T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL-ETANOL YAKITLI BİR MOTORUN HİBRİT KULLANIMINDA POST PÜSKÜRTMENİN EMİSYONLARA ETKİLERİNİN MODELLENMESİ

Hüseyin GÜRBÜZ

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Enerji Programı

Danışman

Doç. Dr. Tarkan SANDALCI

Mayıs, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL-ETANOL YAKITLI BİR MOTORUN HİBRİT KULLANIMINDA POST PÜSKÜRTMENİN EMİSYONLARA ETKİLERİNİN MODELLENMESİ

Hüseyin GÜRBÜZ tarafından hazırlanan tez çalışması 03.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji/Otomotiv Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Tarkan SANDALCI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Tarkan SANDALCI, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Ahmet GÜNEY, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Muammer ÖZKAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üy. Övün IŞIN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üy. Erdem UZUNSOY, Üye
Bursa Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Sayın Doç. Dr. Tarkan SANDALCI sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Dizel-Etanol Yakıtlı Bir Motorun Hibrit Kullanımında Post Püskürtmenin Emisyonlara Etkilerinin Modellenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Hüseyin GÜRBÜZ

İmza

TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmamda bana bilgi ve tecrübeleri ile sürekli destek olan ve kendilerini örnek alarak akademik alanda çalışmaya başladığım değerli hocam Sayın Doç. Dr. Tarkan SANDALCI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Doktora tez çalışmam boyunca birçok konfordan feragat ederek maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili aileme can-u gönülden teşekkür ederim. Ayrıca doktora tez çalışmam boyunca bana yardımcı olan tüm anabilim dalı hocalarıma ve beraber görev yaptığımı araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Hüseyin GÜRBÜZ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii
KISALTMA LİSTESİ ix
ŞEKİL LİSTESİ x
TABLO LİSTESİ xvi
ÖZET xvii
ABSTRACT xix
1 Giriş 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.1 Tezin Amacı 6
1.2 Hipotez 7
2 Enerji Gereksinimi ve Taşıt Kaynaklı Emisyonlar 9
2.1 İçten Yanmalı Motorlardan Kaynaklanan Kirleticiler 9
2.2 Egzoz Emisyonu Yönetmenlikleri 10
2.2.1 Euro 5 Emisyon Yönetmenlikleri 11
2.2.2 Euro 6 Emisyon Yönetmenlikleri 11
2.2.3 Tier/Stage 3 ve 4 Emisyon Yönetmenlikleri 12
2.2.4 Egzoz Emisyonları Test Çevrimleri 13
3 Etanol 15
3.1 Yakıt olarak Etanol 17
3.2 Etanolün Dizel Motorlarda Kullanımı 18
3.3 Türkiye'de Etanol Üretimi 19
4 Teorik Yanma Modeli ve Simülasyonu 22

4.1. Model Simülasyon programında Post Püskürtme Modeli 25
5 Deney Ekipmanları 30
5.1. Deney Motorunun Özellikleri 31
5.2. Dinamometre 33
5.3. Yakıt Sarfiyatı Ölçme 35
5.4. Yakıt Karıştırıcı 35
5.5. Silindir içi Basınç Sensörü ve Osiloskob 36
5.6. Emisyon Analiz Cihazları 37
5.7. Moment Ölçümü 39
5.8. Devir Sensörü 39
5.9. Elektronik Kontrol Kartı 40
5.10. Sıcaklık ölçümü 41
5.11. DC Motor Güç ölçümü için Voltmetre ve Ampermetre 43
5.12. Kontrol Paneli 43
6 Deneysel Süreç ve Deney çalışmaları 46
6.1. Deney Hazırlık Aşamaları 46
6.2. Deney Yakıtlarının Hazırlanması 46
6.3. Deney Sonuçları 50
6.4. Motor Performans sonuçları 51
6.5. Emisyon Değişim Sonuçları 55
6.6. Silindir içi Basınç Değişimleri 60
6.7. AVL BOOST Programı Model sonuçları 74
6.7.1 Model Simülasyonu Performans Sonuçları 74
6.7.2 Model Simülasyonu Emisyon Sonuçları 75
6.7.3 Model Simülasyonu Silindir içi Basınç Sonuçları 76

6.7.4 Model Simülasyonu Isı Salımı Sonuçları 89
6.7.5 Model Çalışmalarında Post Enjeksiyon sonuçları 101
7 Sonuç ve Öneriler 113
Kaynakça 118
Tezden Üretilmiş Yayınlar 123

SİMGE LİSTESİ

C	Santigrat Derece
Atm	Atmosfer
A	Amper
C2H5OH	Etanol
CH4	Metan
CO	Karbon Monoksit
CO2	Karbon Dioksit
d	Devir
dk	Dakika
E5	%5 Etanol, %95 Dizel
E7.5	%7.5 Etanol, %92.5 Dizel
E10	%10 Etanol, %90 Dizel
E15	%15 Etanol, %85Dizel
E20	%20 Etanol, %80 Dizel
E30	%30 Etanol, %70 Dizel
EP5	%5 Etanol, %95 Dizel (ECU ile püskürtme)
EP10	%10 Etanol, %90 Dizel (ECU ile püskürtme)
g	Gram
h	Saat
HC	Hidrokarbon
Hp	Beygir Gücü
J	Joule
K	Kelvin derce
KA	Krank Açısı
kg	Kilogram
km	Kilometre
km	Kilomol
kmol	Kilopaskal
kPa	Kilowatt
kW	Kilowatt Saat

kWh	Litre
L	Litre
l	Litre
m	Metre
mg	Miligram
Nm	Newton metre
NO	Azot Monoksit
NO2	Azot Dioksit
NOx	Azot Oksitler
ppm	Milyonda Bir
V	Hacim

KISALTMA LİSTESİ

BTU	İ. ısı birimi
BMEP	Fren ortalama efektif basıncı
DC	Doğru akım
E0	Dizel (%0 etanol)
E5	Emülsiyon yakıt(%5 etanol)
E10	Emülsiyon yakıt(%10 etanol)
EP5	Emülsiyon yakıt(%5 etanol)
EP10	Emülsiyon yakıt(%10 etanol)
EKU	Elektronik kontrol ünitesi
FSN	Filtre partikül sayısı
g/km	Gram bölü kilometre
g/kWh	Gram bölü kilowatt saat
KJ/kg	Kilojoule bölü kilogram
mg/m3	Miligram bölü metreküp
MJ/kg	Megajoule bölü kilogram
HRR	Heat release rate
NEDC	New european driving cycle
NRSC	Non-road steady cycle
RISC	Reduced ınstructıon set computer
RDE	Real driving emissions
WLTC	Worldwide harmonized light vehicles test cycle

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Sektör bazlı sera gazı salım oranı oranları 2
Şekil 2.1. Dünya enerji tüketimi, katrilyon BTU 9
Şekil 2.2 Binek araçlar için WLTC seyir çevrimi 14
Şekil 2.3 Tarım Traktörü Seyir çevrimi 14
Şekil 3.1. Etanol üretim Şeması 16
Şekil 4.1 AVL Boost programı ile dizel ve emülsiyon yakıtlar için modellenen deney motorunun şematik görünümü 23
Şekil 4.2 AVL Boost programı ile fumigasyon yöntemi için modellenen deney motorunun şematik görünümü 23
Şekil 4.3 AVL Boost programı E10 yakıtı için etanol karışım oranının girilmesi 24
Şekil 4.4 AVL Boost programı Port enjektörü için etanol miktarının girilmesi 25
Şekil 4.5 Teorik olarak normalleştirilmiş 1600 d/dk'da enjeksiyon oranı 26
Şekil 4.6 AVL MCC modeli için gerekil verilerin girildiği pencere görüntüsü 27
Şekil 4.7 AVL BOOST programında oluşturulan normalleştirilmiş ana ve post püskürtme oranı 28
Şekil 4.8 Etanol Post enjeksiyonu için oluşturulan model görüntüsü 28
Şekil 4.9 AVL BOOST programında dizel ve etanol ana ve post püskürtme görünümleri 29
Şekil 5.1 Deney düzeneği genel şeması 30
Şekil 5.2 Deney düzeneğinin genel görünümü 31
Şekil 5.3 Deney düzeneği genel şeması 31
Şekil 5.4 Deney motorunun katalog görünümü ve sete bağı hali 33
Şekil 5.5. Çalışma traktör motorunun katalog görünümü 33
Şekil 5.6 DC dinamometrenin 2 boyutlu görünümü 34
Şekil 5.7 DC dinamometrenin 2 boyutlu görünümü 34
Şekil 5.8. Yakıt sarfiyatının ölçümü yapılan hassas terazinin görünümü 35
Şekil 5.9. Elektrik motorlu Karıştırıcı 36
Şekil 5.10 AVL HG14P Basınç Sensörü 37
Şekil 5.11 Kistler Amplifikatör ve Lecroy osiloskop 37
Şekil 5.12 AVL Dicom 4000 ve AVL 145S emisyon analiz cihazları 38

Şekil 5.13 AVL 415 S model is ölçüm cihazının egzoz hattına bağlanması 38
Şekil 5.14. S tip Yük Hücresi ve Esit marka indikatör 39
Şekil 4.15 İndükdif devir sensörü ve takometre indikatörü 39
Şekil 5.16 Etanol püskürtmek için kullanılan enjektör ve konumu 40
Şekil 5.17 Elektronik kart kontrol Ünitesi (EKU) 41
Şekil 5.18 Basınç sabitleyici 41
Şekil 5.19 Motor soğutma suyu giriş çıkış sıcaklık ölçüm yeri 42
Şekil 5.20 Motor soğutma suyu giriş çıkış sıcaklık ölçüm yeri 42
Şekil 5.21 Egzoz gazı ve yakıt sıcaklık göstergeleri 43
Şekil 5.22 Voltmetre ve ampermetre 43
Şekil 5.23 Kontrol paneli 44
Şekil 5.24 DC motor elektronik sürücü 44
Şekil 6.1. Etanol dizel karışımlarının ayrışma sürelerine sıcaklığın etkisi 50
Şekil 6.2 Motor torku motor devrine göre değişimi 52
Şekil 6.3 Motor gücü motor devrine göre değişimi 52
Şekil 6.4 DC Motor gücünün motor devrine göre değişimi 53
Şekil 6.5 Özgül yakıt tüketiminin motor devrine göre değişimi 54
Şekil 6.6 Ortalama efektif basıncın motor devrine göre değişimi 54
Şekil 6.7 Egzoz gazı sıcaklığının motor devrine göre değişimi 55
Şekil 6.8 CO_2 emisyonun motor devrine göre değişimi 56
Şekil 6.10 HC emisyonun motor devrine göre değişimi 57
Şekil 6.11 NOx emisyonun motor devrine göre değişimi 58
Şekil 6.12 NOx+HC emisyonun karışım yakıtana göre ortlama değeri 59
Şekil 6.13 İs emisyonun motor devrine göre değişimi 59
Şekil 6.14 İs emisyonun karışım yakıtana göre ortlama değeri 60
Şekil 6.15 1100 d/dk'da silindir içi basıncı 62
Şekil 6.16 1200 d/dk'da silindir içi basıncı 62
Şekil 6.17 1300 d/dk'da silindir içi basıncı 63
Şekil 6.18 1400 d/dk'da silindir içi basıncı 63
Şekil 6.19 1500 d/dk'da silindir içi basıncı 64
Şekil 6.20 1600 d/dk'da silindir içi basıncı 64
Şekil 6.21 1700 d/dk'da silindir içi basıncı 65

Şekil 6.22 1800 d/dk'da silindir içi basıncı 65
Şekil 6.23 1900 d/dk'da silindir içi basıncı 66
Şekil 6.24 2000 d/dk'da silindir içi basıncı 66
Şekil 6.25 2100 d/dk'da silindir içi basıncı 67
Şekil 6.26 2200 d/dk'da silindir içi basıncı 67
Şekil 6.27 1100 d/dk'da ısı salımı 68
Şekil 6.29 1300 d/dk'da ısı salımı 69
Şekil 6.301400 d/dk'da ısı salımı 69
Şekil 6.31 1500 d/dk'da ısı salımı 70
Şekil 6.32 1600 d/dk'da ısı salımı 70
Şekil 6.33 1700 d/dk'da ısı salımı 71
Şekil 6.34 1800 d/dk'da ısı salımı 71
Şekil 6.35 1900 d/dk'da ısı salımı 72
Şekil 6.36 2000 d/dk'da ısı salımı 72
Şekil 6.37 2100 d/dk'da ısı salımı 73
Şekil 6.38 2200 d/dk'da ısı salımı 73
Şekil 6.39 Model simülasyonu ile elde edilen güç değişimleri 74
Şekil 6.40 Model simülasyonu ile elde edilen tork değişimleri 75
Şekil 6.41 Model simülasyonu ile elde edilen özgül yakıt tüketimi değişimleri 75
Şekil 6.42 Model simülasyonu ile elde edilen NOx emisyon değişimleri 76
Şekil 6.43 Model simülasyonu ile elde edilen İs emisyon değişimleri 76
Şekil 6.44 1100 d/dk' da E0 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 77
Şekil 6.45 1100 d/dk' da E10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 77
Şekil 6.46 1100 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 77
Şekil 6.47 1200 d/dk' da E0 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 78
Şekil 6.48 1200 d/dk' da E10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 78
Şekil 6.49 1200 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 78
Şekil 6.50 1300 d/dk' da E0 yakıtı için simülasyon silindir içi basıcı 79
Şekil 6.51 1300 d/dk' da E10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 79
Şekil 6.52 1300 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 79
Şekil 6.53 1400 d/dk' da E0 yakıtı için silindir içi basıncı 80
Şekil 6.54 1400 d/dk' da E10 yakıtı için silindir içi basıncı 80

Şekil 6.55 1400 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 80
Şekil 6.56 1500 d/dk' da E0 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 81
Şekil 6.57 1500 d/dk' da E10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 81
Şekil 6.58 1500 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 81
Şekil 6.59 1600 d/dk' da E0 yakıtı için silindir içi basıncı 82
Şekil 6.60 1600 d/dk' da E10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 82
Şekil 6.61 1600 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 82
Şekil 6.62 1700 d/dk' da E0 yakıtı için silindir içi basıncı 83
Şekil 6.63 1700 d/dk' da E10 yakıtı için silindir içi basıncı 83
Şekil 6.64 1700 d/dk' da EP10 yakıtı için silindir içi basıncı 83
Şekil 6.65 1800 d/dk' da E0 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 84
Şekil 6.66 1800 d/dk' da E10 yakıtı için silindir içi basıncı 84
Şekil 6.67 1800 d/dk' da EP10 yakıtı için silindir içi basıncı 84
Şekil 6.68 1900 d/dk' da E0 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 85
Şekil 6.69 1900 d/dk'da E10 yakıtı için silindir içi basıncı 85
Şekil 6.70 1900 d/dk'da EP10 yakıtı için silindir içi basıncı 85
Şekil 6.71 2000 d/dk' da E0 yakıtı için silindir içi basıncı 86
Şekil 6.72 2000 d/dk' da E10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 86
Şekil 6.73 2000 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 86
Şekil 6.74 2100 d/dk' da E0 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 87
Şekil 6.75 2100 d/dk' da E10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 87
Şekil 6.76 2100 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 87
Şekil 6.77 2200 d/dk' da E0 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 88
Şekil 6.78 2200 d/dk' da E10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 88
Şekil 6.79 2200 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı 88
Şekil 6.80 1100 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 89
Şekil 6.81 1100 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 89
Şekil 6.82 1100 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 90
Şekil 6.83 1200 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 90
Şekil 6.84 1200 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 90
Şekil 6.85 1200 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 91
Şekil 6.86 1300 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 91

Şekil 6.87 1300 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salami 91
Şekil 6.88 1300 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 92
Şekil 6.89 1400 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımıı 92
Şekil 6.90 1400 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımıı 92
Şekil 6.91 1400 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımıı 93
Şekil 6.92 1500 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 93
Şekil 6.93 1500 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 93
Şekil 6.94 1500 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 94
Şekil 6.95 1600 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salami 94
Şekil 6.96 1600 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 94
Şekil 6.97 1600 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 95
Şekil 6.98 1700 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 95
Şekil 6.99 1700 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 95
Şekil 6.100 1700 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 96
Şekil 6.101 1800 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 96
Şekil 6.102 1800 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 96
Şekil 6.103 1800 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 97
Şekil 6.104 1900 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 97
Şekil 6.105 1900 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 97
Şekil 6.106 1900 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 98
Şekil 6.107 2000 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 98
Şekil 6.108 2000 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 98
Şekil 6.109 2000 d/dk'da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 99
Şekil 6.110 2100 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 99
Şekil 6.111 2100 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 99
Şekil 6.112 2100 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 100
Şekil 6.113 2200 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 100
Şekil 6.114 2200 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 100
Şekil 6.115 2200 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı 101
Şekil 6.116 E10 yakıtı ile post püskürtmenin motor gücü üzerine etkisi 104
Şekil 6.117 Saf etanolün post püskürtme ile motor gücü üzerine etkisi 104
Şekil 6.118 E10 yakıtı ile post püskürtmenin motor torku üzerine etkisi 105

Şekil 6.119 Saf etanolün post püskürtme ile motor torku üzerine etkisi.....105
Şekil 6.120 E10 yakıtı ile post püskürtmenin özgül yakıt tüketimi üzerine etkisi106
Şekil 6.121 Etanolün post püskürtme ile özgül yakıt tüketimi üzerine etkisi.....106
Şekil 6.121 E10 yakıtı ile post püskürtmenin NOx emisyonu üzerine etkisi 107
Şekil 6.122 Etanol yakıtı ile post püskürtmenin NOx emisyonu üzerine etkisi..107
Şekil 6.123 E10 yakıtı ile post püskürtmenin is emisyonu üzerine etkisi.....108
Şekil 6.124 Etanol yakıtı ile post püskürtmenin is emisyonu üzerine etkisi 108
Şekil 6.126 Etanol ve E10 yakıtının post püskürtme ile 1600 d/dk'da basınçları110
Şekil 6.127 Etanol ve E10 yakıtının post püskürtme ile 2000 d/dk'da basınçları111
Şekil 6.128 Etanol ve E10 yakıtının post püskürtme ile 1200 d/dk'da ısı salımı.112
Şekil 6.129 Etanol ve E10 yakıtının post püskürtme ile 1600 d/dk'da ısı salımı.112
Şekil 6.130 Etanol ve E10 yakıtının post püskürtme ile 2000 d/dk'da ısı salımı.112

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Dizel binek araçların Euro emisyon standartları 12
Tablo 2.2 Dizel ağır ticari araçların emisyon standartları 12
Tablo 2.3 Tier1-3 standartları emisyon limitleri (g/kWh) 13
Tablo 3.1 Tarım ürünlerinin etanol üretim potansiyeli 16
Tablo 3.2. Etanol ve dizelin fiziksel özellikleri 17
Tablo 5.1: Test Motoru Teknik Özellikleri 32
Tablo 5.2. DC dinamometrenin Özellikleri 34
Tablo 5.3. Yakıt sarfiyatının ölçümü yapılan hassas terazinin özellikleri 35
Tablo 5.4 Emisyon analiz cihazının özellikleri 38
Tablo 6.1 Emülsiyonların sıcaklık ile değişimleri 48
Tablo 6.2 Etanol ve E10 yakıtları ile yapılan post püskürtme emisyon sonuçları109

ÖZET

Dizel-Etanol Yakıtlı Bir Motorun Hibrit Kullanımında Post Püskürtmenin Emisyonlara Etkilerinin Modellenmesi

Hüseyin GÜRBÜZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Tarkan SANDALCI

Etanol, dizel motorlardaki partikül madde emisyonlarını azaltmak için önemli bir potansiyel sunmaktadır; çünkü etanol, dizel yakıttan daha düşük karbon içeriğine sahiptir ve oksijenlidir. Dünyada aktif, arazide çalışan yaklaşık 30 milyon, Türkiye'de ise yaklaşık 2 milyon traktör vardır. Bu traktörlerin yaydığı zararlı kirletici miktarını azaltmak için, oluşturulan emülsiyonlar, deneylerde kullanılan motorun yakıt sisteminde herhangi bir değişiklik olmaksızın doğrudan kendi enjektör sistemi ile silindire püskürtülmüştür. Ayrıca Emülsiyon yöntemi kullanılarak yapılan deneyler sonrasında motorun yakıt siteminde değişikliğe gidilmiş ve emme manifoldu içine benzin enjektörü ile etanol püskürtülerek fumigasyon yöntemi kullanılarak ikinci bir dizi deneyler yapılmıştır. Benzin enjektörü Arduino destekli RISC işlemcili yazılımı tarafımızdan geliştirilen elektronik kontrol ünitesi (EKU) ile kontrol edilmiştir. Bu çalışmada, test edilen yakıtlar dizel yakıt (E0), % 5 (v / v) etanol / dizel yakıt karışımı (E5) ve % 10 (hacim / hacim) etanol / dizel yakıt (E10) karışımlarıdır. İlk olarak emülsiyon

yöntemi kullanılarak yapılan deneyler kullanılacak karışım yakıtların hazırlanması ve kullanılabilirliğini araştırmak için, etanol ve dizelin çözünürlüğü ve emülsiyonlar üzerinde 30 ^{o}C ila 50 ^{o}C arasındaki sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. Ayrıca karışım yakıtlar 7 derece sıcaklıkta incelenmiş ve davranışları gözlemlenmiştir. Fumigasyon yönteminde, yakıtlar özel olarak tasarlanmış aparat içine yerleştirilen enjektör ile emme manifolduna % 5 (EP5) ve % 10 (EP10) etanol enjekte edildi. Yapılan bütün deneylerde Silindir içi basıncı motor torku, özgül yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı, motor soğutma suyu sıcaklığı yakıt sıcaklıkları ve son olarak egzoz emisyonları ölçüldü. Tez çalışmasında ikinci aşama olan, tek boyutlu termodinamik motor simülasyon programı olan AVL BOOST 16v programı ile deney motor modeli oluşturulmuştur. Bu simülasyon motoru deney motorunun deney verileri kullanılarak deney çalışma noktalarında elde edilmiş silindir içi basınç diyagramı doğrulacak şekilde kalibre edilmiştir.

Simülasyon programı ile E0, E5, E10, EP10 yakıtları deney çalışama motor devirleri için ayrı ayrı modellenmiştir. Deney sonuçları Simülasyon model sonuçları ile doğrulanmıştır. Daha sonra AVL BOOST programında E10 yakıtı ve saf etanol kullanılarak Post püskürme stratejilerinin emisyonlara olan etkileri incelenmiştir. Yapılan deney çalışmalarında emülsiyon yöntemi ile karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve azot oksit (NOX) emisyonlarının yüksek devirlerde azaldığı gözlenmiştir. Simülasyon model ile yapılan çalışmalarda her bir yakıt için deney motoru ile elde edilen motor gücü verileri model ile de elde edilerek NOx ve İs emisyonları değişimleri değerlendirilmiştir. Sadece Etanol püskürtülen post püskürtme ile is emisyonunda ortalama olarak %95.5 oranında azalmalar meydana gelmiştir. E10 yakıtı ile yapılan iki post püskürtme ile is emisyonunda sırasıyla %60.5 ve %60.3 oranında azalma, NOx emisyonunda ise hafif bir artış meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dizel motor, etanol, emülsiyon, fumigasyon, post püskürtme, simülasyon model yanma

ABSTRACT

Modeling of the effects of post spray on emissions in hybrid use of a diesel-ethanol fueled engine

Hüseyin GÜRBÜZ

Department of Mechanical Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Tarkan SANDALCI

Ethanol offers significant potential to reduce particle emissions in diesel engines; because ethanol has a lower carbon content than diesel fuel and is oxygenated. Active in the world, working in the field of about 30 million, has about 2 million tractors in Turkey. In order to reduce the harmful emissions emitted by these tractors, the emulsions were sprayed directly into the cylinder with their own injector system without any change in the fuel system of the engine used in the experiments. In addition, after the experiments using the emulsion method, the fuel system of the engine was changed and a second series of experiments were made for fumigation method by spraying ethanol into the intake manifold with a gasoline injector. Fuel injector RICS-based software developed by our injector has been checked. Arduino card was used to develop electronic control unit (ECU). In this study, the fuels tested are mixtures of diesel fuel (E0), 5% (v / v) ethanol / diesel fuel (E5) and 10% (v / v) ethanol / diesel fuel (E10). In order to investigate the preparation and usability of the mixture fuels to be used in the experiments using emulsion method, the effect of the temperature between 30^0C and 50^0C on the solubility of ethanol and diesel and on the emulsions was investigated. Also, the

mixture fuels were examined at 7 degrees temperature and their behaviors were observed. In the fumigation method, fuels were injected with 5% (EP5) and 10% (EP10) ethanol to the intake manifold with the injector placed in the specially designed apparatus. In the all experiments, Cylinder pressure, Motor tourque, specific fuel consumption, exhaust gas temperature, cooling water temperature, fuel temperatures, and finally exhaust emissions were measured. In the second stage of the thesis, the experimental engine model was created with the AVL BOOST 16v program which is a one-dimensional thermodynamic motor simulation program. This simulation engine is calibrated to verify the in-cylinder pressure diagram obtained at the test operating points using the test data of the test engine. With the simulation program, E0, E5, E10, EP10 fuels are modeled separately for the engine speeds.

