayı önlenmek için karışıma bir katkı maddesi ilave edilmesi) (Xiao vd., 2000; Satge de Caro vd., 2001; Asfar ve Hamed, 1998)

4) Çift püskürtme sistemi (her bir yakıt için ayrı enjeksiyon sistemi) (Noguchi vd., 1996; Rafiqul Islam vd., 1997)

Karışım ve emülsiyon tekniklerinin en önemli avantajları kolay uygulanabilir olmaları ve motorda herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duyulmamasıdır.

Etanolün dizel yakıtına göre oldukça polar bir yapıya sahip olması dizel yakıtı ile homojen olarak karışmasını engellemekte (Hansen vd., 2001; Bang-Quan vd., 2003) ve etanolün dizel yakıtı içerisindeki çözünürlüğü oldukça kısıtlı oranlarda gerçekleşmektedir. Etanol-dizel yakıt karışımlarının kararlılığı genel olarak dizel yakıtının hidrokarbon kompozisyonuna, özellikle karışımın sıcaklığına ve etanolün su konsantrasyonuna bağlıdır (Ecklund vd., 1984; Abu-Qudais vd., 2000; Hansen vd., 2001; Satge De Caro ve Moloungui, 2001; Bang-Quan et al., 2003). Etanolün karışım şeklinde dizel motorlarda kullanımı az oranlarda (% 5 civarı) etanol ile daha iyi sonuçlar vermektedir (Bilgin vd., 2002). Ancak, karışıma farklı polarizede olan ağır alkoller (propanol, bütanol vb.) eklenerek karışımın termodinamik olarak daha kararlı bir karışım olması sağlanabilmektedir (Ecklund vd., 1984; Satge de Caro ve Moloungui, 2001; Asfar ve Hamed, 1998). Bu da emülsiyon tekniği olarak adlandırılmaktadır.

Bitkisel yağların, dizel yakıtına göre viskozite ve yoğunluğu yüksek, uçuculuk ve ısıl değerleri ise düşüktür. Bundan dolayı, dizel motorlarda tamamen veya kısmen dizel yakıtının yerine kullanımı akış problemleri, kötü atomizasyon, enjektör tıkanması, yağlama yağının kalınlaşması, eksik yanma ve güç düşüşü gibi sorunları gündeme getirmektedir (Karaosmanoğlu vd., 2000; Altın vd. 2001; Agarwal ve Das, 2001; Monyem ve Van Gerpen, 2001; Al-Widyan and Al-Shyoukh, 2002; Pramanik, 2003). Bu sorunları gidermek için ön ısıtma, diğer yakıtlar ile karıştırma ve çözme, esterleştirme ve ısıl parçalanma gibi farklı teknikler geliştirilmektedir (Williamson ve Badr, 1998; Ma ve Hanna, 1999; Agarwal ve Das, 2001; Demirbaş, 2002). Şekil 1.3’de verilen esterleştirme bu teknikler arasında en önemli ve en çok tercih edilenidir (Kalligeros vd., 2003; Agarwal ve Das, 2001; Demirbaş, 2002). Esterleştirme işlemi için farklı metotlar uygulanmaktadır (Agarwal ve Das, 2001; Ma ve Hanna, 1999; Antolin vd., 2002; Demirbaş, 2002; Selim vd., 2003).



Şekil 1.3. Esterleştirme işlemiyle biyodizel üretimi

Şekilde görüldüğü gibi genel olarak işlem bir katalizörün bulunduğu ortamda metanol veya etanolün bitkisel yağ ile karıştırılmasıdır. Katalizör olarak baz ve/veya asit kullanılmaktadır. Bu işlem kısaca bir trigliserit molekül veya kompleks yağ asitlerinin alınması, serbest yağ asitlerinin nötürleştirilmesi, gliserinin uzaklaştırılması ile alkol esterinin oluşturulmasıdır. Bitkisel yağların alkol esterleri dizel yakıtına yakın özellikler göstermekte ve biyodizel olarak adlandırılmaktadır. Esterleştirmeyi etkileyen ana faktörler; gliseritlerin alkole molar oranı, katalizör cinsi, reaksiyon sıcaklığı ve basıncı, reaksiyon zamanı ve bitkisel yağ içerisindeki serbest yağ asitleri ve su miktarıdır. Yan ürün olarak ortaya çıkan gliserin, sabun sanayinde kullanılabilir (Al-Widyan ve Al-Shyoukh, 2002; Tomasevic ve Siler-Marinkovic, 2003).

Etanolün aksine biyodizeller dizel yakıt ile oldukça iyi bir şekilde homojen olarak karışabilmekte ve karışım kararlı halde kalabilmektedir. Bu yüzden biyodizeller motorda hiçbir değişiklik yapılmadan dizel yakıt ile karışım halinde kolaylıkla kullanılabilir.

Etanolün ısı değeri % 35-40 mertebelerinde dizel yakıttan daha düşük olmasına rağmen, biyodizellerin ısı değerleri yaklaşık olarak % 10-12 oranında dizel yakıttan daha düşüktür. Düşük ısı değeri motor momenti ve gücünde düşmelere sebep olan önemli bir etkidir (Altın vd., 2001; Nwafor vd., 2000; Bari vd., 2002; Antolin vd., 2002). Bununla birlikte, belirli oranlarda biyodizelin dizel yakıt ile karışımları ile güçte beklenen olası düşüş daha iyi yanma, bir miktar yüksek yoğunluk ve viskozite ile kısmen karşılanabilmektedir. Biyodizellerde belirli bir değerden daha yüksek viskozite ise atomizasyonda kötüleşmeye sebep olacağından istenmeyen bir özelliktir.

Biyodizelin diğer bir avantajı ise hem dizele hem de etanole göre yağlama özelliğinin daha iyi olmasıdır. Diğer taraftan etanolün setan sayısı 5-15 arasında olmasına rağmen biyodizellerin setan sayısı dizele oldukça yakın, bazen yağın cinsine ve esterleştirme tekniğine bağlı olarak daha yüksek olabilmektedir. Yanma verimliliği için setan sayısı oldukça önemlidir.

Etanolün önemli bir avantajı düşük sıcaklıklarda karışımın akma ve bulutlanma sıcaklıklarını biyodizelin tersine düşürmesidir. Bununla birlikte sıcaklığın düşmesi ile etanol ile dizel yakıt arasında faz farkı oluşursa yanmada problemler oluşabilir. Her ne kadar katkı maddesi kullanılsa da düşük sıcaklıklarda etkili olmayabilir.

Yakıtın depolanması ile alakalı olarak etanolün parlama sıcaklığı dizele göre düşüktür ve karışım içerisinde karışımın parlama sıcaklığını düşürür, bu yüzden karışımların daha dikkatli depo edilmesi gerekir. Biyodizel parlama sıcaklığı daha yüksek olduğundan depolamada etanole göre daha emniyetlidir.

1.5. Tez Çalışmasının Amaç ve Kapsamı

Bu tez çalışmasında dizel motorlarda kullanılmaya elverişli biyodizel, etanol ve dietil eter gibi yenilenebilir alternatif yakıtların saf ve dizel yakıtına belirli oranlarda karıştırılarak kullanılmasının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, teorik çalışmada internet üzerinden serbest erişime açık olan Diesel-RK adlı simülasyon programı kullanılarak tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motoru için model oluşturulmuştur. Bu model

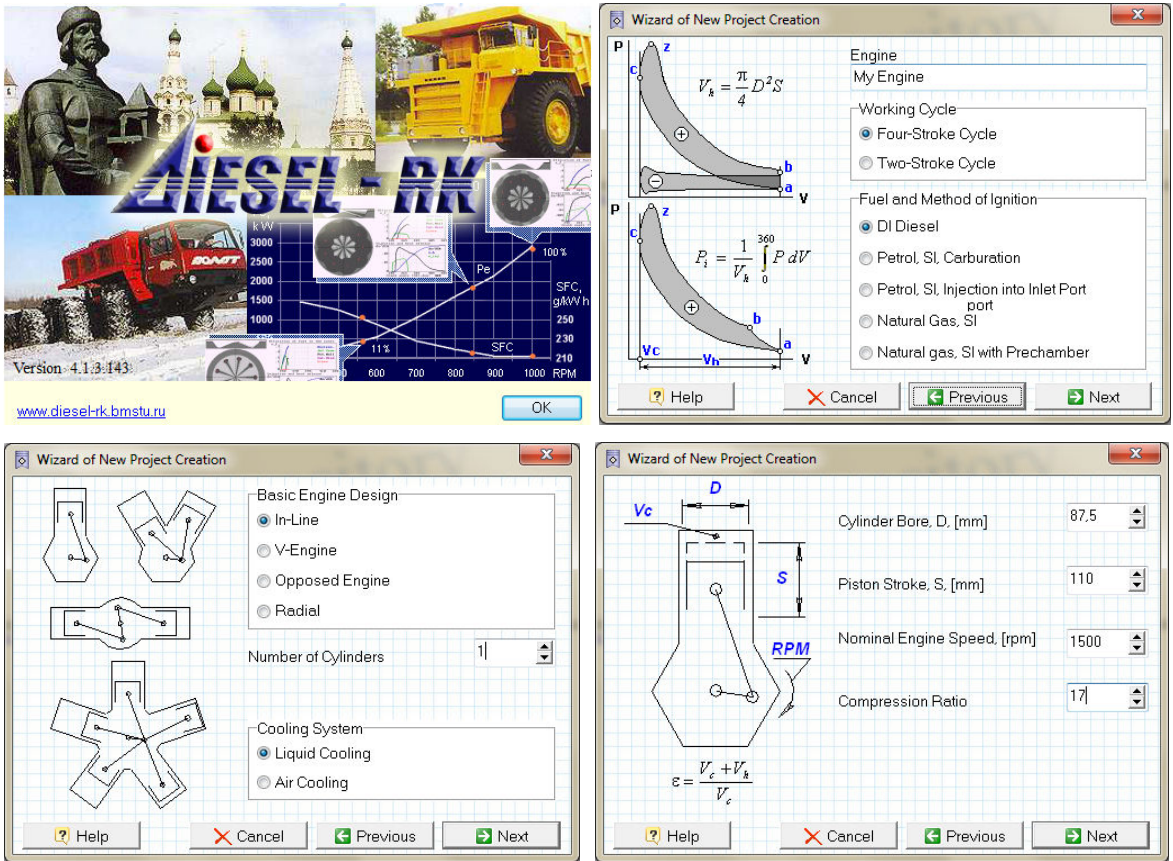
yardımıyla KYME ve SYME biyodizel yakıtlarının saf olarak kullanılmasının ve SYME yakıtının dizel yakıtına % 20 ve 40 gibi farklı oranlarda katılmasıyla elde edilen yakıt karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Deneysel çalışmada ise Gümüşhane Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan içten yanmalı motor deney düzeneği kullanılarak etanolun % 15 ve dietil eterin % 2 ve 4 oranlarında dizel yakıtına katılmasıyla elde edilen farklı yakıt karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi dizel yakıtıyla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Teorik Çalışma

Teorik çalışmada internet üzerinden serbest erişime açık olan DIESEL-RK adlı simülasyon programı kullanılmıştır. Bu programın kullanıcı ara yüzüne ait bazı görseller Şekil 2.1’de verilmiştir (URL-2, 2014).



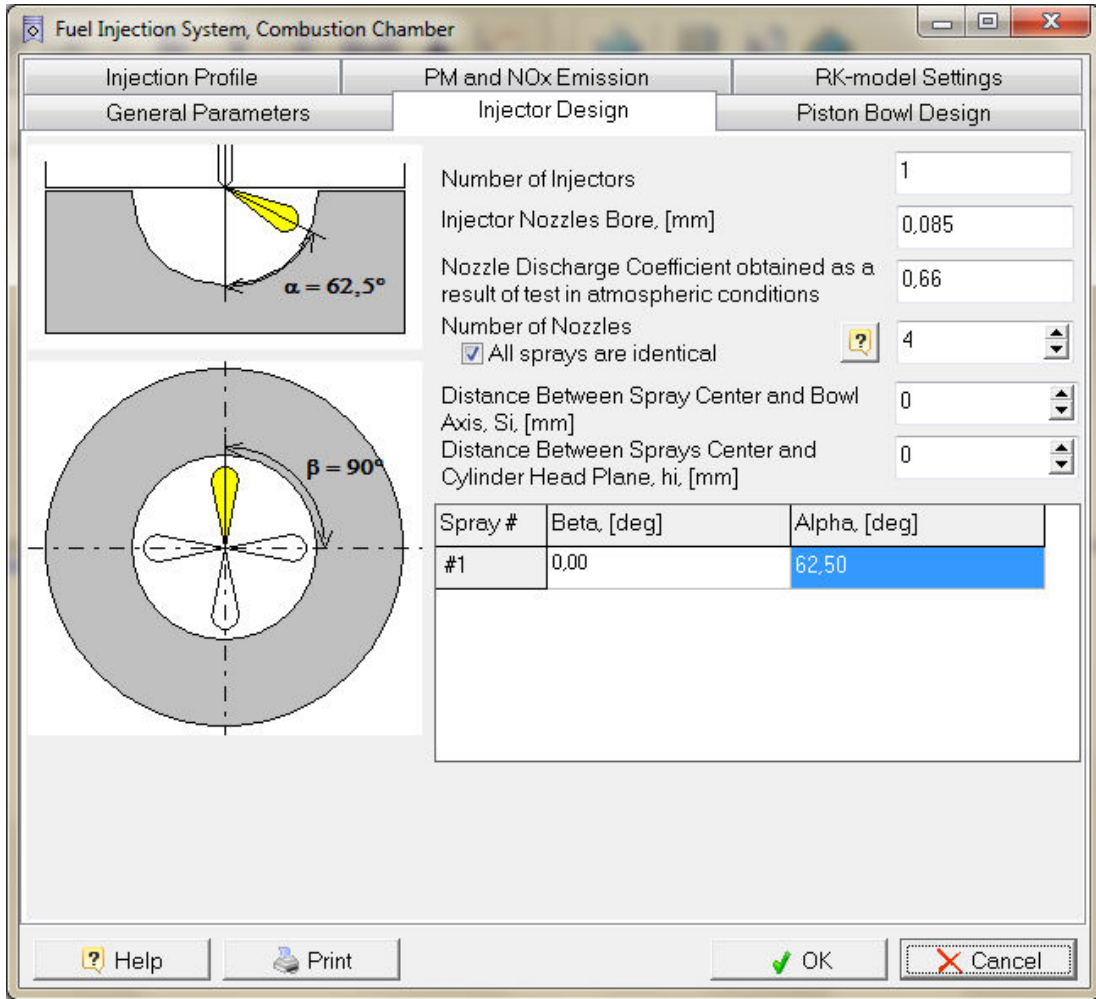
Şekil 2.1. Simülasyon programı kullanıcı ara yüzüne ait görseller

Söz konusu simülasyon programı kullanılarak Tablo 3’de özellikleri verilmiş olan ve deneysel çalışmada da kullanılan motora ait bir model kurulmuştur. Kurulan bu model yardımıyla dizel (D) yakıtı, KYME biyodizel yakıtı, SYME biyodizel yakıtı ve %20 ve %40 oranlarında SYME biyodizel yakıtı içeren dizel-biyodizel yakıt karışımları için püskürtme, yanma, performans ve emisyon verileri elde edilmiştir. Söz konusu yakıt ve yakıt karışımlarına ait çeşitli özellikler Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Teorik çalışmada kullanılan yakıtların özellikleri

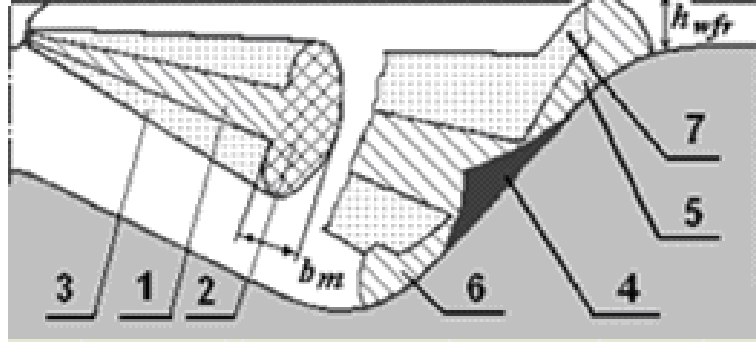
Yakıt özellikleri	Dizel	KYME	SYME	SYME20	SYME40
Kimyasal bileşim (kütleli)	C: 0,870 H: 0,126 O: 0,004	C: 0,77 H: 0,121 O: 0,109	C: 0,7731 H: 0,1188 O: 0,1081	C: 0,8496 H: 0,1245 O: 0,0259	C: 0,8297 H: 0,1230 O: 0,0473
Moleküler kütlesi (kg/kmol)	190	296	292,2	211,5	232,5
Yoğunluk (kg/m ³)	830	874	885	841	852
Stokiyometrik hava-yakıt oranı	14,46	12,89	12,86	14,13	13,79
Alt ısı değeri (MJ/kg)	42,5	39,45	36,22	41,18	39,89
Tutuşma aktivasyon enerjisi (kJ/mol)	22	12	12	21	20
Setan sayısı	48	54,4	51,3	48,68	49,37
Dinamik viskozite @ 323 K (Pa.s)	0,003	0,00692	0,00463	0,003343	0,003677
Yüzey gerilme faktörü @ 323 K (N/m)	0,028	0,0315	0,0433	0,03122	0,03436
Buharlaştırma gizli ısı (kJ/kg)	250	325	325	265,8	281,2

Teorik çalışmada modellenen dizel motoru için yakıt demeti ve yanma odası geometrisi Şekil 2.2'deki gibi belirlenmiştir.



Şekil 2.2. Yakıt demeti ve yanma odası geometrisi

Simülasyon programında çok bölgeli bir yanma modeli kullanılmakta olup Şekil 2.3’de görüldüğü gibi yakıt demeti yedi karakteristik bölgeden oluşmakta ve türbülanslı jet teorisine göre aşağıdaki gibi modellenmektedir.



Şekil 2.3. Yakıt demeti karakteristik bölgeleri

Yakıt demeti silindir duvarına çarpmadan önce aşağıdaki gibi üç bölge oluşmaktadır.

- 1) Demetin yakıtça yoğun konik çekirdek kısmı
- 2) Demetin yakıtça yoğun ön kısmı
- 3) Demetin yakıtça yoğun olmayan dış kısmı

Yakıt demeti silindir ve piston yüzeylerine çarptıktan sonra duvar yüzeylerinde yoğunluk ve sıcaklık bakımından homojen olan aşağıdaki gibi dört akış bölgesi daha oluşmaktadır.

- 4) Yakıtça yoğun duvar yüzeyi konik çekirdek akış bölgesi
- 5) Yakıtça yoğun duvar yüzeyi piston üzeri akış bölgesi
- 6) Yakıtça yoğun duvar yüzeyi ön akış bölgesi
- 7) Yakıtça yoğun olmayan duvar yüzeyi dış akış bölgesi

Açıklanan modelleme yaklaşımı altında, Şekil 2.3’de görülen yakıt demeti ön kısmı kalınlığı aşağıdaki gibi belirlenir.

$$b_m = A_m \cdot F_s \cdot \rho^{0.5} \cdot l \cdot We^{0.32} \cdot M^{-0.7} \quad (2.1)$$

Burada, ampirik katsayılar $A_m = 0.7$ ve $F_s = 0.0075 - 0.009$ olup $\rho = \rho_a / \rho_f$ ’dir.

Enjektör nozulu ile yakıt demeti ön kısmı arasındaki mesafe (l) ile (We) ve (M) boyutsuz parametreleri ise aşağıdaki belirlenir.

$$l = l_m \left[1 - \left(1 - \frac{\tau_k}{\tau_m} \right)^3 \right] \quad (2.2)$$

$$We = U_{0m}^2 \cdot d_n \cdot \rho_f / \sigma_f \quad (2.3)$$

$$M = \frac{\mu_f^2}{d_n \cdot \rho_f \cdot \sigma_f} \quad (2.4)$$

Burada, l_m : yakıt demeti nüfuz derinliği, U_{0m} : nozul çıkışında ortalama yakıt hızı, τ_k ve τ_m : yakıt demeti l ve l_m mesafelerine ulaşmaya kadar geçen süreler, d_n : enjektörün nozul çapı, ρ_a ve ρ_f : hava ve yakıt yoğunlukları, σ_f : yakıt yüzey gerilimi ve μ_f : yakıtın dinamik viskozitesidir.

Şekil 2.2'de gösterilen duvar yüzeyi ön akış bölgesi yüksekliği (h_{wfr}) ise aşağıdaki gibi belirlenir.

$$h_{wfr} = F_{sw} \cdot \rho^{0.5} \cdot l_{w1} \cdot We^{0.32} \cdot M^{-0.7} \quad (2.5)$$

Burada, $F_{sw} \approx 1.5 \cdot F_s$ olup l_{w1} sayısal yöntemle uygun şekilde belirlenir.

Her bir bölgedeki yakıt buharlaşma hızı yakıt damlacıklarının ayrı ayrı buharlaşma hızlarının toplamına eşit olduğu varsayılarak tutuşma öncesi ve sonrası tek bir yakıt damlacığının buharlaşma hızı Sreznevsky eşitliğine göre aşağıdaki gibi belirlenir.

$$d_k^2 = d_0^2 - K \cdot \tau_u \quad (2.6)$$

Burada, K buharlaşma katsayısı ve τ_u buharlaşmanın başladığı andan itibaren geçen süredir.

Yakıt damlacıklarının ortalama boyutu (d_{32}) ise Sauter eşitliğinden aşağıdaki gibi belirlenir.

$$d_{32} = E_k \cdot d_n \cdot M^{0.0733} (We \cdot \rho)^{-0.266} \quad (2.7)$$

Burada, ampirik katsayı $E_k = 0.7$ olup başlangıçtaki damlacık boyutu $d_0 = d_{32}$ olarak alınır.

Püskürtme periyodu boyunca her bir bölgede $K/d_0^2 = \varepsilon_u$ oranının sabit kaldığı varsayımıyla herhangi bir bölgedeki bağıl buharlaşma hızı ($d\delta_{ui}/d\tau$) Razleytsev eşitliğinden aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\frac{d\delta_{ui}}{d\tau} = \left[1 - (1 - \varepsilon_{ui} \cdot \tau_{ui})^{3/2} \right] \frac{\delta_{zi}}{\tau_{ui}} \quad (2.8)$$

Burada; (δ_{zi}) ilgili bölgedeki yakıt oranı olup o bölge için buharlaşma katsayısı (K_{ui}) aşağıdaki gibi belirlenir.

$$K_{ui} = 4 \times 10^6 \cdot Nu_D \cdot D_p \cdot p_s / \rho_f \quad (2.9)$$

Burada; Nu_D : Difüzyon prosesi Nusselt sayısı, D_p : yakıt buharı difüzyon faktörü ve p_s : yakıt buharı doyma basıncıdır.

Böylece, her bir bölgedeki yakıt buharlaşma oranı Denklem (7)'den hesaplanarak toplam buharlaşma oranı aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\frac{d\delta_u}{d\tau} = \sum_{i=1}^m d\delta_{ui} / d\tau \quad (2.10)$$

Simülasyon programında, yanma işlemi özellikleri ve faktörleri farklı aşağıda verilen dört aşamada gerçekleşmektedir.

- 1) Tutuşma gecikmesi aşaması
- 2) Ön karışım yanma aşaması
- 3) Karışım kontrollü yanma aşaması
- 4) Son yanma aşaması

Tutuşma gecikmesi süresi modifiye edilmiş Tolstov eşitliğiyle aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\tau_{id} = 3.8 \times 10^{-6} \left(1 - 1.6 \times 10^{-4} \cdot n \right) \sqrt{\frac{T}{p}} \exp\left(\frac{E_a}{8.312 \cdot T} \frac{70}{CN + 25} \right) \quad (2.11)$$

Burada; n : devir sayısı, $E_a = 23000 - 28000$ kJ/kmol: yakıtın tutuşması için gerekli aktivasyon enerjisi, CN : yakıtın setan sayısı, p (MPa) ve T (K): silindir basınç ve sıcaklığıdır.

Ön karışım yanma aşamasında yayılan ısı oranı ise aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\frac{dx}{d\tau} = \phi_0 \cdot P_0 + \phi_1 \cdot P_1 \quad (2.12)$$

Burada; $P_0 = A_0 (m_f / V_i) (\delta_{ud} - x_0) (0.1 \cdot \delta_{ud} + x_0)$ ve $P_1 = d\delta_{ud} / d\tau$ olup (x) ısı yayılım oranı veya yanmış yakıt oranı ve (x_0) tutuşma gecikmesi periyodunda buharlaşan yakıt oranıdır.

Karışım kontrollü yanma aşamasında açığa çıkan ısı oranı aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\frac{dx}{d\tau} = \phi_1 \cdot P_1 + \phi_2 \cdot P_2 \quad (2.13)$$

Burada; $P_2 = A_2 (m_f/V_c)(\delta_u - x)(\alpha - x)$ bağıntısıyla belirlenir.

Son yanma aşamasında açığa çıkan ısı oranı ise aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\frac{dx}{d\tau} = \phi_3 \cdot A_3 \cdot K_T (1 - x)(\xi_b \cdot \alpha - x) \quad (2.14)$$

Burada, ξ_b : hava kullanım oranı, α : hava fazlalık katsayısı ve ϕ 'ler ise yanmanın tamamlanma miktarını gösteren bir fonksiyondur.

Yakıt demeti, buharlaşma ve ısı yayılım modellerine ait daha ayrıntılı bilgiler literatürden elde edilebilir (Kuleshov, 2005; Kuleshov, 2006).

Simülasyon programında, emme ve egzoz kanallarına ve silindir duvarlarına olan ısı transferi aşağıda verilen Woshni korelasyonu ile modellenmiştir (Woschni, 1967).

$$\lambda_w = C \frac{p^{0.8} \cdot w^{0.8}}{T^{0.53} \cdot D^{0.2}} \quad (2.15)$$

Burada, C : ısı transferi faktörü, p (MPa): silindir içindeki gazların basıncı, T (K): silindir içindeki gazların sıcaklığı, D (m): silindir çapı ve

w (m/s) = $C_1 \cdot \bar{S}_p + C_2 \frac{V_h \cdot T_a}{p_a \cdot V_a} (p - p_m)$: gaz akış hızı olup $\bar{S}_p = H \cdot n / 30$: ortalama piston

hızıdır. Emme ve egzoz işlemlerinde $C_1 = 6.18$ ve $C_2 = 0$, sıkıştırma işlemlerinde $C_1 = 2.28$ ve $C_2 = 0$ ve yanma ve genişleme işlemlerinde $C_1 = 2.28$ ve $C_2 = 3.24 \times 10^{-3}$ olarak alınmaktadır. Ayrıca, H ve V_h : strok uzunluğu ve strok hacmi, V_a , p_a ve T_a : sıkıştırma işlemi sonunda sırasıyla silindir hacmi, silindir içindeki gazların basınç ve sıcaklığı ve p_m : yanmasız durumdaki silindir basıncıdır.

Diesel-RK programında kimyasal denge durumunda 18 adet yanma ürününün yapısı adım adım hesaplanarak azot oksit ve katı parçacık emisyonları aşağıdaki belirlenir.

1) Azot oksit emisyonları (NO_x); azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO_2) emisyonlarından oluşmakla birlikte dizel motorlarda NO emisyonu daha yoğundur (Heywood, 1988). Diesel-RK programında, NO_x emisyonları hem ayrıntılı kinetik mekanizmayla hem de Zeldovich mekanizmasıyla belirlenmekte olup ayrıntılı mekanizma Ön Karışım Sıkıştırma Tutuşturmalı-Homogenous Charge Compression Ignition

(HCCI) motorlar için uygulanmaktadır. Bu nedenle kurulan modelde NO oluşumu aşağıda verilen Zeldovich mekanizmasıyla belirlenmiştir (Al-Dawody, 2011).



Denklem (19)'da reaksiyonun ilerleme hızı oksijen konsantrasyonuna bağlı olup yanma ürünleri içerisindeki hacimsel NO konsantrasyonu aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\frac{d[NO]}{d\theta} = \frac{2.333 \times 10^7 \cdot p \cdot e^{\frac{38020}{T}} [N_2]_e \cdot [O]_e \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{[NO]}{[NO]_e} \right)^2 \right\} \cdot 60}{R_u \cdot T \left(1 + \frac{2365}{T} e^{\frac{3365}{T}} \frac{[NO]}{[O_2]_e} \right)} \quad (2.19)$$

2) İş veya katı parçacık (PM) emisyonu; siyah karbon parçacıklarının egzoz gazları içinde dağılımı şeklinde olup PM emisyonu oluşumunun ana nedeni eksik yanmadır. Diesel-RK programında, PM emisyonu aşağıda verilen Alkidas (Alkidas, 1984) ve Cummins (Muntean, 1999) eşitlikleriyle belirlenmekte olup kurulan modelde Alkidas eşitliği kullanılmıştır.

$$\text{Alkidas: } PM = A_{PM} \cdot 565 \cdot \left[\ln \left(\frac{10}{10 - \text{Bosch}} \right) \right]^{1.206} \quad [\text{mg/m}^3] \quad (2.20)$$

$$\text{Cummins: } PM = A_{PM} \cdot (-184 \cdot \text{Bosch} - 727.5) \log \left(1 - \frac{\text{Bosch}}{10} \right) \quad [\text{mg/m}^3] \quad (2.21)$$

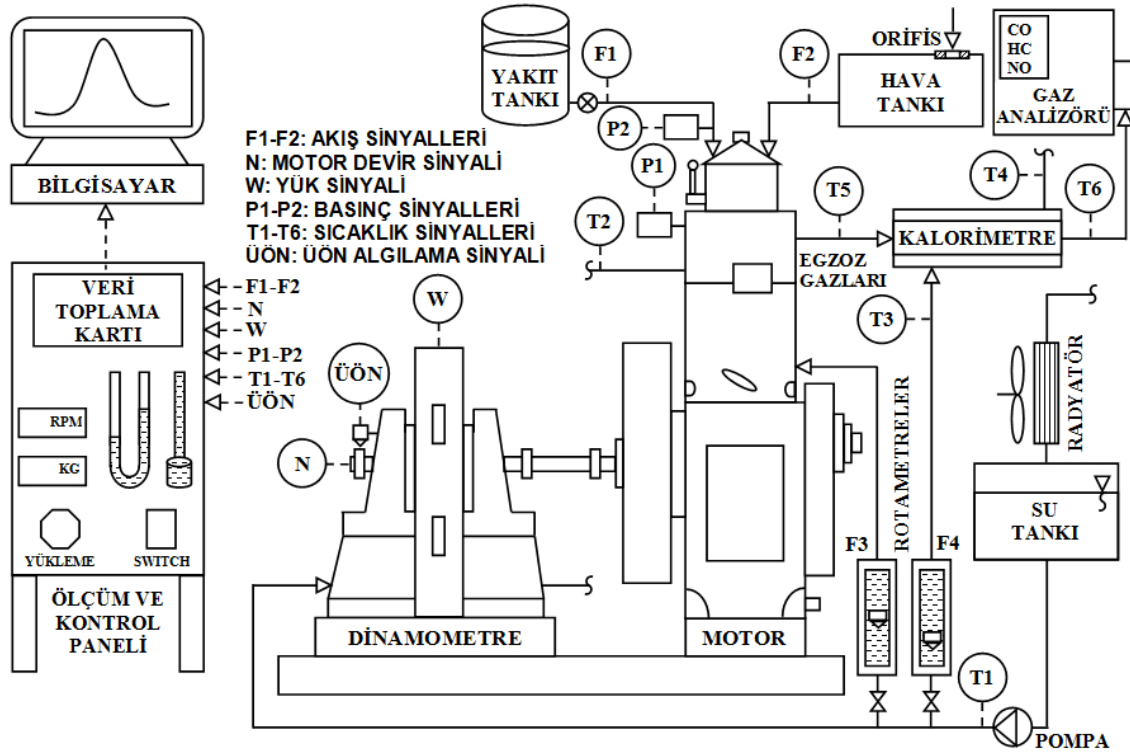
Burada; $A_{PM} = 1$: düzeltme katsayısı ve Bosch : Bosch smoke sayısıdır.

Simülasyon programında, tork, güç, ortalama basınçlar, hacimsel, indike, mekanik ve efektif verimler ve özgül yakıt tüketimi yaygın olarak bilinen ve deneysel çalışma kısmında da verilen eşitliklerden belirlenmektedir.

2.2. Deneysel Çalışma

Deneysel çalışmada ise Gümüşhane Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan içten yanmalı motor deney düzeneği kullanılmıştır. Deney düzeneğinin şematik görünüşü Şekil 2.4'de verilmiştir. Apex Innovations firması tarafından üretilmiş olan deney düzeneği deney motoru, elektrik dinamometresi ve ölçüm ünitesinden meydana gelmektedir (URL-3, 2014). Dört zamanlı, tek silindri ve doğal

emişli olan deney motorunun kafası değiştirilerek benzin veya dizel motoru olarak çalıştırılabilmektedir. Ayrıca silindir bloğunda bulunan bir sistem yardımıyla sıkıştırma oranı (6-18) aralığında değiştirilebilmektedir. Deneysel çalışmada motor direkt püskürtmeli dizel motor olarak çalıştırılmış, bütün deneylerde sıkıştırma oranı 17, püskürtme avansı 23° olarak ayarlanmış ve devir sayısı 1500 d/dk olarak sabit tutulmuştur. Deney motoruna ait diğer bazı özellikler Tablo 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.4. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

Tablo 2.2. Teorik ve deneysel çalışmada kullanılan motorun özellikleri

Motor tipi	Dizel
Strok sayısı	4
Silindir sayısı	1
Soğutma sistemi	Su soğutmalı
Sıkıştırma oranı	Değişken (6-18)
Enjeksiyon sistemi	Direkt püskürtmeli
Püskürtme avansı ($^\circ$)	0-25 (23)
Devir sayısı (d/dk)	1500
Silindir çapı (mm)	87,5
Stroke uzunluğu (mm)	110
Biyel boyu (mm)	234

Deney düzeneğinde, motor miline bağlı bulunan elektrik dinamometresi motora yükleme yapmak ve moment ölçmek amacıyla kullanılmaktadır. Deneylerde motor yükü yükleme anahtarı yardımıyla % 0-100 arasında % 25'lik artırımlarla değiştirilmiştir. Ayrıca Şekil 2.2'de görüldüğü gibi deney düzeneğinde hava tankı, yakıt tankı ve soğutma suyu tankı bulunmaktadır. Soğutma suyunun dolaşımı bir elektrikli pompa yardımıyla sağlanmakta olup ısınan su bir radyatör ve fan yardımıyla soğutulmaktadır. Ölçüm ünitesi üzerinde ise hava debisinin ölçümü için bir orifis ve U manometresi, yakıt debisinin ölçümü için bir ölçekli kap, motor devir sayısı ölçümü için bir elektrikli takometre, moment ölçümü için bir yükleme hücresi, soğutma suyu debilerinin ölçümü için rotametreler ve krank açısı algılayıcısı bulunmaktadır. Ayrıca düzenekte çeşitli noktalarda soğutma suyu ve egzoz gazı sıcaklıklarının ölçümü için termo-elemanlar, silindir gaz basıncı ve yakıt basıncı algılayıcıları bulunmaktadır. Ölçülen veriler bir veri toplama kartı yardımıyla bilgisayara aktarılarak LABVIEW tabanlı EngineSoft adlı program yardımıyla motora ait yanma ve performans parametreleri hesaplanarak tablo ve grafikler şekline döküm alınabilmektedir.

Deneylerde CAPALEC CAP marka egzoz gazı analiz cihazı kullanılarak karbon monoksit (CO), hidrokarbonlar (HC), azot oksitler (NO_x) ve karbondioksit (CO₂) emisyonları ölçülmüştür. Egzoz ölçüm cihazının resmi Şekil 2.5'de ve özellikleri Tablo 2.3'de verilmiştir (URL-4, 2014).



Şekil 2.5. Egzoz ölçüm cihazı

Tablo 2.3. Egzoz ölçüm cihazı özellikleri

Parametre	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
HC	0–20000 ppm	1ppm
CO	0–15 %	0,001 %
CO ₂	0–20 %	0,1 %
NO _x	0–5000 ppm	1 ppm
O ₂	%0–21,7	0.01 %
Duman koyuluğu K	0.00–9.99	0.01

Deneyleerde Euro-dizel yakıtı, saflığı % 99'un üzerinde olan etanol ve saflığı %99,5 olan JT BAKER marka dietil eter kullanılmıştır. Bu yakıtların çeşitli özellikleri Tablo 2.4'de verilmiştir. Deneyleerde dizel yakıtı (D) ve üç farklı yakıt karışımı kullanılmıştır. Yakıt karışımları dizel yakıtına hacimsel olarak % 15 etanol (E15), % 15 etanol ve % 2 DEE (E15DEE2) ve % 15 etanol ve % 4 DEE (E15DEE4) katılarak hazırlanmıştır. Yukarıda verilen deney koşullarında dizel yakıtı ve yakıt karışımlarıyla deneyleer yapılarak ölçümler alınmıştır.

Tablo 2.4. Deneysel çalışmada kullanılan yakıtların özellikleri

Özellik	Dizel	Etanol	DEE
Kimyasal formülü	C _x H _y	C ₂ H ₆ O	C ₄ H ₁₀ O
Moleküler ağırlığı	190–220	46,04	74,12
Yoğunluk (kg/L)	~0,83	0,789	0,713
Viskozite (cP) @ 40°C	2,6–4,1	1,19	0,23
Bulk modülü (GPa) @ 20°C	1,39	1,32	0,69
Yüzey gerilimi (mN/m) @ 20°C	25,2	22,3	17
Oksijen içeriği (% kütle)	–	34,7	21
Kükürt içeriği (ppm)	~250	–	–
Kaynama noktası (°C)	180–360	78,4	34,6
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı (°C)	315	235	160
Havada tutuşabilir karışım oranı (% hacim)	0,6–6,5	3,3–19	1,9–9,5
Stokiyometrik hava-yakıt oranı	14,6	9	11,1
Buharlaşma ısısı (kJ/kg)	250	825	356
Alt ısı değeri (MJ/kg)	42,5	26,8	33,9
Setan sayısı	40–55	5–8	>125

Deneyleerde elde edilen veriler kullanılarak çeşitli motor performans parametreleri aşağıdaki verilen bağıntılardan hesaplanmıştır.

Elektrik dinamometresine bağılı yüklem ünitelerinden yük miktarı m [kg] olarak ölçülerek döndürme momenti aşağıdaki hesaplanır.

$$M_d = F \cdot l \quad (2.22)$$

Burada; $F = m \cdot g$ olup moment kolu uzunluğu $l = 0,185$ [m] 'dir.

Devir sayısı ve döndürme momenti belirlendiğinde efektif güç aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$N_e \text{ [kW]} = \frac{M_d \omega}{1000} \cong \frac{M_d n}{9550} \quad (2.23)$$

Burada açısal hız $\omega = \frac{2 \pi n}{60}$ şeklinde devir sayısına bağılı olarak hesaplanmaktadır.

Efektif güç, devir sayısı ve motorun diğer özellikleri bilindiğinde ortalama efektif basınç aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_{me} \text{ [bar]} = \frac{60 N_e k}{100 V_h n Z} \quad (2.24)$$

Burada silindirin hacmi $V_h = \frac{\pi D^2}{4} H$ bağıntısından $V_h = 661,5$ cm³ olarak elde edilir.

Ayrıca; silindir sayısı $Z = 1$ ve dört zamanlı motorlar için $k = 2$ 'dir.

Özgöl yakıt tüketimi ölçülen yakıt debisine ve efektif güce bağılı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$b_e = \frac{\dot{m}_{yakıt}}{N_e} \left[\frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right] \quad (2.25)$$

Özgöl yakıt tüketimi ve kullanılan yakıtın alt ısıl değeri kullanılarak efektif verim aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \cdot b_e} \times 100 \text{ [%]} \quad (2.26)$$

Deneyde ölçülen değerlerden motorun emdiği hava debisi aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\dot{m}_{hava} = 3600 C_D \frac{\pi d^2}{4} \rho_{hava} \sqrt{\frac{2 \rho_{su} g \Delta h \times 10^{-3}}{\rho_{hava}}} \quad (2.27)$$

Burada $C_D = 0,6$ ve $\rho_{su} = 1000$ kg/m³ değerleri için hava debisi eşitliği aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir.

$$\dot{m}_{hava} = 7514,4 d^2 \sqrt{\rho_{hava} \Delta h} \text{ [kg hava/h]} \quad (2.28)$$

Hava yoğunluğu ortam koşullarına bağlı olarak ideal gaz denkleminde aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\rho_{\text{hava}} = \frac{m}{V_0} = \frac{P_0}{R T_0} \quad (2.29)$$

Yakıt debisi ve hava debisi değerleri kullanılarak hava yakıt oranı aşağıdaki gibi belirlenir.

$$h = \frac{\dot{m}_{\text{hava}} [\text{kg hava / h}]}{\dot{m}_{\text{yakıt}} [\text{kg yakıt / h}]} = \frac{\dot{m}_{\text{hava}}}{\dot{m}_{\text{yakıt}}} \left[\frac{\text{kg hava}}{\text{kg yakıt}} \right] \quad (2.30)$$

Hava fazlalık katsayısı ise stokiometrik hava yakıt oranı kullanılarak aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\alpha = \frac{h}{h_{\text{min}}} \quad (2.31)$$

Burada dizel yakıt için $h_{\text{min}} = 14,45 \frac{\text{kg hava}}{\text{kg yakıt}}$ olup yakıt karışımları için karışım

oranına bağlı olarak belirlenmektedir.

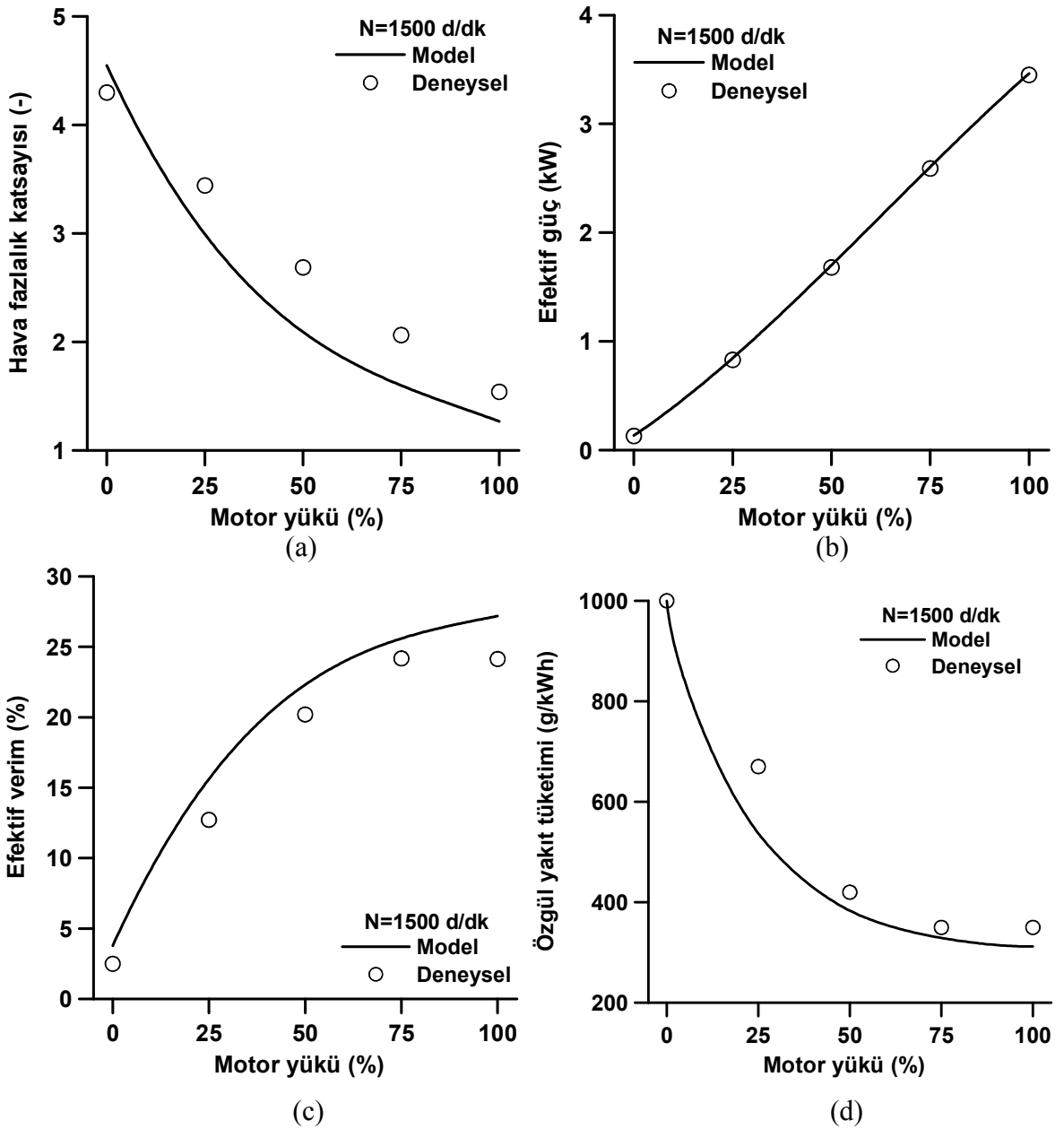
Gerçekte silindire emilen havanın verilen koşullarda teorik olarak silindire alınması gereken havaya oranı olarak tanımlanan hacimsel verim hava debisine bağlı olarak aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır.

$$\eta_v [\%] = \frac{\dot{m}_{\text{hava}}}{\dot{m}_{\text{hava, teorik}}} \times 100 = \frac{\dot{m}_{\text{hava}} k}{60 V_h \rho_{\text{hava}} n Z} \times 100 \quad (2.32)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Teorik Çalışma Sonuçlarının İrdelenmesi

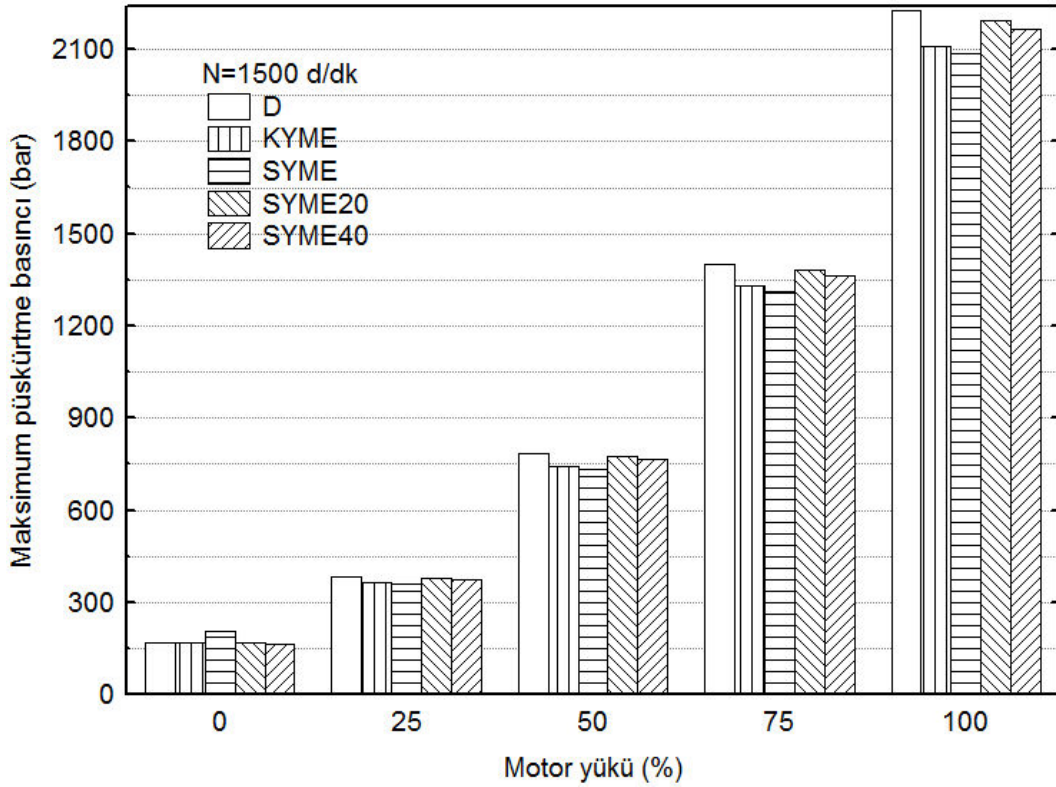
Teorik çalışma sonuçlarına geçmeden modelin güvenilirliğini kontrol etmek için Şekil 3.1(a)-(d)'de modelden elde edilen veriler deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Şekillerde görüldüğü gibi modelden elde edilen veriler deneysel verilerle uyumludur. Buna göre modelin parametrik çalışma için yeterli güvenilirliğe sahip olduğu söylenebilir.



Şekil 3.1. Modelden elde edilen verilerin deneysel verilerle karşılaştırılması

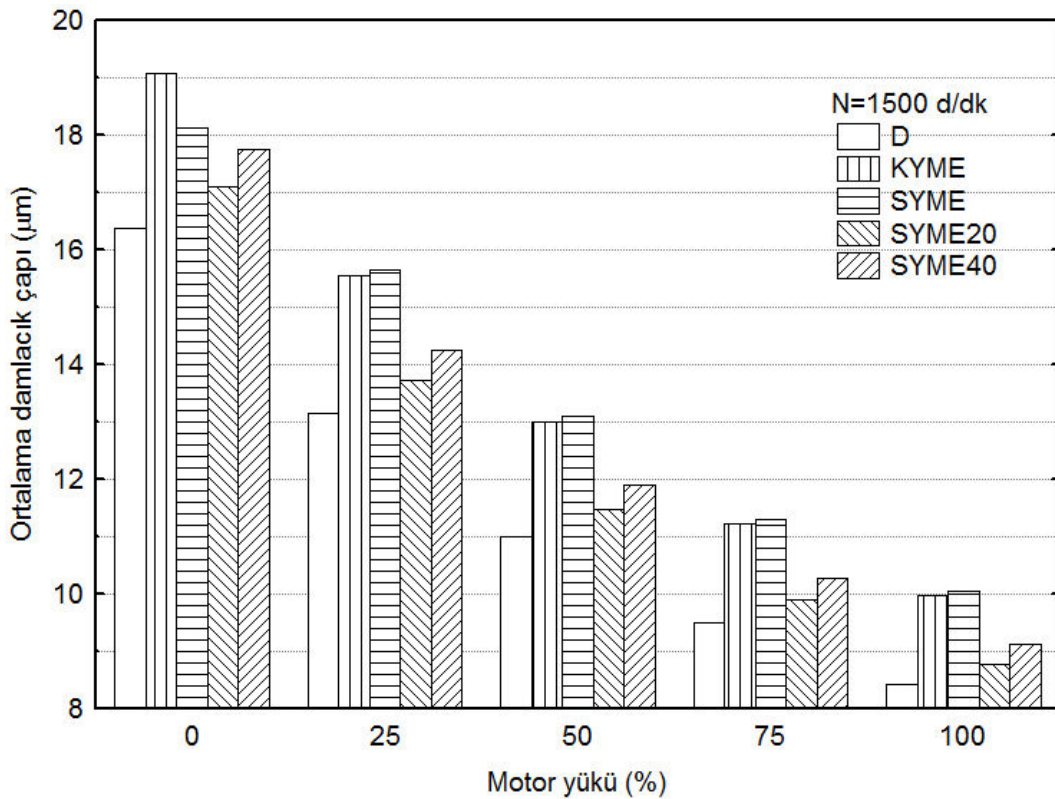
3.1.1. Püskürtme Karakteristiklerinin İrdelenmesi

Şekil 3.2’de 1500 d/dk’da teorik incelenen yakıt ve karışımlar için maksimum püskürtme basıncının motor yüküyle değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi püskürtme basıncı tüm yakıt ve karışımlar için motor yüküyle artmakta olup bu durum motor yükü arttıkça püskürtülen yakıt miktarının artmasının bir sonucudur. Diğer taraftan biyodizel yakıt ve karışımları dizel yakıtına göre daha düşük püskürtme basıncı değerlerine sahiptir. Biyodizel yakıtları için dizel yakıtına göre püskürtme basıncındaki azalmalar motor yüküne bağlı olarak KYME için %5,1–5,3 ve SYME için %6,2–6,4 arasında değişmektedir. Yakıt karışımları ise genel olarak dizel yakıtıyla SYME biyodizel yakıtı arasında değerler almış olup dizel yakıtına göre püskürtme basıncındaki azalmalar motor yüküne bağlı olarak SYME20 için %1,1–1,4 ve SYME40 için %2,3–2,7 arasında değişmektedir. Literatürde belirtildiği gibi (Shah vd., 2009) püskürtme basıncındaki bu değişimler yakıt özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Tablo 2.1’de görüldüğü gibi biyodizel yakıt ve karışımlarının dizel yakıtına göre yoğunluğunun yüksek ve sıkıştırılabilirliğinin düşük olması püskürtme işleminin düşük basınçta gerçekleşmesine neden olmaktadır.



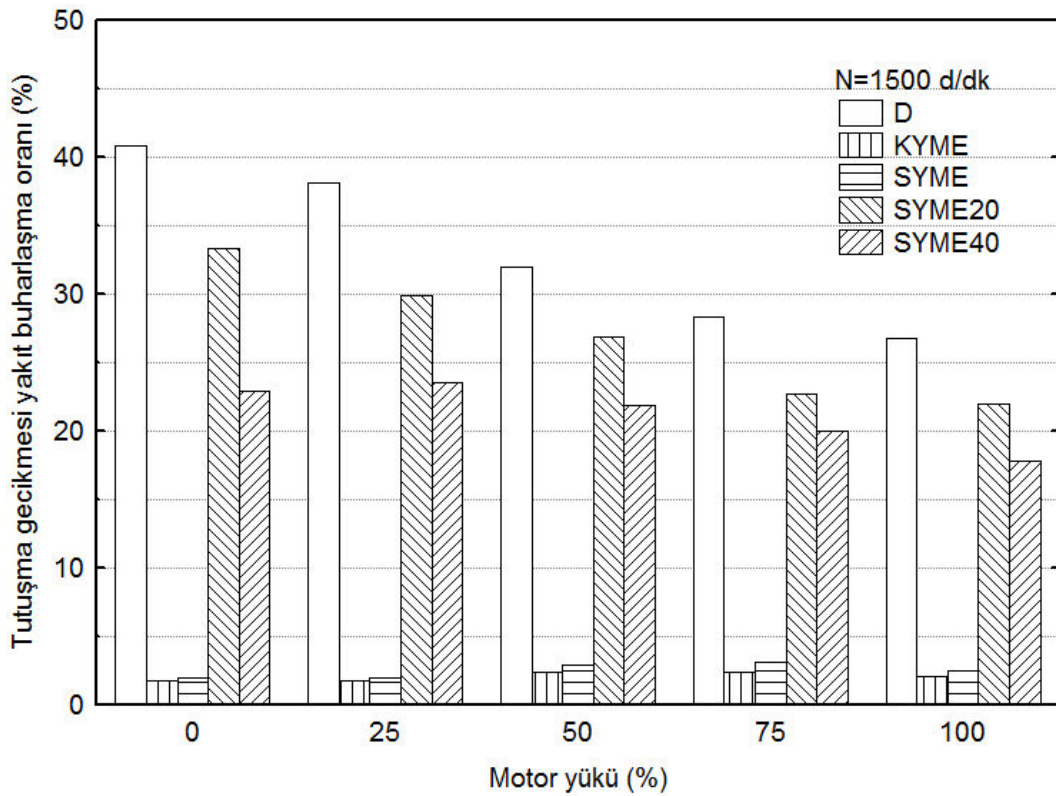
Şekil 3.2. Maksimum püskürtme basıncının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.3’de teorik incelenen yakıtlar ve karışımlar için ortalama damlacık çapının motor yüküne göre değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi ortalama damlacık çapı tüm yakıtlar ve karışımlar için motor yüküne bağlı olarak azalmaktadır. Bu durum Şekil 3.2’de görüldüğü gibi motor yükü arttıkça püskürtme basıncının artması sonucu yakıtın silindire daha yüksek basınçta püskürtülmesinden kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan genel olarak biyodizel yakıt ve karışımlarının dizel yakıtına göre daha büyük ortalama damlacık çapı değerlerine sahip olduğu şekilden görülmektedir. Biyodizel yakıtları için dizel yakıtına göre ortalama damlacık çapındaki artışlar motor yüküne bağlı olarak KYME için %16,6–18,4 ve SYME için %10,8–19,2 arasında değişmektedir. Yakıt karışımları ise genel olarak dizel yakıtı ile SYME biyodizel yakıtı arasında değerler vermiş olup dizel yakıtına göre ortalama damlacık çapındaki artışlar motor yüküne bağlı olarak SYME20 için %4,3–4,4 ve SYME40 için %8,4–8,5 arasında değişmektedir. Ortalama damlacık çapındaki bu değişimler biyodizel yakıt ve karışımlarının dizel yakıtına göre daha yüksek yoğunluk ve daha düşük sıkıştırılabilirliğe sahip olması sonucu Şekil 3.2’de görüldüğü gibi püskürtme basıncındaki azalmaların bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Kuti vd., 2010).