Carbon monoxide (CO), hydrocarbon (HC) and nitrogen oxide (NOX) emissions were observed to decrease at high speeds. In particular, experiments with fumigation using electronically controlled fuel injection have resulted in improvements in HC and work emissions.

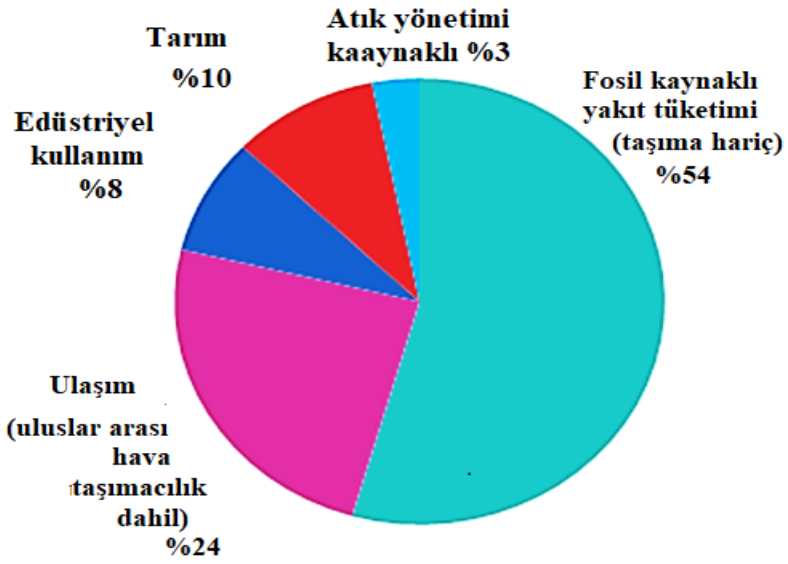
In the experiments, it was observed that carbon monoxide (CO), hydrocarbon (HC) and nitrous oxide (NOX) emissions decreased at high speeds by the emulsion method. In the studies carried out with the simulation model, the engine power data obtained with the test engine for each fuel was obtained with the model and the changes in the NOx and soot emissions were evaluated. With only post-spray sprayed with ethanol, there was an average reduction of 95.5% in the soot emission. With two post ejections made with E10 fuel, the emission of smoke decreased 60.5% and 60.3% respectively, while NOx emission increased.

Keywords : Diesel engine, ethanol, emulsion, fumigation, post injection, simulation model combustion

1
Giriş

1.1 Literatür Özeti

Dünya enerji gereksiniminde, artan nüfus ve teknolojin gelişmesi ile her yıl hızla artış olmaktadır. Dünya enerji gereksinimi 2040'lı yıllarda dahi gerek ulaşımda gerekse sanayi için fosil kaynaklı yakıtları ana enerji kaynağı olacağını öngörülmektedir [1]. Son yıllarda, Dünya Sağlık Örgütü Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından hava kirliliğinin ana nedeni taşıtların saldığı partikül maddelerden kaynaklandığı bildirilmiştir [2]. Ayrıca, kirleticiler iklim değişikliği üzerinde sera gazı olarak etki gösterdikleri için iklim üzerinde önemli bir etkisi vardır. Ülkemiz başta olmak üzere dünya nüfusunun artması ihtiyaç olan tarım ürünlerinin daha fazla yetiştirilmesini zaruri hale getirecektir. Dünya genelinde tarımın artması tarım makinelerin daha aktif ve daha yoğun bir şekilde kullanılmasına neden olmaktadır. Şekil 1.1'de dünya genelinde sera gazı salımında ilk üç sırada %54 ile yakıt üretim ve tüketimi (taşıt olmaksızın), % 24 ile taşıtlar ve %10 ile tarım sektörü yer almaktadır [3]. Türkiye'de ise tarımsal faaliyetlerden dolayı salınan sera gazı oranı %11.4'tür. Ayrıca Türkiye'de salınan N_2O emisyonunun %77.6'sı, CH4 emisyonunun %55.5 tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır[4].



Şekil 1.1. Sektör bazlı sera gazı salım oranı oranları

Ayrıca Türkiye'de kayıtlı araçlar arasında %8.2 ile 1.869,454 adet kayıtlı traktör bulunmaktadır [5]. Dahası, Türkiye'nin yakın gelecekte tarımsal projeksiyonda orta ölçekli şirketlere, traktör ve makine alımlarına yönelik belirgin teşvikleri bulunmaktadır. Bu teşvikler, Türkiye'deki traktör ve tarım makinelerinin sayısını artıracaktır. Bu durum tarım makineleri kaynaklı kirleticilerde önemli ölçüde artışa neden olacaktır.

Dizel motorlarda da egzoz kaynaklı kirleticileri azaltmak için gaz yakıt olarak; doğalgaz, propan, hidrojen, biyogaz, sıvı yakıtlar olarak ise; metanol, etanol ve biyodizel gibi birçok alternatif yakıtlar kullanılmakla beraber, alkoller alternatif sıvı yakıtların başında gelmektedir. Alternatif yakıt olarak alkollerin kullanılmasının birçok avantajları vardır. Alternatif yakıtlardan beklenen özellikler içinde kirletici emisyonların azaltılmasının yanı sıra ülke öz kaynakları kullanarak üretilmesi tercih edilme oranını artırdığından dolayı, tüketilecek etanolün gerek bileşiminde bulunan oksijen gerekse Ülkemizin tamamen öz tarımsal ürünlerinden üretilmesi dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılma oranını artıracaktır.

Yapılan literatür araştırmasında farklı oranlarda ve farklı uygulamalarda etanol dizel karışımları alternatif yakıt olarak kullanılmıştır. Literatür araştırmasının bazıları aşağıda sunulmuştur.

Kass ve diğ. % 10 ve % 15 etanol içeren iki karışımla yaptıkları çalışmalarda, karışımların motor tork ve gücüne etkisini araştırmışlar, her iki yakıt karışımı için yaklaşık % 8'lik bir motor gücü düşüşü olduğunu belirlemişlerdir[6].

Rakopoulos ve diğ. % 5 ve% 10 ile etanol yakıtı ile beslenen turbo şarjlı dizel motorda yakıt karışımındaki etanol miktarının artması ile özgül yakıt tüketiminin arttığını bildirmişlerdir [7].

Quadaris ve diğ. Etanolü fumigasyon yöntemi ile kullanarak etanol-dizel yakıt karışımlarının motor performansı ve emisyonlar üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Fumigasyon yöntemiyle % 20 etanol kullanarak, is kütle konsantrasyonu % 51 azalırken, CO emisyonunda % 55 ve HC emisyonlarında %36 oranında bir artış olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, % 15 etanol içerikli karışım kullanılmasıyla, is kütle konsantrasyonu % 32 azalırken, CO emisyonunda % 43.3 ve HC emisyonlarında % 34 oranında bir artış olduğunu saptamışlardır [8].

Weidman ve diğ. etanol ilavesi ile dizel motorun performans ve emisyonlara olan etkisini araştırdıkları çalışmada HC ve CO emisyonlarının arttığını, buna karşın NOx azaldığını bildirmişlerdir [9].

Ekholm ve diğ. dizel yakıta göre etanol karışımlarının fumigasyon yöntemi kullanıldığında NOx emisyonunun azaldığını, HC ve CO emisyonlarının ise arttığını gözlemlemişlerdir [10].

Huang ve diğ. dizel motorda etanol karışımlarının etkilerini araştırmışlar, kısmi yüklerde CO emisyonun azaldığını, ancak yüksek hızda artış olduğunu, HC emisyonlarının yüksek hızda ve kısmi yükte arttığını bildirilmişlerdir [11].

Tutak ve diğ. direkt enjeksiyonlu motorda etanol biyodizel, dizel karışımlarının etkisini araştırmış, çalışmadan çıkan sonuçlara göre %35 etanol oranına kadar THC ve NOx emisyonlarında artış olduğu görülmüştür[12].

Gnanamoorthy ve diğ. Farklı etanol içerikli etanol / dizel karışımının emisyon ve performans üzerindeki etkisini 3 farklı sıkıştırma oranında incelemişlerdir. Sonuçlar etanol karışımları ile CO ve HC emisyonlarının azaldığını, ancak is emisyonu ve NOx emisyonunun artığını göstermiştir [13].

Huang ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada diesel yakıtına sırasıyla hacimsel olarak %10, 20, 25 ve 30 etanol ve bağlayıcı olarak %5 oranında bütanol eklemişler, karışımlarda faz ayrışmasının 11 gün boyunca olmadığını belirtmişlerdir. Deney sonuçlarında özgül yakıt sarfiyatlarının diesel yakıtına oranla %10 oranında arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca CO emisyonlarının diesel yakıtına oranla yaklaşık %5 oranında azaldığını, fakat HC ve NOx emisyon oranlarının yaklaşık %100 arttığını tespit etmişlerdir[14].

Jamrozik ve diğ. Kısmi ve tam yükte etanolün emisyonlar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, karışımda etanol miktarı arttıkça NOx emisyonlarının arttığı, ancak THC emisyonlarının azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, NO_X ve THC emisyonları yüksek yükte önemli ölçüde iyileşmiştir [15].

Koganti ve diğ. Traktörlerde yakıt ekonomisi ve emisyonlar açısından %5 etanol-dizel karışımının performansını değerlendirmişler, etanol karışım yakıtı dizel ile karşılaştırıldığında karbon monoksit (CO) ve is partikül maddesinde gözle görülür bir azalma gözlenmiştir. Ancak azot oksitlerde (NOx) hafif bir artış olduğu görülmüştür [16].

Rossomando ve diğ. Etanol dizel karışımlarının emisyon ve performans üzerindeki etkilerini yanma modellemesi ile incelemiştir. İs partikül madde emisyonunda ve NOx emisyonlarında azalma ancak CO_2 emisyonlarında biraz artış tespit etmişlerdir [17].

Bilgin ve diğ., farklı sıkıştırma oranlarında etanol-dizel yakıtı karışımlarını deneyerek optimum motor performansı sağlamayı hedefledikleri çalışmalarında 19:1, 21:1 23:1 sıkıştırma oranlarında %2,4,6 oranında etanol-dizel yakıtı karışımları kullanmışlardır. Deneyler sonucunda en optimum etanol miktarının %4 oranında olduğu gözlemlenmiş ve 21:1 sıkıştırma oranında termik verimde %3,5`luk bir artış sağlanmıştır [18].

Song ve ark. (2007) E0, E5, E10, E15 ve E20 yakıtlarını turboşarjlı, 17.5:1 sıkıştırma oranına sahip, 6 silindirli, direk enjeksiyonlu bir diesel motorda yaptıkları deneysel çalışmalar sonucu karışımdaki etanol miktarı arttıkça CO emisyonu miktarının da arttığını belirtmişlerdir. Deney sonuçlarının E0 yakıtına

göre E20 yakıtı kullanımı ile CO emisyonu yaklaşık %70 artış olduğu, NOx emisyonunda ise %7,36 düşüş olduğunu belirtmişlerdir. Diğer yakıt karışımları kullanımda ise NOx değeri yaklaşık %7'ye varan oranlarda daha yüksek çıkmıştır[19].

Ghadikolaeia ve diğ. çalışmalarında fumigasyon ve emülsiyon yöntemlerini kullandılar. Deneyleri 1800 d/dk sabit hızda %15 etanol, %5 biyodizel ve %80 dizel yakıt kullanarak oluşturulan karışımı Emülsiyon yöntemini, dizel yakıtın %20'si kadar olan %25 biyodizel ve %75 etanol olan karışım yakıtı emme portuna püskürtülerek fumigasyon yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Silindir içi maksimum basıncı düşük yüklerde emülsiyonlar ve fumigasyon yöntemleri dizel ile yapılan deneylere göre düşük iken orta yüklerde emülsiyon ve fumigasyon yöntemi sonucu elde edilen silindir içi maksimum basınçlar artmıştır. Tam yüklerde ise tekrar azalmıştır. Emülsiyon yöntemi ile NOx ve HC salımında bir artış olmuştur. Fumigasyon deneylerinde, dizel yakıtla karşılaştırıldığında HRR ve ateşleme gecikmesinde bir artış olduğu görülmüştür[20].

Cheng ve diğ. hacimce %10 etanol ile oluşturdukları karışımı ve hacimce %10 metanol ile fumigasyon dizel yakıt ile karşılaştırdıkları çalışmalarını, 1800 d/dk sabit devir ve 5 farklı yük altında gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda NOx, CO_2 ve PM (Partikül Madde) emisyonlarında her iki yöntemde azalma tespit etmişlerdir. HC ve CO emisyonları bakımından dizel yakıt sonuçları ile emülsiyon yönteminde benzer sonuçlar ölçülmüş iken fumigasyon yönteminde ise daha yüksek sonuçlar elde etmişlerdir [21].

Mariasiu ve diğ. Fumigasyon ve emülsiyon yöntemini karşılaştırdıkları çalışmada hacimce % 15 etanol kullanılmıştır. Fumigasyon yöntemi ile NOx özgül yakıt tüketimi ve HC emisyonlarında emülsiyon yöntemine göre azalma olmuştur [22].

Tsurushima ve diğ. Post püskürtmenin etkilerini inceledikleri çalışmada post püskürtme ile HC, CO ve partikül madde emisyonlarının azalacağını, bu azalmanın temel nedenin yanma odasında ana püskürtme ile yanma katılmamış yakıtın yanmasından dolayı olduğunu ifade etmişlerdir[23]. Desantes ve diğ. Çalışmada ikinci püskürtmenin ana püskürtmeye yeterince yakın yapılması durumunda yanmanın daha iyileşeceğini ve bunun sonucu olarak NOx emisyonunun artığını ve

yanmanın son fazında yanmadaki iyileşmeden dolayı İs emisyonu ve özgül yakıt tüketiminin azaldığını tespit etmişlerdir[24].

Shenghui Cong tarafından farklı miktarlar yakıtlar ile yapılan post püskürtmenin etkisinin incelediği çalışmada post olarak püskürtülen yakıt miktarının fazla olması durumunda silindir içinde yeterince oksijenin bulunmamasından dolayı ısı salım oranı oranın üzerinde önemli etkinsin olduğunu tespit etmişlerdir. Yüksek miktar yakıt ile yapılan post yakıt püskürtme ile ortaya çıkan ısı salım oranları, sadece tek püskürtme yakıt ile ortaya çıkan ısı salım oranlarından daha düşük olduğu fakat küçük miktarlarda yapılan post püskürtmelerde ortaya çıkan ısı salım oranlarının arttığını ve is emisyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir[25].

Chen ve diğ. Post püskürtme ile egzoz gazı sıcaklığının artacağını ve is emisyonlarının yeniden yanmanın başlamasından dolayı azalacağını fakat geç post enjeksiyon yapıldığında HC ve CO emisyonlarının hızlı bir şekilde yeniden artacağını bildirmişlerdir [26].

Li ve diğ. biyodizel yakıt ile çalışan bir dizel motorda post püskürtmenin emisyonlara olan etkisini araştırdığı çalışmada farklı oranlarda post püskürtme ve farklı açılarda ana püskürtme ile post püskürtme aralığı denemişlerdir. Ana püskürtme ile post püskürtme arasının artması ile NOx emisyonlarında düşüşler meydana geldiği fakat HC ve CO emisyonunda artışlar oluşmaya başladığını ifade etmişlerdir. Ayrıca Partikul madde emisyonlarının ana püskürtmeye göre post püskürtme mesafesi artması ile düşüşe geçtiği fakat mesafenin daha artması ile tekrardan artışa geçtiğini rapor etmişlerdir [27].

1.1 Tezin Amacı

Dizel motorlar, günümüzde ulaşım, ziraat ve enerji üretimi gibi birçok sektörde kullanılmakla beraber; düşük özgül yakıt tüketimi gibi sahip oldukları birçok avantaja rağmen, CO, CO_2, HC, NOx ve is partiküllerinden dolayı, hava kirliliği oluşturmaktadırlar. Ayrıca, son yıllarda artan motorin fiyatları ile beraber, alternatif temiz yakıt arayışları artmıştır. Hali hazırda konvansiyonel içten yanmalı motorlarda kullanılabilecek sıvı yakıt olarak etanol ön plana çıkmaktadır. Euro 6 direktiflerinde emisyon değerlerinin oldukça alt seviyelere çekilmiş olması,

Stage/Tier 3 direktiflerine göre üretilen tarım makinelerinde emisyon iyileştirme çalışmalarını gerekli kılmaktadır. Özellikle ülkemiz gibi tarım sektöründe de makineleşme hızı devam eden ülkelerde tarım sektörü kaynaklı emisyonlarda hızla artış olmaktadır. Ülkemizin öz kaynakları kullanılarak üretilebilen ve sıvı yakıt olarak hali hazırdaki traktör motorlarında kullanılabilecek yakıt olarak etanol hem fosil yakıt bağımlılığını azaltıcı hem de gerek üretiminde kullanılan özellikle şeker pancarının yetirtilmesinin çam ormanlarının 3 katı kadar oksijen sağlaması, gerekse de dizel yanma sürecinde ortaya çıkan zararlı emisyonları azaltıcı etkisi ile ülkemize önemli katkı sunması öngörülmektedir.

Literatür araştırmasında etanolün emisyonlara etkileri üzerine birçok araştırma yapılmasına rağmen, özellikle tarım traktörleri üzerine emisyonlara etkileri açısından yakıt püskürtme stratejilerinin geliştirilmesi yönündeki çalışmalar eksik olduğu tespit edilmiştir. Etanolün gerek doğrudan gerekse de karışım halinde post püskürtme yapılarak emisyonlara olan etkilerinin belirlenmesi yönündeki çalışma, zararlı emisyonları iyileştirici yöndeki literatür çalışmalara önemli katkı sunacaktır.

Yapılan çalışmada öncelikle traktör motoru dizel yakıtı kullanılarak referans diğerleri tespit edilmiştir. Daha sonra 2 farklı oranda motorin-etanol karışımı sağlanmış ve belli şartlar altında direk silindir için püskürtülmüştür. Sonraki çalışmada benzin enjektörü RISC işlemcili bir kart ile kontrol edilerek emme portuna aynı oranlarda etanol püskürtülmüştür. Son aşamada ise AVL BOOST simülasyon programı ile deney motorunun ana özellikleri ile model motor oluşturulmuş ve emülsiyon ve fumigasyon yöntemlerinde kullanılan yakıtların ile elde edilen deney sonuçları doğrulanmıştır. Böylelikle traktör motorunda yenilenebilir alternatif yakıt olarak kullanılabilen etanolün dizel yakıt ile farklı oranlarda emülsiyon ve fumigasyon yönetmeleriyle kullanılmasının motor performans ve egzoz emisyonları üzerine etkilerinin belirlenmesi ve post püskürtmenin emisyonlar üzerine etkilerinin modellenmesidir.

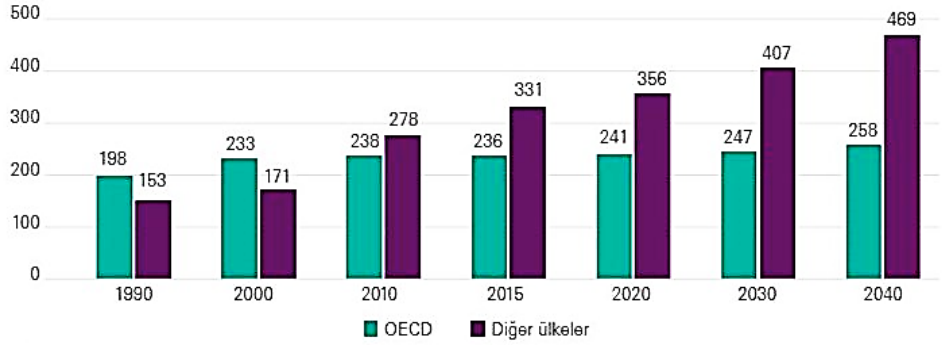
1.2 Hipotez

Yapılan çalışma etanolün bir traktör motorda farklı yöntemler ile kullanılması ile kısmi yük şartında, is CO, NOx gibi emisyonlarda iyileşme olduğu, özellikle

fumigasyon yöntem ile HC emisyonunda önemli azalmalar meydana geldiği, aynı zamanda motor gücünde artışlar olduğu göz önünde bulundurulursa; özellikle traktörlerin arazi çalışma şartlarda, etanol ve motorinin dizel motorlarda çift yakıt olarak veya emülsiyon şeklinde kullanılmasının emisyonlar üzerinde olumlu etkisinin olacağı, ayrıca yakıt püskürtme stratejileri geliştirerek egzoz emisyonlarının daha da azalacağı öngörülmektedir.

2
Enerji Gereksinimi ve Taşıt Kaynaklı Emisyonlar

Enerji tüketimi küresel boyutlarda giderek hızla artmaktadır. Küresel enerji tüketimi 2040 yıllara kadar %28 oranında artacağı düşünülmektedir. Bu artışın temel nedeni gelişmekte olan ülkelerin yüksek büyüme oranlarına ulaşma taleplerinden kaynaklanmaktadır. Enerji tüketimi özellikle OECD ülkeleri dışında kalan ülkelerde şekil 2.1'de görüleceği üzere hızla artacağı öngörülmektedir. Yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımının artmasına rağmen 2040 yıllara kadar enerji tüketimini %77 fosil yakıtlardan karşılanacağı öngörülmektedir. [28].



Şekil 2.1. Dünya enerji tüketimi, katrilyon BTU

Uzun yıllar fosil yakıt kullanımın devam edecek olması yenilenebilir alternatif yakıtlara daha fazla yönelmeyi gerektirmektedir. Yağlı tohumlu bitkiler, şekerli ve nişastalı bitkiler biyotanole dönüştürülür. Biyoetanol olarak %99.5 saflıkta alkol kullanılarak biyoenerji gereksinimi karışlanmaya çalışılmaktadır [29].

2.1 İçten Yanmalı Motorlardan Kaynaklanan Kirleticiler

Petrol kaynaklı yakıt tüketimi araç sayısının ve sanayi gelişimin ve artan nüfusa bağlı olarak dünya genelinde hızla artmaya devam ediyor. Türkiye'nin petrol bazlı yakıt tüketimi yaklaşık olarak 27 milyon tondur [30].

İçten yanmalı motorlarda CO oluşumlarını kontrol eden ana parametre karışımın yakıt/hava oranıdır. Karbon monoksit emisyonun olması yanma sırasında oksijenin yetersiz olması, heterojen karışım ve sıcaklık nedeniyle olur[31]. Renksiz

ve kokusuz olan karbon monoksit gazı hemoglobine olan yüksek afinitesi nedeniyle, kandaki oksijen taşıyıcı hemoglobine bağlanarak, dokulardaki oksijen miktarını azaltır. Vücuttaki oksijen miktarını kısıtlayarak zehirlenme ve boğulmalara yol açar. Uzun süreli 100 ppm karbon monoksit içeren ortamda kalınırsa hafif baş ağrıları, 500 ppm karbon monoksit içeren ortamda kalınırsa şiddetli baş ağrıları, baş dönmesi ve baygınlık, 2000 ppm ve üzerindeki değerlerde solunum zayıflaması, şuur kaybı ve ölüm görülür [32].

Yanmamış hidrokarbonlar (HC), Yanma sıcaklıklarının yüksek olmayışı ve çoğu zaman bölgesel oksijen yetersizlikleri eksik yanmalarından dolayı meydana geldiği gibi, alev cephesinin nufuziyet kabiliyetine bağlı olarak yanma odası içerisinde ulaşamadığı dar bölgeler yanmamış hidrokarbonların bir başka nedenidir [33]. Hidrokarbonlar özellikle solunum sistemi ve göz bozukluklarına neden olup, başta kan kanseri olmak üzere diğer kanser türlerine de neden olmaktadırlar [34].

Partikül madde emisyonları dizel motorlarında uzun zincirli moleküllerin yetersiz oksijen şartlarında termal kraking işlemine uğramaları sonucunda oluşur [35]. Partiküler maddelere hem kısa dönem, hem de uzun dönemde maruz kalınması solunum ve kalp damar hastalıklarında, astım ataklarında, solunumla ilgili rahatsızlıklarda ve hastaneye başvurularda artış ile kalp damar hastalıkları, solunum hastalıkları ve akciğer kanserinden ölümlerde artışa yol açar [36]

Azot oksitler (NOx) atmosferik azotun yüksek sıcaklıkta oksidasyon ile oluşur. Azot oksitler, kandaki hemoglobin ile birleşmektedir. Ciğerdeki nemle birleşerek nitrik asit oluşturur ve solunum yolu hastalıkları oluşturmaktadır. Ayrıca NOx emisyonları ozon tabakasının tahribine yol açmaktadırlar [37]. Azot oksitler içinde NO, kokusuz bir gazdır. Akciğerlerin çalışmasını bozar, mukoza zarını tahriş eder ve felç yapıcı etkisi vardır. Ayrıca nitrik asit oluşumuna sebep olur. [35].