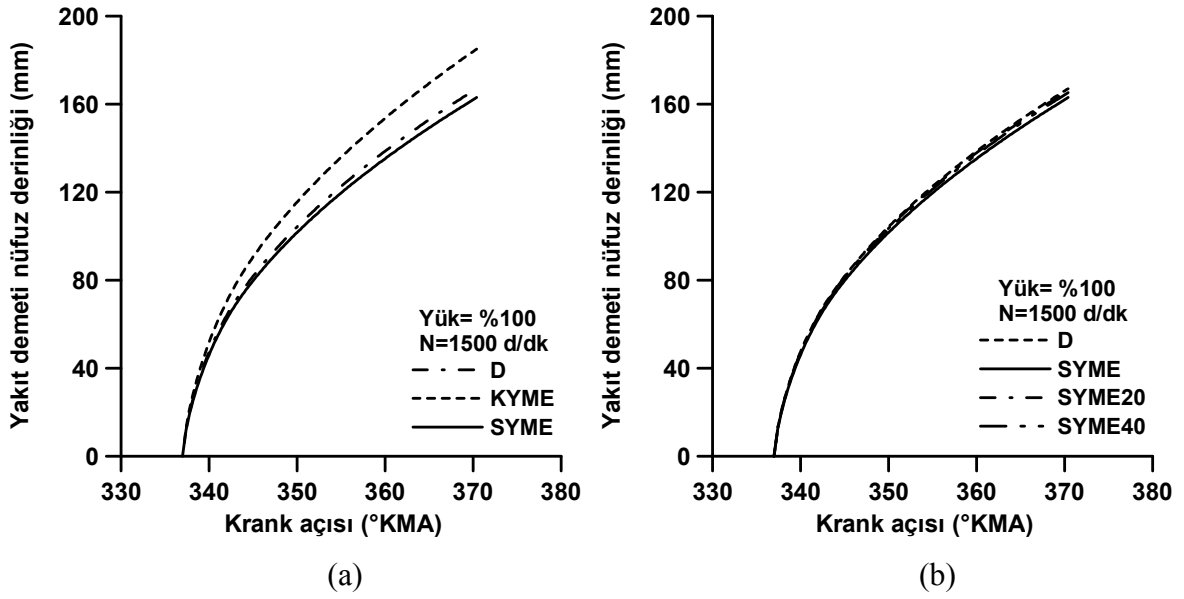
Şekil 3.3. Ortalama damlacık çapının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.4’de, tutuşma gecikmesi süresince buharlaşan yakıt oranının teorik incelenen yakıt ve karışımlar için motor yüküyle değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi artan motor yüküyle yukarıda belirtildiği gibi damlacık boyutu küçülmesine rağmen buharlaşan yakıt oranı azalmakta olup bu durumun motor yükü arttıkça püskürtülen yakıt miktarının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yakıt buharlaşma oranı KYME ve SYME biyodizel yakıtları için dizel yakıtına göre oldukça düşük olup SYME20 ve SYME40 yakıt karışımları SYME biyodizel yakıtına kıyasla dizel yakıtına daha yakın değerler vermiştir. Bu durumun biyoziel yakıtların içerdiği bileşenler nedeniyle dizel yakıtına göre uçuculuğunun düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dizel yakıtına göre yakıt buharlaşma oranındaki düşüşler motor yüküne bağlı olarak KYME için %91,6–95,5, SYME için %88,8–95,1, SYME20 için %15,9–21,4 ve SYME40 için %29,3–43,9 arasında değişmektedir.

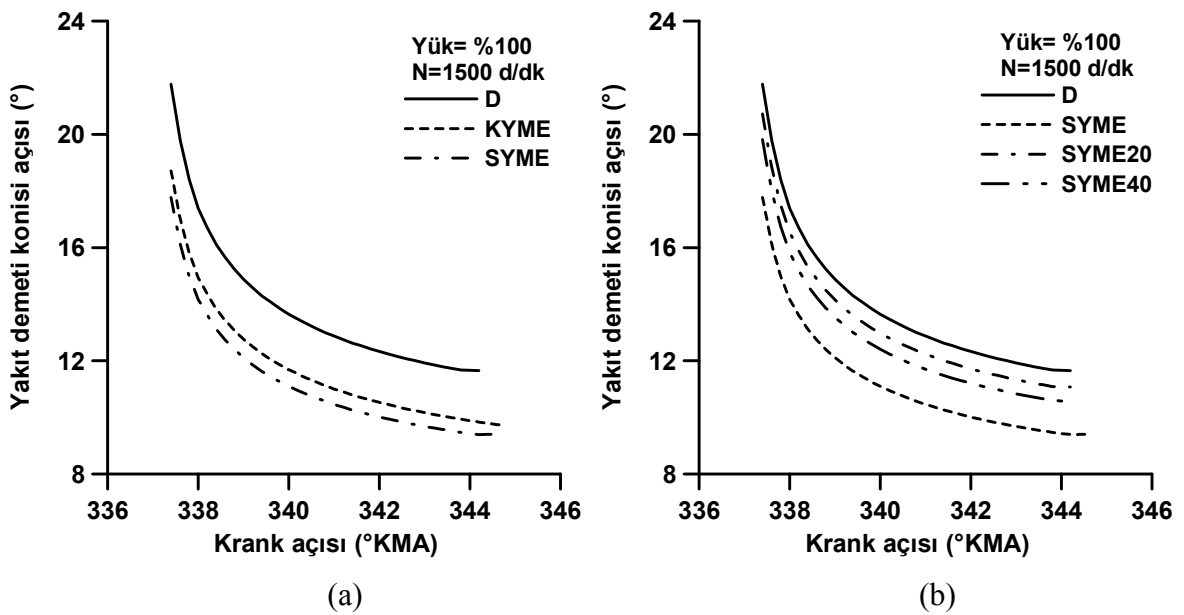


Şekil 3.4. Tutuşma gecikmesi yakıt buharlaşma oranının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.5 (a) ve (b)'de yakıt demeti nüfuz derinliğinin ve Şekil 3.6 (a) ve (b)'de yakıt demeti konisi açısının tam yük durumunda krank açısına göre değişimleri verilmiştir. Bu parametreler püskürtülen yakıtın yanma odasında ulaşabileceği noktaları göstermekte olup iyi bir yakıt-hava karışımının teşekkülü ve verimli bir yanma için önemlidir. Şekillerde görüldüğü gibi nüfuz derinliği ve yakıt demeti konisi açısı incelenen yakıt ve karışımlar için farklı değerler almış olup yakıt demeti konisi açısındaki farklılık daha belirgindir.



Şekil 3.5. Yakıt demeti nüfuz derinliğinin teorik incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi

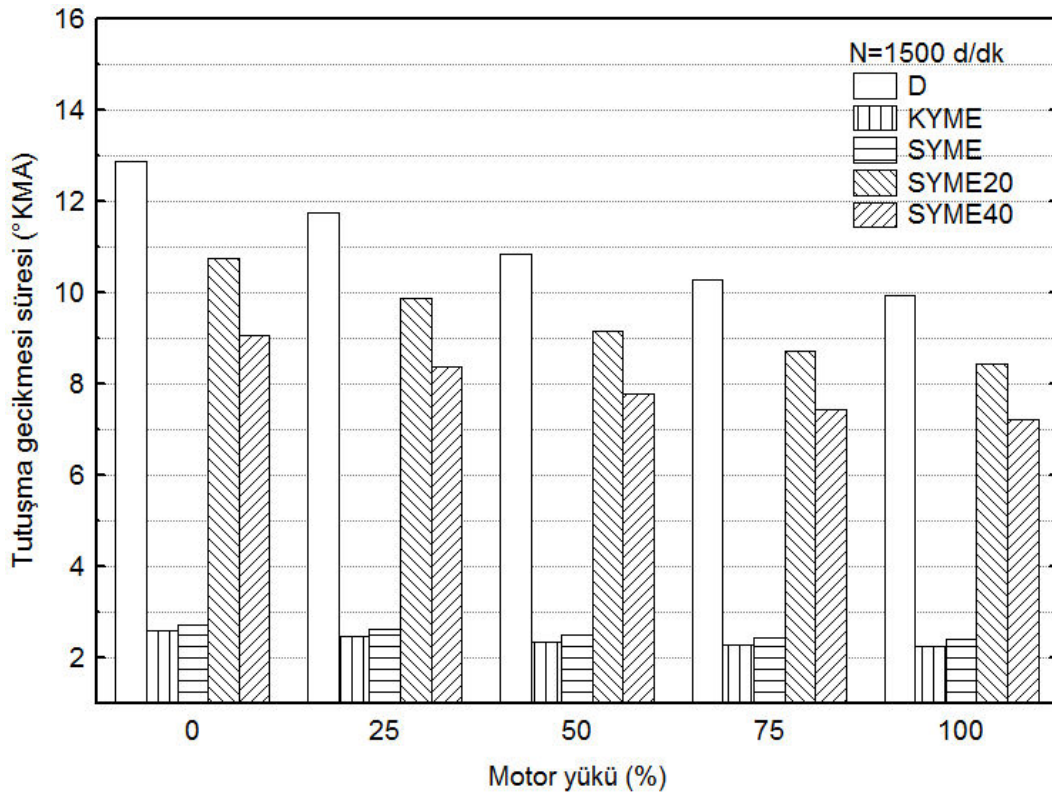


Şekil 3.6. Yakıt demeti konisi açısının teorik incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi

KYME ve SYME biyodizel yakıtları dizel yakıtına göre daha yüksek nüfuz derinliği ancak daha düşük yakıt demeti konisi açısı değerleri vermiştir. SYME20 ve SYME40 yakıt karışımları ise dizel yakıtı ile SYME biyodizel yakıtı arasında değerler vermiştir. Bu durumun, biyodizel yakıtların yüksek viskozitelerinin yakıt demetinin parçalanmasına engel olduğu ve düşük buharlaşma oranlarının yakıtın sıvı fazda kalma süresini uzatarak nüfuz derinliğini artırıp yakıt demeti konisi açısını daraltmasından kaynaklandığı literatürde belirtilmektedir (Kuti vd., 2010).

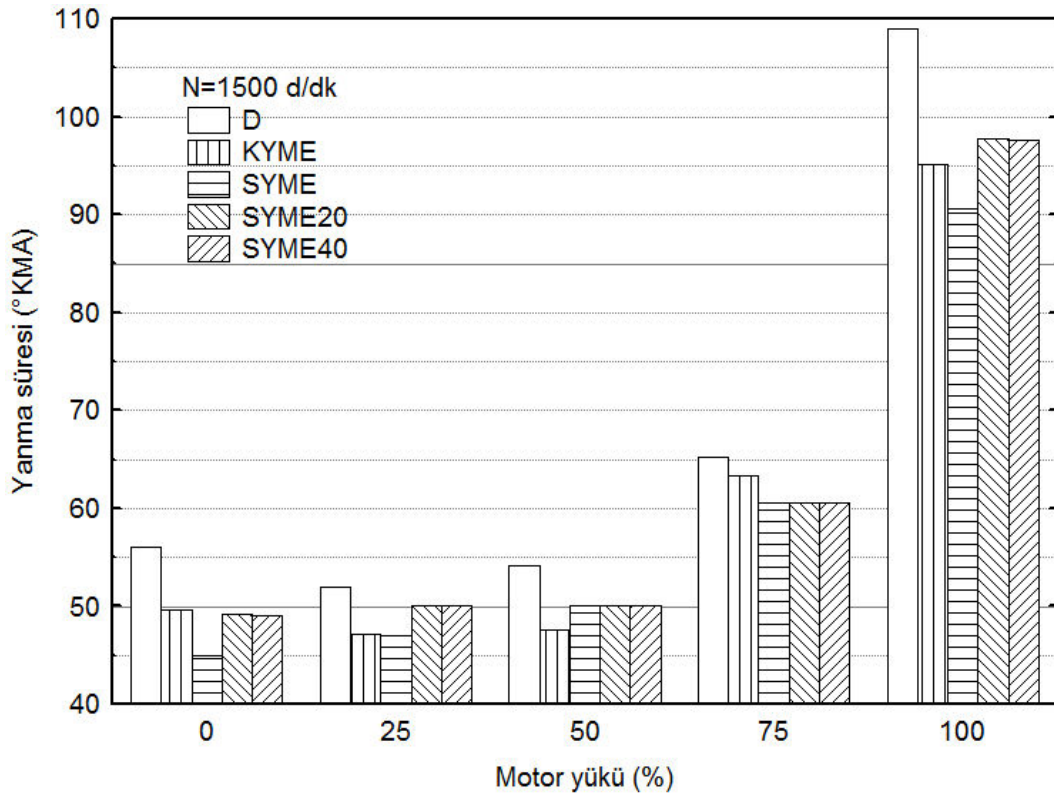
3.1.2. Yanma Karakteristiklerinin İrdelenmesi

Şekil 3.7’de tutuşma gecikmesi süresinin ve Şekil 3.8’de yanma süresinin teorik incelenen yakıtlar için motor yüküne göre değişimleri verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi tutuşma gecikmesi süresi motor yüküyle azalırken yanma süresi motor yükü arttıkça artmaktadır. Tutuşma gecikmesindeki azalmanın yukarıda belirtildiği gibi motor yükü arttıkça damlacık boyutunun küçülmesinden ve motor çalışma sıcaklığının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yanma süresinin uzaması ise motor yükü arttıkça püskürtülen yakıt miktarının artmasından kaynaklanmaktadır.



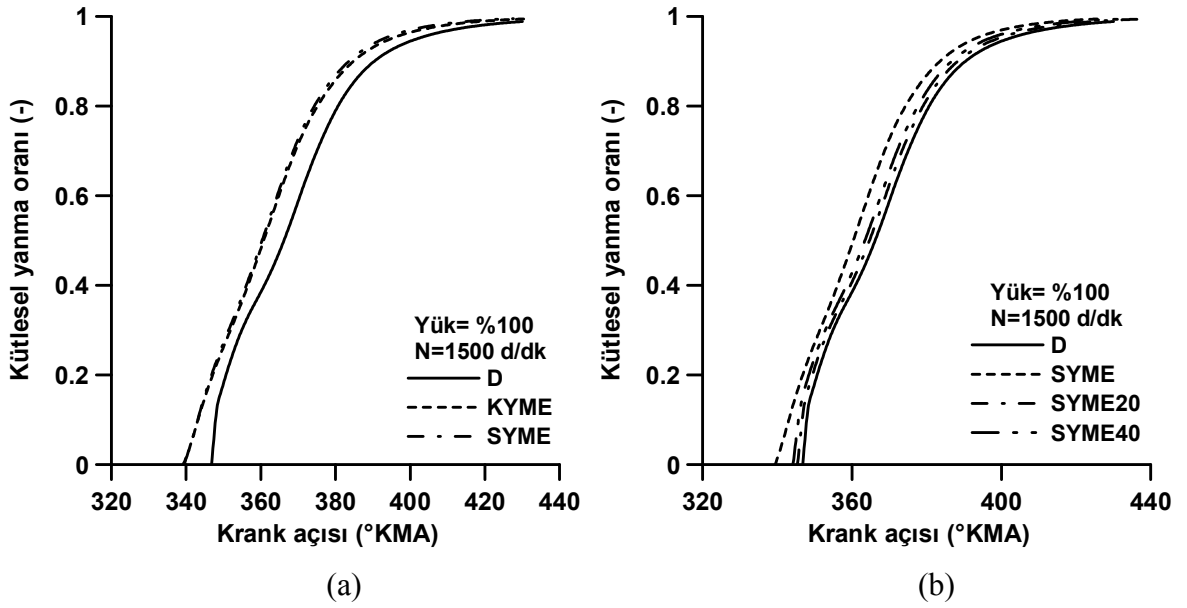
Şekil 3.7. Tutuşma gecikmesi süresinin teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Diğer taraftan KYME ve SYME biyodizel yakıtlarının tutuşma gecikmesi ve yanma sürelerinin dizel yakıtına göre daha kısa olduğu şekillerden görülmektedir. SYME20 ve SYME40 yakıt karışımları ise genel olarak dizel yakıtı ile SYME biyodizel yakıtı arasında değerler vermiştir. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında tutuşma gecikmesi süresi motor yüküne bağlı olarak KYME için %77,4–79,8, SYME için %75,8–78,7, SYME20 için %15,1–16,5 ve SYME40 için %27,4–29,6 oranlarında azalmıştır. Bu durum Tablo 1’de verildiği gibi biyodizel yakıt ve karışımlarının setan sayılarının dizel yakıtına göre daha yüksek ve tutuşma için gerekli aktivasyon enerjilerinin daha düşük olmasından kaynaklanmakta olup özellikle yüksek hızlı dizel motorlar için avantajlı bir özelliktir. Dizel yakıtına göre yanma süresindeki azalmalar ise motor yüküne bağlı olarak KYME için %2,7–12,6, SYME için %7,1–19,6, SYME20 için %3,8–12,1 ve SYME40 için %3,8–12,3 arasında değişmektedir. Tablo 1’de görüldüğü gibi biyodizel yakıtı ve karışımlarının H/C oranının dizel yakıtına göre yüksek olması ve yapılarında oksijen bulunması bu yakıtların kötü buharlaşma özelliğine baskın gelerek yanma işleminin daha kısa sürede tamamlanmasını sağlamaktadır. Literatürde de biyodizel yakıtların tutuşma gecikmesi ve özellikle orta ve yüksek yüklerde yanma sürelerinin dizel yakıtına göre daha kısa olduğu belirtilmektedir (Bittle vd., 2010).

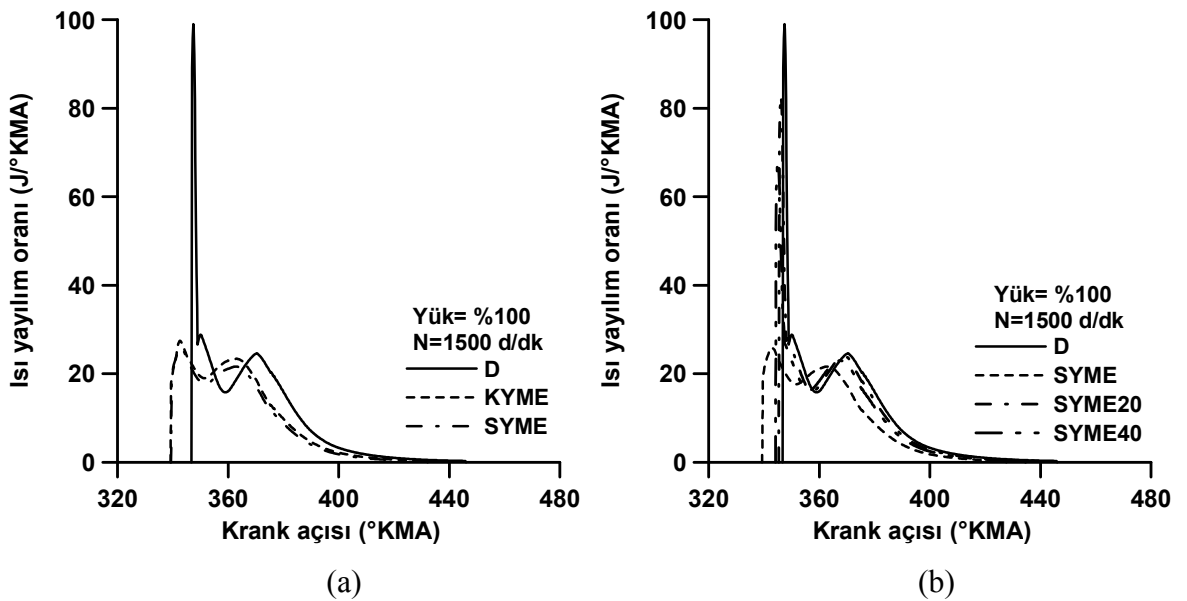


Şekil 3.8. Yanma süresinin teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.9 (a) ve (b)'de kütleli yanma oranının ve Şekil 3.10 (a) ve (b)'de ısı yayılım oranının teorik incelenen yakıt ve karışımlar için tam yük durumunda krank açısının göre değişimi verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi KYME ve SYME biyodizel yakıtları için tutuşma gecikmesi süresi kısa olduğundan yanma işlemi erken başlayarak kütleli yanma ve ısı yayılımı oranları daha önce artmaya başlamakta ancak biyodizel yakıt ve karışımlarının ısı değerlerinin dizel yakıtına göre düşük olması nedeniyle ısı yayılımı dizel yakıtına göre daha yavaş olmaktadır.



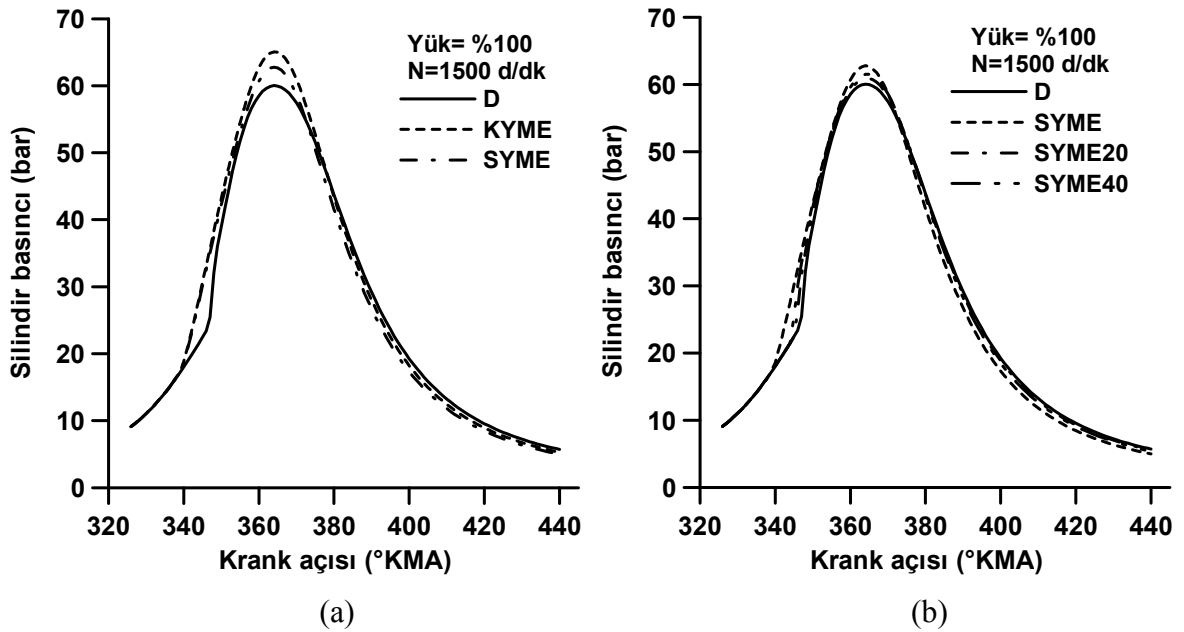
Şekil 3.9. Kütleli yanma oranının teorik incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi



Şekil 3.10. Isı yayılım oranının teorik incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi

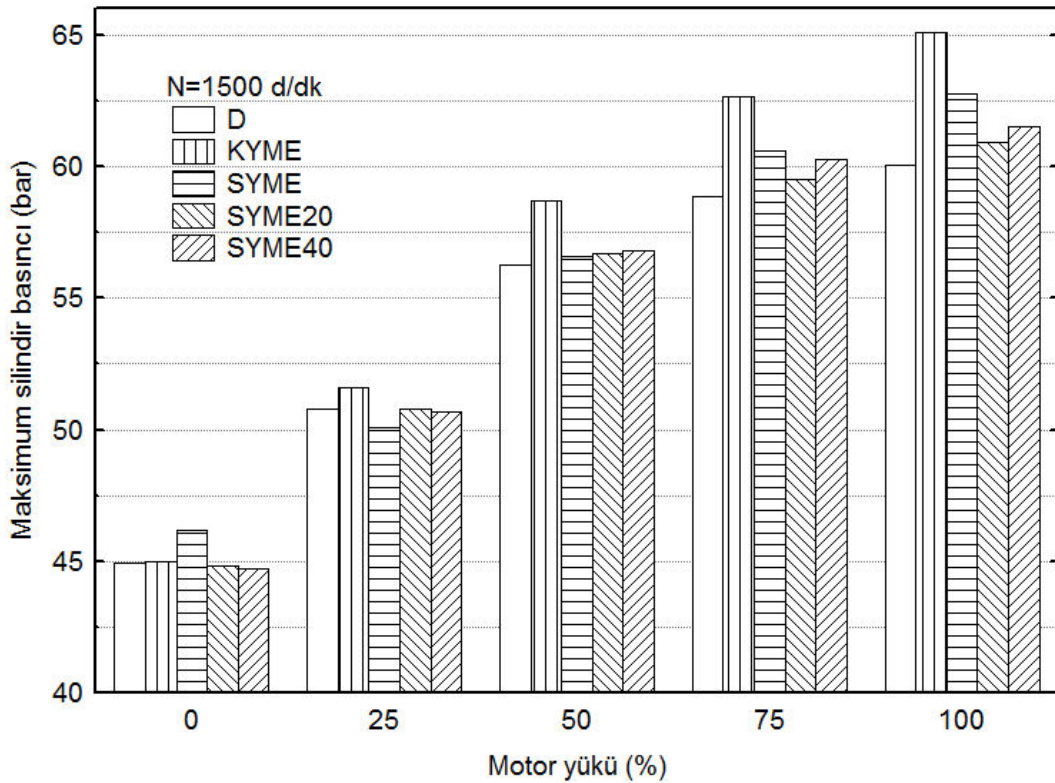
SYME20 ve SYME40 yakıt karışımları ise genellikle dizel yakıtı ile SYME yakıtı arasında değerler almıştır. Dizel yakıtının tutuşma gecikmesi süresi uzun olduğundan püskürtülen yakıt yanma odasında birikmekte ve tutuşma gerçekleştiğinde kütleli yanma ve ısı yayılımı oranlarının ani olarak artmaktadır. Bu durum ise dizel motor vuruntusu denilen olaya neden olmaktadır. Buna göre biyodizel yakıt ve karışımlarının dizel vuruntusu açısından daha avantajlı olduğu söylenebilir (Bittle vd., 2010).

Şekil 3.11 (a) ve (b)'de silindir basıncının teorik incelenen yakıt ve karışımlar için tam yükte krank açısına göre değişimleri verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi KYME ve SYME biyodizel yakıtları yanmanın ilk aşamasında dizel yakıtına göre daha yüksek basınçlar verirken genişleme sürecinde daha düşük basınçlar vermiştir. SYME20 ve SYME40 karışımları ise dizel yakıtı ile SYME biyodizel yakıtı arasında basınç değerlerine sahiptir. Yukarıda belirtildiği gibi biyodizel yakıt ve karışımlarının tutuşma gecikmesi sürelerinin dizel yakıtına göre kısa olması sonucunda silindir içinde basınç daha erken artmaya başlamakta ve yanma süreleri de dizel yakıtına göre kısa olduğundan genişleme sürecinde daha düşük basınçlar ortaya çıkmaktadır. Biyodizel yakıt ve karışımları kullanıldığında genişleme sürecinde daha düşük silindir basınçlarının ortaya çıkmasındaki diğer bir etken Tablo 1'de görüldüğü gibi bu yakıt ve karışımların dizel yakıtına göre daha düşük ısıl değere sahip olmasıdır.

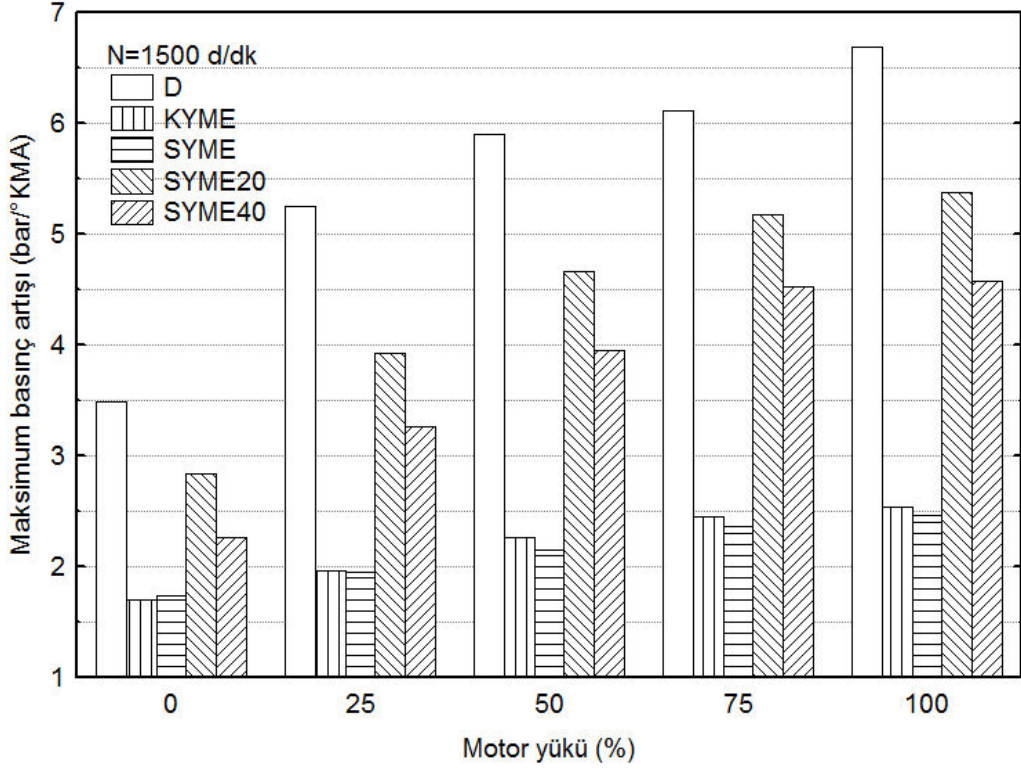


Şekil 3.11. Silindir basıncının teorik incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi

Şekil 3.12’de maksimum silindir basıncının ve Şekil 3.13’de maksimum basınç artışının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküne göre değişimleri verilmiştir. Şekil 3.12’de maksimum silindir basıncı KYME ve SYME biyodizel yakıtları için özellikle yüksek motor yüklerinde dizel yakıtına göre yüksek olup SYME20 ve SYME40 yakıt karışımları dizel yakıtı ile SYME biyodizel yakıtı arasında değerler almıştır. Bu durumun yukarıda belirtildiği gibi motor yükü arttıkça biyodizel yakıt ve karışımlarının daha iyi pülverize olması sonucu yanma hızının ve dolayısıyla ısı yayılım daha hızının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında maksimum silindir basıncındaki artışlar motor yüküne bağlı olarak KYME için %0,1–8,4, SYME için %(-1,3)–4,5, SYME 20 için %(-0,1)–1,4 ve SYME 40 için %(-0,1)–2,4 arasında değişmektedir. Diğer taraftan, Şekil 3.13’de biyodizel yakıtları bütün motor yükü değerlerinde dizel yakıtına göre daha düşük maksimum basınç artışı değerleri vermiş biyodizel yakıt karışımları ise dizel yakıtı ile SYME biyodizel yakıtı arasında ancak dizel yakıtına daha yakın değerlere sahiptir. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında maksimum basınç artışındaki azalmalar motor yüküne bağlı olarak KYME için %51,4–62,5, SYME için %50,3–63,6, SYME 20 için %15,2–25,3 ve SYME 40 için %25,9–37,8 arasında değişmektedir. Bu özelliğin biyodizel yakıt veya karışımlarının vuruntuyu azaltarak motorun daha sessiz çalışmasını sağlayacağı söylenebilir (Jaroonjitsathian vd., 2011).

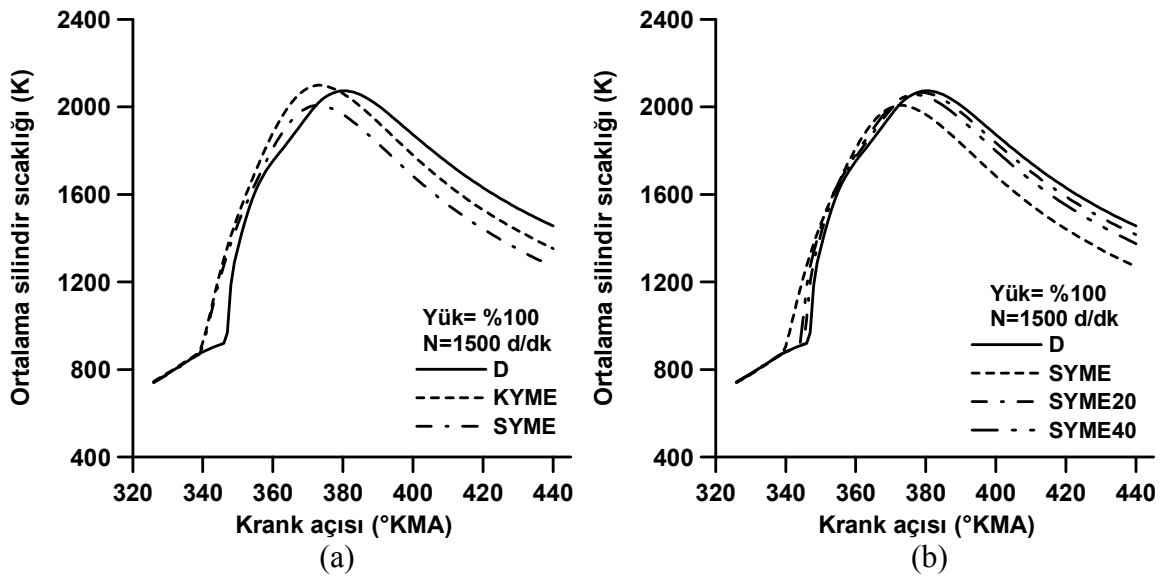


Şekil 3.12. Maksimum silindir basıncının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi



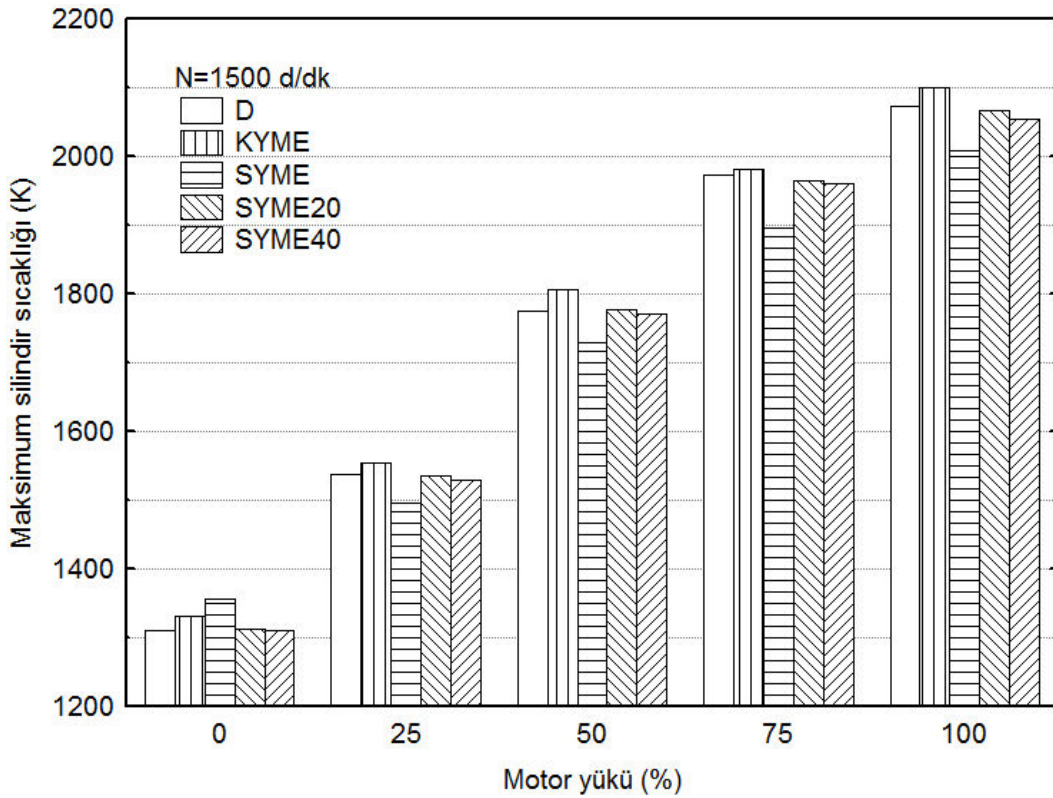
Şekil 3.13. Maksimum basınç artışının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.14 (a) ve (b)'de ortalama silindir sıcaklığının teorik incelenen yakıt ve karışımlar için tam yükte krank açısına göre değişimleri verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi silindir basıncına benzer şekilde ortalama silindir sıcaklığı KYME ve SYME biyodizel yakıtları ve karışımlar için erken artmakta ancak genişleme sürecinde daha düşük sıcaklıklar elde edilmektedir. Bu durum temelde biyodizel yakıtları ve karışımlarının dizel yakıtına göre daha düşük ısıl değere sahip olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.14. Ortalama silindir sıcaklığının teorik incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi

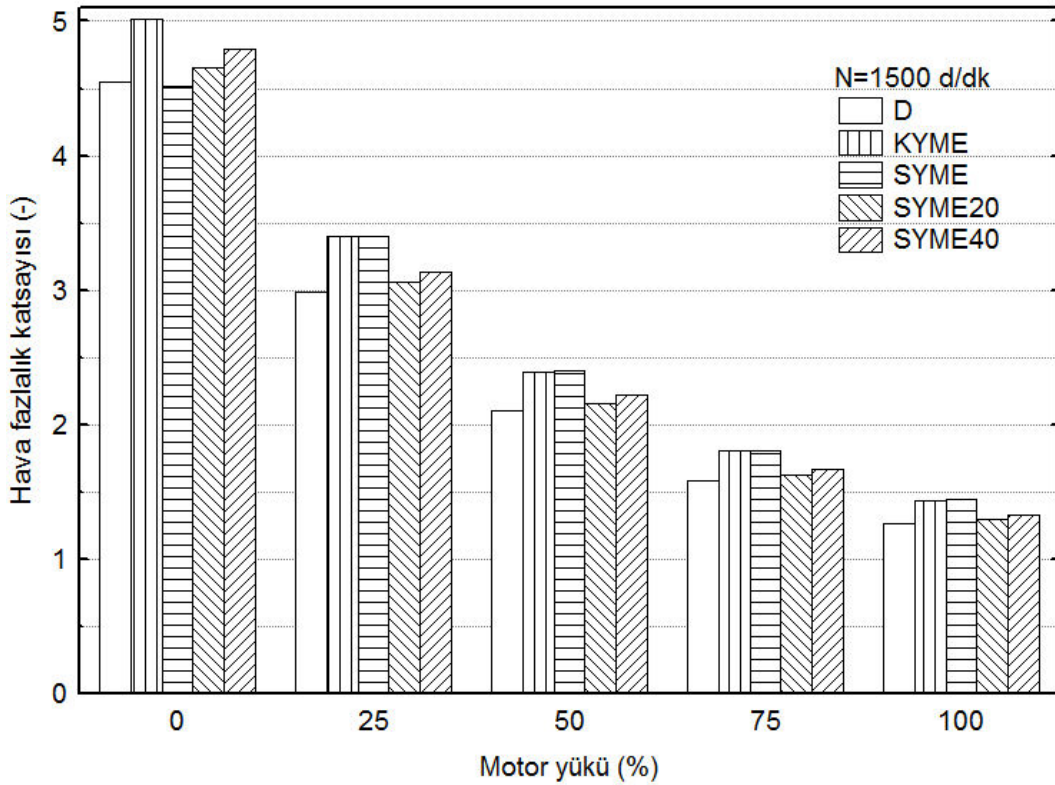
Şekil 3.15’de ise maksimum silindir sıcaklığının incelenen yakıtlar ve karışımlar için motor yüküne göre değişimi verilmiştir. Maksimum silindir sıcaklığı motor yükü arttıkça silindire giren yakıt miktarının artması nedeniyle tüm yakıt ve karışımlar için artış göstermektedir. Öte yandan KYME biyodizel yakıtı dizel yakıtından yüksek, SYME yakıtı ise genellikle düşük değerler vermiştir. SYME20 ve SYME40 karışımları ise genel olarak dizel yakıtına yakın ancak daha düşük değerler vermiştir. SYME biyodizel yakıt ve karışımları kullanıldığında daha düşük sıcaklık değerlerinin ortaya çıkması yukarıda belirtildiği gibi temelde bu yakıt ve karışımların daha düşük ısı değere sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Isıl değerleri düşük olmasına rağmen KYME biyodizel yakıtının dizel yakıtına göre yüksek sıcaklık değerleri vermesi ve diğer biyodizel yakıt ve karışımlarına ait değerlerin dizel yakıtına yakın olması ise biyodizel yakıt ve karışımlarının yukarıda açıklanan yanma karakteristiklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.15. Maksimum silindir sıcaklığının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

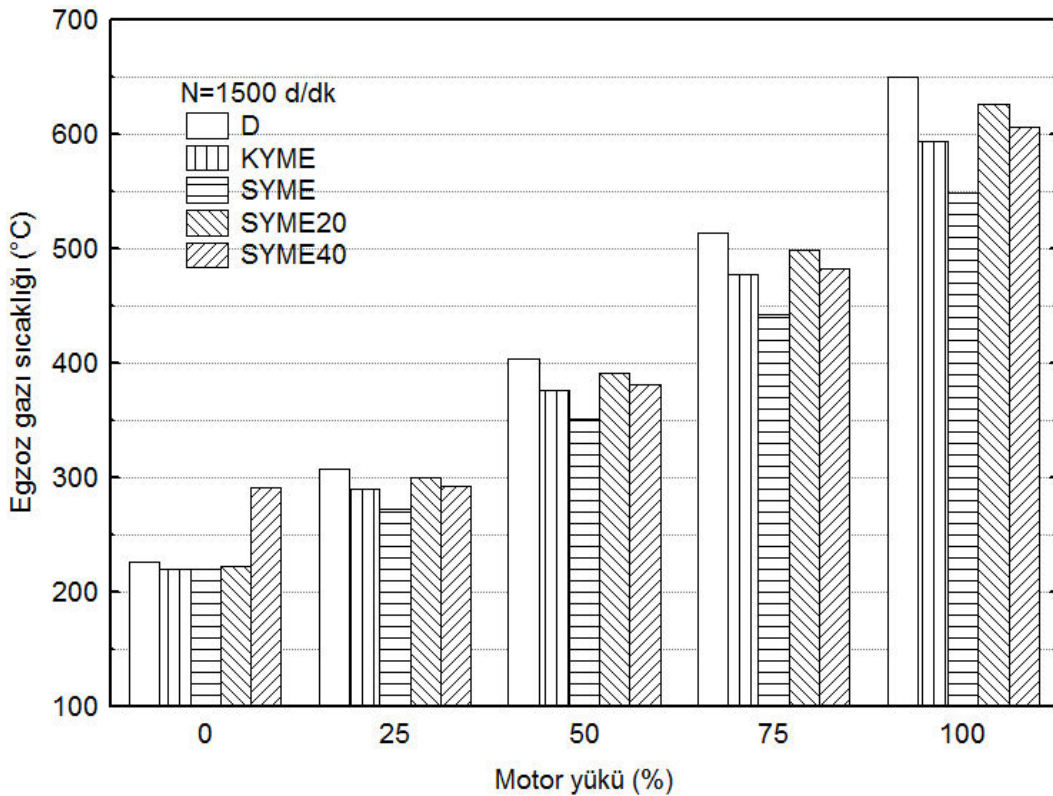
3.1.3. Performans Karakteristiklerinin İrdelenmesi

Şekil 3.16'da teorik incelenen yakıt ve yakıt karışımları için hava fazlalık katsayısının motor yüküne göre değişimleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi motor yükü arttıkça silindire püskürtülen yakıt miktarının artması sonucunda hava fazlalık katsayısı artan motor yükü ile azalmaktadır. Devir sayısı 1500 d/dk olarak sabit olduğundan silindire alınan hava miktarı değişmemekte bunun sonucunda püskürtülen yakıt arttıkça hava fazlalık katsayısı küçülmektedir. Diğer taraftan, hem KYME ve SYME biyodizel yakıtları hem de SYME20 ve SYME40 biyodizel yakıt karışımlarına ait hava fazlalık katsayısı değerleri dizel yakıtına göre daha yüksektir. Hava fazlalık katsayısındaki artışlar motor yüküne bağlı olarak KYME için %10,2–13,9, SYME için %13,4–14,2, SYME20 için %2,2–2,6 ve SYME40 için %5–5,4 arasında değişmektedir. Biyodizel yakıt ve karışımları kullanıldığında hava fazlalık katsayısında meydana gelen bu artışlar Tablo 1'de görüldüğü ve literatürde de belirtildiği gibi biyodizel yakıt ve karışımlarının kimyasal yapılarında oksijen bulundurmaları ve stokiometrik hava–yakıt oranlarının dizel yakıtına göre daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır (Agudelo vd., 2009).



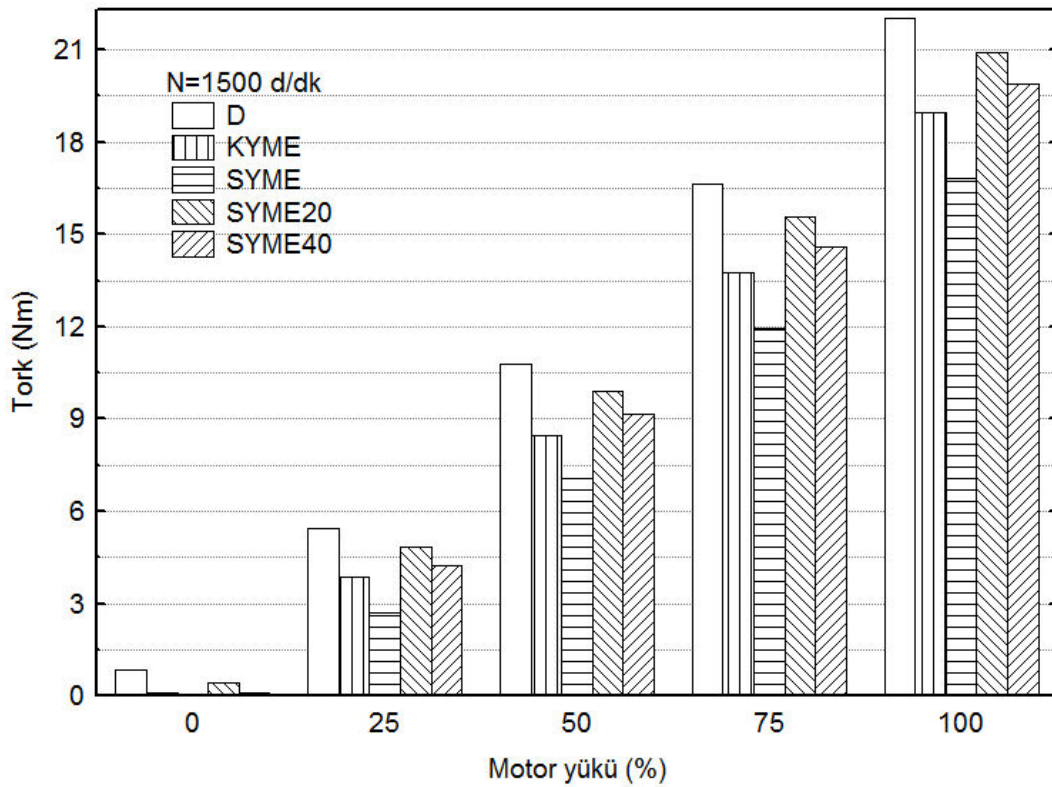
Şekil 3.16. Hava fazlalık katsayısının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.17’de teorik incelenen yakıtlar için egzoz gazı sıcaklığının motor yüküne göre değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi egzoz gazı sıcaklığı motor yükü arttıkça artış göstermektedir. Bu durum motor yükü arttıkça silindire püskürtülen yakıt miktarının artması sonucu yukarıda da belirtildiği gibi daha yüksek yanma sıcaklıkları elde edilmesinden kaynaklanmaktadır. Öte yandan KYME ve SYME biyodizel yakıtları ve SYME20 ve SYME40 biyodizel yakıt karışımları genel olarak dizel yakıtına göre daha düşük egzoz gazı sıcaklıkları vermiştir. Bu durum yukarıda belirtildiği gibi biyodizel yakıt ve karışımlarının genişleme sürecinde daha düşük yanma sıcaklıkları vermesinden kaynaklanmakta olup biyodizel yakıt ve karışımlarının dizel yakıtına göre daha düşük ısıl değere sahip olması yanında yanma sürelerinin de dizel yakıtına göre daha kısa olmasının bir sonucudur (Haşimoğlu vd., 2009). Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında egzoz gazı sıcaklığındaki düşüşler motor yüküne bağlı olarak KYME, SYME, SYME20 ve SYME40 yakıt ve karışımları için sırasıyla %3,1–8,6, %3,1–15,6, %2–3,6 ve %4,8–6,7 arasında değişmektedir.

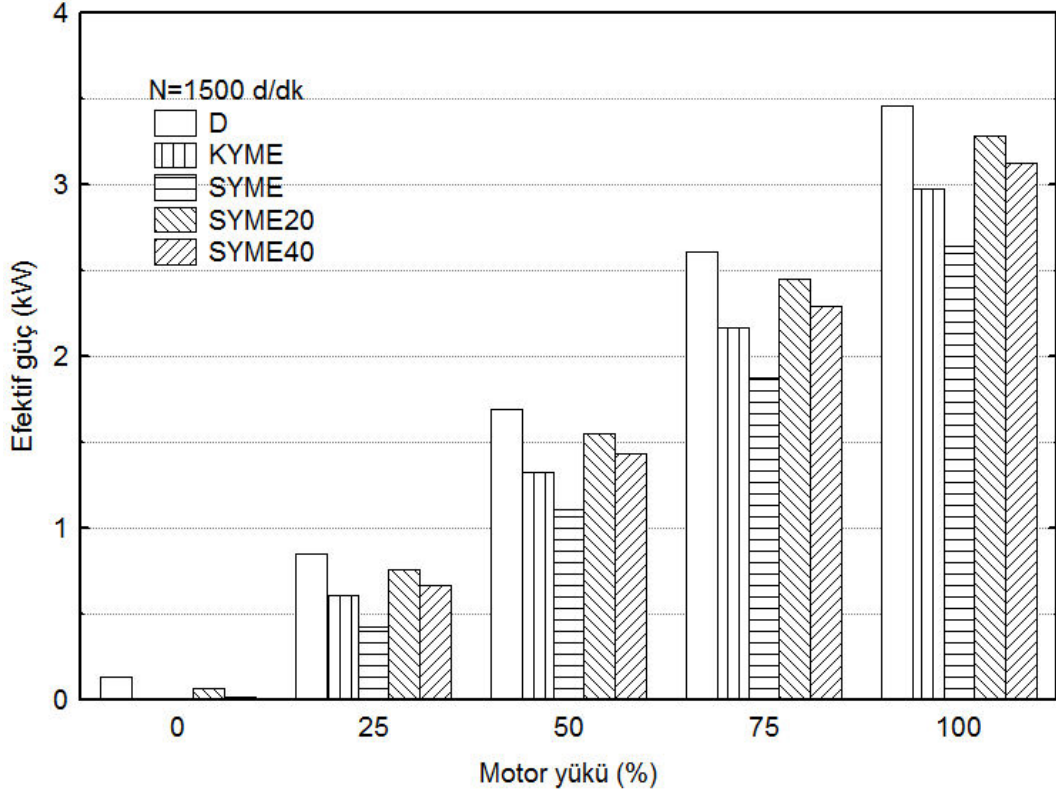


Şekil 3.17. Egzoz gazı sıcaklığının teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

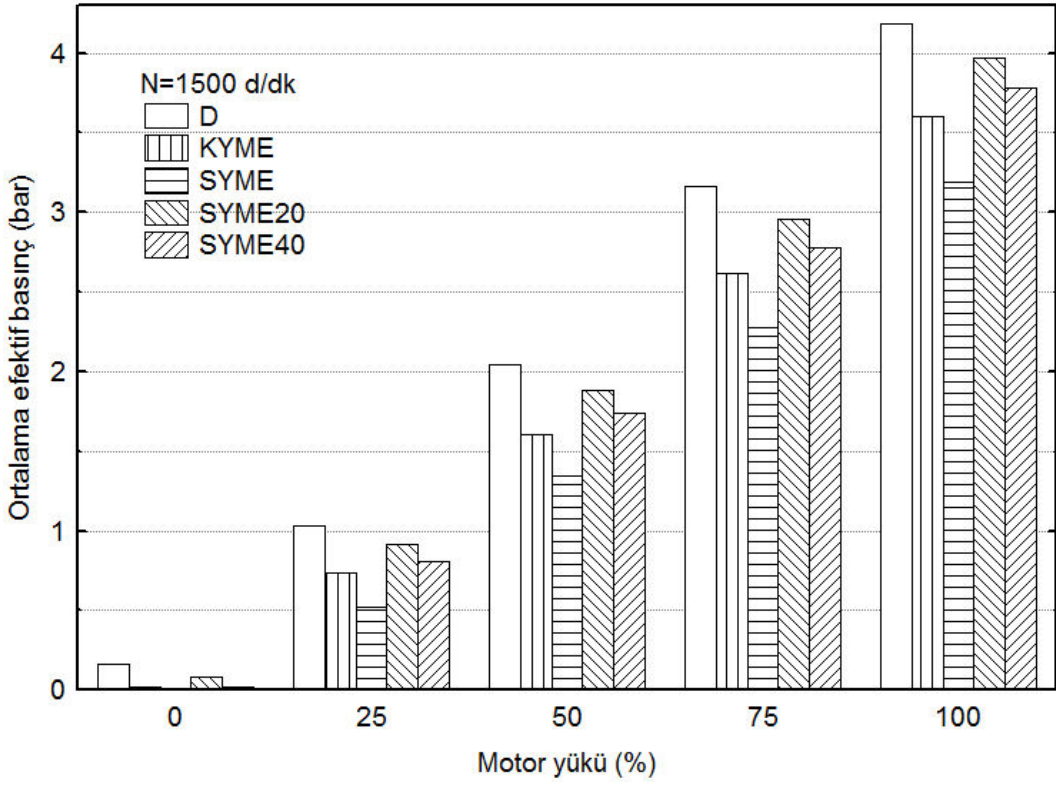
Şekil 3.18’de teorik incelenen yakıt ve karışımlar için torkun Şekil 3.19’da ise efektif gücün motor yüküne göre değişimleri verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi yük arttıkça silindire püskürtülen yakıt miktarının artması nedeniyle hem tork hem de efektif güç artan motor yüküyle artmaktadır. Öte yandan hem KYME ve SYME biyodizel yakıtları hem de SYME20 ve SYME40 biyodizel yakıt karışımları dizel yakıtına göre daha düşük tork ve efektif güç değerleri vermiştir. Dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında motor yüküne bağlı olarak tork ve efektif güçteki düşüşler KYME için %13,9–29,1, SYME için %23,7–49,9 SYME20 için %5–11,4 ve SYME40 için %9,7–21,7 arasında değişmektedir. Tork ve güçteki bu düşüşler Tablo 1’de görüldüğü ve literatürde de belirtildiği gibi esas olarak biyodizel yakıtlarının ve karışımlarının dizel yakıtına göre daha düşük ısıl değere sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Sugözü vd., 2009). Şekil 3.20’de ortalama efektif basınç içinde benzer değişimler görülmektedir.



Şekil 3.18. Torkun teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

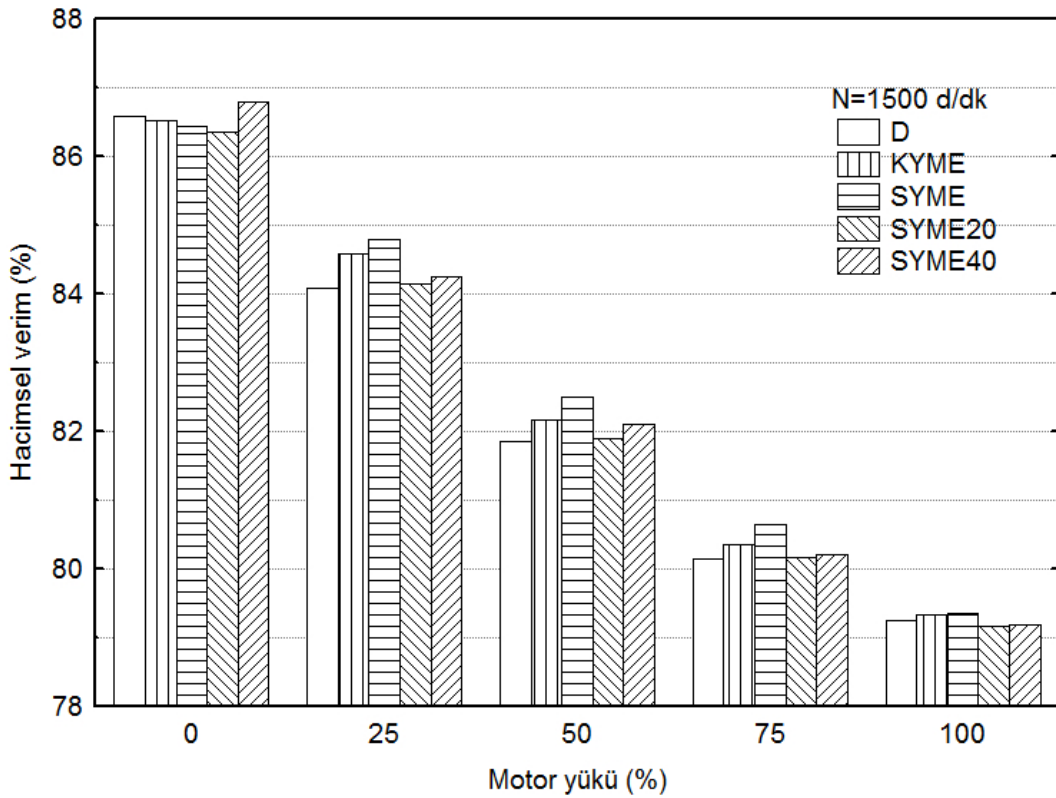


Şekil 3.19. Efektif gücün teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi



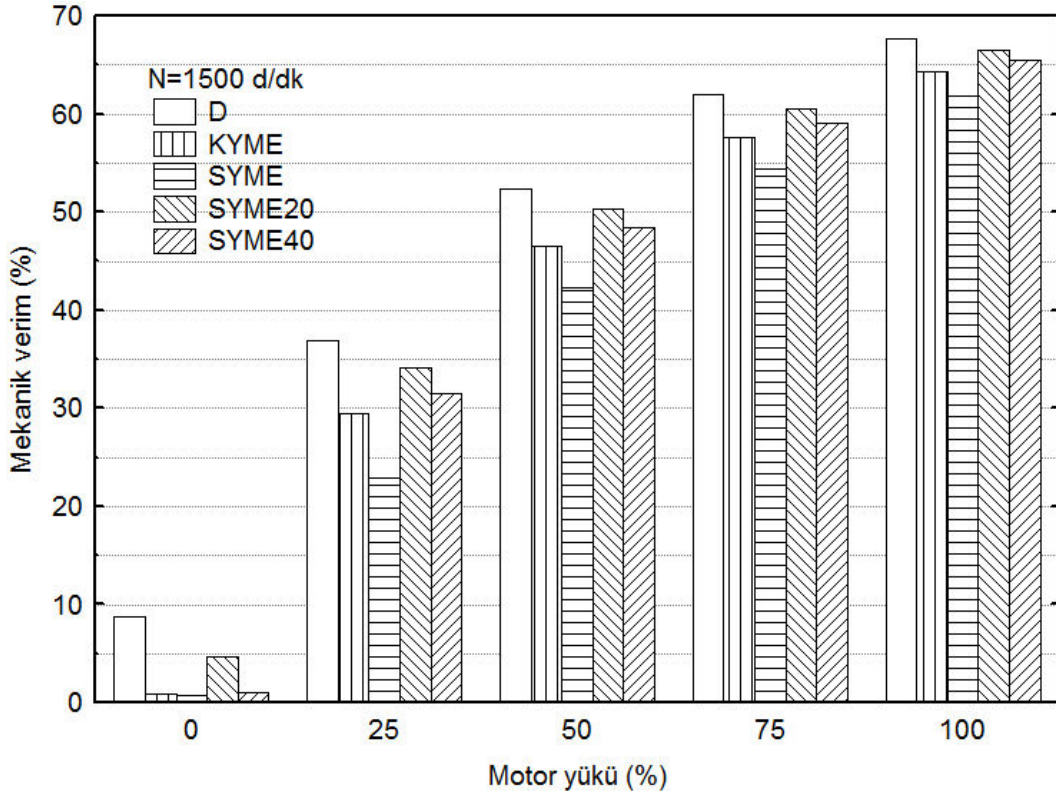
Şekil 3.20. Ortalama efektif basıncın teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.21’de teorik incelenen yakıt ve karışımlar için hacimsel verimin motor yüküyle değişimi verilmiştir. Motorlarda hacimsel verim belli bir çalışma koşulunda silinire alınan hava miktarının normal şartlar da silindir hacmini dolduracak hava miktarına oranı olarak tanımlanmakta olup emme sisteminin tasarımına ve çalışma koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Şekilden görüldüğü gibi hacimsel verim püskürtülen yakıt miktarı artıp emilen hava miktarı yaklaşık sabit kaldığından motor yükü arttıkça azalmaktadır. Öte yandan genel olarak KYME ve SYME biyodizel yakıtları ve SYME20 ve SYME40 biyodizel yakıt karışımları dizel yakıtına göre biraz daha yüksek hacimsel verim değerleri vermiştir. Bu durum hava fazlalık katsayısıyla ilgili açıklamalarda belirtildiği gibi biyodizel yakıt ve karışımlarının yapısında oksijen bulunması ve stokiometrik hava-yakıt oranlarının dizel yakıtına göre daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, biyodizel yakıtları ve karışımları kullanıldığında özellikle genişleme sürecinde daha düşük ortalama silindir sıcaklıklarının ve daha düşük egzoz gazı sıcaklıklarının elde edilmiş olması silindire emilen havanın yoğunluğunun daha yüksek olmasını sağlayarak hacimsel verimin artmasına katkı sağlamaktadır. Dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında motor yüküne bağlı olarak hacimsel verimdeki artışlar KYME için %0,08–0,5, SYME için %0,11–0,72, SYME20 için %0,03–0,07 ve SYME40 için %0,06–0,26 arasında değişmektedir.