2.2 Egzoz Emisyonu Yönetmenlikleri

Dünya üzerindeki enerji rezervlerinin azalması, çevresel kaygılar ve endüstriyel rekabet en verimli yakıtı kullanma ihtiyacını arttırmaktadır. Atmosferdeki CO_2, N_2O, $CH4$, O_3 gibi gazlar güneşten yeryüzüne gelen ısının bir kısmını tutarak yeryüzünün belirli sıcaklık derecesinde kalmasını sağlar ve yararlı ışınların

bazılarının yeryüzüne gelmesini engellemektedir. Türkiye'de toplam emisyonun %67,8'i enerji sektöründen, %15,7'si endüstriyel işlemler ve ürün kullanımından, %10,8'i tarımsal faaliyetlerden, %5,7'si ise atıktan kaynaklandı [38]. Taşıtların çevreye daha az atık bırakması ve insan sağlığına daha az zarar vermesi yönündeki ilk adım diesel araçlar için 1993 yılında Euro 1 standardının yürürlüğe girilmesi ile atıldı. Daha sonra 1996 yılında Euro 2, 2000 yılında Euro 3, 2005 yılı itibari ile Euro 4 emisyon standartları uygulanmaya alındı. Türkiye'de yatırım maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle direkt olarak Euro 1'den Euro 4'e 2009 yılı itibari ile geçiş yapılmıştır. Avrupa ise 2009 yılında Euro 5 standardına 2014 yılında Euro 6 standarttın geçiş yapmıştır. Türkiye'de ise Euro 5 emisyon standartları atlanarak Euro 6 standardına geçişler 2016 yılında yapılmıştır.

2.2.1 Euro 5 Emisyon Yönetmenlikleri

Motorlu taşıtlardan salınan kirletici emisyonların azaltılması ve kontrolü için Avrupa'da 2009 yılında uyulamaya konulan emisyon yönetmenliğine göre emisyonlara sınırlamalar getirilmiştir. Getirilen sınırlamalar binek ve ticari araçlara göre farklılık göstermektedir. Euro standarttı olarak uyulması zorunlu olan limitler CO, HC, NOx ve PM emisyonlarına getirilmiştir.

Emisyon değerleri Tablo 2.2.2.1'de görülen binek araçların CO emisyonu 0,50g/km NOx emisyonu 0.18g/km, Partikül Madde (PM) emisyonu 0,005 g/km, HC+NOX emisyonu ise 0.23g/km olarak belirlenmiştir [39]. Ticari diesel ağır araçlarda ise bu oranlar CO emisyonu 1.5g/kWh, NOx emisyonu 2 g/kWh, PM emisyonu ise 0.02 g/kWh, HC emisyonu 0.46 g/kWh olarak belirlenmiştir.

2.2.2 Euro 6 Emisyon Yönetmenlikleri

Uygulamada olan en son getirilen zorunlu emisyon standarttı Avrupa'da 2014 yılı itibari ile Türkiye'de ise 2016 yılı itibari ile uygulanmaya başlanan Euro 6 emisyon standartlarıdır. Euro 6 standartlarına göre Tablo 2.1'de gösterilen CO emisyonu 0.5 g/km, NOx emisyonu 0.08 g/km, Partikül Madde (PM) emisyonu 0.005 g/km, HC+NOX emisyonu ise 0.17 g/km olarak belirlenmiştir. Ağır ticari araçlarda ise bu oranlar CO emisyonu 1,5 g/kWh, HC emisyonu 0,13 g/kWh, NOx emisyonu 0,4 g/kWh, PM emisyonu 0,01 g/kWh olarak limitler bir önceki standartlara göre daha

da aşağıya çekilmiştir [40]. Ağır ticari araçlar için uygulanan Emisyon standartları Tablo 2.2.2.2 'de gösterilmiştir [41].

Tablo 2.1 Dizel binek araçların Euro emisyon standartları

Standart	**CO [g/km]**	**HC [g/km]**	**NOx [g/km]**	**PM [g/km]**
Euro 1	2.72	0.97	-	0.14
Euro 2	1.00	0.7	-	0.08
Euro 3	0.64	0.56	0.5	0.05
Euro 4	0,50	0.3	0.25	0.025
Euro 5	0.50	0.23	0.18	0.0000225
Euro 6	0.50	0.17	0.08	0.0000225

Tablo 2.2 Dizel ağır ticari araçların emisyon standartları

Standart	**CO [g/kWh]**	**HC [g/ kWh]**	**NOx [g/ kWh]**	**PM [g/ kWh]**
Euro 5	1.5	0.46	2	0.02
Euro 6	1.5	0.13	0.4	0.01

2.2.3 Tier/Stage 3 ve 4 Emisyon Yönetmenlikleri

Tarım traktörlerinde ve Off-road araçların dizel motor emisyonları için Avrupa standartları, Stage I- IV olarak bilinen standartlar aşamalı olarak yapılandırılmıştır. Bu standartlar ABD'de Tier 1-3 standartlarında uygulanmıştır. Stage I, 1999'da uygulandı ve Stage II, motorun gücüne bağlı olarak 2001'den 2004'e kadar uygulandı. Bu emisyon standartları içinde endüstriyel sondaj kuleleri, kompresörler, buldozerler, arazi araçları, karayolu ekskavatörleri, forkliftler, yol bakım araçları, kar küreme makineleri, hava alanlarındaki yer destek ekipmanları, hava asansörleri, mobil vinçler tarım ve ormancılık traktörleri kapsamındadır[42]. Stage 3 standarttı, 2004 yılında kabul edildi ve 2005 yılında tarım traktörlerini

kapsayacak şekilde genişletilmiş ve Stage 3A ve Stage 3B Şeklinde güncellenerek 2013 kadar uygulanmıştır. Tier/Stage 3 standartları 36-507 kW motorlar için uygulama zorunluluğu vardır [43].

Tier 3 versiyonlarından sonra Tier 4 versiyonları 2015 yılı itibari ile uygulanmaya başlanmıştır. Aracın özelliklerine bağlı olarak Tier 4A ve Tier 4B güncellenerek limit şartları yenilenmiş. Tier 4 limitlerine geçiş ile dünya genelinde 2030 yılına kadar 738.000 ton NOx emisyonu ve 129.000 ton PM emisyonu azalacağı tahmin edilmektedir[42]. Tier 1-4 standartlarının emisyon oranları Tablo 2.3 de gösterilmiştir[42].

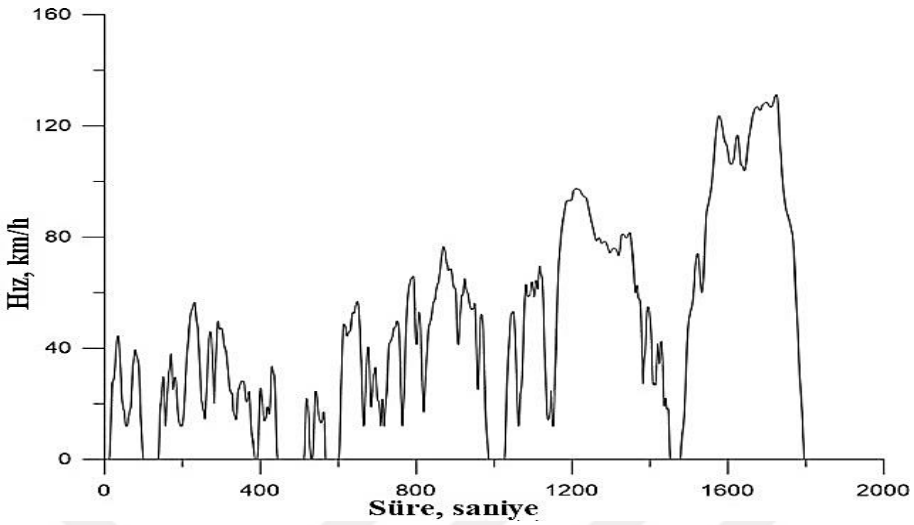
Tablo 2.3 Tier1-3 standartları emisyon limitleri (g/kWh)

Motor Gücü	**Tier**	**Yıl**	**CO**	**HC**	**NMHC+NOx**	**NOx**	**PM**
19≤ kW < 37 (25 ≤ hp < 50)	Tier 1	1999	5.5	-	9.5	-	0.8
	Tier 2	2004	5.5	-	7.5	-	0.6
	Tier 3		5.5		4.7		0.3
	Tier 4		5.5	-	4.7	-	0.03
37 ≤ kW < 75 (50 ≤ hp < 100)	Tier 1	1998	-	-	-	9.2	-
	Tier 2	2004	5.0	-	7.5	-	0.4
	Tier 3	2008	5.0	-	4.7	-	0.3
	Tier 4	2015	5.0		4.7		0.03

2.2.4 Egzoz Emisyonları Test Çevrimleri

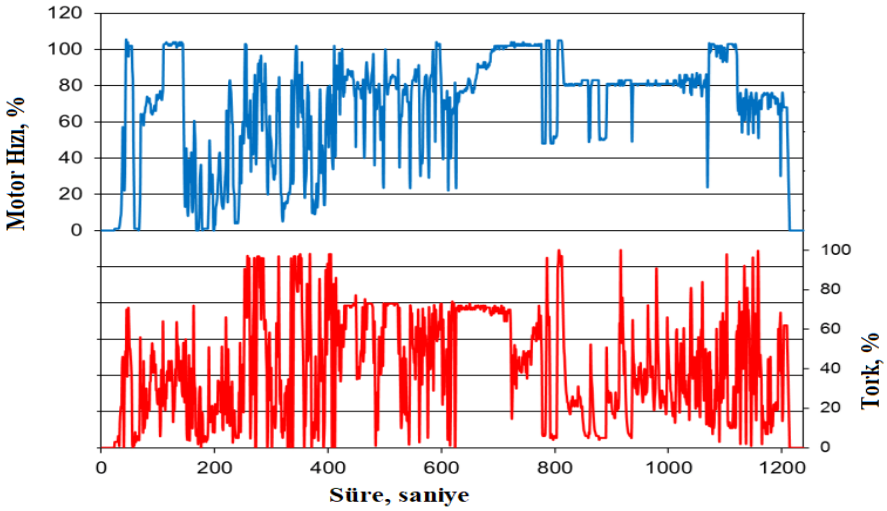
Araç gruplarına bağlı olarak emisyonların test edileceği çevrimler geliştirilmiştir. Emisyonlar NEDC (New European Driving Cycle) ile araç dinamometresinde yapılan test prosedürü ile ölçülmektedir. Son yıllarda ise WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle) ve RDE (Real Driving Emissions) test

prosedürü kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 2.2'te binek araçlar için WLTC seyir çevrim profili gösterilmektedir [44].



Şekil 2.2 Binek araçlar için WLTC seyir çevrimi

Tarım makineleri gibi yol dışı(non-road) araçların seyir çevrimi tier3 yönetmenliklerine ve ISO 8178 test standartlarına göre NonRoad Steady Cycle (NRSC) seyir çevrimi ve NonRoad Test Cycle (NRTC) test çevrimi kullanılmaktadır. Tarım traktörlerinin seyir çevrimleri zamana göre tork ve hız değerlerine göre oluşturulmuş olan test çevrimi Şekil 2.3'te gösterilmedir [45].



Şekil 2.3 Tarım Traktörü Seyir çevrimi

3
Etanol

Alternatif yakıtlar içerisinde değerlendirilen alkol ve karışımları birçok ülkede dikkate değer bir kullanım düzeyine ulaşmıştır. Alkol kimyasal yollar ile üretilebileceği gibi tarım ürünlerinden ve kömürden de üretilebilmektedir. Tarım bitkileri ile üretilen etanole biyoetanol dendiği gibi kimyasal formülü **C_2H_5OH** şekli ile aynıdır.

Ülkemizin tarım ülkesi olması ve petrol ithal eden ülkelerin başında gelmesi alkolün ülkemiz için önemli bir enerji kaynağı olabileceğini göstermektedir. Alkollerin motor yakıtlarına alternatif olma nedenlerinden başında içeriğinde bulunan oksijenin etkisi ile egzoz emisyonlarına olan pozitif etkisidir. Ayrıca etanol, yağlı tohumlu bitkiler, şekerli ve nişastalı gibi tarım bitkileri ile üretilmesi ülkelerin kendi öz kaynakları kullanılarak üretilmesi ile özellikle petrol kaynaklı yakıtların ihracatı ile enerji ihtiyacını karşılayan ülkeler için fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmasıdır.

Biyoetanol, şeker kamışı, şeker pancarı, Gine mısırı, dallı darı, arpa, kenevir, Hibiscus cannabinus, (tatlı) patates, manyok, ayçiçeği, meyveler, melas, kesik süt, mısır, mısır koçanı, hububat, buğday, saman, pamuk ile çeşitli selüloz atıkları gibi pek çok farklı tarım kaynağından elde edilebilir [46]. Şeker üretimi yapılırken ortaya çıkan melas yan ürününde içeriğinde yüksek şeker oranı nedeniyle etanol üretiminde kullanılmaktadır.

Biyoetanol, karbonhidratların fermantasyonuyla üretilir. Basit şekerler aşağıdaki kimyasal tepkime yoluyla biyoetanol ve karbondioksite dönüştürülür[47]. Biyoetanol üretim aşamaları şekil 3.1 te gösterilmektedir [48].

$C_nH_{2n}O_n$ (şeker) → n /3 C_2H_5OH + n/3 CO_2 + ısı [47]



Şekil 3.1. Etanol üretim Şeması

Etanol üretiminde önemli bir etmeden tarım ürünlerinin etanol üretim potansiyelidir. İklim şartlarına göre üretim miktarı ve kalitesi değişebileceğinden birçok ürünün kullanarak etanol elde edilmesi daha uygun olduğu öngörülmektedir. Ayrıca etanol üretiminde selüloz içerikli artık maddeler karbonhidratça zengin olmalarından dolayı tercih edilmektedir. Selüloz içerikli artık maddelerde etanol üretim maliyeti diğer ürünlere göre daha azdır ve daha hızlı üretilmektedir [49]. Tablo 3.1'de tarım ürünlerinin etanol üretim potansiyeli gösterilmektedir [50].

Tablo 3.1 Tarım ürünlerinin etanol üretim potansiyeli

Tarım Ürünü	Etanol Üretilme Potansiyeli (l /ton)
Şeker kamışı	70
Şeker pancarı	110
Mısır	360
Pirinç	430
Buğday	340
Arpa	250
Tatlı Sorgun	60
Küspe ve diğer selülozik ürünler	280

3.1 Yakıt olarak Etanol

Biyoetanol için belirlenen petrol bazlı yakıtlar ile karıştırılma deney TS EN 15376 standardı kullanılmaktadır. Etanolün içinde yaklaşık olarak %35 oranında oksijen vardır [51]. Saf etanolün (% 99.5) yoğunluğu 15^{o}C'de 794.2 kg/m^{3}'tür. Etanolün diğer özellikleri Tablo 3.2.'de gösterilmektedir [52].

Tablo 3.2. Etanol ve dizelin fiziksel özellikleri

Özellikler	**Birim**	**Dizel**	**Etanol**
Moleküler formül		$C_{14}H_{30}$	C_2H_5OH
Setan sayısı	–	40-50	~8-11
Moleküler ağırlık	g	198,4	46
Yoğunluk	Kg/m^3	840	789
Alt ısıl değeri	MJ/kg	42.5	26.78
Buharlaşma ısısı	kJ/kg	260	840
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	^{0}C	230	425
Stokiyometrik hava-yakıt oranı	–	14.6	9.0
25 ° C'de viskozite	mPa·s	2.8	1
Karbon içeriği	%	87	52.2
Hidrojen içeriği	%	13	13.0
Oksijen içeriği	%	0	34.8
Alev hızı	m / s	0,86	~ 3
Alev sıcaklığı	°C	2054	2120

3.2 Etanolün Dizel Motorlarda Kullanımı

Etanol üretiminde içeriğinde belli oranda su bulunmaktadır. Endüstriyel etanolün saflık derecesi %99.5 ve %99.9 oranında olmaktadır. Ayrıca etanolün setan sayısının oldukça düşük olması dizel motorlarda kullanımını oldukça zorlaştırmaktadır. Etanolün alternatif yakıt olarak etanolün diesel motorlarda kullanımını sağlamak için çeşitli teknikler mevcuttur. Motorun mevcut yakıt siteminde hiçbir değişiklik yapmaksızın veya belli oranlarda yakıt siteminde modifiye edilerek etanol yakıt olarak motorin ile karıştırılarak veya doğrudan kullanılmaktadır.

Etanol motorin ile her oranda ayrışmadan karışması mümkün değildir. Etanol ve dizel arasında faz ayrılmasını önlemek için emülsiyonlara emülgatör eklenmelidir [53-54]. Biyoetanolün setan sayısı, motorinin setan sayısından daha düşük olması dizel motorlarda kullanımını zorlaştırmaktadır. Etanolün dizel yakıta göre, daha az oranda karbon içermesine rağmen daha yüksek alev sıcaklığına ve alev hızına sahiptir.

3.2.1 Emülsiyon Yöntemi

Etanol ve diesel yakıtları bir biri içinde çözülmesi oldukça zordur. Alkoller ile diezel yakıt homojen şekilde karışımı alkollerin polar yapıda olması nedeniyle karışmamaktadır. Dolayısıyla dizel yakıtı apolar, etanol polar yapıda olduğu için ancak karışıma emülgatör ve solvent olarak propanol, bütanol, izopropil gibi farklı polarizede olan ve farklı moleküler yapıya sahip ağır alkoller eklenerek karışıma termodinamik olarak daha stabil bir karışım olması sağlanabilmektedir [53]. Etanol-dizel yakıtı karışımının sıcaklığı ve karışım içerisindeki su miktarı çözünürlüğü oldukça etkilemektedir. Karışım sıcaklığı miktarı etanolün dizel yakıtı içerisindeki çözünürlüğü etkilemektedir. Oda sıcaklığında yapılan karışımların faz ayrımı oldukça hızlıdır. Ancak, karışım yaklaşık 40 °C'ye kadar ısıtıldığında, bu süre daha uzundur [55]. Karışımdaki etanol miktarı artıkça emülsiyonun karışım sıcaklığında artış olmaktadır. Soğuk kış şartlarında dizel etanol karışımı emülsiyondaki etanol miktarı ile değişmektedir.

Etanol-dizel emülsiyonlarında faz ayrışması meydana gelene kadar dizel motorlarda kullanılabilmektedir. Emülsiyonların motorun mevcut yakıt sistemini değiştirmeden doğrudan mevcut dizel enjektörü ile silindir içine püskürtülebilmektedir. Fakat etanol içindeki su miktarı zamanla enjektör içinde enjektör memesinde oksidasyona neden olabilmektedir. Emülsiyon metodunu dizel motorda kullanılabilmesi için oluşturulan yakıtın karıştırıcı ve çözücü bir madde ile homojenlik sağlanmalı ve sürekliliği korunmalıdır.

3.2.2 Fumigasyon Yöntemi

Fumigasyon yöntemi ile motorun mevcut yakıt sisteminde bazı modifikasyonlar yapılarak etanolün bir nozul veya enjektör kullanılarak emme manifolduna, emme stroku esnasında püskürtülmesi metodudur. Bu metot da yeni yakıt hattı, yakıt deposu ve yakıt püskürtme kontrol sitemi ve enjektör gerekmektedir [56]. Bu teknik ile kullanım ile etanol emme havası ile karışımı daha iyi olduğu için avantajlı bir metottur.

3.3 Türkiye'de Etanol Üretimi

Etanolün tarım ürünlerinden elde edilmesi ülkemiz açısından önemli bir avantajdır. Ülkemizde yetiştirilen patates, pirinç mısır ve tahıl ürünlerinden endüstriyel alanda ve ulaşımda kullanılmak üzere etanol üretilebilmektedir. Ülkemizde enerji tarımı yapılması ve biyoetanol üretilmesi ile birlikte petrole bağımlılık ve sera gazı salımı azalacaktır. Ülkemizde 2010 yılında, patates, şeker pancarı ve buğday ekimiyle yılda 5,8 milyar litre biyoetanol üretilebilecek potansiyele sahip olduğu belirtilmektedir [48]. Ülkemizde biyoetanol kurulum kapasitesi yaklaşık 180 milyon litre civarındadır [57]. Sadece mevcut kurulu fabrikada biyoetanol üretimi 15 milyon litre/yıl üretimi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca aynı fabrikada2017 verilerine göre şeker pancarından üretilen şekerin yan ürünü olan 18.650 ton melas kullanılarak 2016 yılında 6.785 litre biyoetanol üretimi gerçekleştirilmiştir [58]. Bu üretimlere ilaveten Amasya'da özel statülü fabrikada Melas kullanılarak 10 milyon litre/yıl biyoetanol üretimi yapılabilmektedir.

Dünya ve Türkiye'de biyoetanol kullanımına dair yürürlüğe konulan yasal düzenlemeler ile biyoetanol kullanımının yaygınlaşması ve biyorafineri üretim kapasitelerinin artması beklenmektedir. Tarımsal kökenli hammadde kullanılarak üretilen biyoetanolün yakıt alternatifi ve katkı şeklinde artan kullanımının sonucu olarak tarım sektöründeki etkisi son yıllarda dikkat çekici boyuta ulaşmıştır. Hammadde ve biyoetanol üretimi ile ilgili yapılan öngörülerin sonuçları incelendiğinde Türkiye'nin sürdürülebilirlik politikaları açısından tarım ülkesi olmasının da bir sonucu olarak önemli avantajlara sahip olduğu ve kaynaktan tüketimin son aşamasına kadar doğru bir biyoetanol üretim politikası ile bu kazanımların daha da artacağı öngörülmektedir. Buna ilaveten, Türkiye'nin biyoetanol üretimi, etanolün yakıt ile %10 oranından karıştırma zorunluluğu da kaldırabilir potansiyele sahiptir [59].

Biyoetanol üretiminin Ülke ekonomisine, çevreye ve insan sağlığına pozitif katkısı oldukça dikkat çekicidir. Biyoetanol ile

- Fosil yakıtların neden olduğu olumsuz çevresel etkilerin azaltılması
- Etanol üretiminde CO2 emisyon salımın azlığı, 1 litre etanol üretimi nedeniyle şeker pancarınınım yetiştirilmesi ve etanol haline getirilmesine kadar olan süreçte 2.9 kg kabondioksit salımın engellemekte, ayrıca şeker pancarı aynı alandaki çam ormanından 3 kat daha fazla oksijen üretmektedir.
- Yerli olmasından dolayı ekonomiye olum katkı sunacaktır.
- Tarım alanında sürdürülebilir tarıma destek verecektir [59]

Motorlu taşıtların artması ile petrole olan bağımlılığın azaltmasına katkı sunacaktır.

Biyoetanolün faydalarını Türkiye'de kirletici emisyon salımını sınırlamak ve ülkenin akaryakıta olan ihtiyacını sınırlamak için akar yakıta etanol katma zorunluğu getirilmiştir. Bu mevzuata göre 1 Ocak 2013 tarihi itibari ile %2, 1 Ocak 2014 tarihi itibari ile benzine %3 oranında yerli tarım ürünlerinden üretilmiş biyoetanol katma zorunluluğu getirilmiştir. Ayrıca Devlet tarafından üretici firmalara toplam üretimin yakıta katkı yapılan miktarının oranı kadar vergiden

muaf tutulması gibi teşvikler ile biyoetnol üretimi desteklenmektedir. 1 ocak 2018 yılı itibari ile motorine % 0,5 (V/V) yağlı tohumlardan elde edilmiş biyodizel katma zorunluluğu getirilmiştir.

Türkiye'de 2018 yılı itibari ile taşıt sayısı 22.798,221'e benzinli araçların sayısı 3.104,000'e dizel araçların sayısı yaklaşık 4.513.000'e ulaşması akaryakıta olan bağımlılığın giderek daha çok arttığını göstermektedir. Türkiye'nin 2018 yılında ortalama günlük benzin tüketimi 8.900.000 litre olması günlük olarak 267.000 litre biyoetanol kullanıldığını göstermektedir.