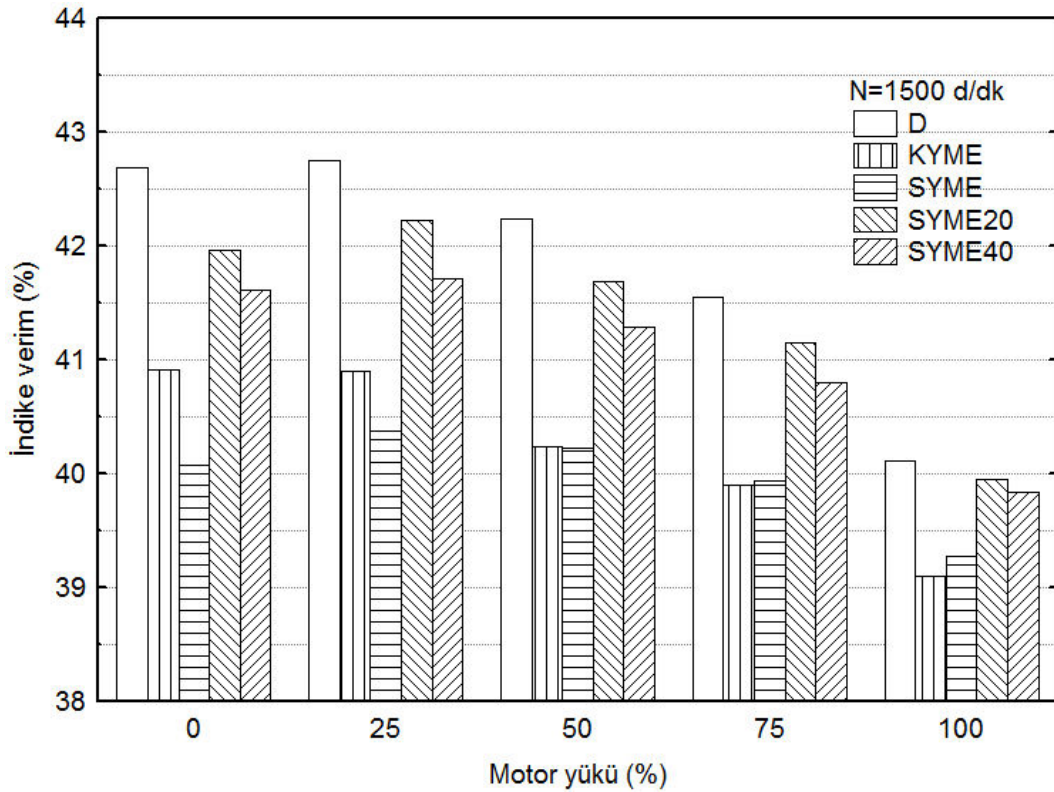
Şekil 3.21. Hacimsel verimin teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.22’de teorik incelenen yakıt ve karışımlar için mekanik verimin motor yüküyle değişimi verilmiştir. Motorlarda mekanik verim silindir içindeki yanmış gazların piston üzerine yaptığı indike işin veya indike gücün motorun krank milinden elde edilen efektif güce oranı şeklinde tanımlanmaktadır. Dolgu değişimine (emme ve egzoz işlemlerine), sürtünmelere ve yardımcı donanımlara harcanan gücü kapsayan mekanik verim motorun tasarımına ve çalışma koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi elde edilen efektif güç arttıkça mekanik verim de motor yükü arttıkça artmaktadır. Diğer taraftan KYME ve SYME biyodizel yakıtları ve SYME20 ve SME40 biyodizel yakıt karışımları dizel yakıtına göre daha düşük mekanik verim değerlerine sahiptir. Bu durum Şekil 3.19’da görüldüğü gibi biyodizel yakıt ve karışımlarının dizel yakıtına göre daha düşük efektif güç değerleri vermiş olmasından kaynaklanmaktadır. Dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında motor yüküne bağlı olarak mekanik verimdeki düşüşler KYME için %3,3–7,8, SYME için %5,8–13,9 SYME20 için %1,1–4,1 ve SYME40 için %2,1–7,7 arasında değişmektedir.



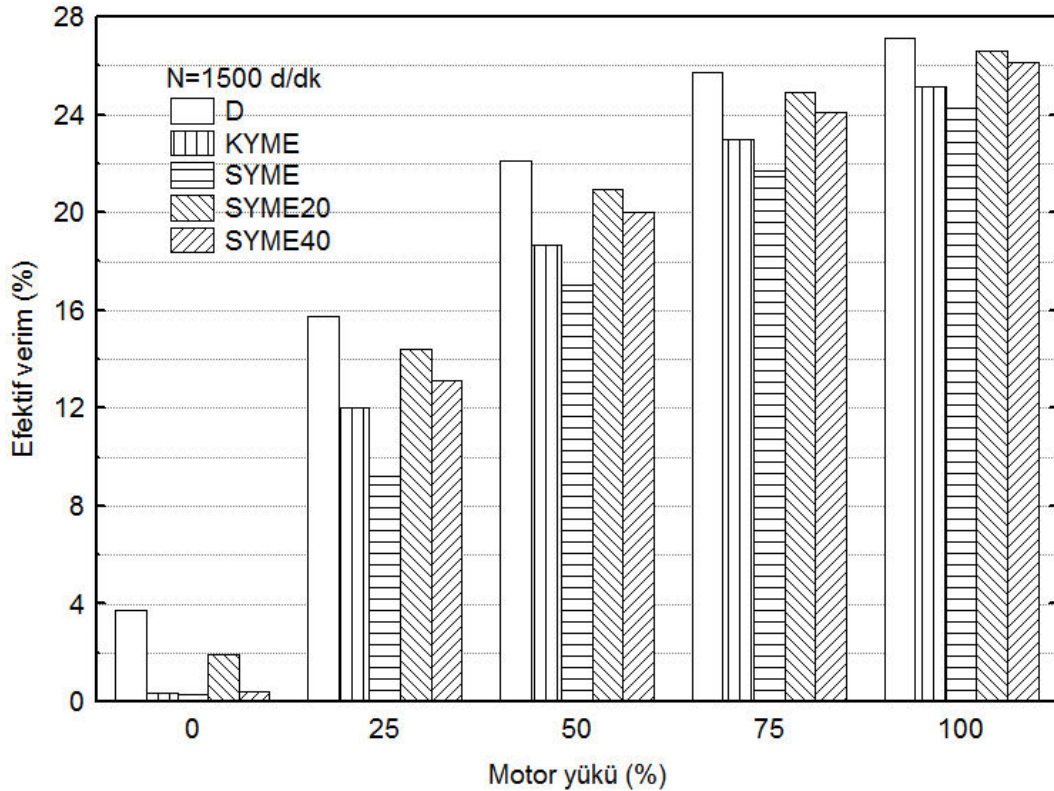
Şekil 3.22. Mekanik verimin teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.23’de teorik incelenen yakıt ve karışımlar için indike (iç) verimin motor yüküyle değişimi verilmiştir. Motorlarda indike verim silindir içindeki yanmış gazların piston üzerine yapmış olduğu indike işin veya gücün bu gücü elde etmek için harcanan yakıt ısısına oranı şeklinde tanımlanmakta olup yanma verimiyle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle yanma işlemi iyileşip yanma verimi artıkça indike verim de artar. Şekilden görüldüğü gibi daha fazla miktarda yakıtın silindire sokulması sonucu yanma veriminin azalması nedeniyle indike verim motor yüküyle %1–2 oranında azalmaktadır. Öte yandan KYME ve SYME biyodizel yakıtları ve SYME20 ve SYME40 yakıt karışımları tüm motor yükü değerlerinde dizel yakıtına göre yaklaşık %1–2 arasında değişen değerlerde daha düşük indike verim değerleri vermiştir. İndike verimdeki bu değişimlerin yukarıda bahsedilen biyodizel yakıt ve karışımlarının yapılarında oksijen bulunması gibi yanması iyileştirici özelliklerinin yanı sıra yakıtın pülverize olmasını olumsuz etkileyen kötü püskürtme özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Çelikten ve Arslan, 2008). Kötü püskürtme özellikleri yanmayı iyileştiren özelliklere baskın gelerek indike verimin az da olsa azalmasına neden olmaktadır. Dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında motor yüküne bağlı olarak indike verimdeki düşüşler KYME için %1–2, SYME için %0,8–2,6, SYME20 için %0,16–0,72 ve SYME40 için %0,3–1,1 arasında değişmektedir.

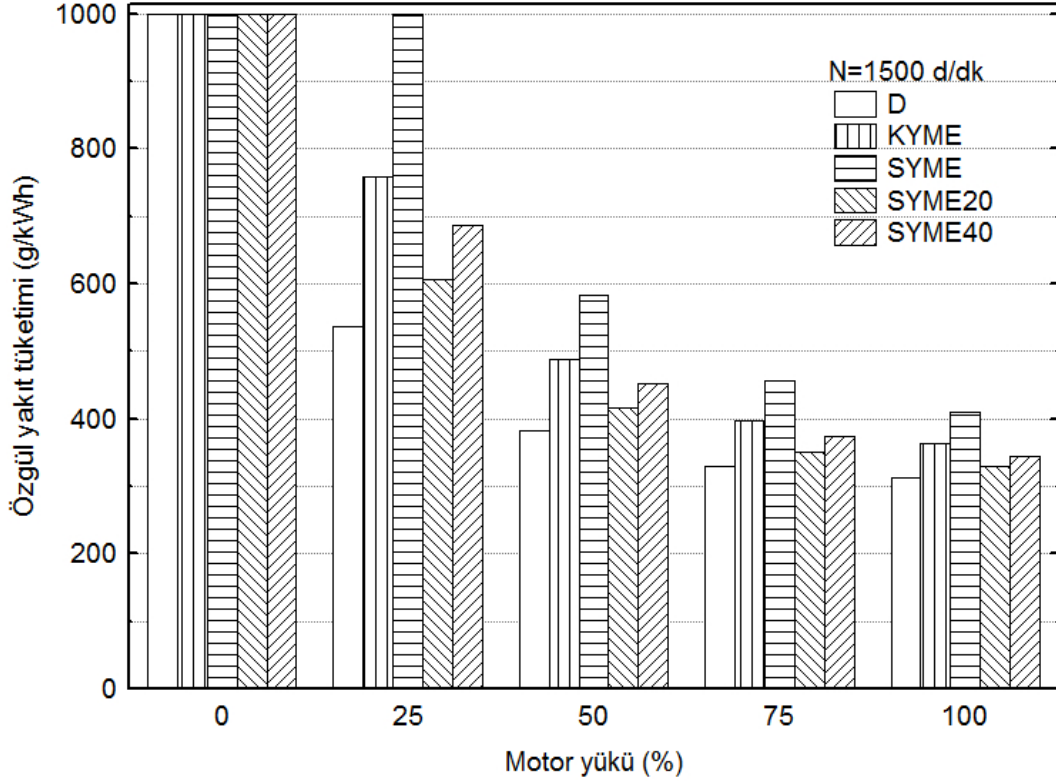


Şekil 3.23. İndike verimin teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.24’de teorik incelenen yakıt ve karışımlar için efektif verimin motor yüküyle değişimi verilmiştir. Motorlarda efektif verim krank milinden elde edilen efektif işin veya gücün bu gücü elde etmek için harcanan yakıt ısısına oranı şeklinde tanımlanmakta olup indike, hacimsel, mekanik verimlerin tamamını kapsamaktadır. Bunun sonucunda şekilden görüldüğü gibi elde edilen efektif gücün artmasına bağlı olarak efektif verim motor yüküyle artmaktadır. İndike verime benzer şekilde KYME ve SYME biyodizel yakıtları ve SYME20 ve SYME40 yakıt karışımları tüm motor yükü değerlerinde dizel yakıtına göre aradaki farklar az olmakla birlikte daha düşük efektif verim değerleri vermiştir. Efektif verim tüm verimleri kapsadığından bu değişimlerin yukarıda diğer verimlerle ilgili olarak yapılan açıklamalardan kaynaklandığı söylenebilir. Dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında motor yüküne bağlı olarak efektif verimdeki düşüşler KYME için %1,9–3,7, SYME için %2,8–6,5, SYME20 için %0,5–1,7 ve SYME40 için %1–3,3 arasında değişmektedir.



Şekil 3.24. Efektif verimin teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

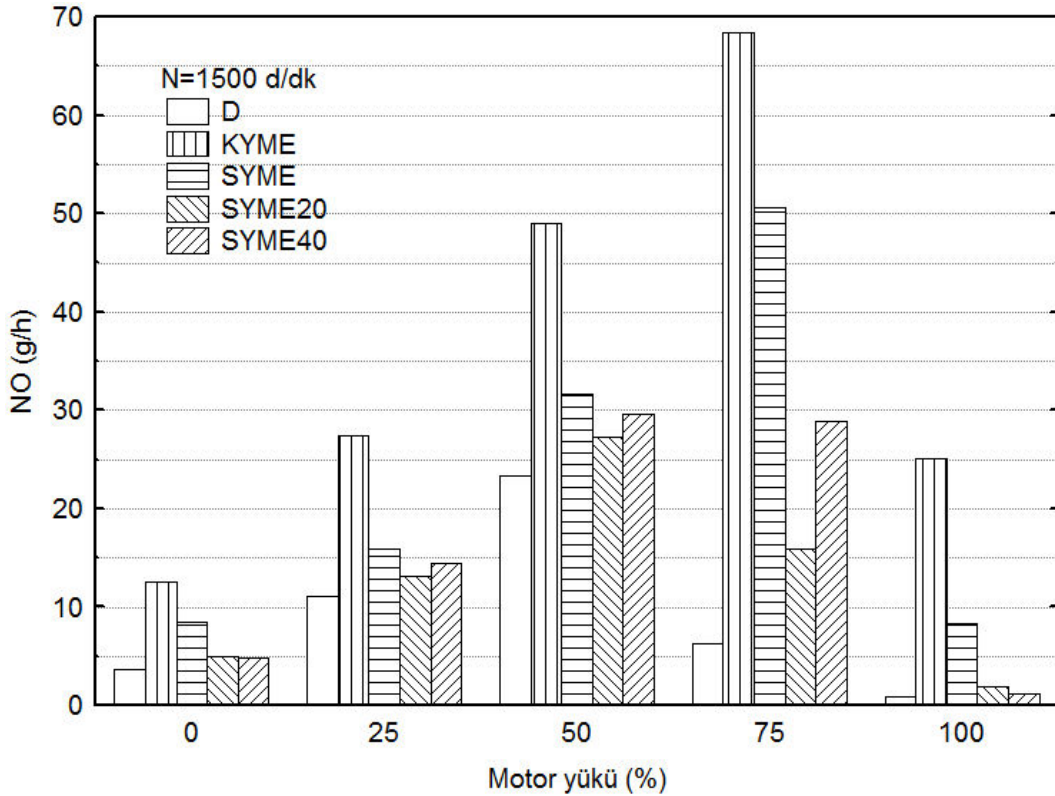


Şekil 3.25. Özgül yakıt tüketiminin incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.25’de teorik incelenen yakıt ve karışımlar için özgül yakıt tüketiminin motor yüküyle değişimi verilmiştir. Motorlarda özgül yakıt tüketimi birim zamanda birim güç elde etmek için harcanan yakıt miktarı olup efektif verimle ters orantılı olarak değişmektedir. Bunun sonucunda efektif verim artıkça özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Şekilden görüldüğü gibi efektif verimin artması sonucu özgül yakıt tüketimi motor yüküyle azalmakta ve genel olarak KYME ve SYME biyodizel yakıtları ve SYME20 ve SYME40 yakıt karışımları dizel yakıtına göre daha yüksek özgül yakıt tüketimi değerleri vermektedir. Dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında motor yüküne bağlı olarak özgül yakıt tüketimindeki artışlar KYME için %16,2–41,1, SYME için %31,1–52,1, SYME20 için %5,3–12,9 ve SYME40 için %10,7–27,8 arasında değişmektedir.

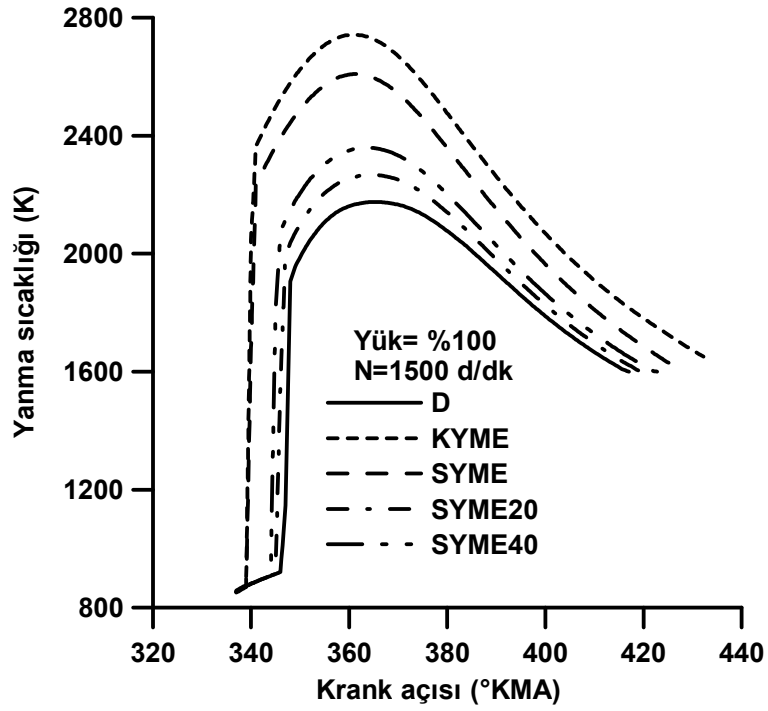
3.1.4. Emisyon Karakteristiklerinin İrdelenmesi

Şekil 3.26’da teorik incelenen yakıt ve karışımlar için azot oksit (NO) emisyonunun motor yüküyle değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi tüm yakıt ve karışımlar için NO emisyonu yüksüz (%0) ve maksimum yük (%100) değerlerinde düşük değerler alırken orta yüklerde (%25-75) daha yüksek değerler almıştır. NO emisyonu temelde yanma sıcaklıkları ve yanma odasındaki oksijen konsantrasyonu bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle yüksüz durumda yanma odasında oksijen miktarı fazla olmasına rağmen yanma sıcaklıkları düşük olduğundan NO emisyonu düşüktür. Maksimum yük durumunda ise yüksek yanma sıcaklıkları elde edilmesine rağmen silindire püskürtülen yakıt miktarı arttığından yanma sırasında daha fazla oksijen kullanılmakta ve yanma odasındaki oksijen miktarı azaldığından NO emisyonu miktarı da azalmaktadır. Orta yüklerde ise yanma sıcaklıkları ve yanma odasındaki oksijen miktarı daha fazla NO oluşmasını sağlayacak seviyededir. Şekilden KYME ve SYME biyodizel yakıtları ve SYME20 ve SYME40 biyodizel yakıt karışımları dizel yakıtına göre daha yüksek NO emisyonu değerleri verdiği görülmektedir. Biyodizel yakıt ve karışımlarının daha yüksek NO emisyonu vermelerinin temel nedeni Tablo 1’de verildiği gibi biyodizel yakıt ve karışımlarının yapılarında oksijen bulunması sebebiyle yanma odasındaki oksijen miktarını artmasıdır.



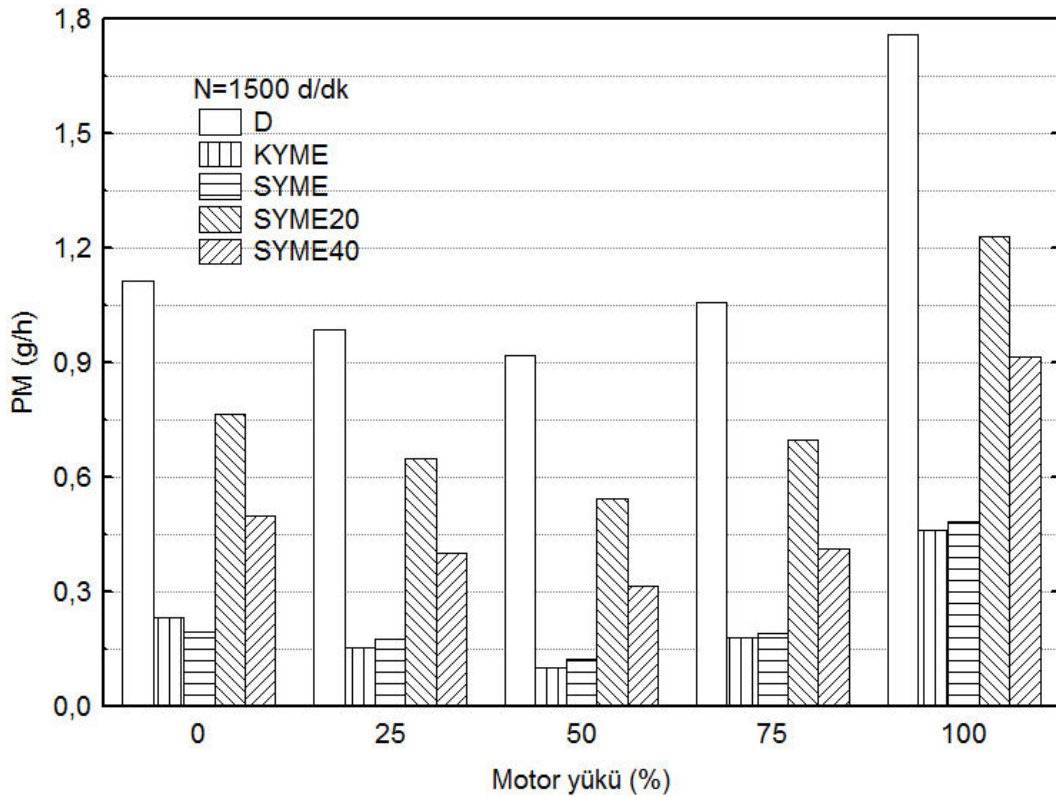
Şekil 3.26. Azot oksit emisyonunun teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Diğer neden ise Şekil 3.27’de görüldüğü gibi özellikle yanmanın ilk aşamasında daha yüksek yanma sıcaklıklarının ortaya çıkmasıdır. Böylece, biyodizel yakıt ve karışımları kullanıldığında NO emisyonu miktarı yükselmektedir (Rao, 2011). Dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında motor yüküne bağlı olarak NO emisyonundaki artışlar KYME için %109–988, SYME için %35,5–809, SYME20 için %16,6–110 ve SYME40 için %21–359 arasında değişmektedir.



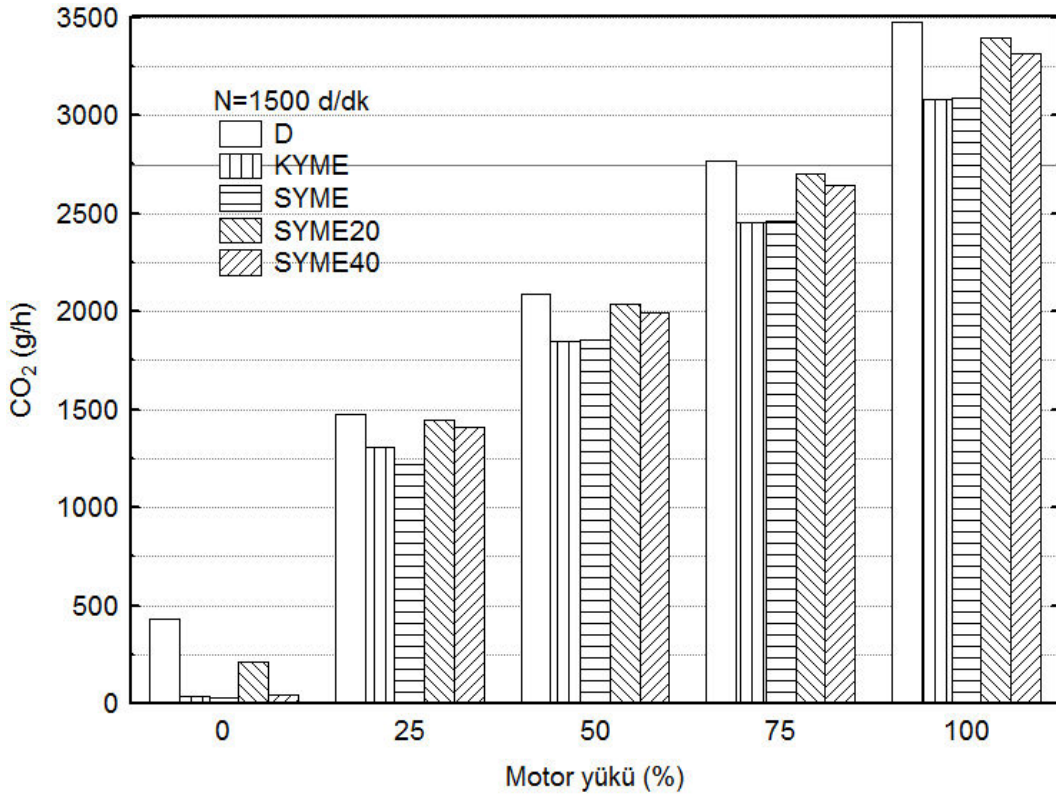
Şekil 3.27. Yanma sıcaklıklarının teorik incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi

Şekil 3.28’de teorik incelenen yakıt ve karışımlar için partikül madde (PM) emisyonunun motor yüküyle değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi tüm yakıt ve karışımlar için PM emisyonu yüksüz (%0) ve maksimum yük (%100) değerlerinde yüksek değerler alırken orta yüklerde (%25-75) daha düşük değerler almıştır. PM emisyonu homojen bir yakıt-hava karışımı oluşmaması nedeniyle özellikle yanma odasının yakıtça zengin karışım bölgelerinde oluşmaktadır. Bunun sonucunda özellikle maksimum yük durumunda PM emisyonu artış göstermiştir. Diğer taraftan özellikle KYME ve SYME biyodizel yakıtları ve SYME20 ve SYME40 biyodizel yakıt karışımları dizel yakıtına göre daha düşük PM emisyonu değerleri vermiştir. Literatürde belirtildiği ve Tablo 1’de görüldüğü gibi biyodizel yakıt ve karışımlarının setan sayılarının dizel yakıtına göre yüksek olması ve yapılarında oksijen bulunması daha homojen bir karışım sağlayarak yanma verimini artırmakta ve PM emisyonunu azaltmaktadır (Rao, 2011). Dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında motor yüküne bağlı olarak PM emisyonundaki azalmalar KYME, SYME, SYME20 ve SYME40 için sırasıyla %73,7–88,7, %72,3–86,4, %30–40,7 ve SYME40 %47,9–65,7 arasında değişmektedir.



Şekil 3.28. Partikül madde emisyonunun teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.29’da teorik incelenen yakıt ve karışımlar için karbondioksit (CO₂) emisyonunun motor yüküyle değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi tüm yakıt ve karışımlar için CO₂ emisyonu motor yükü arttıkça artmaktadır. Bu durum motor yükü arttıkça silindire daha fazla miktarda yakıt püskürtülerek yakılması sonucu daha fazla CO₂ emisyonunun oluşumundan kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan şekilden görüldüğü gibi KYME ve SYME biyodizel yakıtları ve SYME20 ve SYME40 biyodizel yakıt karışımları dizel yakıtına göre az da olsa daha düşük CO₂ değerleri vermiştir. Bu durumun Tablo 1’de görüldüğü gibi biyodizel yakıt ve karışımlarının yapısında bulunan karbon (C) miktarının dizel yakıtına göre daha az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında motor yüküne bağlı olarak CO₂ emisyonundaki azalmalar KYME için %11,5–91,6, SYME için %11,1–92,6, SYME20 için %2,3–50,5 ve SYME40 için %4,6–89,6 arasında değişmektedir.

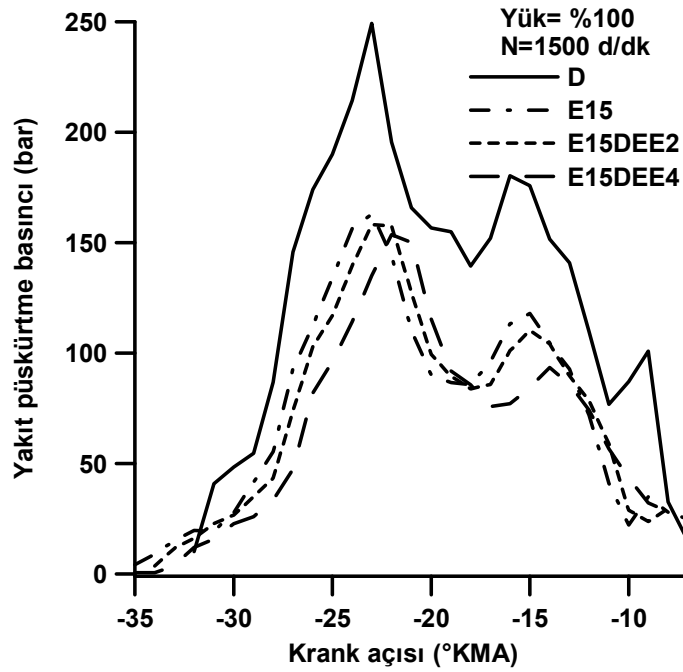


Şekil 3.29. Karbondioksit emisyonunun teorik incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

3.2. Deneysel Çalışma Sonuçlarının İrdelenmesi

3.2.1. Püskürtme Karakteristiklerinin İrdelenmesi

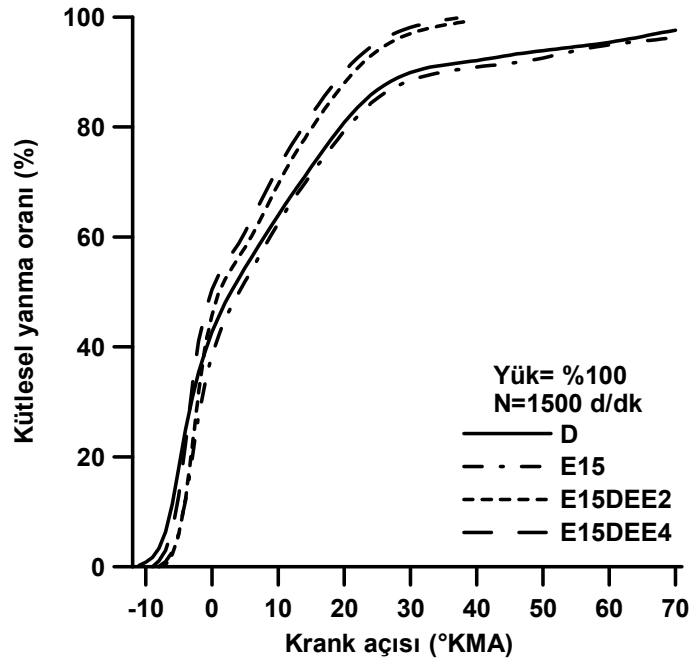
Şekil 3.30'da püskürtme basıncının deneysel incelenen yakıtlar için 1500 d/dk motor devrinde ve tam yük durumunda krank açısıyla değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları dizel yakıtına (D) göre daha düşük püskürtme basıncına sahiptir. Bu durum Tablo 2.4'de görüldüğü gibi etanol ve dietil eterin dizel yakıtına göre daha düşük yoğunluk, viskozite, Bulk modülü ve yüzey gerilimi değerlerine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Literatürde belirtildiği gibi yakıtların fiziksel özelliklerindeki bu farklılıklar yakıt karışımları kullanıldığında püskürtme basıncının düşmesine ve püskürtme işleminin gecikmesine neden olmaktadır (Kegl, 2006).



Şekil 3.30. Püskürtme basıncının deneysel incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi

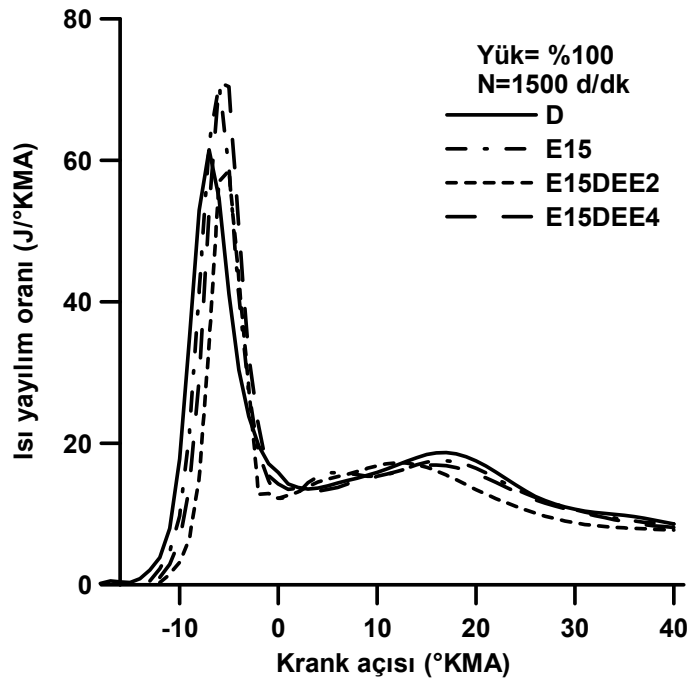
3.2.2. Yanma Karakteristiklerinin İrdelenmesi

Şekil 3.31’de kütleli yanma oranının deneysel incelenen yakıtlar için 1500 d/dk motor devrinde ve tam yük durumunda krank açısıyla değışimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları yanmanın ilk aşamasında dizel yakıtına göre daha düşük değerler vermiştir. Bu durum Tablo 2.4’de görüldüğü gibi etanolün setan sayısının oldukça düşük olması sebebiyle yakıt karışımlarının tutuşma gecikmesi süresinin dizel yakıtına göre daha uzun olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak yanmanın ilerleyen aşamasında kütleli yanma oranı yakıt karışımları için artış göstermekte olup E15 karışımı dizel yakıtına yakın değerler verirken E15DEE2 ve E15DEE4 daha yüksek değerler vermektedir. Bu değışimin etanol ve dietil eterin yapısında oksijen bulunması nedeniyle yanmayı iyileştirici etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca dietil eterin oldukça yüksek olan setan sayısı kütleli yanma oranının artmasına katkı sağlamaktadır.



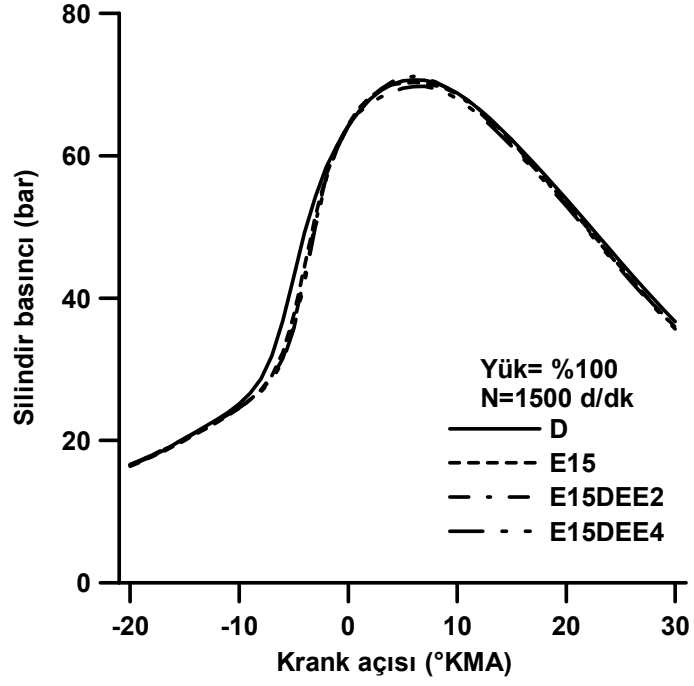
Şekil 3.31. Kütleli yanma oranının deneysel incelenen yakıtlar için krank açısıyla değışimi

Şekil 3.32’de ısı yayılım oranının deneysel incelenen yakıtlar için 1500 d/dk motor devrinde ve tam yük durumunda krank açısıyla değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları yanmanın ilk aşamasında dizel yakıtına göre daha düşük değerler vermiştir. Bu durum Şekil 3.32’de görülen kütleli yanma oranındaki değişimden kaynaklanmaktadır. Kütleli yanma oranına benzer şekilde yanmanın ilerleyen aşamasında ısı yayılım oranı yakıt karışımları için artış göstermektedir. Isı yayılım oranındaki bu değişimlerin yukarıda kütleli yanma oranıyla ilgili yapılan açıklamalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

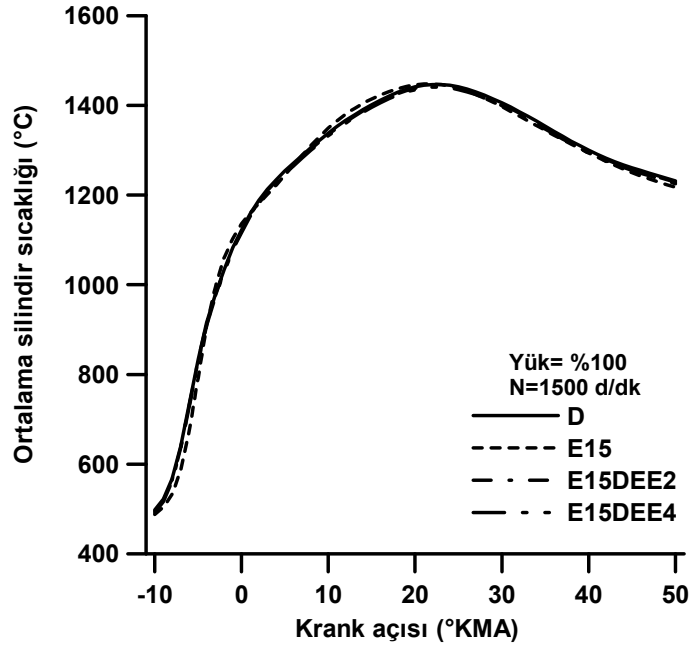


Şekil 3.32. Isı yayılım oranının deneysel incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi

Şekil 3.33’de silindir basıncının ve Şekil 3.34’de ortalama silindir sıcaklığının deneysel incelenen yakıtlar için 1500 d/dk motor devrinde ve tam yük durumunda krank açısıyla değişimleri verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları genel olarak biraz düşük olmakla birlikte dizel yakıtına oldukça yakın silindir basıncı ve silindir sıcaklığı değerleri vermiştir. Yakıt karışımları kullanıldığında silindir basıncı ve sıcaklığındaki azalmaların temel nedeni Tablo 2.4’de görüldüğü gibi etanol ve dietil eterin dizel yakıtına göre ısıl değerlerinin düşük olmasıdır. Diğer taraftan etanol ve dietil eterin dizel yakıtına göre oldukça düşük ısıl değere sahip olmasına rağmen dizel yakıtına yakın basınç ve sıcaklık değerleri vermiş olması ise bu yakıtların yanmayı iyileştirici özelliklerinden kaynaklanmaktadır.



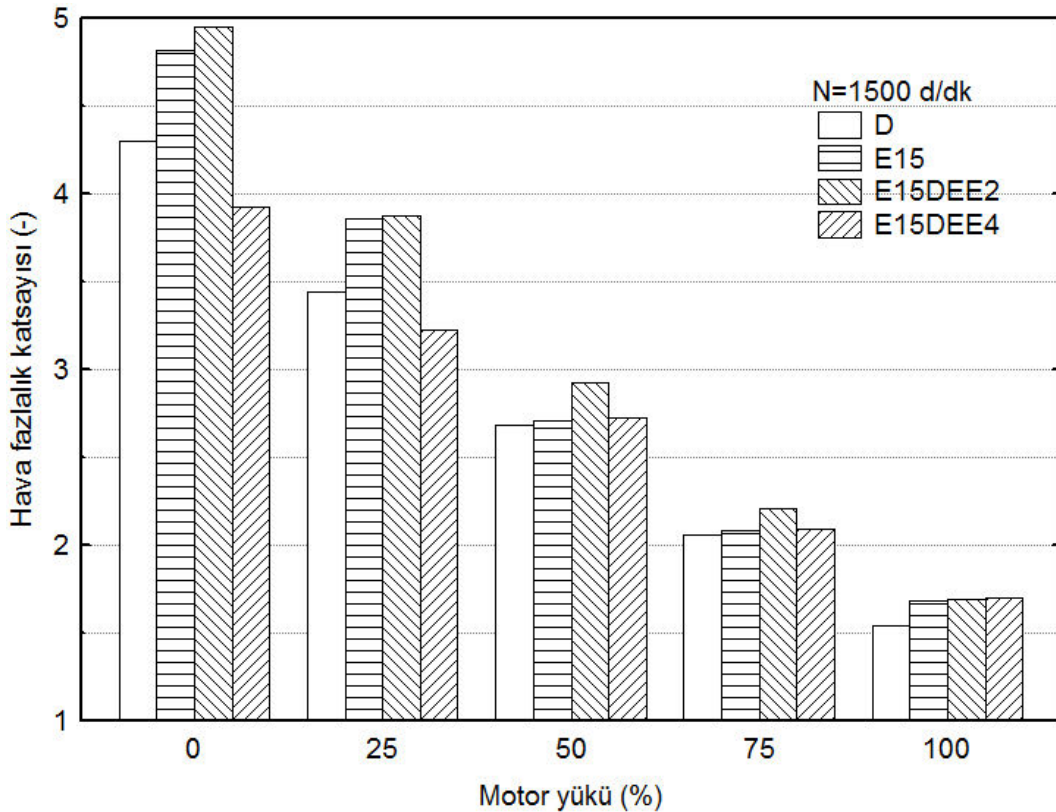
Şekil 3.33. Silindir basıncının deneysel incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi



Şekil 3.34. Ortalama silindir sıcaklığının deneysel incelenen yakıtlar için krank açısıyla değişimi

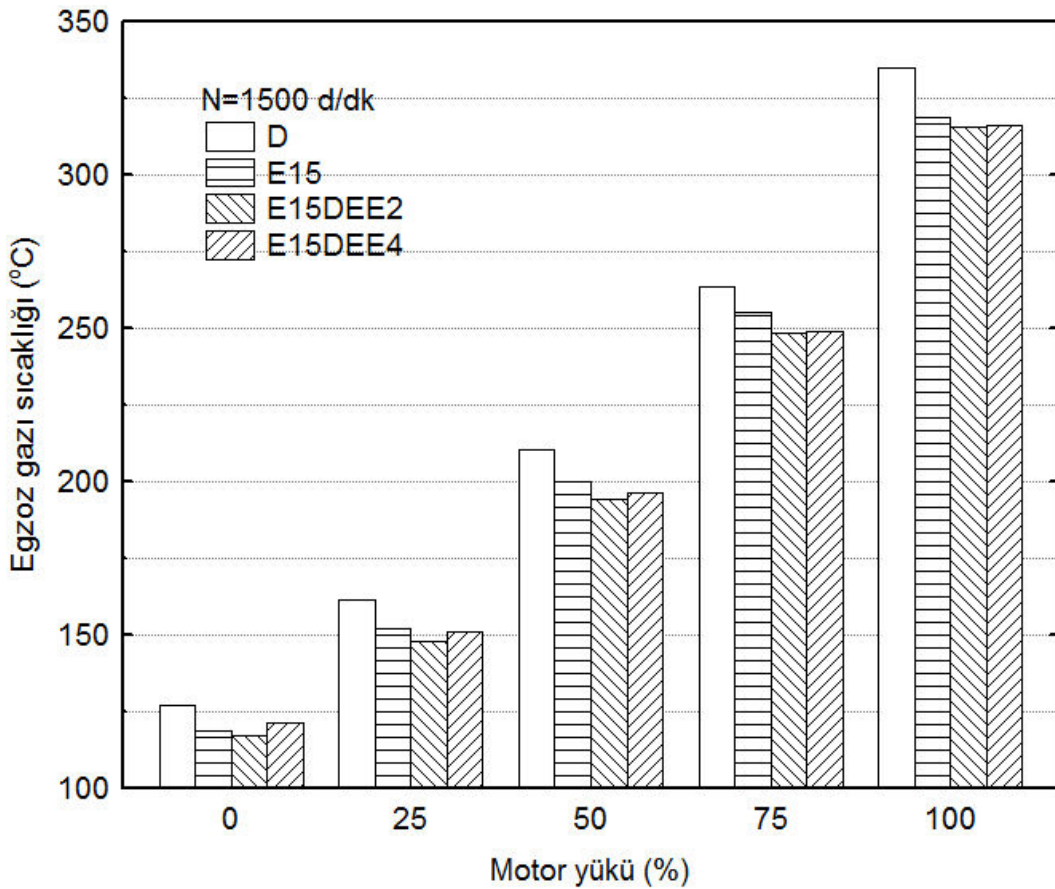
3.2.3. Performans Karakteristiklerinin İrdelenmesi

Şekil 3.35’de hava fazlalık katsayısının deneysel incelenen yakıtlar için 1500 d/dk motor devrinde motor yüküyle değişimleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi hava fazlalık katsayısı püskürtülen yakıt miktarı arttığı için motor yükü arttıkça azalmaktadır. Diğer taraftan, E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları genel olarak dizel yakıtına göre daha yüksek hava fazlalık katsayısı değerlerine sahiptir. Bu durum Tablo 2.4’de görüldüğü gibi etanol ve dietil eterin dizel yakıtına göre daha düşük stokiyometrik hava-yakıt oranına sahip olmasından ve yapılarında bulunan oksijen sayesinde yanma odasına extra oksijen sağlamalarından kaynaklanmakta olup yakıtların bu etkisi “fakirleştirici etki” olarak isimlendirilmektedir. Bu fakirleştirici etki sonucunda E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları dizel yakıtına göre daha yüksek hava fazlalık katsayısı değerleri vermiştir. Tam yük durumunda dizel yakıtına göre hava fazlalık katsayısındaki artışlar E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları için sırasıyla % 9,3, % 9,7 ve % 10,4 şeklindedir.



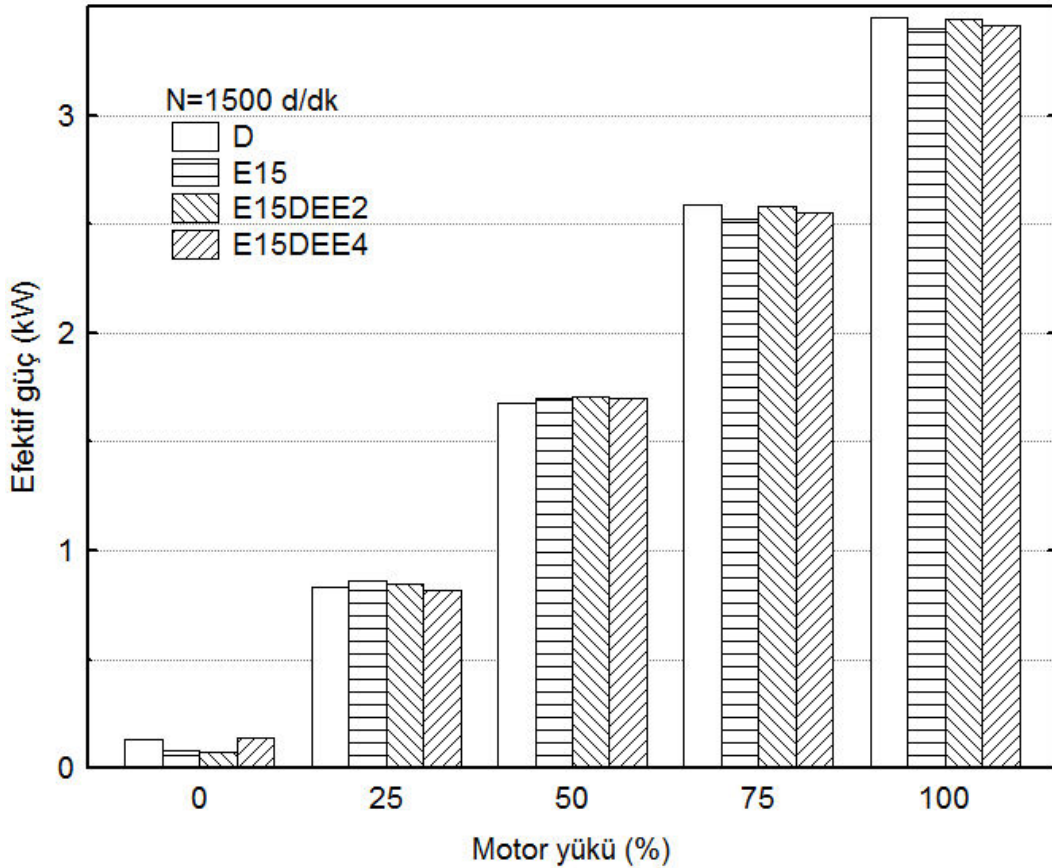
Şekil 3.35. Hava fazlalık katsayısının deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.36’da egzoz gazı sıcaklığının deneysel incelenen yakıtlar için 1500 d/dk motor devrinde motor yüküyle değişimleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi egzoz gazı sıcaklığı motor yükü arttıkça artış göstermektedir. Diğer taraftan, E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları dizel yakıtına göre daha düşük egzoz gazı sıcaklığı değerleri vermiştir. Bu durum Şekil 3.34’de görüldüğü gibi yakıt karışımlarının dizel yakıtına göre daha düşük yanma sıcaklıkları vermesinin bir sonucu olup yukarıda bahsedildiği gibi etanol ve dietil eterin dizel yakıtına göre daha düşük ısı değere sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan Tablo 2.4’de görüldüğü gibi etanol ve dietil eterin buharlaşma ısıları değerlerinin dizel yakıtına göre daha yüksek olması bu yakıtların buharlaşırken yanma odasında daha fazla ısı çekmesine neden olarak yakıt karışımları kullanıldığında yanma sıcaklıklarının düşmesine az da olsa katkı sağlamaktadır. Tam yük durumunda dizel yakıtına göre egzoz gazı sıcaklığındaki düşüşler E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları için sırasıyla % 4,8, % 5,6 ve % 5,5 şeklindedir.

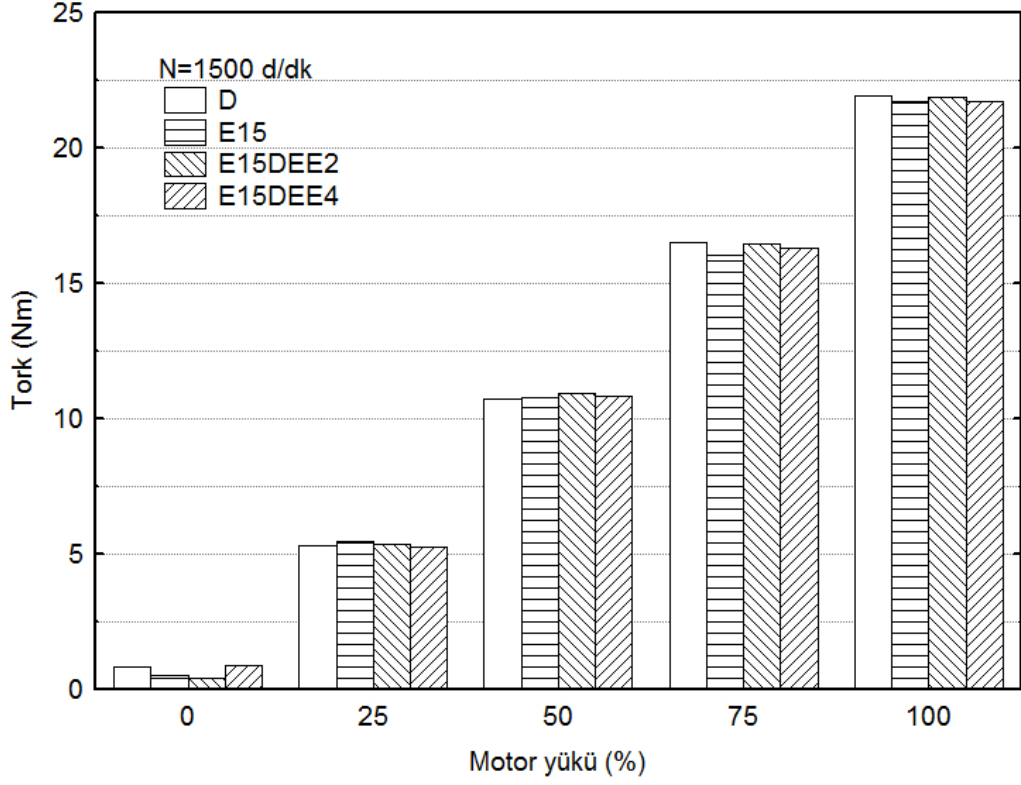


Şekil 3.36. Egzoz gazı sıcaklığının deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

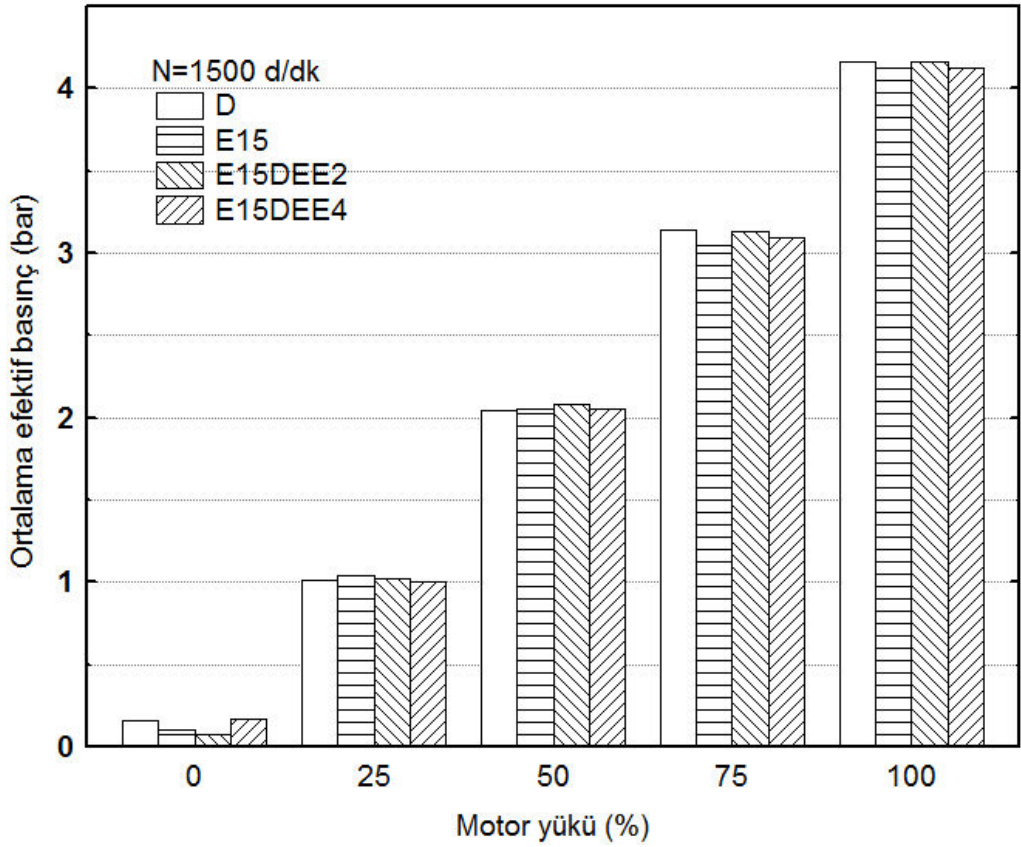
Şekil 3.37’de efektif gücün, Şekil 3.38’de torkun deneysel incelenen yakıtlar için 1500 d/dk motor devrinde motor yüküyle değişimleri verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları orta yüklerde dizel yakıtına eşdeğer yüksek yüklerde ise dizel yakıtına göre daha düşük efektif güç ve tork değerleri vermiştir. Bu durum Şekil 3.35’de görüldüğü gibi yakıt karışımlarının dizel yakıtına göre daha düşük silindir basıncı değerleri vermesinin bir sonucu olup yukarıda bahsedildiği gibi etanol ve dietil eterin dizel yakıtına göre daha düşük ısı değere sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan Tablo 2.4’de görüldüğü gibi etanol ve dietil eterin dizel yakıtına göre oldukça düşük ısı değere sahip olmasına rağmen dizel yakıtına yakın güç ve tork değerleri vermiş olması bu yakıtların yanmayı iyileştirici özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Tam yük durumunda dizel yakıtına göre efektif güçteki düşüşler E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları için sırasıyla % 1,4, % 0,3 ve % 1,1 şeklinde olup yakıt karışımları içinde en iyi performansı E15DEE2 karışımı göstermiştir. Şekil 3.39’da verilen ortalama efektif basınçta da efektif güç ve torka benzer değişimler görülmektedir.