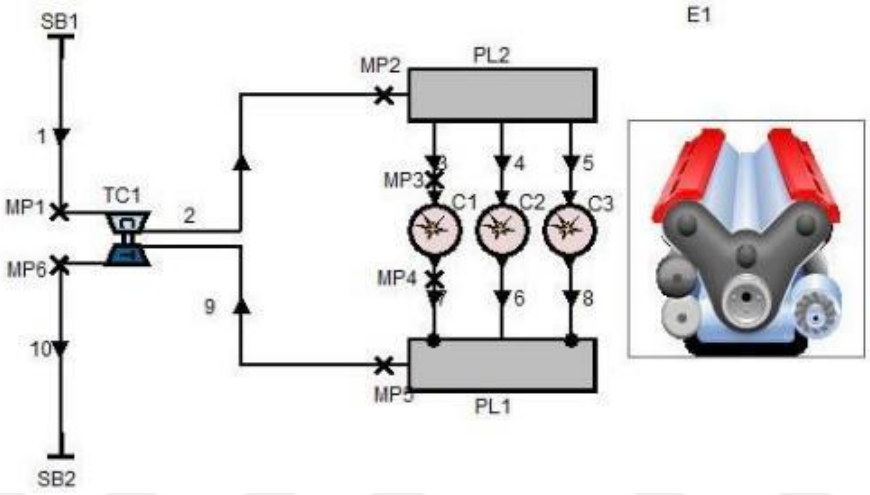
Türkiye'de 2018 yılı itibari ile toplam tüketilen akaryakıtın yaklaşık %84'nü oluşturan 63.306.290 litre motorin kullanılmıştır. Tarım traktörlerinin sayısı 2018 yılı sonu itibari ile yaklaşık 1.915.000 adete ulaşmış olması günlük motorin tüketiminin önemli bir kısmını teşkil etmektedir. Biyoetanol kullanımın ülkemizdeki gerek dizel araç sayısının gerekse de dizel yakıt kullanımın çok fazla orana sahip olmasından dolayı dizel araçlarda ve özellikle arazide aktif olarak çalışan tarım traktörlerinde yakıt olarak etanol kullanımın geliştirilmesi ve de yaygınlaştırılması ile ülkemiz ekonomisine olumlu katkı sunacağı ve Ülkemizde biyoetanol üretim kapasitesinin mevcut gıda arzını kısıtlamadan ihtiyacı karşılayabileceği öngörülmektedir.

4
Teorik Yanma Modeli ve Simülasyonu

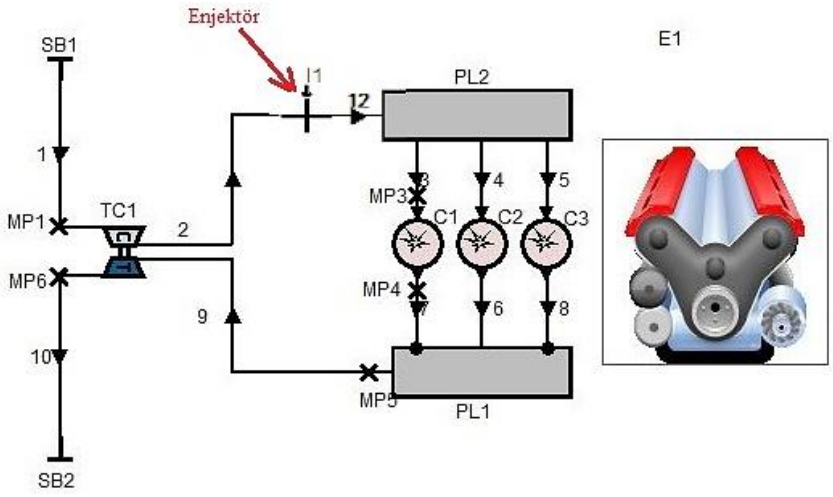
İçten yanmalı motorlarda özellikle emisyon oranlarını iyileştirmek için çeşitli çalışma şartlarında yanma simülasyon programları kullanılabilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar ile her bir devir için elde edilen silindir içi basınç, yakıt tüketimi gibi elde dilen bu veriler AVL Boost 2016v ticari yazılımında doğrulanarak bir yanma modeli elde edilmiştir. Model çalışmalarında öncelikle programın kütüphanesinde bulunan model çalışma örneklerinden yararlanarak ve deney motoruna göre uyarlanarak program hakkında ve programın çalışma sistematiği üzerinde çalışılmıştır. AVL Boost programında simülasyon model çalışmalarını gerçekleştirmek için programın çalışma alanı üzerinde deney motoru ile aynı ana özelliklerine sahip motor modeli oluşturulmuştur. Simülasyon deneylerinde sadece dizel kullanılan E0 yakıt ile %5 ve %10 etanol kullanılarak oluşturulan emülsiyon yakıtları için oluşturulmuş modelin şematik görünümü Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Fumigasyon yöntemi için aynı simülasyon modeline şekil 4.2'de gösterilen emme manifoldu öncesinde bir benzin enjektörü yerleştirilmiştir. Böylelikle AVL BOOST programı ile ek enjektör ile saf etanol %10 oranında püskürtülerek EP10 yakıt deneyleri koşturulmuştur. Modellenen deney motorunda her bir birleşen için geçişi sağlayan bağlantılar (1-10) numaralı çizgileri ile, plenumlar (PL1-PL2) emme ve egzoz manifoldlarını, (MP1-MP15) istenilen basınç sıcaklık gibi değerlerin ölçülmesi için belirlenen noktaları, TC1 motor turboşarjı, (C1-C3) silindirleri ve (SB1, SB2) sistem sınır şartlarını temsil etmektedir. Model motorun bloğu E1 ile temsil edilmektedir. Model motor bileşenlerinde her birinde bilgi girilen alt modeller mevcuttur.

Model motor oluşturulurken deney motorunun piston, strok, sıkıştırma oranı, krank biyel oranı, blow by boşluğu bilgileri gibi ana özellikler programa girilerek oluşturuldu. Yanma modeli olarak programın içinde tanımlı "Target Pressure Curve 2-Zone" modeli seçildi. Bu yanma modeli ile deney motorundan elde edilen silindir içi basınç bilgisi ve çevrim başına püskürtülecek yakıt miktarı girilerek,

yanma analizi ve motor performans ve emisyon analizi yapmaya olanak tanımaktadır. Bu yanma modeli bir motorun krank açısı bağlı ısı salımı için referans noktalarının belirlenmesine izin veren ve gerçek ısı salım oranı özelliklerine optimum bir şekilde yaklaştırılmasını sağlayan ve iki Bölgeli yanma modelidir. Ayrıca ısı transferi için Woschni 1990 ısı transfer modeli seçilmiştir. Model motorun diğer fiziki bağlantıları ve turboşarj özellikleri yanma model parametreleri fazla etkisi olmayacağından program içinde benzer özelliklere sahip turbo şarjlı 3 silindirli örnek modeldeki özellikler kullanılmıştır.

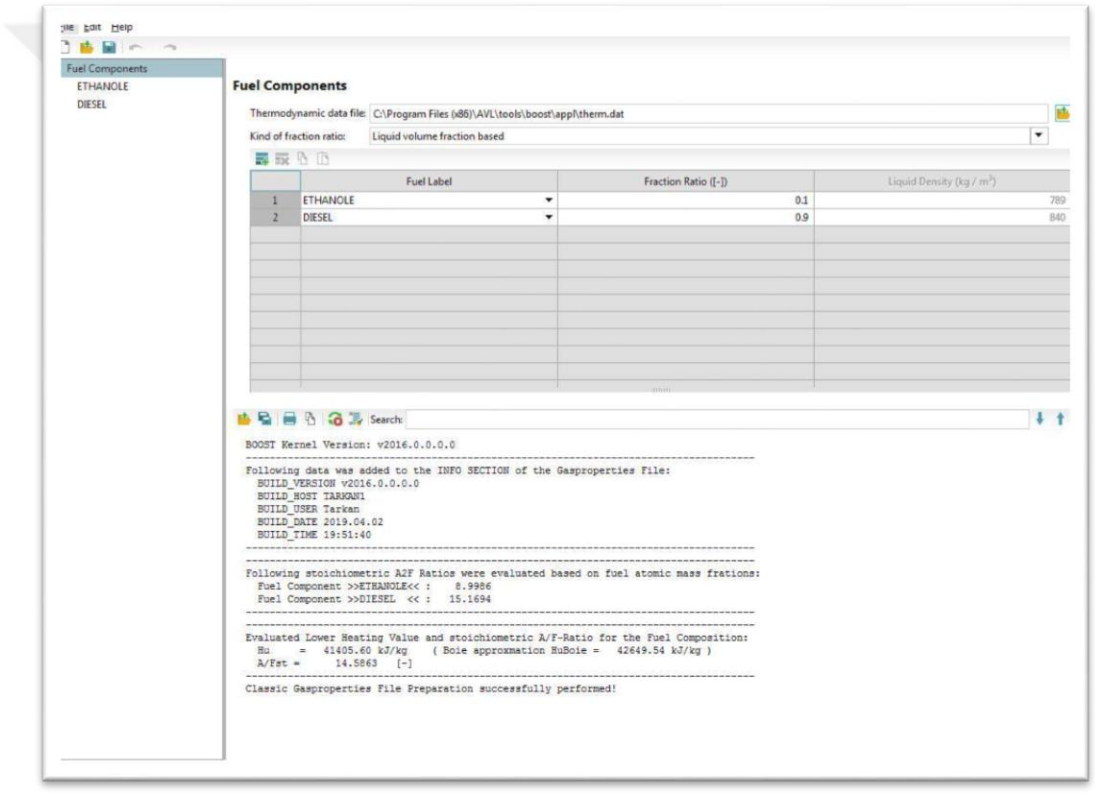


Şekil 4.1 AVL Boost programı ile dizel ve emülsiyon yakıtlar için modellenen deney motorunun şematik görünümü

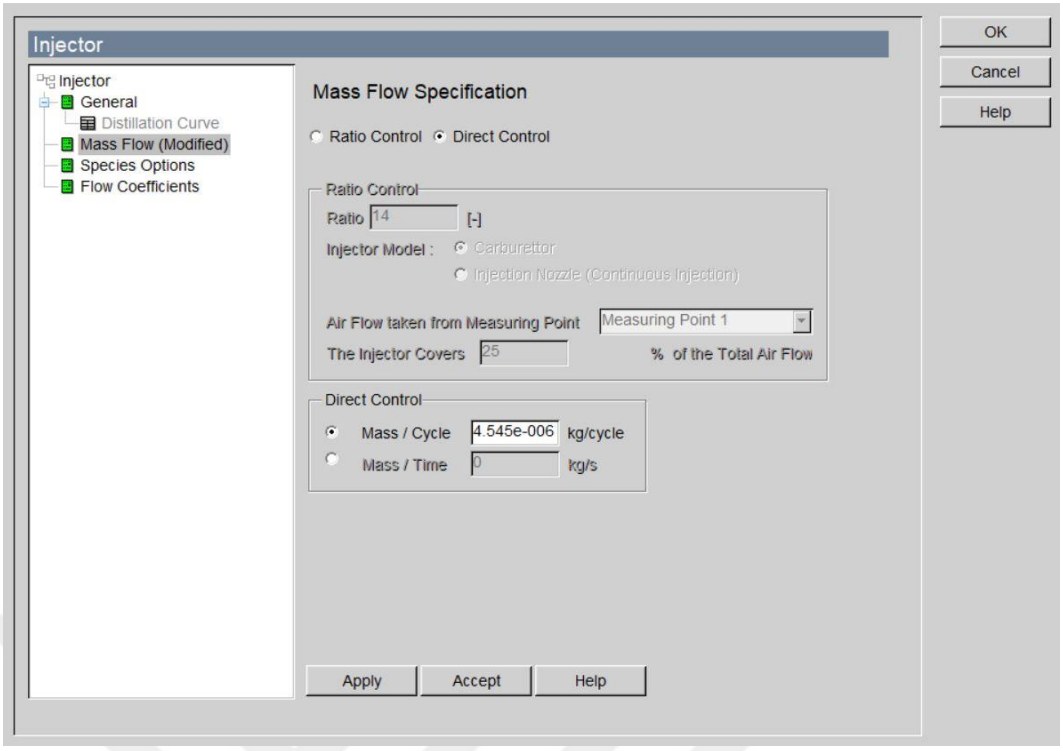


Şekil 4.2 AVL Boost programı ile fumigasyon yöntemi için modellenen deney motorunun şematik görünümü

AVL Boost programında 1100 d/dk'dan 100 d/dk artırım ile 2200d/dk devirlerine kadar, deney motorundan elde edilen her devir için basınç ve yakıt tüketimi bilgileri girilerek E0 yakıtı için model çalıştırılmıştır. Emülsiyon yakıtlar için etanol ve dizel yakıtların miktarları hacimsel olarak programa girilerek emülsiyon yakıtları için oluşturulan ve şekil 4.3'de gösterilen BOOST Gaz Özellik dosyası ile yanma modeli çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar diğer yakıtlar ile model motoru ve deney motoru ile elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Fumigasyon yöntemi için Şekil 4.4'de görüldüğü gibi %10 etanol oranı ayarlamak için emme manifoduna yerleştirilen ek enjektörün püskürteceği yakıt miktarı kullanılan dizel yakıtın kütlesel olarak %10 kadar girilmiştir.



Şekil 4.3 AVL Boost programı E10 yakıtı için etanol karışım oranının girilmesi



Şekil 4.4 AVL Boost programı Port enjektörü için etanol miktarının girilmesi

4.1. Model Simülasyon programında Post Püskürtme Modeli

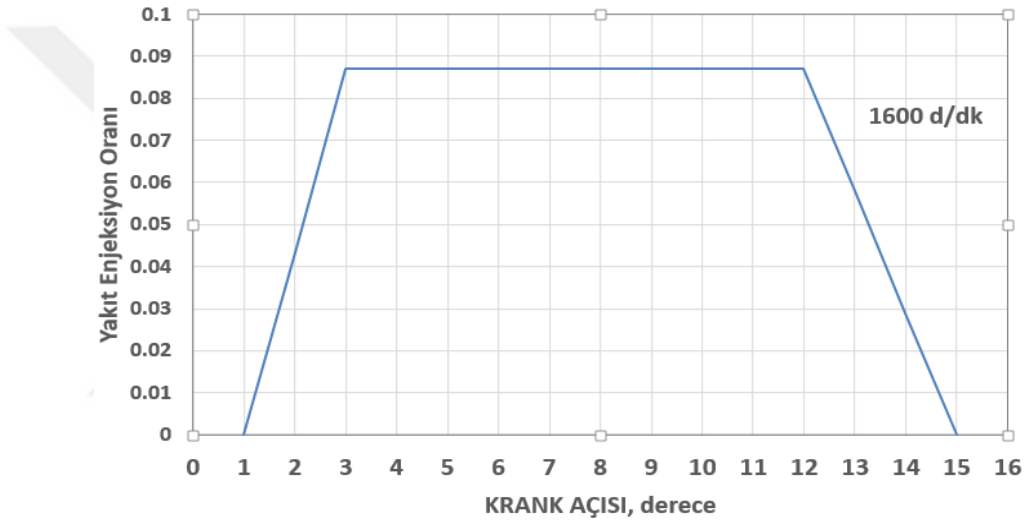
Çalışmanın son şaması olarak AVL BOOST programında oluşturulan model motorda ana püskürtmenin ardından bir miktar yakıt püskürtülerek (post püskürtme) emisyon açısından yakıt püskürtme stratejileri belirlenmeye çalışılmıştır. Deney traktör motorunda mekanik enjektör kullanıldığından dolayı ayrıntılı enjektör modellemesi yapılabilmesi güçlüğünün önüne geçmek için simülasyon programının ihtiyaç duyduğu bilgiler girilerek püskürtülen yakıtın krank acısına bağlı değişimini veren püskürtme oranı yaklaşım olarak belirlenip enjektör modellemesi yapılmıştır. Silindir içine püskürtülen yakıtın krank açısına bağlı olarak belirlemek için sürtünme kuvvetleri ihmal edilerek Bernoulli denkleminden (denklem 4.1) yararlanmıştır.

$$\frac{V1^2}{2} + \frac{\mathrm{P1}}{\rho} + \mathrm{g}Z1 = \frac{V2^2}{2} + \frac{\mathrm{P2}}{\rho} + \mathrm{g}Z2 \qquad 4.1$$

Yakıtın enjektör meme deliğinden çıkış hızı (denklem 4.2)

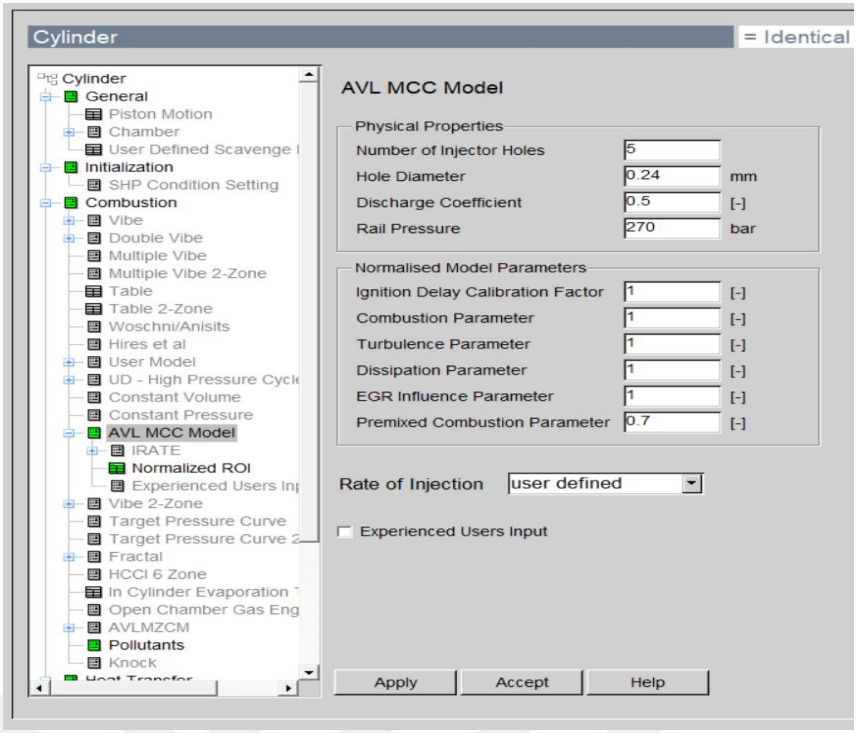
$$V2 = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \qquad 4.2$$

eşitliği kullanılarak elde edilmiştir. Enjekte edilen yakıt miktarları deneylerde elde edilen veriler kullanılmıştır. Enjektör iğnesinin devire göre kalkış miktarının belli devirler için krank mili açısına bağlı olarak açma ve kapama sürelerinden yaralanarak tüm devirler için enjektör iğnesi kalkış oranları belirlenerek enjektör modeli oluşturulmuştur. Şekil 4.5'de görüleceği üzere 1600 d/dk motor hızında enjektör iğnesinin tamamen açılması 2 KA, tamamen kapanması 3 KA sürmektedir. Deneyler ile elde edilen yakıt tüketimi verilerinden yararlanarak bütün devirleri için yakıt enjeksiyon oranı hesaplanmıştır. Teorik normalleştirmiş enjeksiyon oranı literatüre ve AVL BOOST programı kullanım kitapçığına uygun şekilde dizayn edilmiştir [60-61].



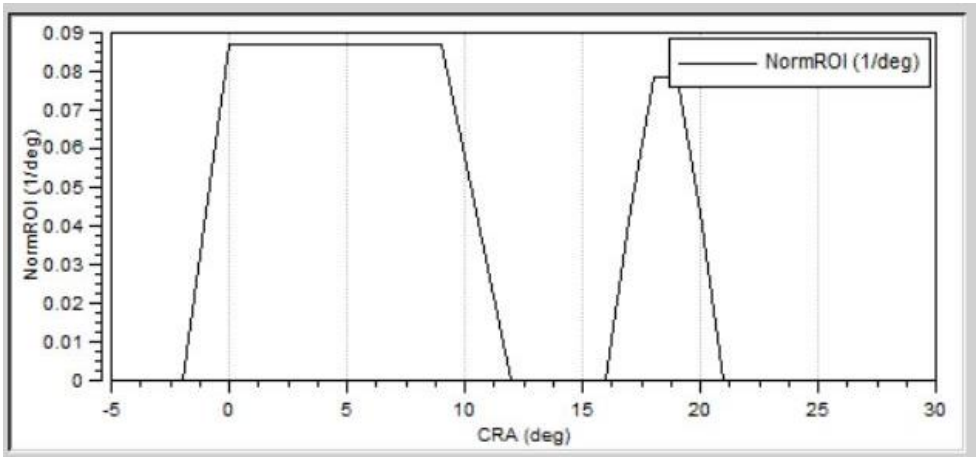
Şekil 4.5 Teorik olarak normalleştirilmiş 1600 d/dk'da enjeksiyon oranı

AVL BOOST programı enjektör modelini oluştururken kendi kütüphanesinde bulunan AVL MCC yanma modelini kullanılmıştır. Bu model ile program enjeksiyon oranını kendisi hesaplayabileceği gibi kullanıcının da doğrudan enjeksiyon oranını programa yükleme fırsatı sunmaktadır. Modelleme programı normalleştirilmiş enjeksiyon oranın hesap ederken ihtiyaç duyduğu bilgiler Şekil 4.6'da görüldüğü gibi girilmiştir.



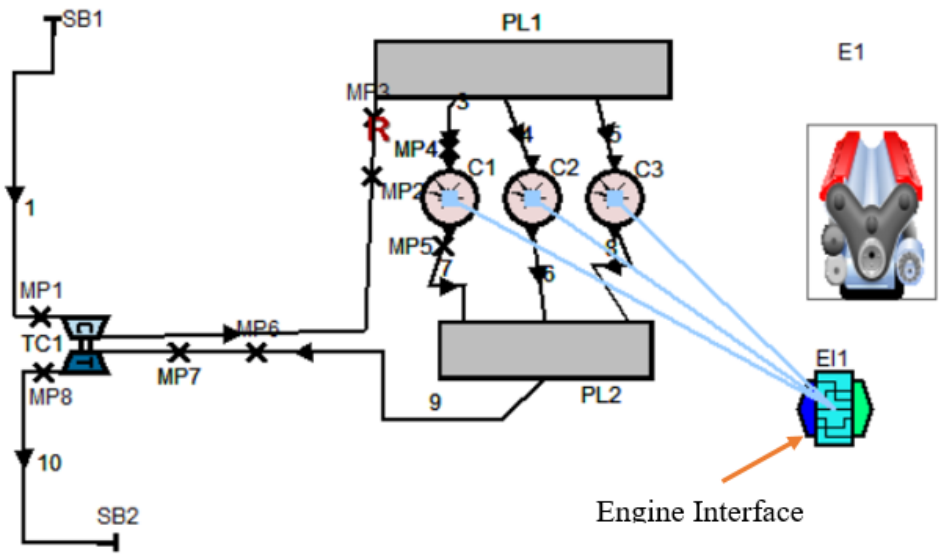
Şekil 4.6 AVL MCC modeli için gerekil verilerin girildiği pencere görüntüsü

Post enjeksiyon yöntemi, yapılan deneyler ve model deneyleri ile karşılaştırılabilmesi için iki farklı aşamada yapılmıştır. Öncelikle E10 emülsiyon yakıtı ana püskürtme miktarının %10 oranında post olarak silindir içine gönderilmiştir. Post enjeksiyon miktarı ana enjeksiyon miktarından çıkartılarak enjekte edilen toplam yakıt miktarı aynı kalmıştır. AVL BOOST programına enjektör püskürtme oranı için normalleştirilmiş enjeksiyon oranı her devir için girilerek çalıştırılmıştır. Şekil 4.7'de programa girilen enjeksiyon oranı eğrisinin görüntüsü gösterilmiştir. Post püskürtmenin geç olması durumunda partikül madde emisyonlarında artış olduğu literatürde belirlendiği için deneylerde post püskürtme ana enjeksiyondan literatüre uygun olarak 3 KA açısı kadar sonra gerçekleştirilmiştir. E10 yakıtı ile ana püskürtme bittikten 7 KA kadar sonra ikinci bir post püskürtme yapılmıştır. Böylelikle her iki post püskürtme deneyleri 1200d/dk, 1600 d/dk, ve 2000 d/dk hızları için gerçekleştirildiği için post püskürtme başlangıç krank mili açıları birinci post püskürtme için sırasıyla 17 KA, 19 KA ve 22 KA' ikinci post püskürtme ise sırasıyla 21 KA, 23 KA ve 25 KA'dır.