Şekil 3.37. Efektif gücün deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

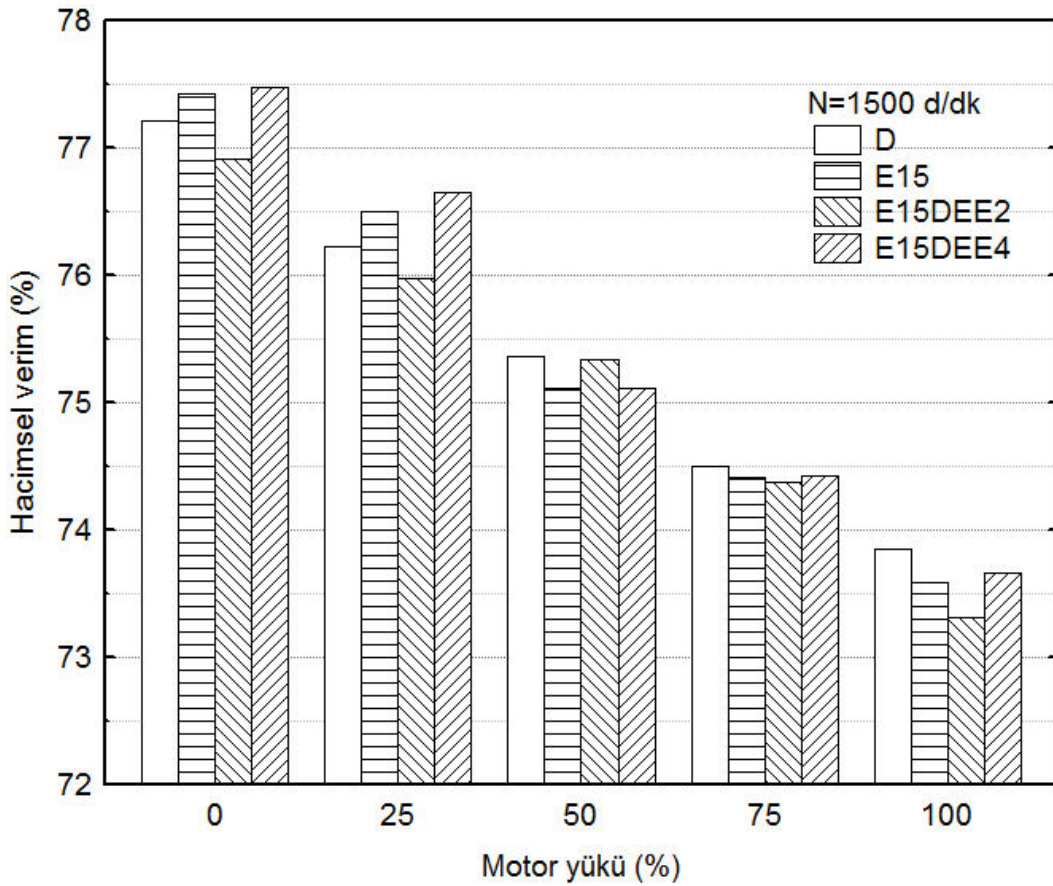


Şekil 3.38. Torkun deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi



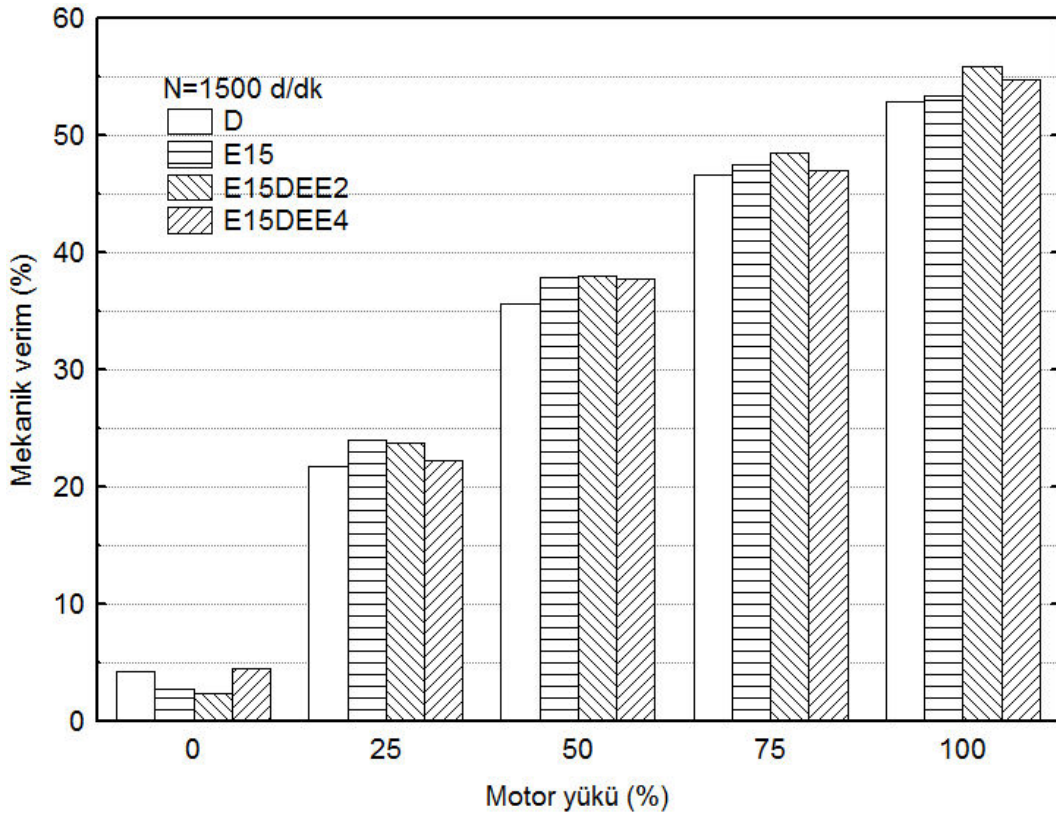
Şekil 3.39. Ortalama efektif basıncın deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.40’da hacimsel verimin deneysel incelenen yakıtlar için 1500 d/dk motor devrinde motor yüküyle değişimleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi hacimsel verim motor yükü arttıkça azalmaktadır. Bu durum motor yükü arttıkça silindire püskürtülen yakıt miktarının artmasından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları düşük yüklerde dizel yakıtından yüksek, orta ve yüksek yük değerlerinde ise dizel yakıtından düşük ancak yakın hacimsel verim değerleri vermiştir. Düşük yüklerde ortaya çıkan yüksek hacimsel verim değerleri Tablo 2.4’de görüldüğü gibi etanol ve dietil eterin dizel yakıtına göre daha düşük yoğunluğa sahip olmasından kaynaklanırken düşük hacimsel verim değerleri ise etanol ve dietil eterin daha hızlı buharlaşması sonucu silindirde daha fazla hacim işgal etmesinin bir sonucudur. Tam yük durumunda dizel yakıtına göre hacimsel verimdeki düşüşler E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları için sırasıyla % 0,3, % 0,7 ve % 0,2 şeklindedir.



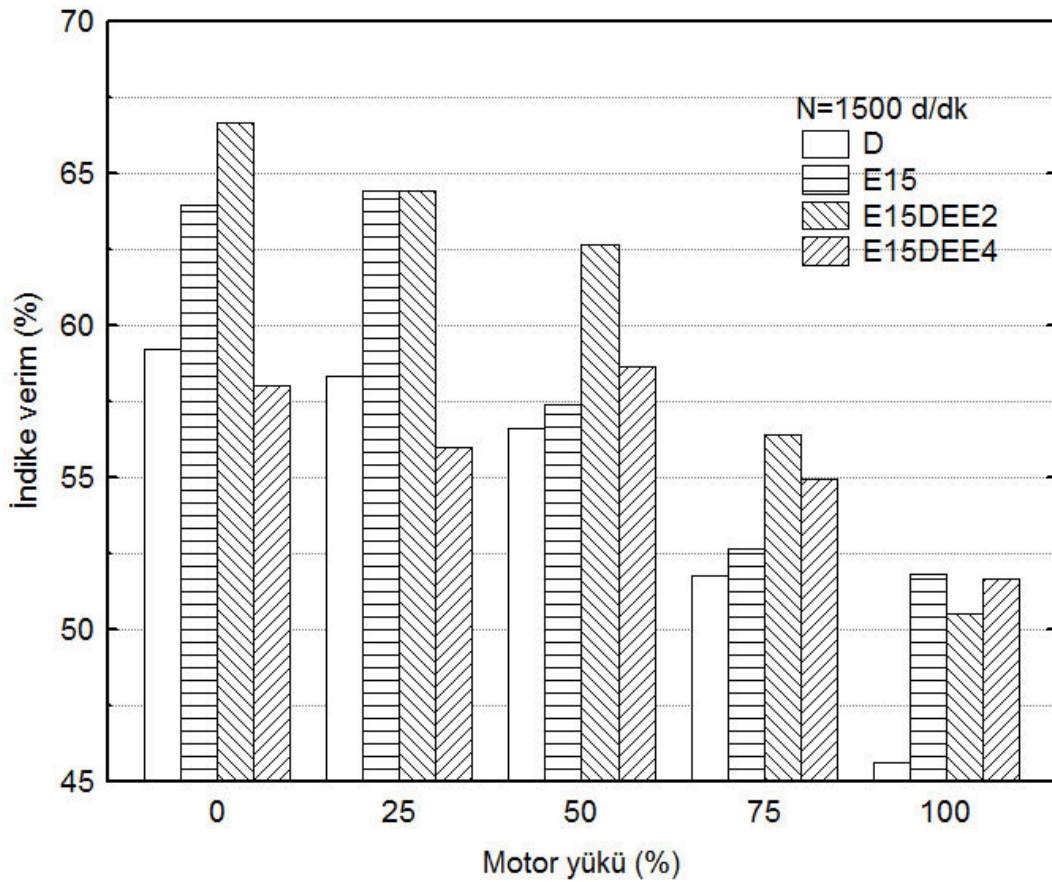
Şekil 3.40. Hacimsel verimin deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.41’de mekanik verimin deneysel incelenen yakıtlar için 1500 d/dk motor devrinde motor yüküyle değişimleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi mekanik verim artan motor yüküyle artmaktadır. Bu durum motor yükü arttıkça yakıt enerjisinin daha yüksek oranda faydalı güce dönüştürülmesinden kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan mekanik verim yüksüz durum dışında E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları dizel yakıtına göre daha yüksek mekanik verim değerlerine sahiptir. Bu durum yukarıda bahsedildiği gibi etanol ve dietil eterin yanmayı iyileştirici etkileri sonucu daha fazla miktarda yakıt enerjisinin faydalı işe dönüştürmesinin bir sonucudur. Tam yük durumunda dizel yakıtına göre mekanik verimdeki artışlar E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları için sırasıyla % 1, % 5,7 ve % 3,5 şeklinde olup yakıt karışımları içinde en iyi performansı E15DEE2 karışımı göstermiştir.



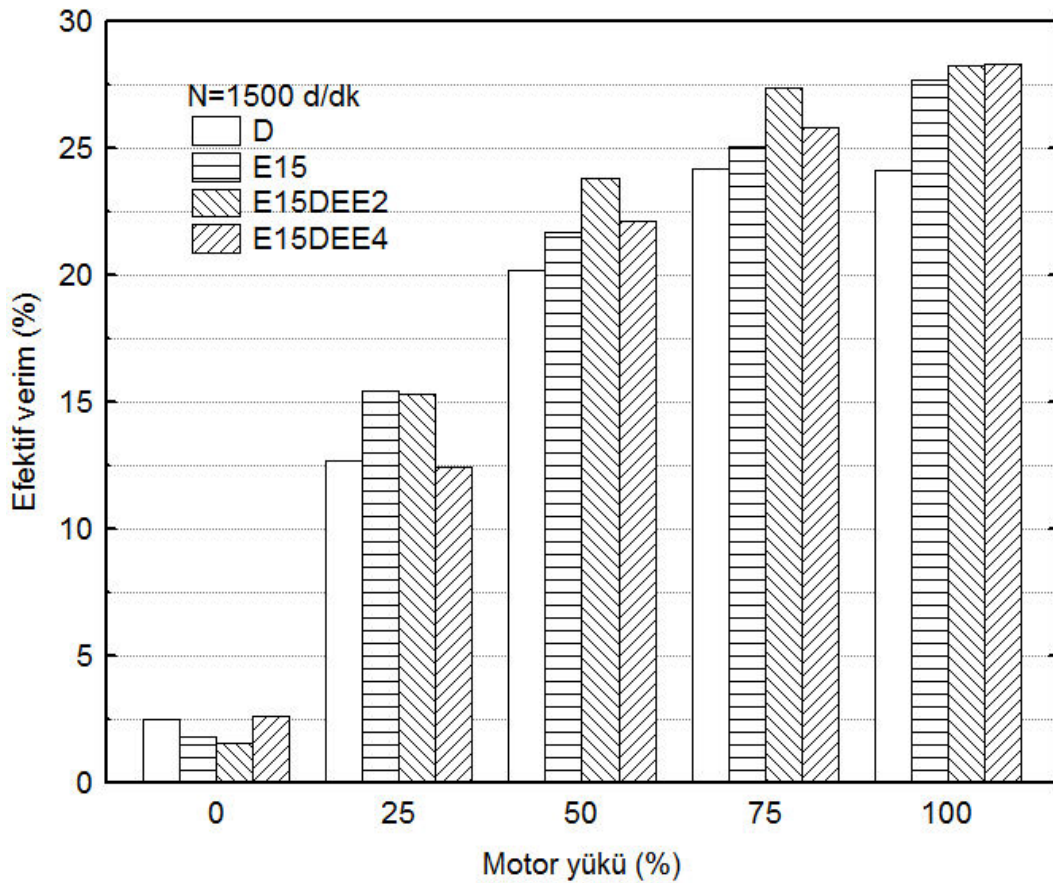
Şekil 3.41. Mekanik verimin deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.42’de indike verimin deneysel incelenen yakıtlar için 1500 d/dk motor devrinde motor yüküyle değişimleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi indike verim motor yükü arttıkça bir miktar azalmaktadır. Bu durum motor yükü arttıkça silindire püskürtülen yakıt miktarının artması sonucu yakıtın tamamının yakılamamasından kaynaklanmaktadır. Bunun sonucunda yakıt enerjisinin tamamı ısı enerjisine dönüştürülememekte ve indike verim azalmaktadır. Diğer taraftan E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları genel olarak dizel yakıtına göre daha yüksek indike verim değerleri vermiştir. Bu durum yukarıda bahsedildiği gibi etanol ve dietil eterin yanmayı iyileştirici etkileri sonucunda daha fazla miktarda yakıt enerjisinin ısı enerjisine dönüştürülmesinin bir sonucudur. Tam yük durumunda dizel yakıtına göre indike verimdeki artışlar E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları için sırasıyla % 13,5, % 10,7 ve % 13,2 şeklinde olup yakıt karışımları içinde en iyi performansı E15 karışımı göstermiştir.



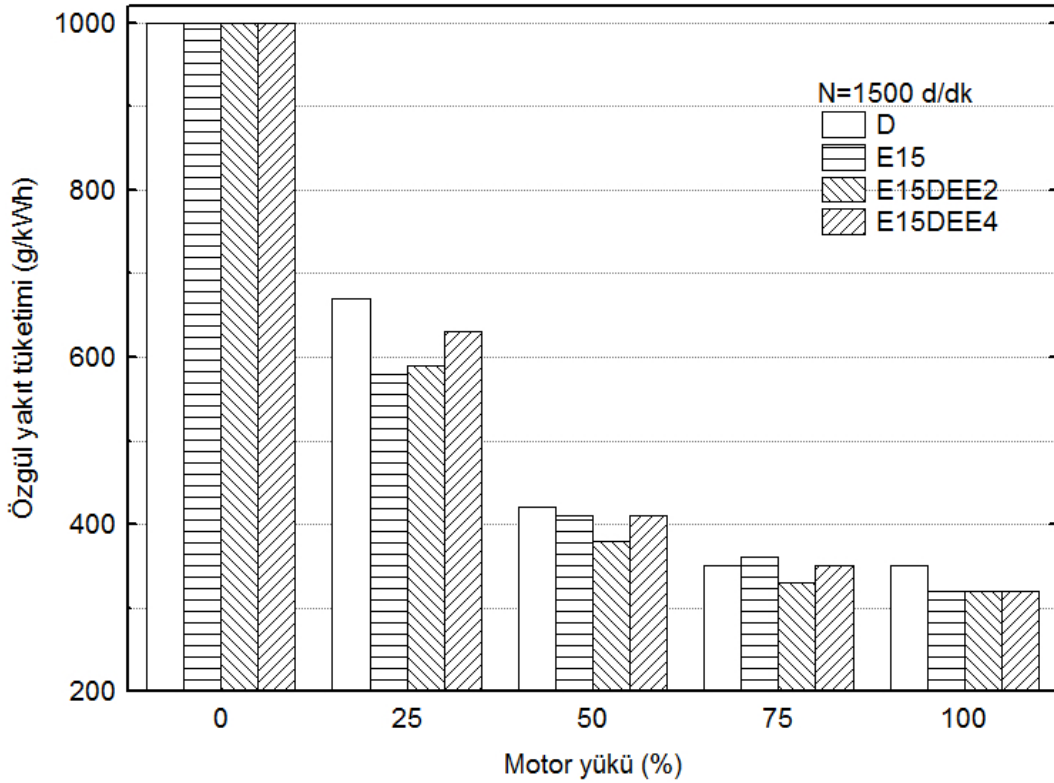
Şekil 3.42. İndike verimin deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.43’de efektif verimin deneysel incelenen yakıtlar için 1500 d/dk motor devrinde motor yüküyle değişimleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi efektif verim motor yükü arttıkça artmaktadır. Teorik çalışma sonuçlarının irdelendiği bölümde bahsedildiği gibi efektif verim motorun genel verimi olup hacimsel, mekanik ve indike verim değerlerine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucunda bu verim değerlerine bağlı olarak artan motor yüküyle artış göstermektedir. Diğer taraftan E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları genel olarak dizel yakıtına göre daha yüksek efektif verim değerleri vermiştir. Bu durum da yine hacimsel, mekanik ve indike verim değerlerine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Tam yük durumunda dizel yakıtına göre indike verimdeki artışlar E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları için sırasıyla % 14,7, % 17,1 ve % 17,2 şeklinde olup E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları en iyi performansı göstermiştir.



Şekil 3.43. Efektif verimin deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.44’de özgül yakıt tüketiminin deneysel incelenen yakıtlar için 1500 d/dk motor devrinde motor yüküyle değişimleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi özgül yakıt tüketimi motor yükü arttıkça azalmaktadır. Bu durum motor yükü arttıkça motordan elde edilen efektif (faydalı) gücün artmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları genel olarak dizel yakıtına eşit veya daha düşük efektif verim değerleri vermiştir. Bu durum efektif verim değerlerine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Çünkü özgül yakıt tüketimi efektif verimle ters yönlü değişen bir motor karakteristiğidir. Tam yük durumunda dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimindeki azalma E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları için aynı olup % 8,5 olarak elde edilmiştir.

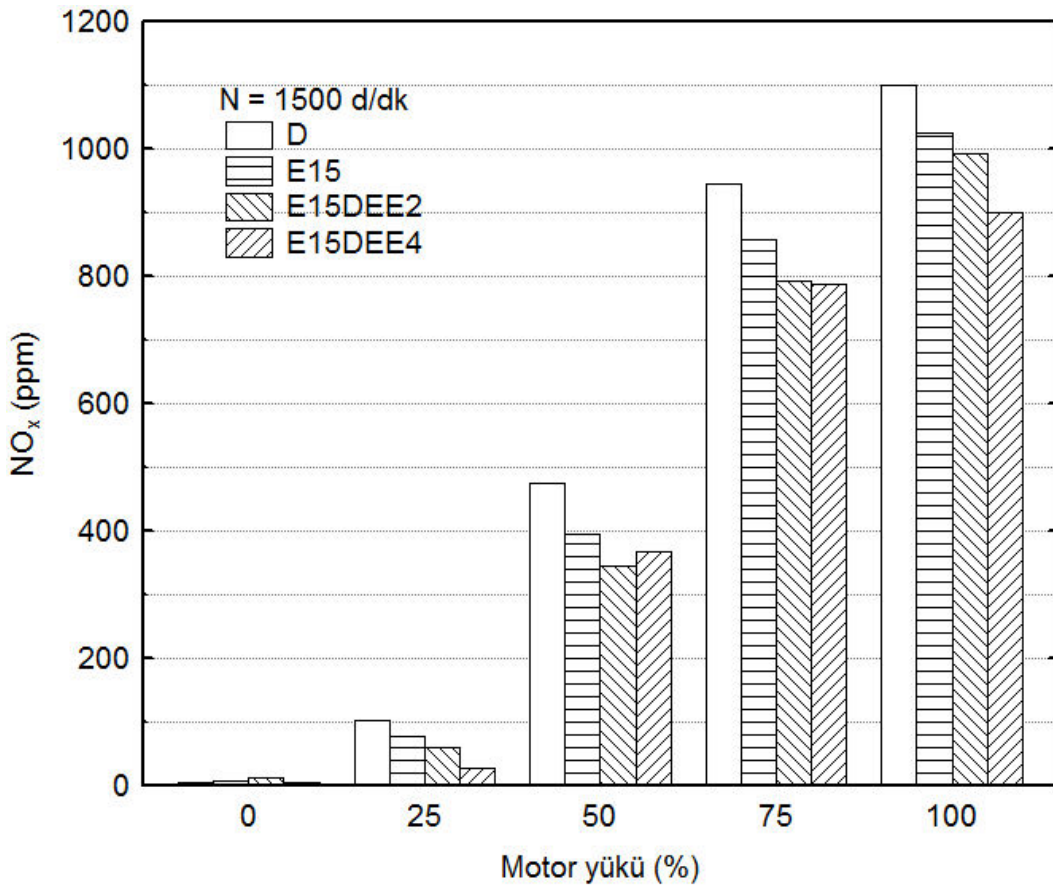


Şekil 3.44. Özgül yakıt tüketiminin deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

3.2.4. Emisyon Karakteristiklerinin İrdelenmesi

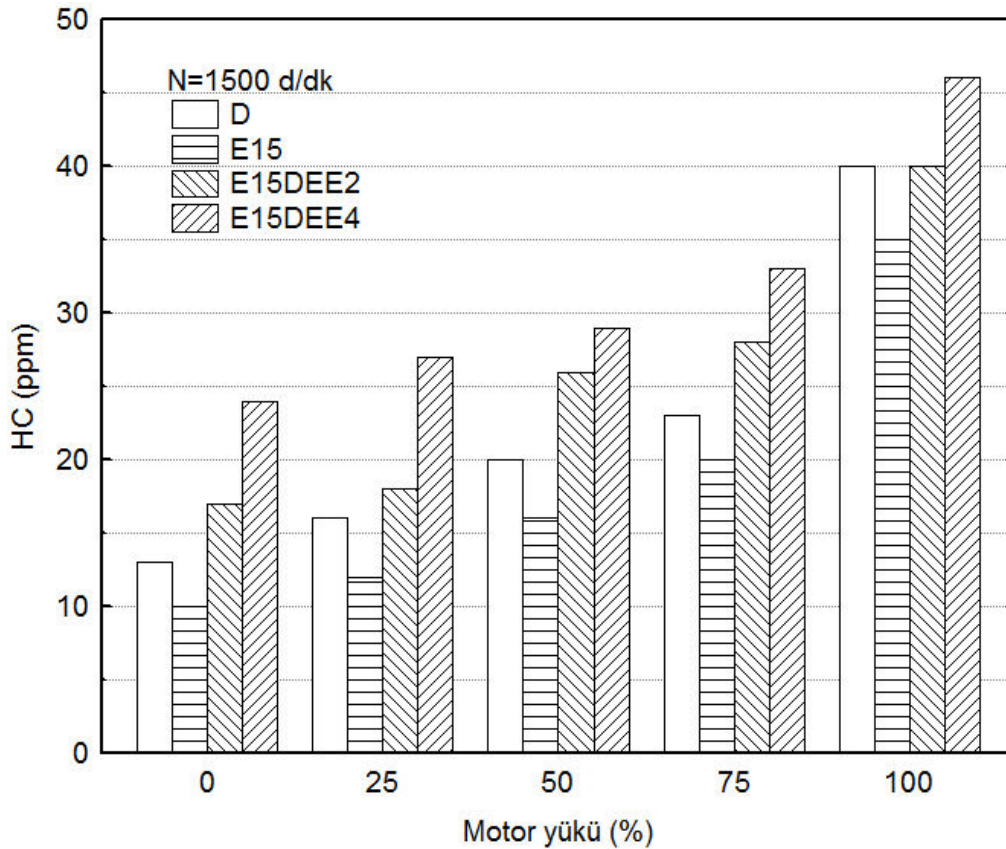
Şekil 3.45’de azot oksit (NO_x) emisyonlarının deneysel incelenen yakıtlar için 1500 d/dk motor devrinde motor yüküyle değişimleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi azot oksit emisyonları motor yükü arttıkça artış göstermektedir. Bu durum motor yükü arttıkça silindire giren yakıt miktarının artması sonucu daha yüksek yanma sıcaklıklarının ortaya

çıkmasının bir sonucudur. Literatürde belirtildiği gibi azot oksit emisyonu oluşumu yanma sıcaklıklarına ve yanma odası içindeki oksijen miktarına bağlı olarak değişmektedir (Sivalakshmi ve Balusamy, 2013). Bunun sonucunda yanma sıcaklıkları arttığında azot oksit emisyonu miktarı da artmaktadır. Diğer taraftan E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları genel olarak dizel yakıtına göre daha düşük azot oksit emisyonu değerleri vermiştir. Bu durum ise etanol ve dietil eterin yapısında oksijen bulunmasına rağmen daha düşük yanma sıcaklıkları vermiş olmasından kaynaklanmakta olup Şekil 3.36'da karışım yakıtlarıyla elde edilen düşük egzoz gazı sıcaklıkları düşük yanma sıcaklıklarının bir göstergesidir. Buna bağlı olarak E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları kullanıldığında daha düşük azot oksit emisyonu değerleri ortaya çıkmaktadır. Tam yük durumunda dizel yakıtına göre azot oksit emisyonundaki azalma E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları için sırasıyla % 6,8, % 9,7 ve % 18,2 şeklinde olup en iyi performansı E15DEE4 yakıt karışımı göstermiştir.



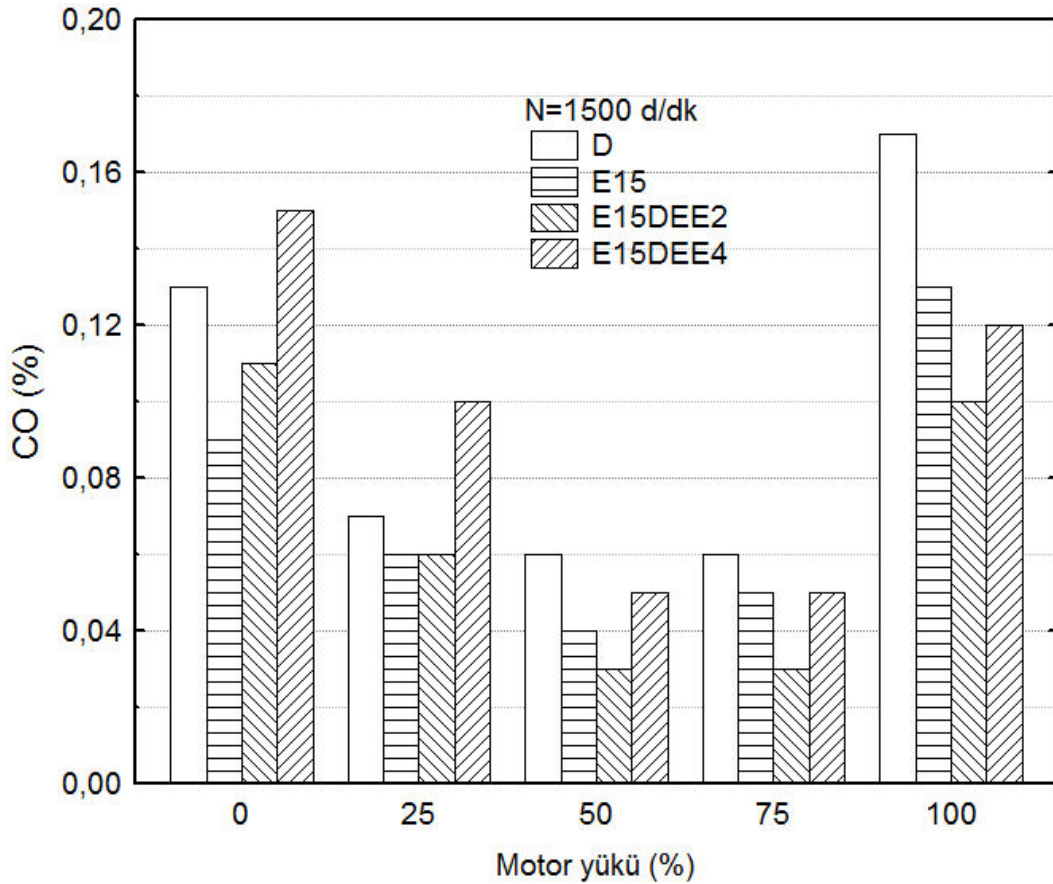
Şekil 3.45. Azot oksit emisyonlarının deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.46’da hidrokarbon (HC) emisyonunun deneysel incelenen yakıtlar için 1500 d/dk motor devrinde motor yüküyle değişimleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi hidrokarbon emisyonu artan motor yüküyle artış göstermektedir. Bu durum motor yükü arttıkça silindire giren yakıt miktarının artması sonucu yakılabilen yakıt miktarının azalmasından kaynaklanmaktadır. Literatürde belirtildiği gibi hidrokarbon emisyonu bir eksik yanma ürünü olup oluşumu yanma sıcaklıklarına ve yanma odasındaki oksijen miktarına bağlı olarak değişmektedir (Iranmanesh, 2013). Bunun sonucunda silindire giren yakıt miktarı arttığında birim yakıt başına oksijen miktarı azalmakta ve hidrokarbon emisyonu artmaktadır. Diğer taraftan, E15 yakıt karışımı dizel yakıtına göre daha düşük hidrokarbon emisyonu değerleri verirken E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları dizel yakıtına göre daha yüksek değerler vermiştir. Bu durum ise etanolün yapısında oksijen bulunması sonucu yanmayı iyileştirici etkisinden ve dietil etere göre daha yüksek yanma sıcaklıklarına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Dietil eterin yapısında oksijen bulunmasına rağmen daha düşük yanma sıcaklıkları vermiş olması hidrokarbon emisyonunun artmasına neden olmuştur. Tam yükte dizel yakıtına göre hidrokarbon emisyonundaki azalma E15 için % 12,5 ve E15DEE4 yakıt karışımı kullanıldığında hidrokarbon emisyonundaki artış % 15 şeklinde olup en iyi performansı E15 yakıt karışımı göstermiştir.



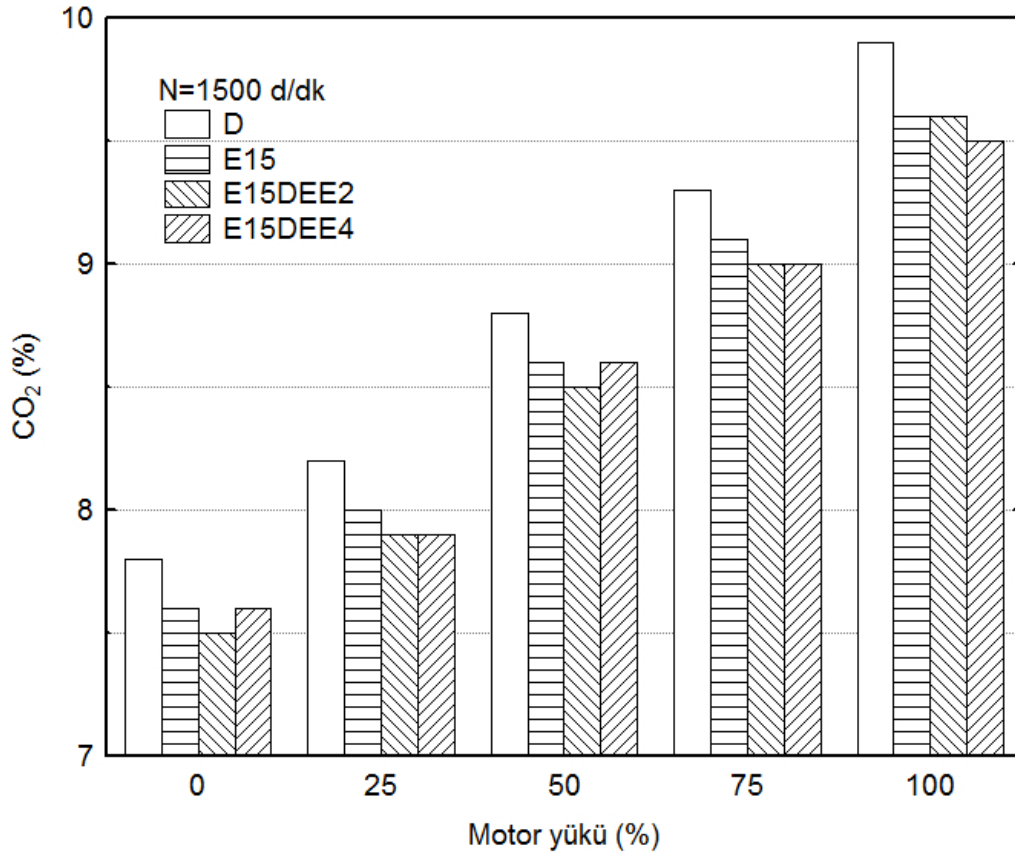
Şekil 3.46. HC emisyonunun deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.47’de karbon monoksit (CO) emisyonunun deneysel incelenen yakıtlar için 1500 d/dk motor devrinde motor yüküyle değişimleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi karbon monoksit emisyonu düşük ve yüksek motor yükü değerlerinde yüksek iken orta yüklerde düşüş göstermektedir. Bu durum hidrokarbon emisyonuna benzer şekilde silindirde yakılabilen yakıt miktarından kaynaklanmaktadır. Literatürde belirtildiği gibi karbon monoksit emisyonu da eksik yanma ürünü olup oluşumu püskürtülen yakıtın atomizasyonuna ve yanma odasındaki oksijen miktarına bağlı olarak değişmektedir (Nagdeote ve Deshmukh, 2012). Bunun sonucunda yük arttıkça silindire giren yakıt miktarı arttığında birim yakıt başına oksijen miktarı azalmakta ve karbon monoksit emisyonu artmaktadır. Diğer taraftan düşük yüklerde püskürtme basıncı düşük olduğundan püskürtülen yakıt iyi atomize olmadığından yanma odasında yeterli oksijen olmasına rağmen verimli bir yanma gerçekleşmemekte ve karbon monoksit emisyonu artmaktadır. Özellikle E15 ve E15DEE2 yakıt karışımları dizel yakıtına göre daha düşük karbon monoksit emisyonu değerleri vermiştir.



Şekil 3.47. Karbon monoksit emisyonunun deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Bu durum ise etanolün ve dietil eterin yapısında oksijen bulunması sonucu yanmayı iyileştirici etkisinden kaynaklanmakta olup E15DEE4 yakıt karışımının dizel yakıtına göre yüksek karbon monoksit değerleri vermesi hava-yakıt karışımının aşırı fakirleşmesinden ve düşük yanma kaynaklanmaktadır. Tam yük durumunda dizel yakıtına göre karbon monoksit emisyonundaki azalmalar E15, E15DEE2 ve E15DEE4 için sırasıyla % 23,5, % 41,2 ve % 29,4 şeklinde olup en iyi performansı E15DEE2 yakıt karışımı göstermiştir.



Şekil 3.48. Karbondioksit emisyonunun deneysel incelenen yakıtlar için motor yüküyle değişimi

Şekil 3.48’de karbondioksit (CO_2) emisyonunun deneysel incelenen yakıtlar için 1500 d/dk motor devrinde motor yüküyle değişimleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi karbondioksit emisyonu artan motor yüküyle artmakta olup bu durum motor yükü arttıkça silindire giren ve dolayısıyla yakılan yakıt miktarının artmasından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan, E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları dizel yakıtına göre daha düşük karbondioksit emisyonu değerleri vermiştir. Bu durum Tablo 2.4’de görüldüğü gibi etanol ve dietil eterin kimyasal yapısındaki karbon atomu sayısının dizel yakıtına göre önemli ölçüde az olmasının bir sonucudur. Tam yük durumunda dizel yakıtına göre karbondioksit emisyonundaki azalmalar E15, E15DEE2 ve E15DEE4 için sırasıyla % 3, % 3 ve % 4 şeklinde olup en iyi performansı E15DEE4 yakıt karışımı göstermiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada dizel motorlarda yenilenebilir alternatif yakıtların kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Teorik çalışmada kanola yağı metil esteri (KYME) ve soya yağı metil esteri (SYME) biyodizel yakıtlarının saf olarak kullanımı ve SYME biyodizel yakıtının % 20 ve % 40 oranlarında dizel yakıtına katılmasının performans ve emisyonlara etkileri DIESEL-RK isimli program kullanılarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada ise etanol ve dietil eterin farklı oranlarda dizel yakıtına katılmasının performans ve emisyonlara etkileri incelenmiştir. Bunun için % 15 etanol (E15), % 15 etanol ve % 2 dietil eter (E15DEE2) ve % 15 etanol ve % 4 dietil eter (E15DEE4) içeren üç farklı yakıt karışımı kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulguların ışığında aşağıdaki sonuçlar özetlenebilir.

1) KYME ve SYME biyodizel yakıtları ve SYME20 ve SYME40 yakıt karışımları dizel yakıtından farklı püskürtme karakteristikleri sergilemiştir. Örneğin; KYME ve SYME biyodizel yakıtları dizel yakıtına göre daha düşük püskürtme basıncı değerleri verirken KYME ve SYME biyodizel yakıtları için püskürtülen yakıt içerisindeki ortalama damlacık çapı dizel yakıtına göre daha büyük olup yakıt buharlaşma oranı dizel yakıtına göre oldukça düşüktür. Diğer taraftan KYME ve SYME biyodizel yakıtlarının yakıt demeti nüfuz derinliği dizel yakıtına göre daha fazla olup yakıt demeti konisi açısı ise dizel yakıtına göre daha küçük değerler almıştır. SYME20 ve SYME40 yakıt karışımları ise genel olarak dizel yakıtı ile SYME biyodizel yakıtı arasında değerler vermiştir.

2) KYME ve SYME biyodizel yakıtlarının ve SYME20 ve SYME40 yakıt karışımlarının yanma karakteristikleri de dizel yakıtına göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin; KYME ve SYME biyodizel yakıtlarının tutuşma gecikmesi ve yanma süreleri dizel yakıtına göre daha kısa olup bu yakıtlar yanmanın ilk aşamalarında daha yüksek silindir basıncı ve sıcaklığı değerleri verirken genişleme sürecinde daha düşük basınç ve sıcaklık değerleri vermişlerdir. SYME20 ve SYME40 yakıt karışımları ise genel olarak dizel yakıtı ile SYME biyodizel yakıtı arasında değerler vermiştir.

3) KYME ve SYME biyodizel yakıtları dizel yakıtına göre tork, motor gücü ve verimde bir miktar düşüşe, özgül yakıt tüketiminde ise biraz artışa neden olmaktadır. SYME20 ve SYME40 yakıt karışımları ise bu performans karakteristiklerindeki düşüşlerin belli ölçüde iyileştirilmesini sağlamaktadır.

4) KYME ve SYME biyodizel yakıtları partikül madde (PM) emisyonunda önemli ölçüde düşüş sağlarken azot oksit (NO) emisyonunda artışa neden olmaktadır. SYME20 ve SYME40 yakıt karışımları kullanıldığında ise söz konusu emisyonlardaki düşüş ve artışlar daha düşük seviyelerde kalmaktadır.

5) E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları dizel yakıtına göre farklı püskürtme ve yanma karakteristikleri göstermiştir. Örneğin; E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları kullanıldığında dizel yakıtına göre daha düşük püskürtme basıncı değerleri elde edilmiş ve tutuşma gecikmesi süreleri uzamış, ancak E15DEE2 ve E15DEE4 karışımları daha kısa yanma süreleri vermiştir. Diğer taraftan, E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları kullanıldığında dizel yakıtına oldukça yakın silindir basıncı ve sıcaklığı değerleri elde edilmiştir.

6) E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları özellikle motorun zorlandığı yüksek yüklerde, tork ve motor gücünde az da olsa düşüğe neden olmaktadır. Diğer taraftan, söz konusu yakıt karışımları dizel yakıtına göre verimde artış sağlarken, özgül yakıt tüketiminde az da olsa azalma sağlamaktadır.

7) E15, E15DEE2 ve E15DEE4 yakıt karışımları azot oksit (NO_x), karbon monoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂) emisyonlarında genel olarak azalma eğilimi oluştururken özellikle dietil eter karışımları hidrokarbon (HC) emisyonunda az da olsa artışa neden olmaktadır.

5. ÖNERİLER

Bu tez çalışmadan elde edilen sonuçlara göre aşağıdaki öneriler yapılabilir.

1) KYME biyodizel yakıtı SYME biyodizel yakıtına göre daha iyi performans göstermiş olup uygun biyodizel yakıt olarak önerilebilir. Ayrıca biyodizel yakıt karışımları içinde SYME20 karışımı ve etanol karışımları içinde E15DEE2 karışımı da dizel motorlarda kullanılmaya elverişli karışımlar olarak önerilebilir.

2) Benzer çalışmalar farklı motorlarla yapılarak elde edilen sonuçlar geliştirilebilir.

3) Ülkemiz geniş tarım alanlarına sahip olduğundan çeşitli yenilenebilir alternatif yakıtların üretimine yönelik endüstriler kurularak çok çeşitli kaynaklardan üretilen bu alternatif yakıtların üretimi ve kullanımı yaygınlaştırılabilir. Böylece hem yerel istihdama hem de ülke ekonomisine katkı sağlanarak dışa bağımlılık azaltılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Abu-Qudais M., Haddad, O. ve Qudaisat M., 2000. The Effect of Alcohol fumigation on Diesel Engine Performance and Emissions, Energy Conversion and Management, 41, 4, 389-99.
- Agarwal, A.K. ve Das, L.M. 2001. Biodiesel Development and Characterization For use as Fuel in Compression Ignition Engines, Transactions of the ASME: Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 123, 440-447.
- Agudelo, J., Gutiérrez, E. ve Benjumea, P., 2009. Experimental Combustion Analysis of A HSDI Diesel Engine Fuelled with Palm Oil Biodiesel-Diesel Fuel Blends, Dyna, 76, 159, 103-113.
- Ajav, E.A., Singh, B. ve Bhattacharya, T. K., 1999. Experimental Study of Some Performance Parameters of Constant Speed Stationary Diesel Engine Using Ethanol-Diesel Blends as Fuel, Biomass and Bioenergy, 17, 357-365.
- Al-Dawody, M.F., 2011. Effect Of Soybean Oil Biofuel Blending on the Performance and Emissions of Diesel Engine Using Diesel-RK Software, International Journal of Engineering Science and Technology, 3, 6, 4539-4555.
- Alkidas, A.C., 1984. Relationship between Smoke Measurements and Particulate Measurements, Society of Automotive Engineering, Paper No: 840412, 9p.
- Altın, R., Çetinkaya, S. ve Yücesu H.S., 2001. The Potential of Using Vegetable oil Fuels as Fuel for Diesel Engines, Energy Conversion and Management, 42, 529-538.
- Al-Widyan, M.I. ve Al-Shyoukh, A.O., 2002. Experimental Evaluation of the Transesterification of Waste Palm Oil into Biodiesel, Bioresource Technology, 85, 253-256.
- Antolin, G., Tinaut, F.V., Briceno, Y., Castano, V., Perez, C. ve Ramirez, A.I., 2002. Optimization of Biodiesel Production by Sunflower Oil Transesterification, Bioresource Technology, 83, 111-114.
- Asfar, K. R. ve Hamed, H., 1998. Combustion of Fuel Blends, Energy Conversion and Management, 39, 10, 1081-1093.
- Bang-Quan, H., Shi-Jin, S., Jian-Xin, W. ve Hong, H., 2003. The Effect of Ethanol Blended Diesel Fuels on Emissions from A Diesel Engine, Atmospheric Environment, 37, 4965-4971.
- Bari, S., Lim T.H. ve Yu, C.W., 2002. Effects of Preheating of Crude Palm Oil (CPO) on Injection System, Performance and Emission of a Diesel Engine, Renewable Energy, 27, 339-351.

- Bilgin, A., Durgun, O. ve Şahin, Z., 2001, Dizel yakıtına TBME katılmasının motor performansına etkisi, 13. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Eylül 2001, Konya, Türkiye, s.141-146.
- Bilgin, A., Durgun, O. ve Şahin, Z., 2002. The Effects of Diesel-Ethanol Blends on Diesel Engine Performance, Energy Sources, 24, 431-440.
- Bittle, J.A., Knight, B.M. ve Jacobs, T.J., 2010. Interesting Behavior of Biodiesel Ignition Delay and Combustion Duration, Energy and Fuels, 24, 8, 4166-4177.
- Bunkar, M.K., Shrivastava, N. ve Shrivastava, V., 2012. Experimental Investigation of Performance Parameter of Diesel Engine Operating On Methyl Tertiary Butyl Ether, International Journal of Modern Engineering Research, 2, 5, 3527-3529.
- Çelikten, İ. ve Arslan, M.A., 2008. Dizel Yakıtı, Kanola Yağı ve Soya Yağı Metil Esterlerinin Direkt Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Performans ve Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23, 4, 829-836.
- Çetinkaya, S. ve Çelik, M.B., 1997, Buji ateşlemeli motorlarda yakıt olarak metanol-benzin karışımlarının kullanılması, 5. Yanma Sempozyumu, Temmuz 1997, Bursa, Türkiye, s.255-266.
- Das, L.M. ve Reddy, Y.V.R., 1996, Evaluation of alternative fuels for internal combustion engines, Proceeding of the First Trabzon International Energy and Environment Symposium, Mayıs 1996, Trabzon, Türkiye, p.951-958.
- Demirbaş, A., 2002. Biodiesel from Vegetable Oils via Transesterification in Supercritical Methanol, Energy Conversion and Management, 43, 2349-2356.
- Ecklund, E.E., Bechtold, R.L., Timbaro, T.J. ve McCallum, P.W., 1984. State of Art Report on the Use of Alcohols in Diesel Engines, Society of Automotive Engineering, Paper No: 840118, 684-702.
- Eyidoğan, M., Çanakçı, M., Özsezen, A.N., Alptekin, E. Türkcan, A. ve Kılıçaslan, İ., 2011. Etanol-Benzin ve Metanol-Benzin Karışımlarının Buji ile Ateşlemeli Bir Motorun Yanma Parametrelerine ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 26, No 3, 499-507, 2011.
- Goering, C.E., Crowell, T.J., Griffith, D.R., Jarrett M.W. ve Savage, L.D., 1992. Compression-ignition, Flexible-Fuel Engine, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 35, 2, 423-428.
- Hansen, A.C., Lyne, W.L. ve Zhang Q., 2001. Ethanol-Diesel Blends: A Step Towards A Bio-Based Fuel for Diesel Engines, ASAE, Paper No: 01-6048, 14p.

- Haşimoglu, Can., Özsert, İ. ve İçingür, Y., 2009. Biyodizel Yakıtlı Düşük Isı Kayıplı Bir Dizel Motorunun Tam Yük Egzoz Emisyon Karakteristikleri, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6, 3, 11-18.
- Henham, A.W.E., Johns, R.A. ve Newnham, S., 1991. Development of a fuel-tolerant Diesel for Alternative Fuels, International Journal of Vehicle Design, 2, 3, 296–303.
- Iranmanesh, M., 2013. Experimental Investigations about the Effect of New Combination of Biofuels on Simultaneous Reduction of NO_x and Smoke Emissions in DI-Diesel Engine, International Journal of Automotive Engineering, 3, 2, 379-392.
- Jaroonjitsathian, S., Sae-ong, P., Siangsanorh, S., Akarapanjavit, N. ve Boonchukosol, K., 2011, An analysis of biodiesel combustion on diesel technologies, 7th International Conference on Automotive Engineering (ICAE-7), March 2011, Bangkok, Thailand, p.1-11.
- Kalligeros, S., Zannikos, F., Stournas, S., Lois E., Anastopoulos, G., Teas C.H. ve Sakellaropoulos F., 2003. An Investigation of Using Biodiesel/marine Diesel Blends on the Performance of a Stationary Diesel Engine, Biomass and Bioenergy, 24, 2, 141-149.
- Karabektaş, M., 2003. Etanol ve Metanolün Buji ile Ateşlemeli Motor Yakıtı Olarak Kullanımı, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7, 1, 103-107.
- Karaosmanoğlu, F., Kurt G. ve Özaktaş, T., 2000. Long Term CI Engine Test of Sunflower Oil, Renewable Energy, 19, 1-2, 219-221.
- Kegl, B., 2006. NO_x Emission Using Biodiesel, Journal of KONES Powertrain and Transport, 13, 4, 497-506.
- Kızıltan, E., 1988, Motor Yakıtlarına Alkol Katılmasının Motor Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 240s.
- Kuleshov, A.S., 2005. Model for Predicting Air-Fuel Mixing, Combustion and Emissions in DI Diesel Engines over Whole Operating Range, Society of Automotive Engineering, Paper No: 2005-01-2119, 16p.
- Kuleshov, A.S., 2006. Use of Multi-Zone DI Diesel Spray Combustion Model for Simulation and Optimization of Performance and Emissions of Engines with Multiple Injection, Society of Automotive Engineering, Paper No: 2006-01-1385, 17p.
- Kuti, O.A., Xiangang, W.G., Zhang, W., Nishida, K. ve Huang, Z.H., 2010. Characteristics of the Ignition and Combustion of Biodiesel Fuel Spray Injected By A Common-Rail Injection System for A Direct-Injection Diesel Engine, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D: Journal of Automobile Engineering, 224, 1581-1596.

- Li, T., Suzuki, M. ve Ogawa, H., 2009. Effects of Ethyl *Tert*-Butyl Ether Addition to Diesel Fuel on Characteristics of Combustion and Exhaust Emissions of Diesel Engines, Fuel, 88, 10, 2017–2024.
- Ma, F. ve Hana, M.A., 1999. Biodiesel Production: A Review, Bioresource Technology, 70, 1-15.
- MEB, 2011, Dizel Motorları, Raylı Sistemler Teknolojisi, MEGEP Yayınları, Ankara, 57s.
- Mitzlaff, K.V., 1988, Engines for Biogas, Vieweg, ISBN 3-528-02032-6, Eschborn, 131p.
- Muntean, G.G., 1999, A Theoretical Model for the Correlation of Smoke Number to Dry Particulate Concentration in Diesel Exhaust, Society of Automotive Engineering, Paper No: 1999-01-0515, 9p.
- Monyem, A. ve Van Gerpen, J.H., 2001. The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emissions, Biomass and Bioenergy, 20, 317-325.
- Nadim, F., Zack, P., Hoag, G.E. ve Liu, S., 2001. United States Experience with Gasoline Additive, Energy Policy, 29, 1-5.
- Nagdeote, D.D. ve Deshmukh, M.M., 2012. Experimental Study of Diethyl Ether and Ethanol Additives with Biodiesel-Diesel Blended Fuel Engine, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2, 3, 195-199.
- Noguchi, N., Terao, H. ve Sakata, C., 1996. Performance Improvement by Control of Flow Rates and Diesel Injection Timing on Dual-fuel Engine with Ethanol, Bioresource Technology, 56, 1, 35-39.
- Nwafor, O.M.I., Rice, G. ve Ogbonna, A.I., 2000. Effect of Advanced Injection Timing on the Performance of Rapeseed Oil in Diesel Engines, Renewable Energy, 21, 433-444.
- Öğüt, H. ve Kuş, R., 1999, Motorlu taşıtlarda alternatif yakıt kullanımı, II. Ulaşım ve Trafik Kongresi, Eylül 1999, Konya, s. 149-161.
- Pramanik, K., 2003. Properties and use of Jatropha Curcas Oil and Diesel Fuel Blends in Compression Ignition Engine, Renewable Energy, 28, 239-248.
- Rafiqul Islam, M.D., Subrahmanyam, J.P. ve Gajendra Babu, M.G., 1997. Computer Simulation Studies of an Alcohol-fueled, Low-Heat-Rejection, Direct-Injection Diesel Engine, Society of Automotive Engineering, Paper No. 972976, 12p.
- Rao, P.V., 2011. Experimental Investigations on the Influence of Properties of Jatropha Biodiesel on Performance, Combustion, and Emission Characteristics of a DI-CI Engine, Engineering and Technology, 51, 854-867.

- Reddy, C.V.R., Krishna, M.V.S.M. ve Prasad, C.M.V., 1999. Studies on Exhaust Emissions in Semi-Adiabatic Compression Ignition Engine with Alternate Fuels, Indian Journal of Engineering and Materials Sciences, 6 (5):249-55.
- Satge De Caro, P. ve Moloungui, Z., 2001. Interest of Combining an Additive with Diesel-Ethanol Blends for Use in Diesel Engines, Fuel, 80, 565-574.
- Selim, M.Y.E., Radwan, M.S., Elfeky, S.M.S., 2003. Combustion of Jojoba Methyl Ester in an Indirect Injection Diesel Engine, Renewable Energy, 28, 1401-1420.
- Sezer, İ., 2011. Thermodynamic, Performance and Emission Investigation of a Diesel Engine Running on Dimethyl Ether and Diethyl Ether, International Journal of Thermal Sciences, 50, 8, 1594-1603.
- Shah, A.N., Yun-shan, G.E., Chao, H. ve Baluch, A.H., 2009. Effect of Biodiesel on the Performance and Combustion Parameters of a Turbocharged Compression Ignition Engine, Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences, 4, 34-42.
- Singer, B.C. ve Harley, R.A., 2000. A Fuel-Based Inventory of Motor Vehicle Exhaust Emission in the Los Angeles Area during Summer, Atmospheric Environment, 34, 1783-1795.
- Sivalakshmi, S. ve Balusamy, T., 2013. Effect of Biodiesel and Its Blends with Diethyl Ether on the Combustion, Performance and Emissions from A Diesel Engine, Fuel, 106, 106-110.
- Sugözü, İ., Aksoy, F. ve Baydır, Ş.A., 2009. Bir Dizel Motorunda Ayçiçeği Metil Esteri Kullanımının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6, 2, 49-56.
- Tomasevic, A.V. ve Siler-Marinkovic S.S., 2003. Methanolysis of Used Frying Oil, Fuel Processing Technology, 81, 1, 1-6.
- URL-1, http://kisi.deu.edu.tr//atilay.yesil/4_Ders.pdf: Motorlarda kullanılan alternatif yakıtlar. 27 Mayıs 2014.
- URL-2, <http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Eng/>, 29 Mayıs 2014.
- URL-3, <http://www.apexinnovations.co.in/ic240.htm>, 29 Mayıs 2014.
- URL-4, <http://www.mates.com.tr/cap3200.htm>, 29 Mayıs 2013.
- Usta, N., Can, Ö. ve Öztürk, E., 2005. Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biyodizel ve Etanolün Karşılaştırılması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11, 3, 325-334.
- Williamson, A.M. ve Badr O., 1998. Assessing the Viability of Using Rape Methyl Ester (RME) as an Alternative to Mineral Diesel Fuel for Powering Road Vehicles in the UK, Applied Energy, 59, 2-3, 187-214.

- Woschni, G., 1967. A Universally Applicable Equation for the Instantaneous Heat Transfer Coefficient in the Internal Combustion Engine, Society of Automotive Engineering, Paper No: 670931.
- Xiao, Z., Ladommatos, N. ve Zhao, H., 2000. The Effect of Aromatic Hydrocarbons and Oxygenates on Diesel Engine Emissions, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D: Journal of Automobile Engineering, 214, 3, 307-32.

ÖZGEÇMİŞ

08.04.1981 tarihinde, Giresun İli Espiye İlçesi'ne bağlı Hacıköy Köyü'nde dünyaya geldi. İlkokulu, Hacıköy Köyü İlkokulu'nda okudu. Ortaokulu Giresun İmam Hatip Ortaokulu'nda okudu. Lise öğrenimine Giresun İmam Hatip Lisesinde başlayıp 4. sınıfta İmam Hatip Lisesinden ayrılarak Açık Öğretim Lisesine geçti. 1999 yılında Açık Öğretim Lisesinden mezun oldu. 2002 Yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Uşak Mühendislik Fakültesinde Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı ve Haziran 2007'de Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2008 yılında doğalgaz iç tesisat yetkili mühendisi olarak Uşak İlinde işe başladı. 2008 Yılında İstanbul'da Marmara Vizyon adlı şirkette makine mühendisi olarak bir yıl süreyle çalıştı. Mart 2009 yılında Erzincan İl Özel İdaresine Makine Mühendisi olarak atandı. Halen bu göreve devam etmekte olup evli ve iki çocuk babasıdır.