Şekil 4.7 AVL BOOST programında oluşturulan normalleştirilmiş ana ve post püskürtme oranı

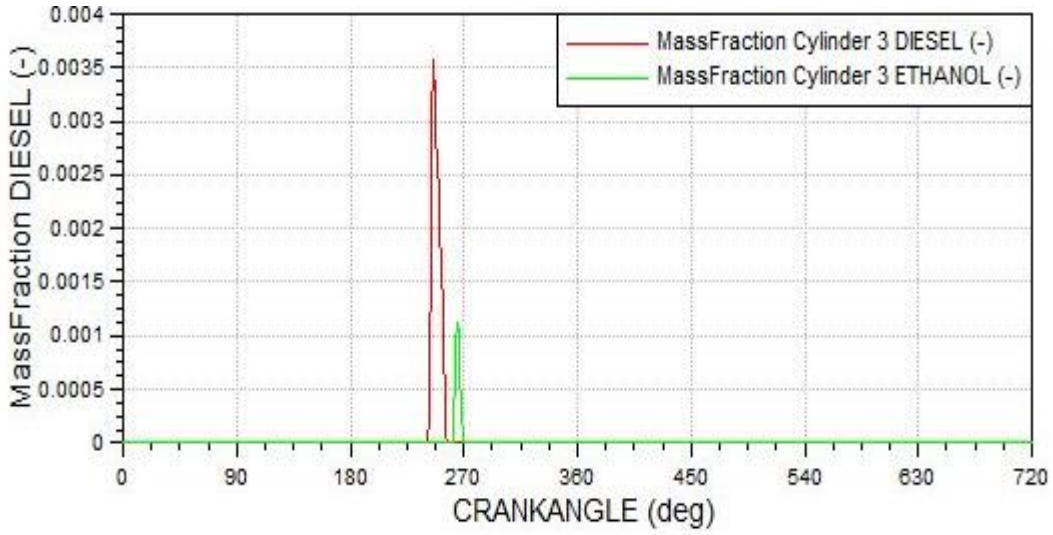
Post enjeksiyon yönteminde ikinci aşama olarak ana enjeksiyon dizel ve post enjeksiyon ise sadece etanol olacak şekilde simülasyon olarak denenmiştir. Çift yakıt olarak kurgulanan model ikinci enjeksiyonun yapılabilmesi için modele Şekil 4.8'de görülen "engine interface" atanarak enjektörlere ikinci bir kontrolör eklenmiştir. Böylelikle ana yakıttan farklı olarak post enjeksiyonun için enjektörlerin püskürteceği yakıt oranını ve hangi yakıtın ne zaman püskürtüleceğini kontrol edilebilmektedir.



Şekil 4.8 Etanol Post enjeksiyonu için oluşturulan model görüntüsü

Post enjeksiyonda ikinci yakıt olarak sadece etanol kullanıldığı için silindir içine püskürtülen yakıtın enerji içeriğinin aynı kalması için ana püskürtülen yakıttan post enjeksiyonun enerji miktarı kadar çıkartılmıştır. Ayrıca normalleştirilmiş post

enjeksiyon oranı etanolün alt ısıl oranı dikkate alınarak dengelenmiştir. Böylelikle dizel yakıt ile yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmada kolay ve doğru sonuca ulaşılmıştır. Şekil 4.9'da ise model programın dizel ve etanol püskürtme durumları gösterilmektedir. Etanol Post püskürtme deneyleri ana püskürtmeden sonra 3 KA ve 7 KA kadar sonra olmak üzere iki farklı açılarda post püskürtme yapılmıştır. Birinci post püskürtme başlangıcı açıları sırasıyla 17 KA, 19 KA ve 22 KA' ikinci post püskürtme ise sırasıyla 21 KA, 23 KA ve 25 KA'dır.

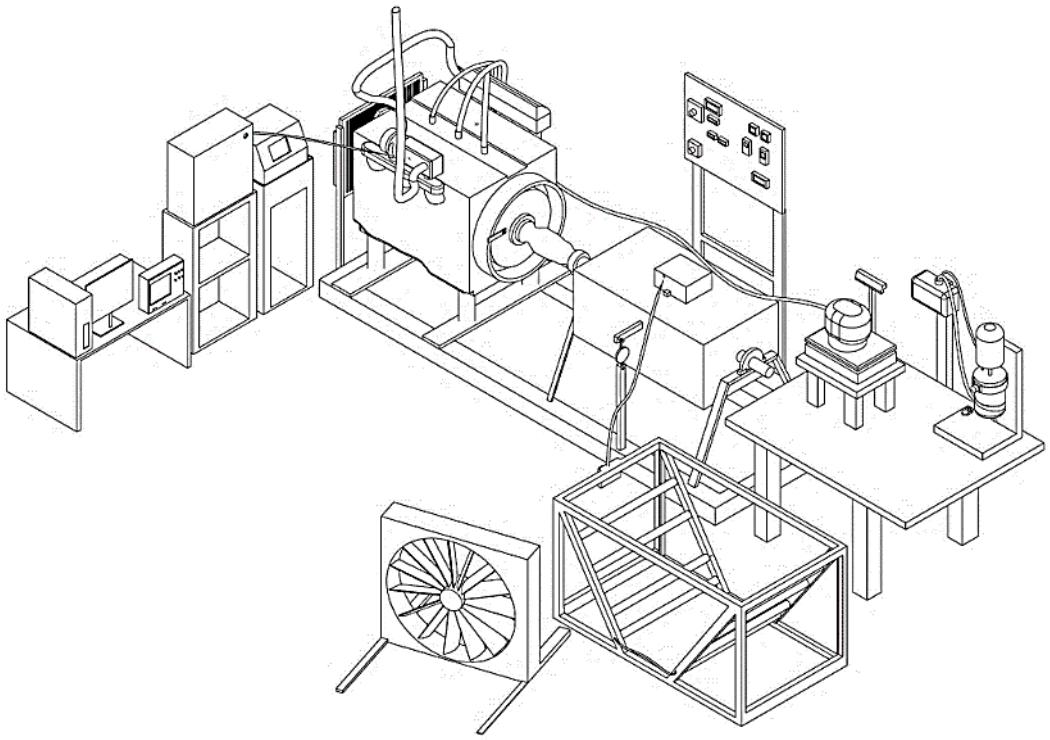


Şekil 4.9 AVL BOOST programında dizel ve etanol ana ve post püskürtme görünümleri

5
Deney Ekipmanları

Doktora tez çalışması kapsamındaki motor deneyleri Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Otomotiv Anabilim Dalı laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

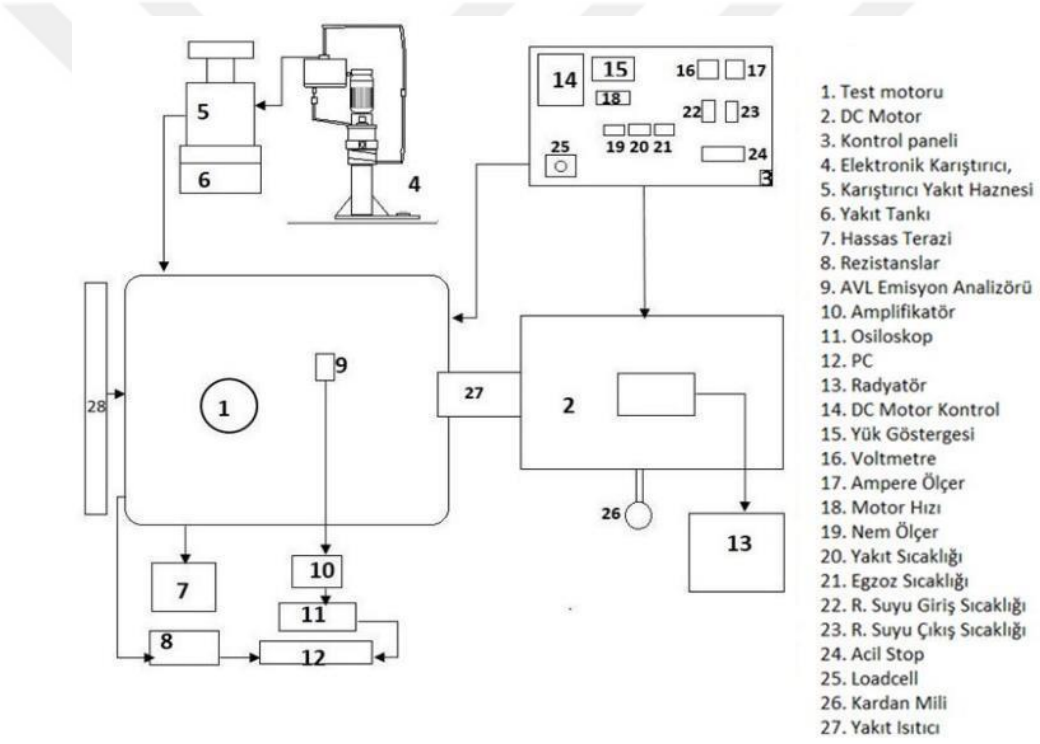
Deney şeması şekil 5.1, şekil 5.2 ve Şekil 5.3.'de deney düzeneğinin genel görüntüsü ve deney esnasında kullanılan ekipmanların özellikleri gösterilmiştir. Ayrıca deney donanımının özellikleri ve deney prosedürü bu bölümde özetlenmiştir.



Şekil 5.1 Deney düzeneği genel şeması



Şekil 5.2 Deney düzeneğinin genel görünümü



Şekil 5.3 Deney düzeneği genel şeması

5.1. Deney Motorunun Özellikleri

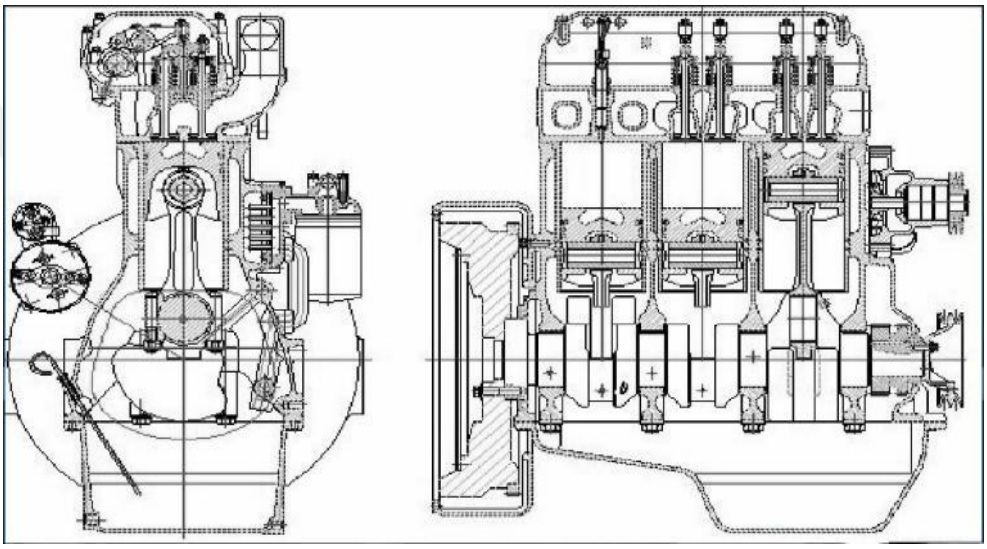
Çalışmada 4 stroklu, 3 silindirli, 2.9 litre silindir hacmine sahip, turboşarj sistemine sahip Türk Traktör marka yerli üretim tarım traktörüne ait dizel motoru kullanılmıştır. Motorun yakıt püskürtme sistemi Bosch tarafından üretilmiş olan mekanik pompa sağlanmaktadır. Motorun teknik özellikleri Tablo 5.1'de, genel görünümü şekil 5.4'de ve teknik çizim görünümü şekil 5.5'de gösterilmektedir.

Tablo 5.1: Test Motoru Teknik Özellikleri

Parametreler	**Özellikler**
Silindir Sayısı	3
Motor Hacmi	2.9 Litre
Enjeksiyon Sırası	1-2-3
Enjektör Yakıt Püskürme Basıncı	260-272 Bar
Enjektör Delik Sayısı ve Çapı	5 – 0.24 mm
Enjektör tamamen açma kapama açısı (1600 d/dk)	Açma 2^{o} KA, Kapama 3 ^{o} KA
Emmiş Şekli	Turboşarj
Turboşarj Ünitesi	Garrett TA25
Bor x Strok	104 x 115 mm
Yanma Odası Çapı	47.2 mm
Yanma Odası Derinliği	23.75 mm
Sıkıştırma oranı	17:1
Soğutma sistemi	Su Soğutmalı
Soğutma Suyu Termostat Açma Sıcaklığı	80-84 ^{0}C
Subap adedi	6
Emme subapı Ayar Boşluğu	0.20 ± 0.05
Egzoz Subapı Ayar Boşluğu	0.20 ± 0.05
Yağlama Sistemi	Tam akışlı harici atom filtreli
Yağ Çalışma Basıncı	2.9-3.4 Bar
Yağ Maksimum Basıncı	4.9 Bar
Yakıt Enjeksiyon Pompası	Bosch sıra tipi mekanik pompa
Yakıt Pompası Avans Ayarı	0 ± 0.5
Enjeksiyon Pompası Basıncı	260-272 Bar
Emisyon Değeri	Tier/Stage 3
Maksimum Güç	36 kW
Maksimum Yüksüz Devri	2450 d/dk
Rölanti Devri	650 d/dk



Şekil 5.4 Deney motorunun katalog görünümü ve sete bağı hali



Şekil 5.5. Çalışma traktör motorunun katalog görünümü

5.2. Dinamometre

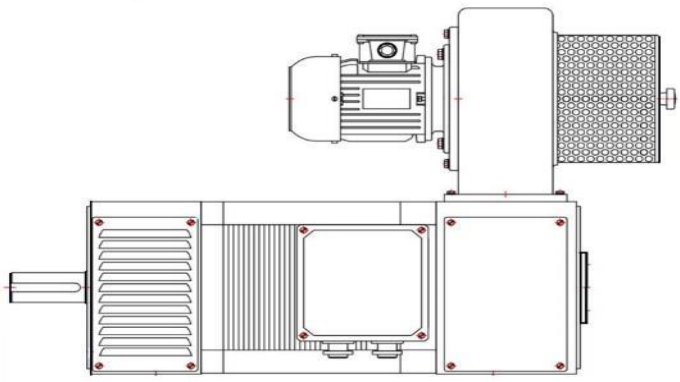
Gerçekleştirilmiş olan deneylerde kullanılan dinamometre Femsan K16.26 tip dinamometredir. 70 kW güce sahip dinamometrenin özellikleri tablo 5.2'de listelenmiştir. DC motorun uzunluğu belli koluna bağlı bir loadcell (yük hücresi) ile anlık olarak uygulanan kuvvette kg cinsinden tespit edilmiştir. DC motor şekil 5.6'de 2 boyutlu resmi şekil 5.7'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. DC dinamometrenin Özellikleri

Tip	Femsan K16.26
Güç	70 kW – 2450 d/dk
Tork	275 Nm
Maksimum Hız	3500 d/dk
Soğutma Şekli	ICO6 Motor üstü takılmış fan
Çalışma Rejimi	S1 sürekli
Çalışma Sıcaklı Rejimi	130°C Maksimum
Armütü Voltajı	420V
İkaz Gücü	1200 W
Çalışma Verimi	%90



Şekil 5.6 DC dinamometrenin 2 boyutlu görünümü



Şekil 5.7 DC dinamometrenin 2 boyutlu görünümü

5.3. Yakıt Sarfiyatı Ölçme

Deney motorunun özgül yakıt sarfiyatı, 1 gram hassasiyet ile ölçüm yapan, hassas terazi ile ölçülmüştür. Yakıt sarfiyatı ölçüm sisteminin özellikleri Tablo 5.3'te ve genel görünümü şekil 5.8'te gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Yakıt sarfiyatının ölçümü yapılan hassas terazinin özellikleri

Ölçüm Hassasiyeti	0,001
Değişim algılama Hassasiyeti	1 g
Proglama	Ölçümleri hafızaya kaydetme

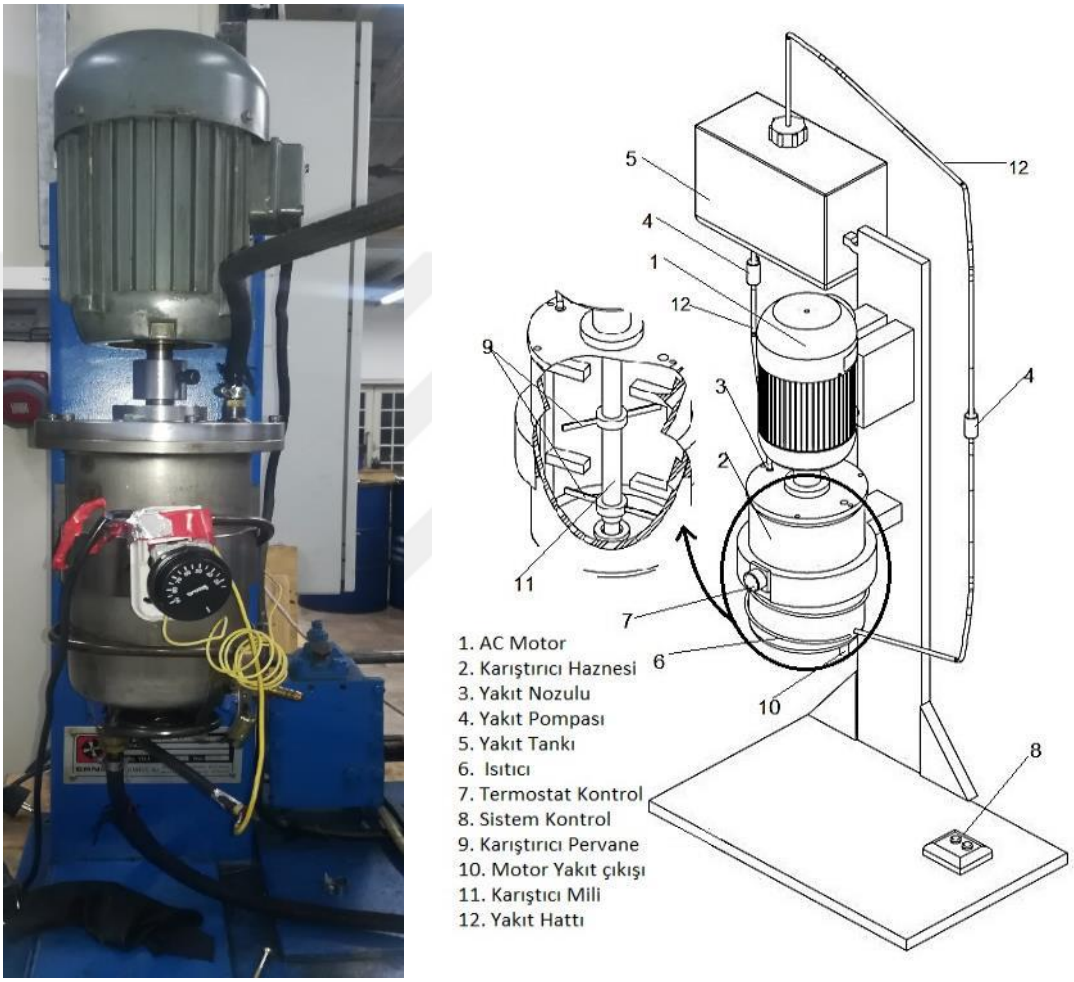


Şekil 5.8. Yakıt sarfiyatının ölçümü yapılan hassas terazinin görünümü

5.4. Yakıt Karıştırıcı

Deneylerde kullanılan %5 ve %10 etanol içerikli emülsiyonların hazırlayabilmek için birkaç karıştırma yöntemi peş peşe uygulandı. Bunlardan ilk uygulanan elektrik motorlu karıştırıcıdır. Karıştırıcının 1.5 kW gücünde 1500 d/dk sabit devirde çift yönlü olarak dönebilen bir motorun miline T şeklinde ve birbiri ile açılı şekilde yerleştirilmiş kanatlar vardır. Hacmi 3 litrelik olan haznenin karşılık iki cidarında yakıt akışını etkileyecek ve emülsiyon girdap hareketi kazandıracak stoper yerleştirilmiştir. Hazneye yakıt püskürtmek için 4 bar basınçlı pompa ve bir yakıt nozuluna sahiptir. Karışım yakıtın sıcaklığını artırmak için yakıt haznesinin etrafına termostatlı bir ısıtıcı direnç

yerleştirilmiştir. Farklı 5 bar pompa ile harici yakıt deposuna emülsiyon yakıt geri püskürtülerek 3 kez devridaim yaptırılmıştır. Elektrik motorlu karıştırıcının görünümü şekil 5.9'de gösterilmiştir. Daha sonra depo alınan emülsiyon, ucuna yakıt nozulu takılmış depo içi 4 bar basınçlı yakıt pompası ile aynı depo içinde püskürtülerek devridaim yaptırılmıştır. Böylelikle daha homojen karışım sağlanmış hem de emülsiyonun sıcaklığı artmıştır.



Şekil 5.9. Elektrik motorlu Karıştırıcı

5.5. Silindir içi Basınç Sensörü ve Osiloskob

Silindir içindeki basınç değişikliklerinin ölçülebilmesi amacıyla Şekil 5.10 teki AVL marka GH14P tip basınç sensörü kullanılmıştır. Ani basınç değişikliklerine hızlı şekilde cevap verebildiği için basınç değişimleri tespitinde piezoelektrik basınç sensörleri kullanılmıştır. Basınç sensöründen gelen düşük miktardaki elektriksel gerilim, KISTLER marka, 5018 tipi amplifikatör kullanılarak yükseltilmiştir.

Yükseltilen anlık basınç sinyalleri ve devir ölçümü yapılan proximtiy sensörden gelen sinyal şekil 5.11'da görülen LeCroy marka Osiloskop kullanılarak görüntülenip harici veri depo birimine kaydedilmiştir.



Şekil 5.10 AVL HG14P Basınç Sensörü



Şekil 5.11 Kistler Amplifikatör ve Lecroy osiloskop

5.6. Emisyon Analiz Cihazları

Egzoz gazı emisyonlarını ölçmek için Şekil 5.12' te gösterilen AVL DICOM 4000 tipi 5 gazölçer analiz cihazı kullanıldı. Gaz analiz cihazı CO, HC, CO2 gazlarını kızıl ötesi yöntemle, NOx ve O_2 gazlarını ise elektrokimyasal yöntemle ölçebilmektedir. Gaz analiz cihazının ölçüm hassasiyetine ait teknik değerler Tablo 5.6' de listelenmiştir.

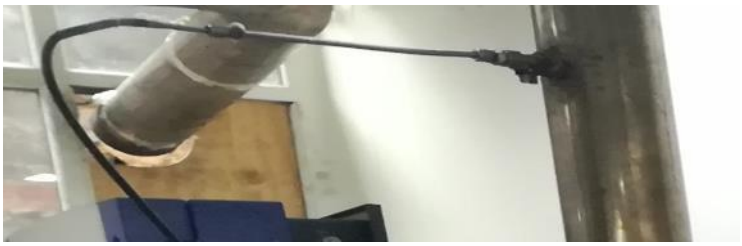
Egzoz gazının is ölçümlerini Şekil 5.12.' de gösterilen AVL, 415 S model filtre tipi is ölçüm cihazıyla ölçülmüştür. İs ölçüm cihazı, 0-10 FSN ölçüm aralığında, 0.001 FSN hassasiyet ile ölçüm yapmaktadır. İs ölçüm cihazının egzoz hattına Şekil 5.13 deki gibi bağlanan prop, hattan belirli miktarda egzoz gazını alarak, içinde bulunan kâğıt bir filtreden geçirir, egzoz gazının filtreden geçmesiyle oluşan dairesel formdaki lekeyi optik sensör ölçerek sonuçları FSN (Filter smoke number) ya da mg/m^3 cinsinden vermektedir.

Tablo 5.4 Emisyon analiz cihazının özellikleri

AVL DICOM 4000	**Ölçüm aralığı**	**Hassasiyet**
CO	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO2	0-10 %hacim	0.01 % hacim
HC	0-20 %hacim	0.1 %hacim
NOx	0-20000 ppm hacim	1 ppm
O2	0-20 %hacim	0,01 %hacim
λ	9999	0,001
Motor hızı	250-9960 d/dk	10 d/dk



Şekil 5.12 AVL Dicom 4000 ve AVL 145S emisyon analiz cihazları



Şekil 5.13 AVL 415 S model is ölçüm cihazının egzoz hattına bağlanması

5.7. Moment Ölçümü

Uzunluğu belli olan DC motora bağlanmış bir kuvvet kolunun uç kısmından Şekil 5.14' de görülen REP Transducers marka TS 300 model 300 kg kapasiteli bir bası/çeki çalışabilen S tipi yük hücresi bağlanarak kuvvet değeri kg biriminden ölçülmüştür. Ölçülen değer, Şekil 5.14' de gösterilen Esit marka PWI Model P Kontrolör kullanılarak dijital olarak gözlenmiştir. Moment, kg biriminde okunan ağırlık değeri kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.14. S tip Yük Hücresi ve Esit marka indikatör

5.8. Devir Sensörü

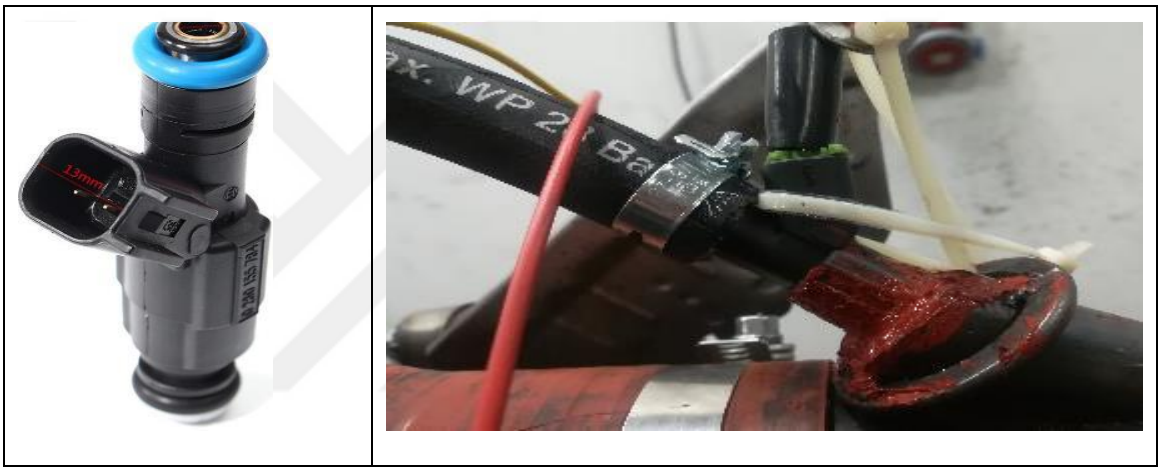
Motor bloğu üzerine sabit olarak yerleştirilen Omron marka indüktif sensör volan dişlisi üzerine yerleştirilmiş bir tane cıvata ile karşılaştığında düşük miktarda akım indükleyerek 0,07 ile 10000 Hz sinyal üretmektedir. Sensör Dijital bir takometre indikatörüne bağlanarak anlık olarak devir okunabilmiş ve de kontrol edilmiştir. Şekil 5.15'de indüktif devir sensörü ve LCD göstergesi gösterilmektedir.



Şekil 4.15 İndükdif devir sensörü ve takometre indikatörü

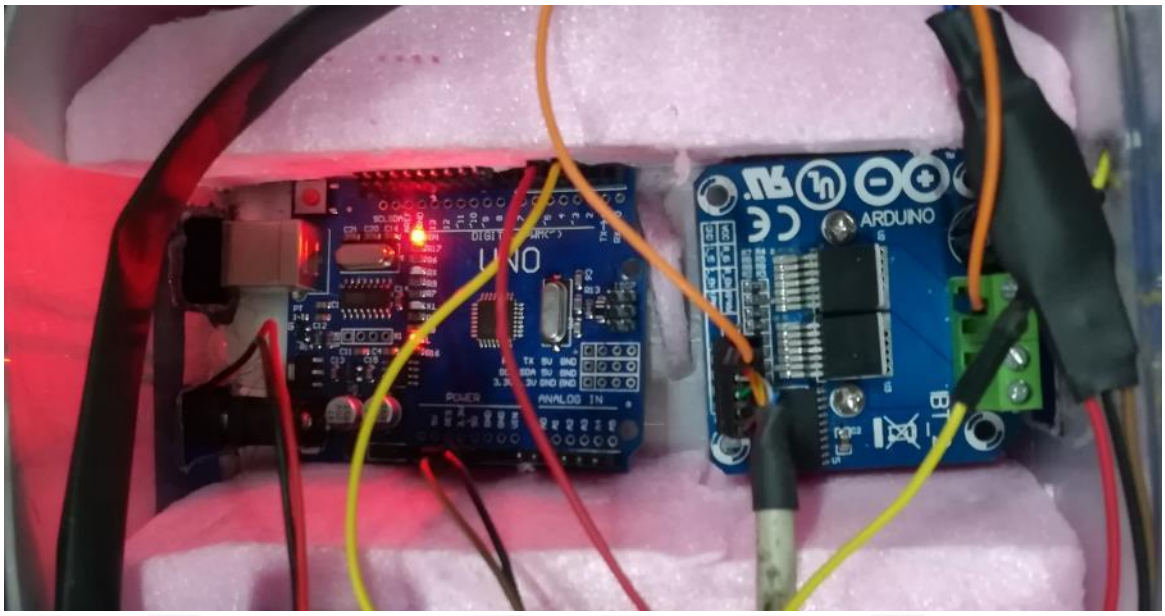
5.9. Elektronik Kontrol Kartı

Fumigasyon Yöntemini için emme manifold üzerine 30 derece açı ile enjektör yerleştirilmiştir. Enjektörden etanol püskürtmek için 5 bar basma kapasitesine sahip pompa kullanıldı. Şekil 5.16 'de gösterilen benzin enjektörü ilk olarak püskürtme kapasitesi belirlemek için belli basınçlarda ölçekli bir kabın içine belirli süre boyunca çok sayıda püskürtme yapılarak milisaniye/miligram olarak belirlenmiştir. Böylelikle enjektörün 1ms içinde kaç mg yakıt püskürme kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Enjektörün püskürtme kapasitesini belirlemek için Arduino Due ile geliştirilmiş Enjektör Elektronik Kontrol Ünitesi Kartı kullanılarak enjektör kontrol edilmiştir.



Şekil 5.16 Etanol püskürtmek için kullanılan enjektör ve konumu

Püskürtülecek etanolü kontrol etmek amacıyla, motorun birinci silindirin supapları komparatör ile kontrol edilerek birinci silindirin pistonu üst ölü nokta iken yerleştirilen ikinci bir indüktif sensörden aldığı üst ölü nokta sinyali ile püskürtme zamanını ayarlayan Arduino Uno temelli Elektronik Kontrol Ünitesinin genel hali şekil 5.17'de görülmektedir. Yakıt enjeksiyon sistemi, Arduino yazılımı kullanılarak geliştirilen Elektronik Kontrol Ünitesi (EKU) tarafından elektronik olarak kontrol edildiğinden dolayı kullanılan yakıtın karışım oranına uygun olarak püskürtme süresi istenildiği şekilde milisaniye olarak ayarlanabilmektedir.



Şekil 5.17 Elektronik kart kontrol Ünitesi (EKU)

Enjektör ile püskürülecek etanol hattında basıncın sabit kalması için pompa ile enjektör arasına Şekil 5.18'de gösterilen basınç regülatörü eklenmiştir. Motorun devrine bağlı olarak değişen basıncı manuel olarak çalışılan her devir için aynı 4 bar basınca sabitlenmiştir. Basınç regülatörünün çalışma esnasında ibresinin oynaması motordan kaynaklanan titreşim nedeniyle meydana gelmiş, yakıt basınç hattını etkilemeyecek kadar küçük hareketlenmelerdir.



Şekil 5.18 Basınç sabitleyici

5.10. Sıcaklık ölçümü

Soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıklarının ölçülebilmesi için K tip termokupllar kullanılmıştır. Şekil 5.19'de görülen soğutma suyu çıkış sıcaklığı, silindir

kafasından soğutma suyu çıkış noktasının 40 cm sonrasından, soğutma suyu giriş sıcaklığı ise, motor bloğu girişinden 20 cm öncesinden ölçülmüştür. Egzoz gazlarının sıcaklığının ölçülebilmesi amacıyla Şekil 5.20'de görülen -50÷1100 °C aralığında ölçüm yapabilen K tipi termokupl egzoz manifoldu çıkışına sabit olarak yerleştirilmiştir. Motora gönderilen dizel ve emülsiyon yakıtın sıcaklığını ölçmek için K tip termokupl kullanılmış ve şekil 5.21'de gösterilen sıcaklık ölçer ile anlık olarak okunmuştur. Özellikle Emülsiyon yakıt çalışmalarında yakıt sıcaklığı ortalama 40 °C sıcaklıkta olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 5.19 Motor soğutma suyu giriş çıkış sıcaklık ölçüm yeri



Şekil 5.20 Motor soğutma suyu giriş çıkış sıcaklık ölçüm yeri



Şekil 5.21 Egzoz gazı ve yakıt sıcaklık göstergeleri

5.11. DC Motor Güç ölçümü için Voltmetre ve Ampermetre

Deneylerde kullanılan traktör motorunu frenlemek için doğrudan kardan mili ile DC motora bağlı olduğundan dolayı DC motordan çekilen güç DC motorun verimi nispetinde aynı olacağı için anlık olarak çekilen volt ve amper değerini ölçmek için şekil 5.22'de gösterilen voltmetre ve ampermetre kullanıldı.



Şekil 5.22 Voltmetre ve ampermetre

5.12. Kontrol Paneli

Deneyleri icra ederken ölçüm, kontrol cihazları ve indikatörlerin sabitlendiği ve hepsini kolay bir şekilde her an kontrol edebilmeyi olanak sağlayacak şekilde bir

arada olmasını sağlaması açısından Şekil 5.23'de gösterilen pano halinde bir kontrol paneli uyarlandı. Panel üzerinde, şekil 5.24'de gösterilen DC motoru kontrol etmek ve traktör motorunu yüklemek için 10V uyartım kapasiteli EKS marka DC motor kontrol sürücü, Esit marka yük indikatörü göstergesi, DC motorun anlık olarak gücünü hesaplayabilmek için, DC motorun anlık olarak çektiği volt ve akımı gösteren voltmetre ve ampermetre, motor devrini göstermek içi dijital takometre, motor soğutma suyu giriş çıkış sıcaklık göstergeleri, ortam nem sıcaklığını ölçebilen termometre, egzoz yakıt sıcaklığını gösteren termokupll indikatörleri ve acil stop butonu yerleştirilmiştir.



Şekil 5.23 Kontrol paneli



Şekil 5.24 DC motor elektronik sürücü

Kontrol paneli üzerinde bulunan tarih göstergeli dijital saat ile kayıt altına alınan deneylerin ne zaman yapıldığı ve tarih bilgine ulaşmada kolaylık sağlaması açsısından kullanılmıştır.

6
Deneysel Süreç ve Deney çalışmaları

Deney çalışmalarına başlamadan önce bütün deneylerin aynı şartlar ve tekrarlanabilir olması için çalışma hazırlık prosedürü geliştirildi.

6.1. Deney Hazırlık Aşamaları

- Çalımlara başlanmadan önce motor soğutma suyu ve motor yağı kontrol edilir.
- Yakıt seviyesi kontrol edilir.
- Motor tüm mekanik bağlantıları özellikle kardan mili kontrol edilir.
- AVL Dicom 4000 emisyon analiz cihazı egzoz hattına bağlantısı ve kontrol edilir ve deneylerden önce çalışması sağlanır.
- Bütün elektir bağlantıları kontrol edilir.
- Basınç sensörü ve osiloskop bağlantısı kontrol edilir. Alınan sinyaller doğru şekilde gelip gelmediği incelenir.
- Elektronik kontrol ünitesinin bağlantıları kontrol edilir ve çalışır durumda olması sağlanır.
- Motor 10 dakika çalıştırılıp recim çalışma sıcaklığına getirilir.
- Emülsiyon yakıtlar çalışma yapılana kadar faz ayrışma olmaması için sürekli devir daim olarak yüksek basınç ve yakıt nozulu ile püskürtülerek karışımın homojen kalması sağlanır.

6.2. Deney Yakıtlarının Hazırlanması

Çalışmalara deney motorunun karakteristiklerini belirlemek için ilk olarak EN590 standartlarına uygun dizel yakıt kullanıldı. Emülsiyon ve fumigasyon yöntemleri için tarım ürünlerinden endüstriyel amaçla üretilmiş yerli %99.9 saflıkta etanol kullanılmıştır. Bunun nedeni % 99,9'luk saflıkta ki etanol, % 99.5 saf etanolden dizel ile daha iyi bir karışım sağlar[50]. Oluşturulacak emülsiyonların karışım

oranlarının belirlenmesi için öncelikle dizel ile etanolün %5, %7.5, %10, %20 %30 oranlarında karıştırılarak faz ayrışma süreleri tespit edilmiştir. Her bir emülsiyona faz ayrışmasını engellemek için literatürde en çok kullanılan ara bağlayıcı olarak toplam hacmin %2 oranında izopropil alkol kullanılmıştır. Literatür araştırmasında, etanol-dizel karışımlara izopropil alkol gibi hacimce % 1 ila 2 oranında emülgatör eklendiği görülmüştür [53,62-63].

Dizel-etanol karışım çalışmalarında faz ayrışma süresine sıcaklığın etkisini araştırmak için karışımlar oda sıcaklığı, yaz ve kış şartlarındaki davranışları gözlemlenmiştir. Oda sıcaklığında yapılan karışımların faz ayrımı oldukça hızlıdır. Ancak, karışım yaklaşık 40 °C'ye kadar ısıtıldığında, bu süre daha uzundur [56]. Oda sıcaklığında cam tüplerde hazırlanan karışım yakıtlar 50 °C' sıcaklığa kadar ısıtılarak faz ayrışma süreleri tekrar belirlenmiştir. Aynı deneyler yakıt sıcaklığı +7 derece sıcaklığa kadar soğutulup sabit olarak tutulmuş ve her bir yakıtın daha soğuk çevre şartlarındaki ayrışma süreleri ön görülmeye çalışılmıştır. Tüplerdeki emülsiyonlarda daha iyi homojen yapı sağlamak için küçük elektrikli el mikseri ile karıştırıldı. Tüm karışımlar, oda sıcaklığında belli süre boyunca katmanlaşmadan durdu. Bununla birlikte, daha sonra içindeki etanol oranına göre isimlendirilen E15(%15 etanol), E20(%20 etanol) ve E30(%30 etanol), karışımları sırasıyla 5 saat, 2 saat ve 1.5 saat sonra belirgin şekilde faz ayrışması gözlemlendi. Ayrıca E5, E7.5 ve E10 karışımları ortalama 3 gün boyunca 25 ^{0}C ortam sıcaklığında homojen yapılarını korudu. Ayrıca bu yakıtlar yaklaşık oda sıcaklığından 50 °C'ye kadar ısıtılarak etanol ve dizel yakıtların faz ayrışmasının nasıl etkilendiği incelendi. Yapılan çalışmanın faz ayrışma süreleri Tablo 6.1'de, resimler ise şekil 6.1'te gösterilmiştir.

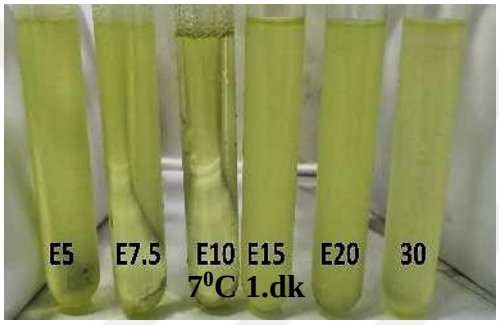
Tablo 6.1 Emülsiyonların sıcaklık ile değişimleri

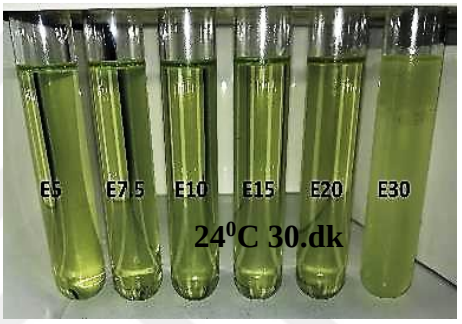
		E5	**E7.5**	**E10**	**E15**	**E20**	**E30**
7 ^{0}C	Kristal Yapı	4. dk	4. dk	4dk.	2 dk	4. dk	1 dk
	Faz Ayrımı	8. dk	8. dk	7.dk.	5. dk.	5. dk	1.5 dk
25^{0}C	Kristal Yapı	Yok	Yok	Yok	5 saat	2 saat	1.5 sat
(3 gün)	Faz Ayrımı	3. gün	3. gün	3. gün	6. saat	2.5 saat	1.5 sat
30^{0}C	Kristal Yapı	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Var
(5 saat)	Faz Ayrımı	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Var
35^{0}C	Kristal Yapı	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Var
(5 saat)	Faz Ayrımı	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Var
40^{0}C	Kristal Yapı	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
(5 saat)	Faz Ayrımı	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
45^{0}C	Kristal Yapı	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
(5 saat)	Faz Ayrımı	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
50^{0}C	Kristal Yapı	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
(5 saat)	Faz Ayrımı	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok

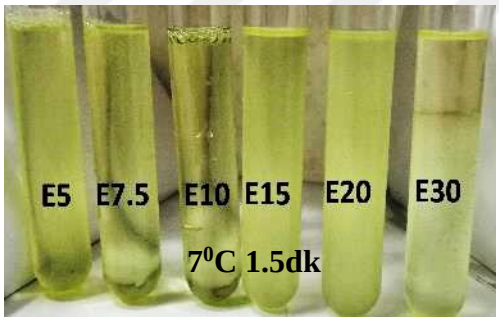
Emülsiyonlar oda sıcaklığında hazırlandıktan sonra 30 ^{0}C'den 50 ^{0}C artırılarak 50^{0}C kadar ısıtılmıştır. Her sıcaklık artışından sonra faz ayrışması ne şekilde olana kadar süresi tespit edilmiştir. Karışım yakıtlar tamamı 30 ^{0}C sıcaklıkta oldukça uzun süre faz ayrışma olmaksızın kaldı. Fakat E30 emülsiyonu 35-40 ^{0}C sıcaklıkta 3 saat sonra belirgin şekilde kristalleşmeye başladı. Bütün emülsiyon yakıtlar 7^{0}C sıcaklıkta ise 1.5 dakika sonra kristalleşme 8 dakika sonra ise tamamen faz ayrışması meydana geldi.

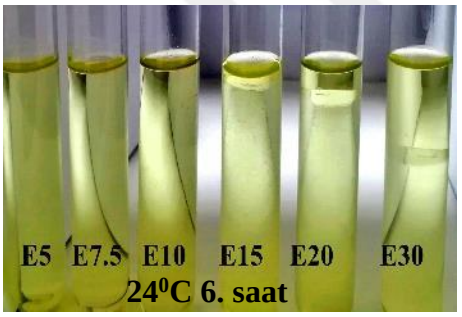
Deneylerde %5 etanol %2 isopropil alkol ve % 93 dizel yakıt karışımından oluşan E5 emülsiyon yakıtı ve %10 etanol, %2 isoprpoil alkol, %88 dizel yakıt karışımından oluşan E10 emülsiyon yakıtı kullanılmıştır. Çalışmalar ortam sıcaklığı 20^{0}C sıcaklıkta olmasından dolayı faz ayrışması olmamasına rağmen risk etmemek için deney yaparken 10-13 dakika içinde bitecek kadar emülsiyon miktar hazırlanmıştır. Karışım yakıtlar hazırlanırken tarafımız tarafından tasarlanan elektronik karıştırıcı ile 2 ayrı pompayla devir daim yaptırılarak ve yakıt

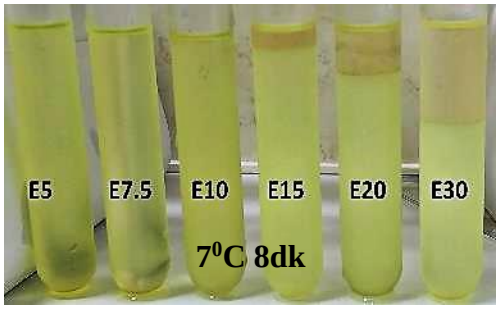
nozolundan püskürülerek hazırlanmıştır. Dizel ve etanol karışımının faz ayrışma süresini uzatmak için termostatlı ısıtıcı ile tüm emülsiyon yakıtlar 40 °C'ye kadar sıcaklığı artırıldı. Ayrıca motorun ana yakıt deposuna alınan emülsiyon yakıtlar depo içinde depo içi pompa ile kurulan bir düzenek ile yakıt nozul ile tekrardan devir daim yaptırılarak püskürtülmüştür. Isıtılan etanol içerikli emülsiyon yakıtlar daha kolay buharlaşma sıcaklığına ulaşmış ve etanol kullanımı ile oluşan tutuşma zorluğu karşısında avantaj sağlamıştır. Test yakıtı, her deney için aynı yöntemlerle yeniden oluşturulmuştur. Emülsiyon yönteminde traktör motorunun yakıt sisteminde herhangi bir değişiklik olmaksızın motorun kendi yüksek basınç pompası ve enjektörleri kullanılarak doğrudan silindir içine püskürtülmüştür.

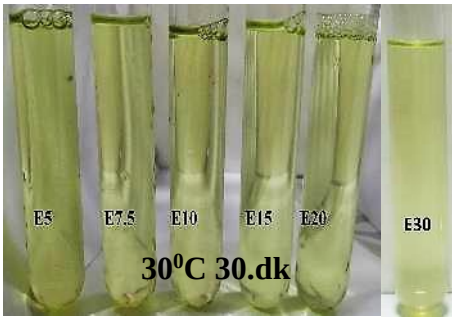


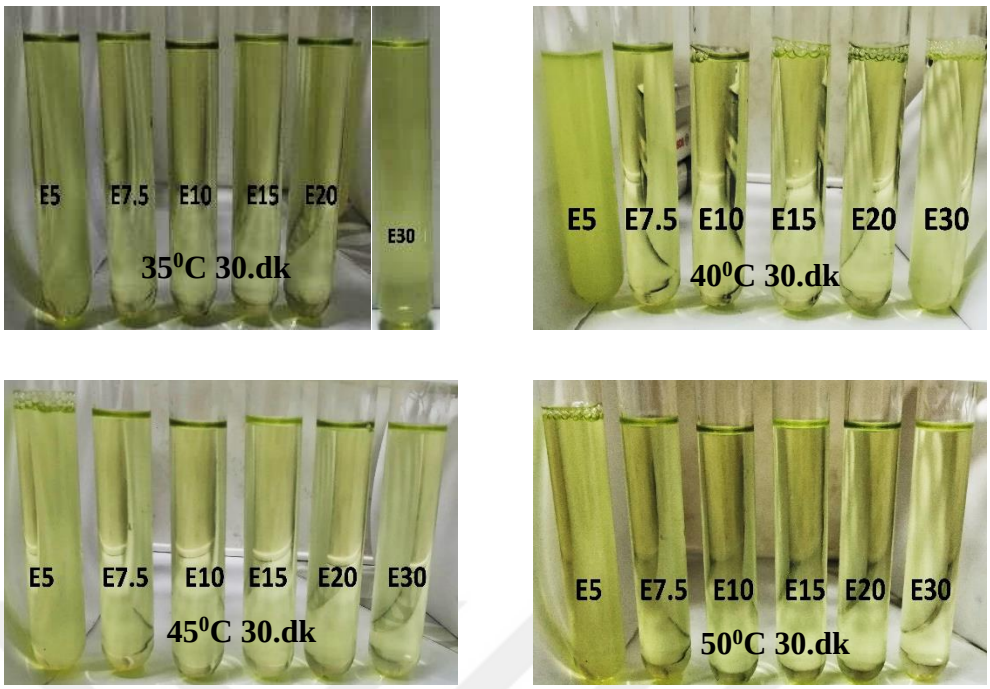












Şekil 6.1. Etanol dizel karışımlarının ayrışma sürelerine sıcaklığın etkisi

Fumigasyon yönteminde ise emme manifoldu portuna sadece etanol püskürtülmüştür. Daha önceki deneyler ile belirlenen motorun dizel yakıt tüketimi verileri ile milisaniye cinsinden hacimce ne kadar yakıt püskürtüldüğü tespit edilmiştir. Motorun emme manifolduna 1 milisaniyede ne kadar yakıt püskürttüğü tespit edilen benzin enjektörü ile çevrim başına ne kadar yakıt püskürttüğü tespit edilen dizel enjektörünün püskürttüğü miktarın %5(EP5) ve %10(EP10) kadar etanol püskürtülmüştür. Emme manifolduna yerleştirilen enjektörün kontrolü Arduino Uno ve sürücü kart ile entegreli çalışan EKU ile kontrol edilmiştir. Püskürtülen yakıtın miktarını doğruluğunu teyit etmek için enjektör ile dereceli bir kaba birçok kez püskürtülerek yakıt miktarı ölçülmüş ve hesaplamaların doğru oldu belirlenmiştir. Yakıt püskürtmek için harici bir pompa ve ikinci bir yakıt sistemi kurulmuştur. Etanol 4 bar sabit basınçta püskürtmek için enjektörden önce basınç sabitleyici yerleştirilmiştir. Fumigasyon yönteminde % etanol (EP5) ve %10 etanol (EP10) yakıtları kullanılmıştır.

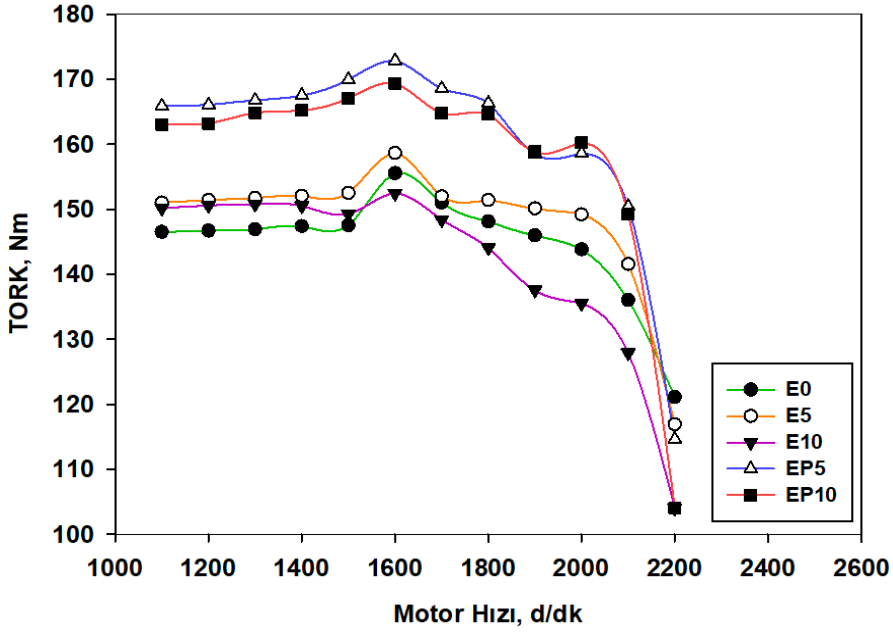
6.3. Deney Sonuçları

Çalışmalar ilk dizel yakıt ile çalıştırılarak performans karakteristiği tespit edildi. Daha sonraki çalışmalar % 5 ve %10 etanol karışımı ile emülsiyon yöntemi %5 ve

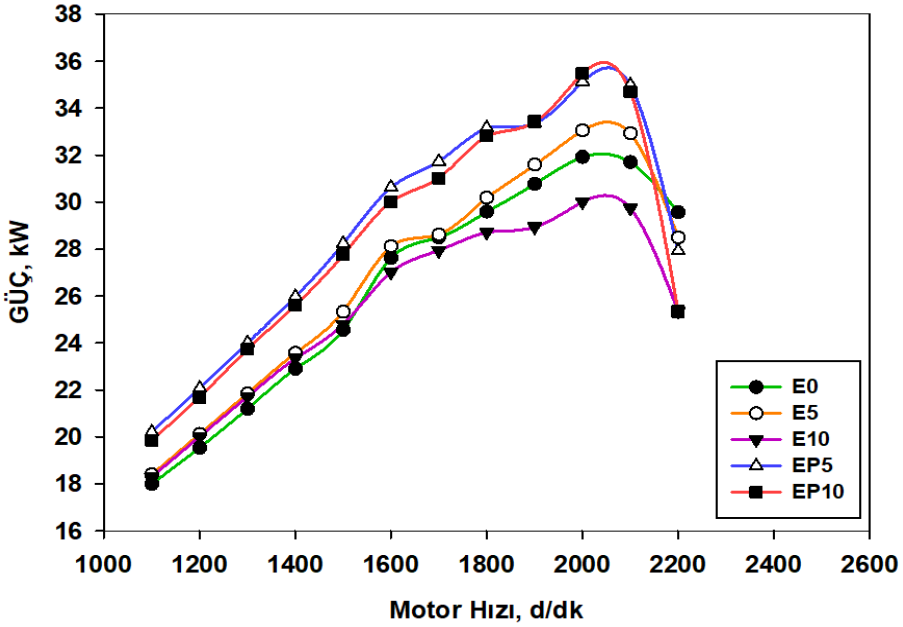
%10 etanol ile fumigasyon yöntemi ile aynı prosedür ve şartlar altında gerçekleştirildi. Emülsiyon karışım yakıtlarda %5 etanol karışım için E5, %10 etanol karışım için E10 ve dizel yakıt için E0 kodları kullanıldı. Fumigasyon yönteminde emme manifold portuna püskürtülen %5 etanol için EP5 ve %20 etanol için EP10 kodu kullanıldı. Deney sonuçları performans, emisyon ve ısıl analiz olarak üç bölümde ele alındı. Bütün deneyler kısmi yük şartında 2200 d/dk ile 1100 d/dk arasında 100 d/dk artışla toplam 12 devir için elde edildi.

6.4. Motor Performans sonuçları

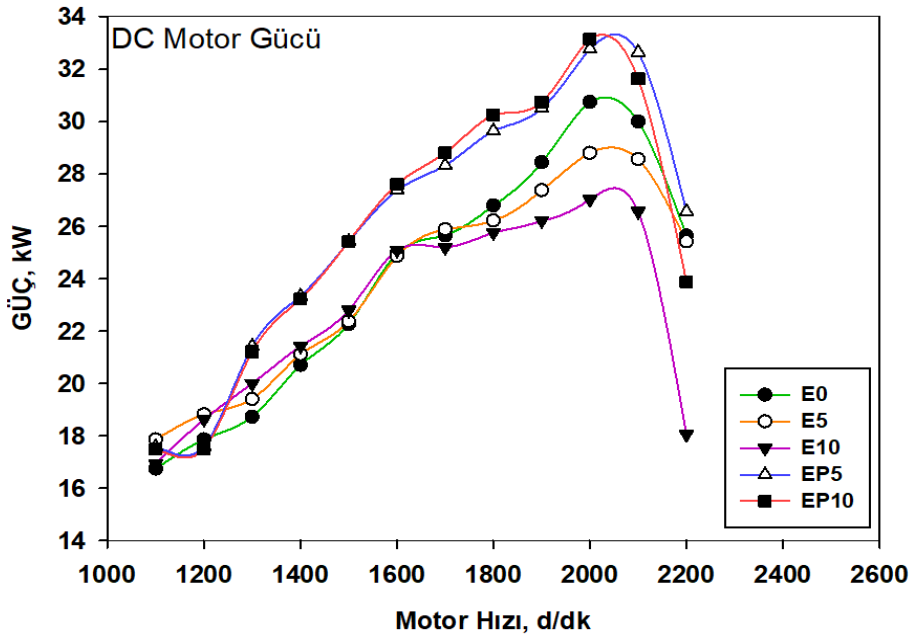
Deneylerde şekil 6.2 ve Şekil 6.3'de görüleceği üzere Maksimum tork 1600 d/dk motor devrinde, maksimum güç ise 2000 d/dk'da elde edildi. Motor freni torku E5 ile ortalama % 2.02 kadar yükselirken, E10 ile %3.15 azaldı. Ayrıca Fumigasyon yöntemi ile EP5 ve EP10 ile elde edilen sonuçlarda dizel yakıt ile elde edilen sonuca göre maksimum motor tork değeri sırasıyla %11.09 ve %8.87 oranında artış elde edilmiştir. Motor gücünde Fumigasyon yöntemi ile belirgin ölçüde güç artış elde edilmiştir. Fumigasyon yönteminde güç artışı dizel yakıtına göre EP5 yakıtı ile ortalama olarak %9.98, EP10 yakıtı ile %8.11 oranında artış meydana gelmiştir. Maksimum güç artışında ise EP5 ve EP10 yakıtlarında sırasıyla ortalama %10.03 ve %11.18 artış meydana gelmişken emülsiyon yöntemi ile E5 ve E10 yakıtlarının sırasıyla %3.54 artış ve %5.97 oranında düşüş meydana gelmiştir. Fumigasyon metodu ile elde edilen bu artışlar şöyle açıklanabilir: yanmaya giren (etanol ve dizel) yakıtın toplam setan sayısı azaltılmış olmasına rağmen dizel yakıtın enjeksiyonundan önce turboşarjlı basınçlı hava ile iyi bir karışım sağlayan etanol buharının daha evvel yanması nedeniyle iç silindir sıcaklığının artmasına dolaysıyla dizel yakıtın daha iyi yanmasıyla ilgili olabilir. DC motor güç değişimini gösteren Şekil 6.4'de gerek emülsiyon metodu ile gerekse de fumigasyon metodu ile elde edilen sonuçlar DC motorun verimi ile dikkate alındığında aynı sonuçlar elde edilmiş olması sonuçların doğruluğunu göstermektedir.



Şekil 6.2 Motor torku motor devrine göre değişimi



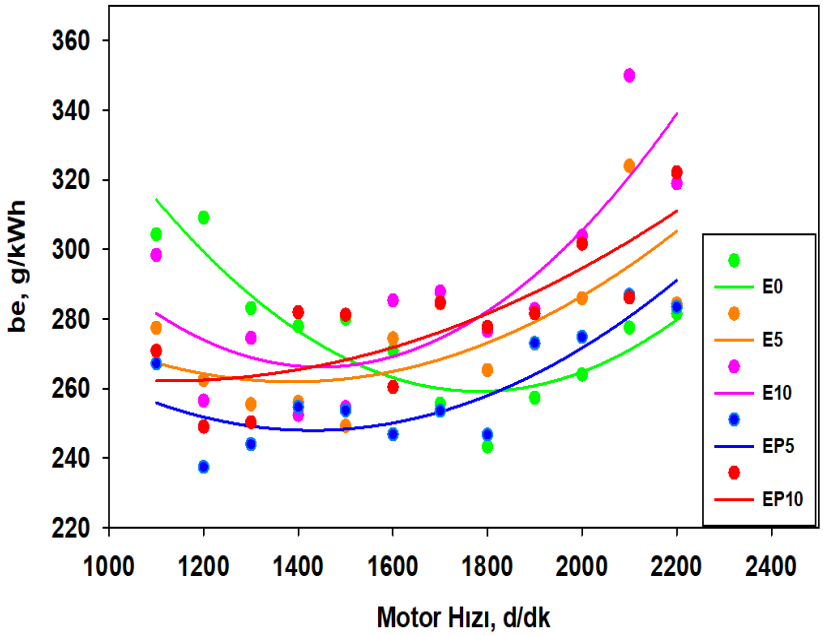
Şekil 6.3 Motor gücü motor devrine göre değişimi



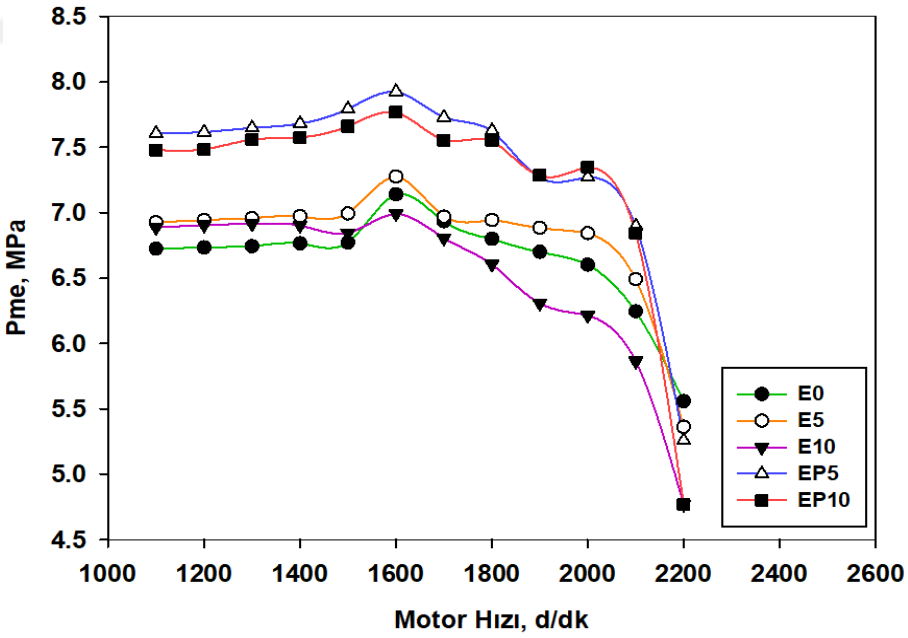
Şekil 6.4 DC Motor gücünün motor devrine göre değişimi

Şekil 6.5'de görülen özgül yakıt tüketimi grafiğinden yüksek devirlerde, etanol karışmaları veya etanol fumigasyonu ile özgül yakıt tüketiminde artış meydana geldiği görülebilir. Etanol dizel yakıtı karışımları motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan emülsiyon yakıt olarak kullanıldığında, etanolün düşük enerji içeriğinden dolayı motorun yakıt tüketiminde bir miktar artma ve motorun maksimum gücünde azalma yaşanacaktır. Aynı güç elde edilebilmek için daha fazla yakıt miktarına gerek vardır. Fakat karışımdaki etanol oranı artıkça bu yakıt tüketimi daha da artar. Düşük devirlerde her iki metot içinde yakıt tüketimin azalması yanmaya katılan etanolün buharlaşmaya daha fazla fırsat bulması ve aynı gücü elde etmek için toplam daha az bir yakıta gerek olmasından kaynaklanabilir. Şekil 6.6'da motor hızına göre ortalama efektif basınç değişimleri, şekil 6.7 egzoz gazı sıcaklığının motor hızı ile değişimi görülmektedir. E5 ve E10 yakıtı ile egzoz gazı sıcaklığında ortalama olarak sırası ile %2.9 ve %1.8 oranında bir düşüş meydana gelmiştir. E10 yakıtının E5 yakıtına göre daha yüksek olmasının nedeni E10 yakıtı ile beraber silindir içine daha fazla oksijenin girmesiyle beraber daha iyi yanma meydana gelmesi ile yanma sonu silindir içi sıcaklığın artması nedeniyle olabilir. Deneyler kısmi yüklerde yapıldığından dolayı fumigasyon yönteminin kullanıldığı EP5 ve EP10 yakıtlarının egzoz gazı sıcaklığı özellikle orta ve düşük devirlerde oldukça yükselmiştir. Bu sıcaklık artışları sırası ile ortalama %6.7 ve

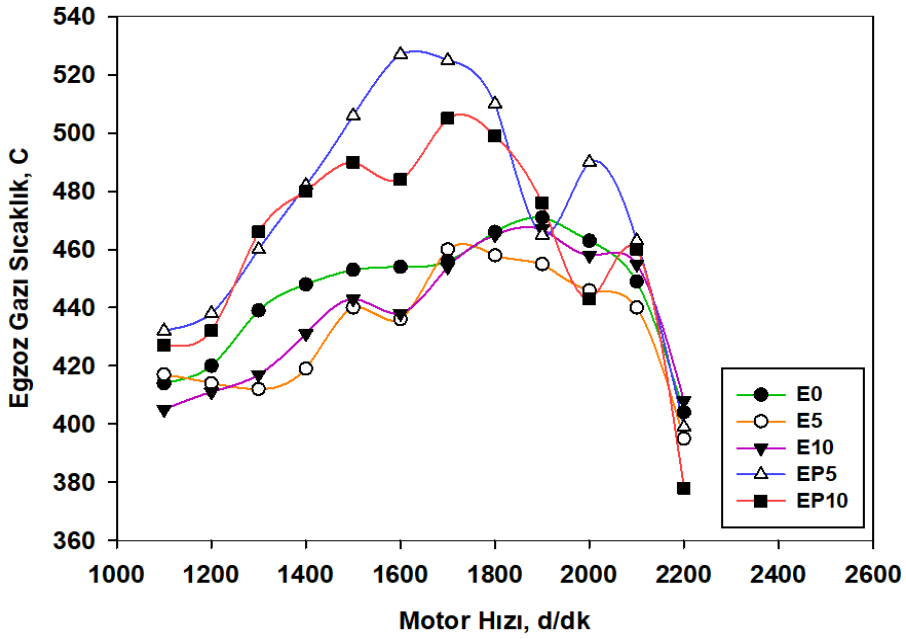
%3.8 oranında meydana gelmiştir. Bu artışların nedeni fumigasyon ile silindire daha fazla ısının sokulması ve kısmi yüklerde etanol buharlaşmasının yeterince olması ile açıklanabilir [64].



Şekil 6.5 Özgül yakıt tüketiminin motor devrine göre değişimi



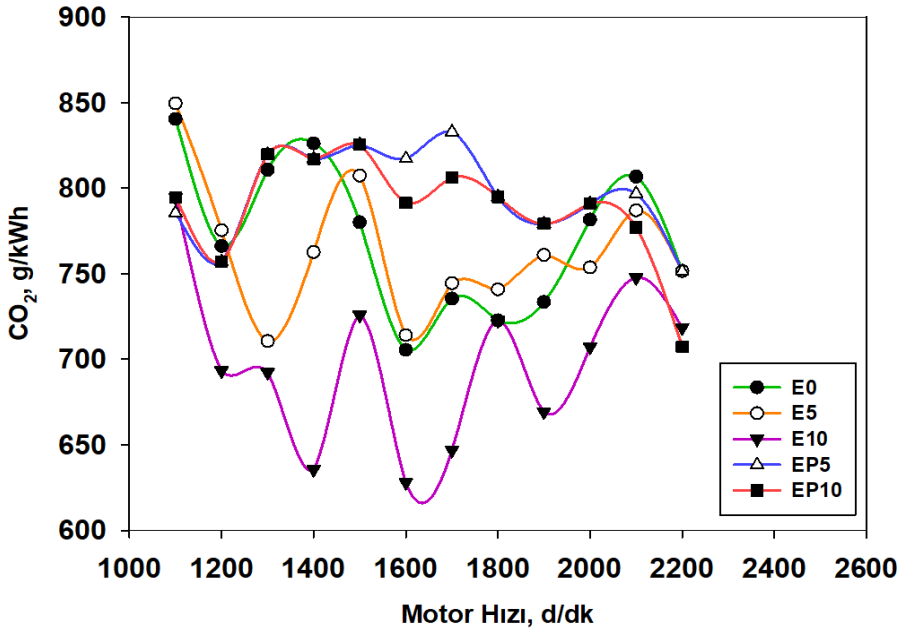
Şekil 6.6 Ortalama efektif basıncın motor devrine göre değişimi



Şekil 6.7 Egzoz gazı sıcaklığının motor devrine göre değişimi

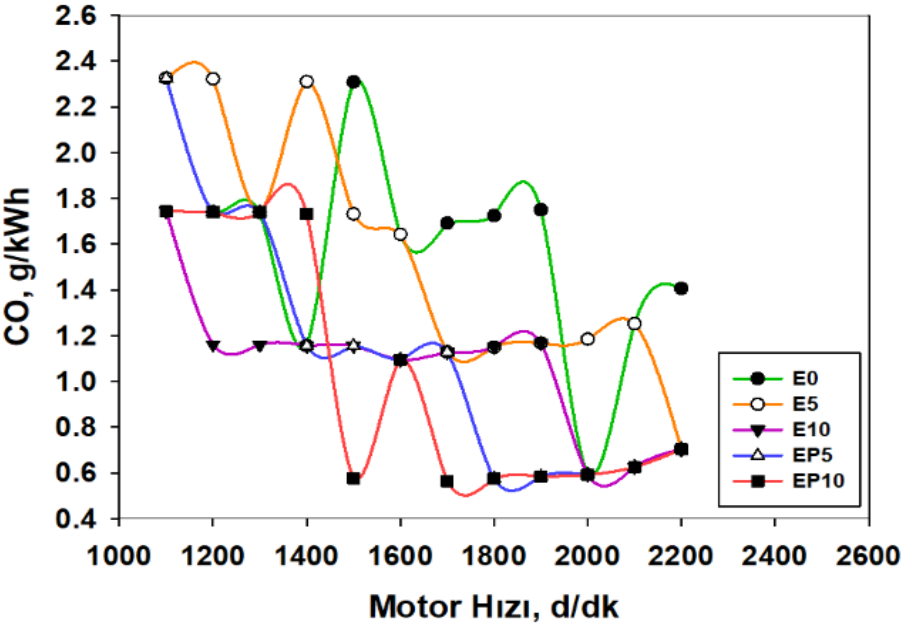
6.5. Emisyon Değişim Sonuçları

Tüm test yakıtları için farklı motor devri ile karbondioksit emisyonlarının değişimi Şekil 6.8'de gösterilmektedir. Karbondioksit emisyonu, tam yanma üründür. Tüm karışımlar, etanolün varlığından dolayı dizelden daha fazla oksijen içeriğine sahip olduğu için karışım yakıtların daha iyi yanması beklenmektedir. Bununla birlikte, E10 yakıttan kaynaklanan CO_2 emisyonları, E0 ve E5 yakıtlarından daha azdır. Bunun nedeni, E10 karışım yakıtının karbon hidrojen dengesinin hidrojen lehine kayması olarak değerlendirilmişidir.

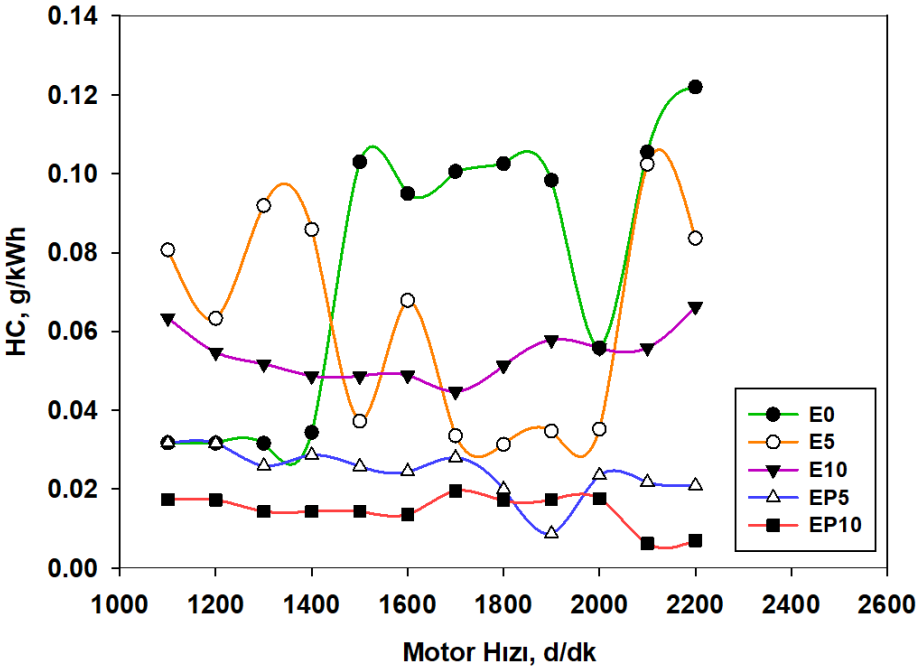


Şekil 6.8 CO_2 emisyonun motor devrine göre değişimi

Tüm test yakıtları için farklı motor devri ile karbon monoksit emisyonlarının değişimi Şekil 6.9'da gösterilmiştir. Karışım yakıtın CO emisyonları düşük motor hızında daha yüksektir. E5 ve E10 yakıtlarını ile CO emisyonları sırasıyla % 9.67 ve % 14.28 azaldı. Daha düşük CO emisyon sonuçları, etanolün yüksek buharlaşma ısısı değeri nedeniyle karışımdaki etanol oranını arttırarak elde edilebilir [65].

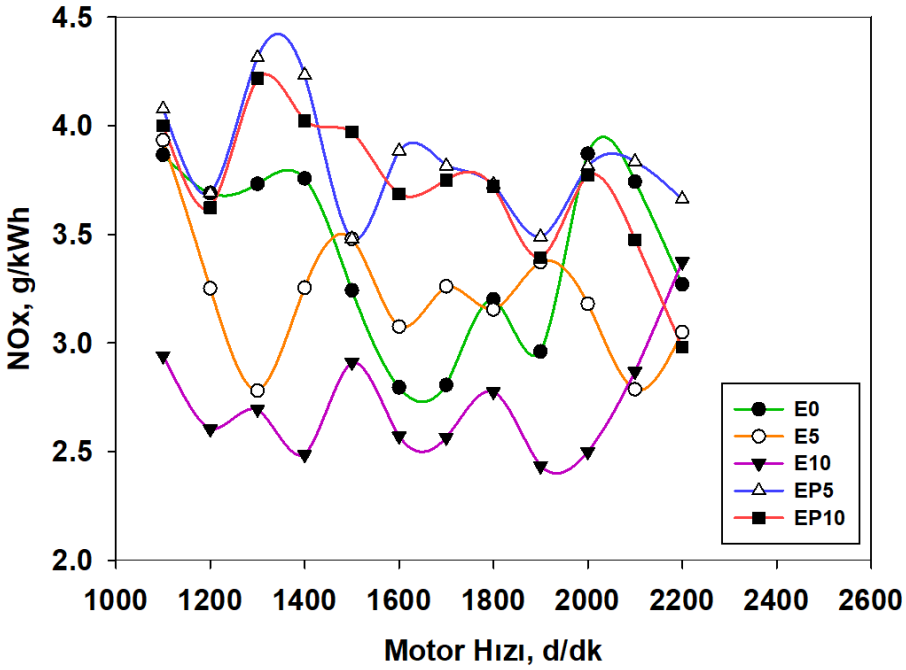


Şekil 6.9 CO emisyonun motor devrine göre değişimi



Şekil 6.10 HC emisyonun motor devrine göre değişimi

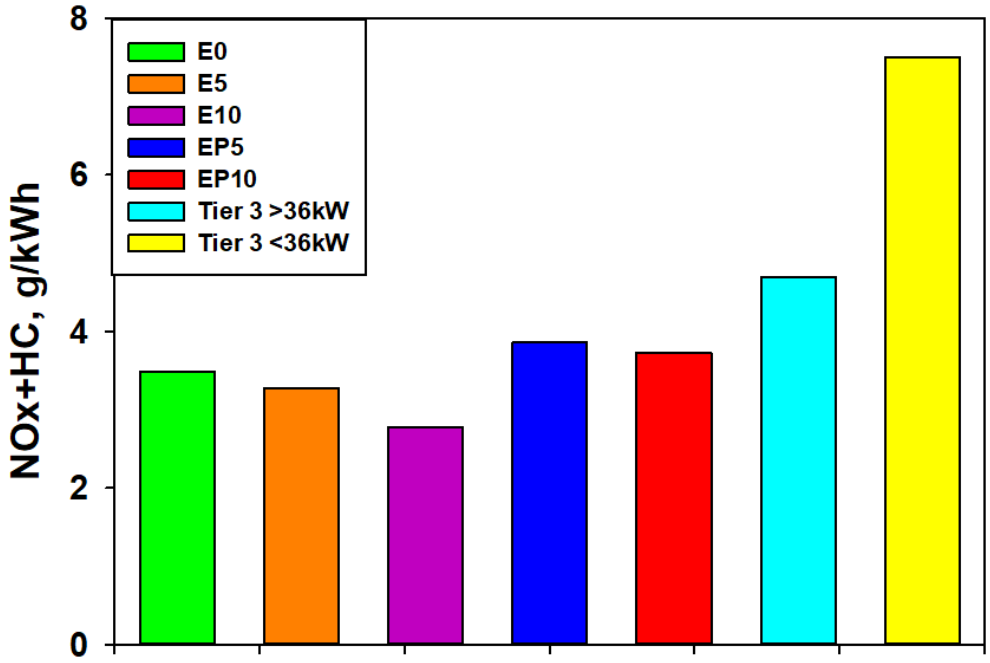
Toplam hidrokarbon (THC) emisyonunun değişimi Şekil 6.10'da gösterilmiştir. Motor, E10 ile çalışırken en düşük HC emisyon değeri gözlendi. HC emisyonu E10 ile % 18.7 oranında azalmaktadır. Yanmamış hidrokarbonlar genellikle hava/yakıt karışımının yetersiz olduğu şartlarda meydana gelir [66]. Dolayısıyla karışımların HC emisyonları dizel yakıttan daha düşük olmasının nedeni, etanolün içindeki oksijen nedeniyle silindir içine alınan karışım yakıtın daha iyi bir yanma gerçekleştirmesinden dolayıdır. Karışımdaki etanol miktarını arttırdıkça HC emisyonları azalmıştır. Fumigasyon yönteminde EP10 yakıtı kullanıldığında HC emisyonu % 79,8 azalmıştır. Karışımların HC emisyonları dizel yakıtınkinden daha düşüktür, çünkü etanol içindeki oksijenden dolayı tam yanma veya daha iyi yanma olacaktır. Traktör motoru orta hızda çalışırken dizel veya emülsiyon yakıtlar ile çalıştırıldığında metalik gürültünün duyulabildiği ve çalışma karakteristiğinin kararsız olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, aynı devirlerde etanol fumigasyon ile duyulabilen metalik ses önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmesi HC emisyonlarının azalması ile örtüşmesinden dolayı vuruntunun azaldığı söylenebilir.



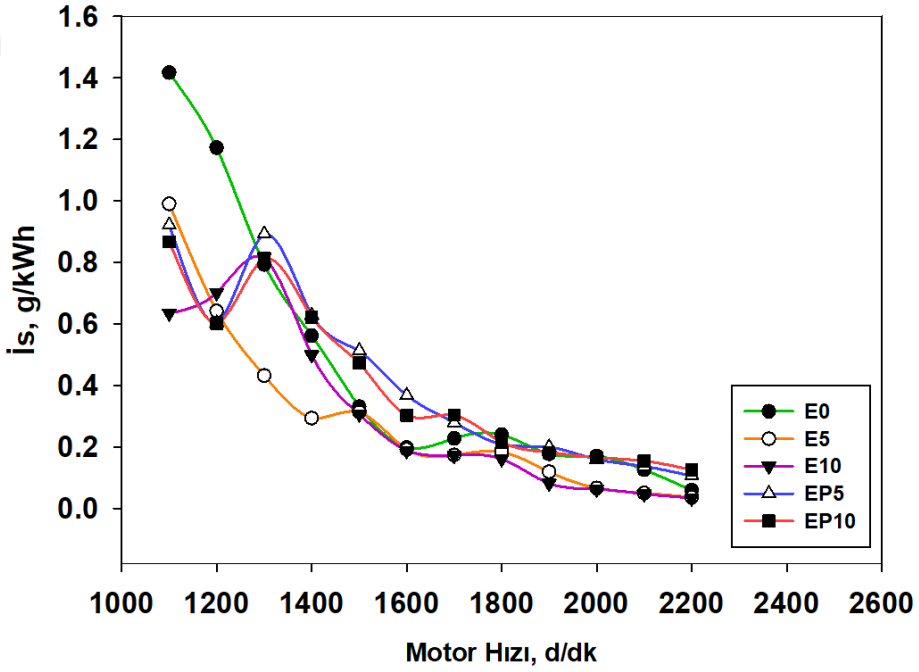
Şekil 6.11 NOx emisyonun motor devrine göre değişimi

Azot oksit (NOx) emisyonlarının farklı motor devirleri ile değişimi Şekil 6.11'de gösterilmektedir. EP5 ve EP10 yakıtı ile sırasıyla E0 yakıtına göre %13.59 ve %10.16 oranında artış meydana gelmiştir. E5 yakıtının orta devirlerde E0 yakıtına göre daha yüksek NOx emisyonları ürettiği görülebilir. Bu artış, emülsiyondaki etanole bağlı olarak karışımın buharlaşma sıcaklığının ve kendiliğinden tutuşma sıcaklığının yüksekliğine bağlı olabilir[67]. Ayrıca etanolün setan numarasının düşüklüğü tutuşma gecikmesinin uzamasına neden olacağı bu durumunda ise emülsiyonun veya etanolün hava ile daha iyi karışım sağlayıp yüksek ısıların ortaya çıkması ile NOx emisyonlarında artış meydana gelir [10]. Böylece artan tutuşma gecikmesi süresinde etanol hava ile karışımı daha da homojenleşebilir. Traktör motorunun turboşarj ile basınçlandırılmış emme havası ile iyi bir karışım sağlayan etanol buharının yanması, silindir içi sıcaklığının nispeten artmasına ile ana yakıt dizelinin daha iyi yanmasını sağlayabilir. Bu nedenle, silindirdeki sıcaklık artışı nedeniyle NOx emisyonlarında artışa yol açar. E10 yakıtı ile NOx emisyonunda ortalama %19.04 oranında düşüş meydana gelmiştir. Traktör gibi arazi araçlarında uygulanan Tier 3 emisyon limitleri 36kW>Güç<75kW ve 19kW>güç<36 kW motorlara sahip yoldışı araçlarda ortalama NOx+HC

emisyonları ile yapılan çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 6.12'te gösterilmiştir.



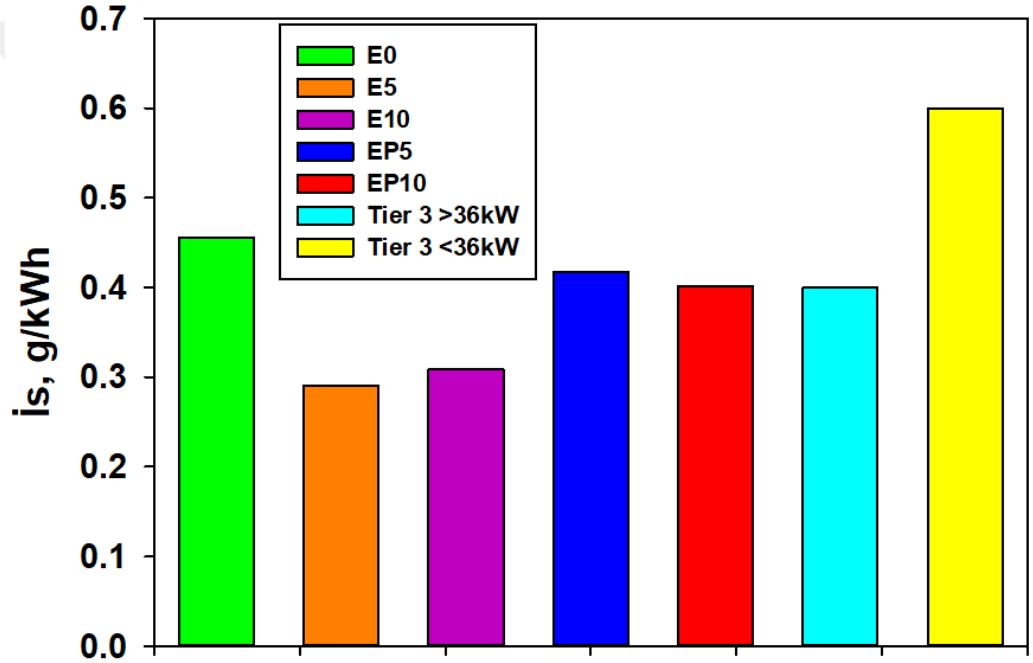
Şekil 6.12 NOx+HC emisyonun karışım yakıtana göre ortlama değeri



Şekil 6.13 İs emisyonun motor devrine göre değişimi

İs konsantrasyonunun farklı motor hızlarında değişimi Şekil 6.13'de gösterilmektedir. En yüksek is değeri E0 yakıtı ile gözlenmiş ve tüm çalışma hızları

için E10 ile düşük is değeri gözlenmiştir. E5 ve E10 yakıtlarla, is emisyonları üzerinde sırasıyla % 36.08 ve % 39.61 oranında bir iyileşme elde edilmiştir. EP10 yakıtları ile dizel yakıta göre is emisyonlarında yüksek devirlerde ve düşük devirlerde düşüş varken orta motor hızlarında hafif bir artış olduğu tespit edilmiştir. Bunun en önemli nedeni, motorun orta hızlarda dengesiz çalışması nedeniyle motorun vuruntulu çalışmaya başlamasıdır. EP10 ve EP5 yakıtları ile sırasıyla ortalama %15.1 ve %15.55 oranında artış meydana gelmiştir. Traktör gibi arazi araçlarında uygulanan Tier 3 emisyon limitleri 36kW>Güç<75kW ve 19kW>güç<36 kW motorlara sahip yoldışı araçlarda ortalama is emisyonları ile yapılan çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 6.14'te gösterilmiştir.



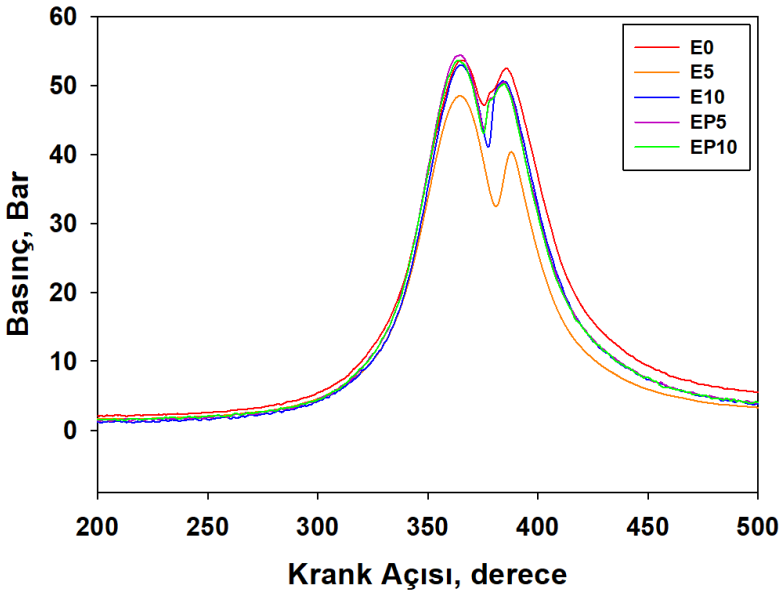
Şekil 6.14 İs emisyonun karışım yakıtana göre ortlama değeri

6.6. Silindir içi Basınç Değişimleri

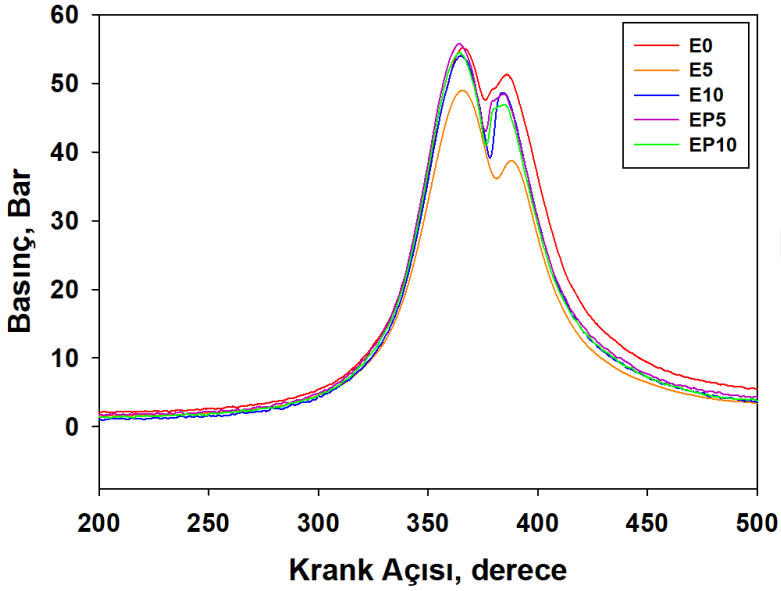
Çalışmalarda motorun 1. Silindirinin iç basıncı AVL HG14P Basınç Sensörü ve Lecroy osiloskop ile ölçülmüştür. Ham basınç verileri Matlab bir program yazılarak analiz edilmiştir. Çalışmalara başlamadan önce pistonun üst ölü noktasını belirlemek için yakıt pompasının enerjisi kesilerek motor yakıtsız olarak marş edilmiştir. Motoring çalışması ile yakıtsız olarak silindir içi basıncı ve indüktif devir sensörlünden gelen sinyaller kaydedilmiştir. Daha sonra Matlab programında

işlenerek motorun basınç verilerini aldığımız silindirde pistonun üst ölü noktaya göre konumu belirlenmiştir. İndüktif devir sensörü yerleştirilirken komparatörün göstergesinde hareketin algılandığı an olan emme supabının tam açılmaya başladığı konuma göre sinyal verecek şekilde ayarlandı. Matlab programında çalışmalarda bu doğru konumlandırma kolaylık sağladı. Sonraki çalışmalarda çevrim boyunca elde edilen basınç verilerinin Matlab programı ile ortalaması alınmış ve her devir için tek basınç grafiği elde edilmiştir. Yine basınç grafikleri analiz edilerek motorun ısıl salımı çıkartılmıştır. Bütün çalışmanın 5 yakıt için basınç grafikleri ve ısıl salımı grafikleri şekil 6.15-38 'de verilmiştir.

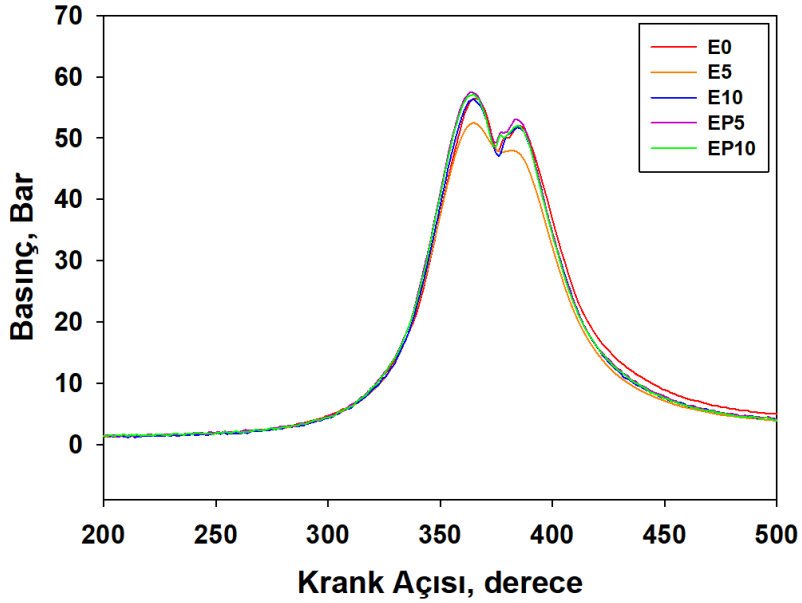
Her çalışmada, maksimum yanma sonu basıncı motor devrinin artması ile enjekte edilen yakıt miktarı artığı için artmıştır. Fumigasyon yöntemi ile emülsiyon yöntemine göre maksimum basınçlar daha büyüktür. Etanol ile tutuşma gecikmesi süresinin artması ile etanol buharının hava ve yakıt buharı ile daha iyi karışım sağlaması ve ani yanması ile tepe basınç noktası artar. Ateşleme gecikmesi esnasında alınan yakıtların motor gücünü artıracağı öngörülebilir [18]. Enjekte edilen yakıtın büyük bölümü ön karışım yanma periyodunda yanar [68]. Ön karışım yanma periyodunda çıkan ısı enerjisi miktarında da artış görülmektedir. Ön karışım yanma pikinin hemen arkasından daha küçük ikinci bir yanma pikinin oluştuğu görülmektedir. Emme manifolduna püskürtülen etanol miktarı artıkça oluşan basınçta artmıştır. Bu durum yanma odası dışında hava ile iyi karışım sağlamış etanolün ön karışım safhasında dizel ile berber tutuşması ve ani olarak yanmasının neden olduğu ön görülmektedir.



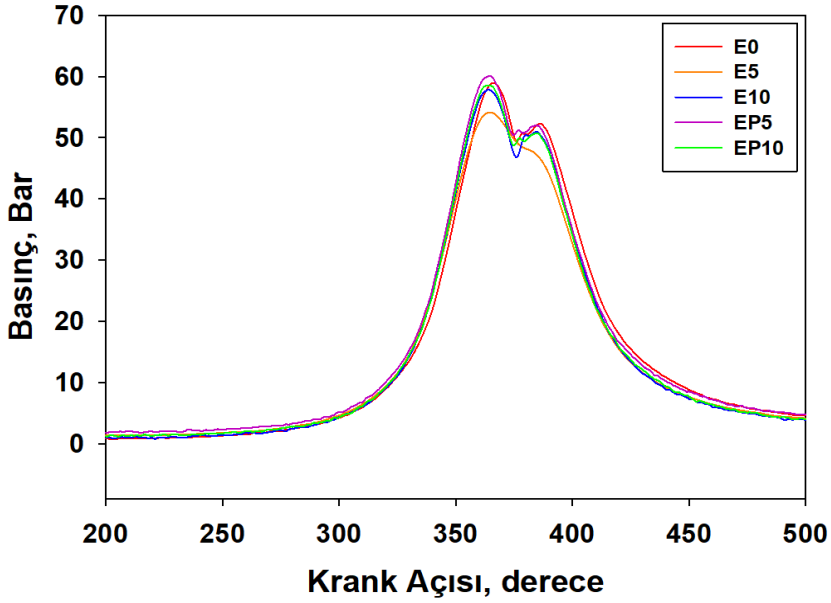
Şekil 6.15 1100 d/dk'da silindir içi basıncı



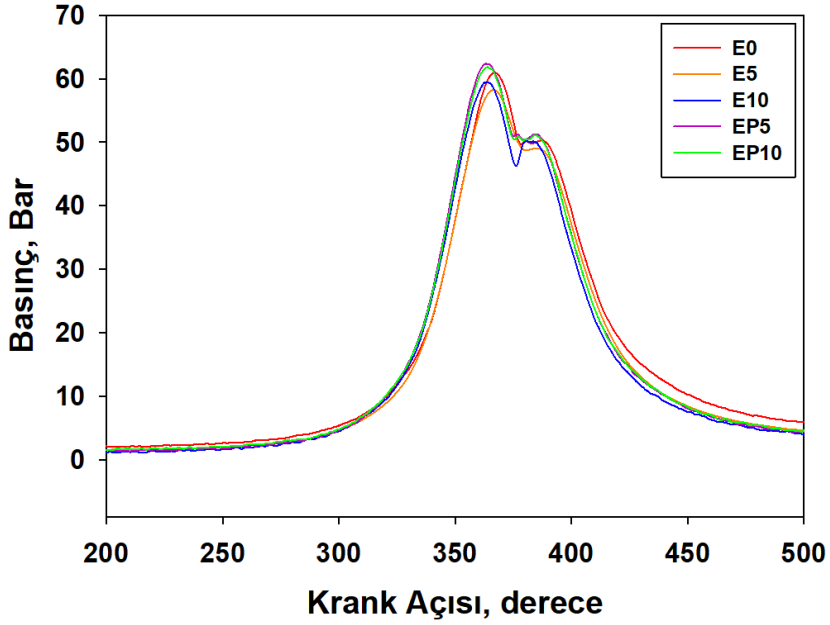
Şekil 6.16 1200 d/dk'da silindir içi basıncı



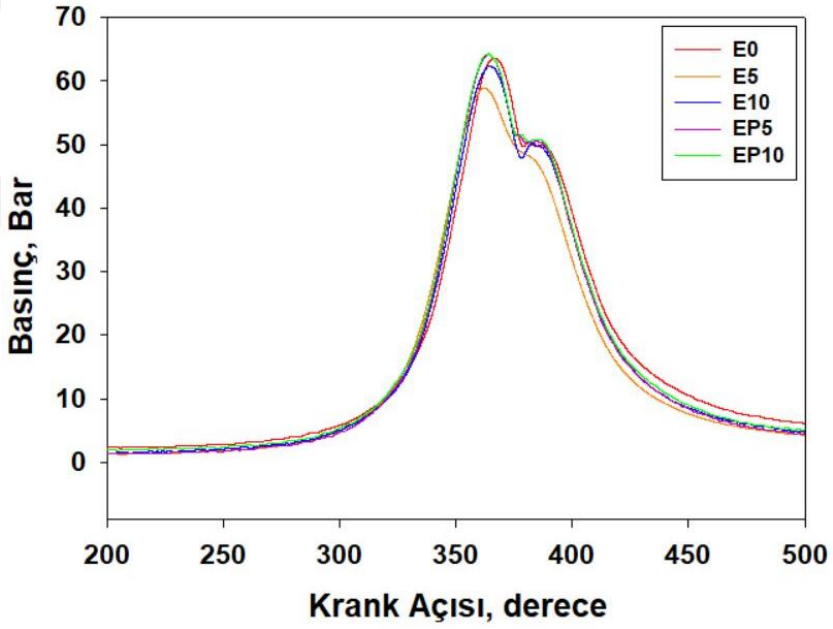
Şekil 6.17 1300 d/dk'da silindir içi basıncı



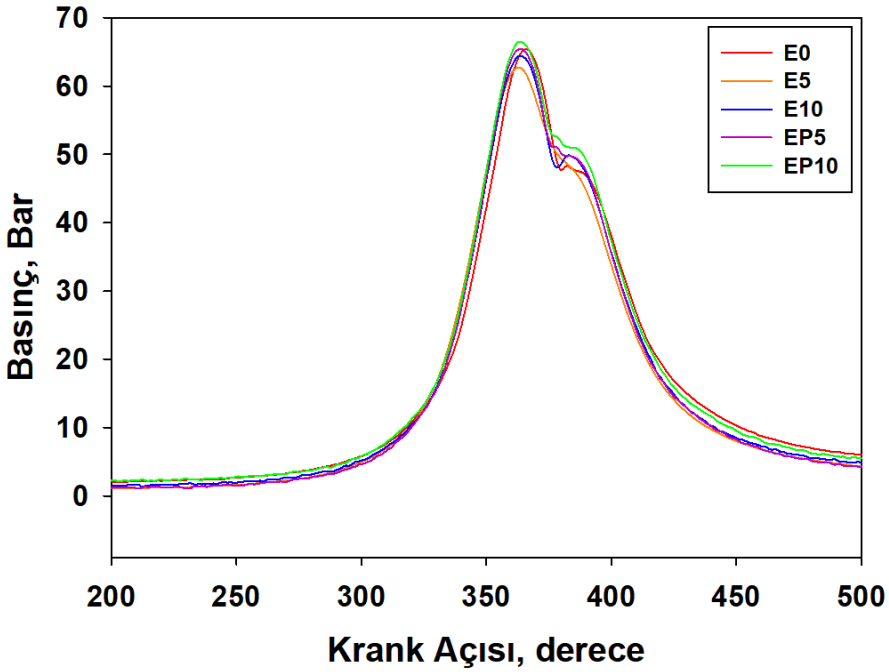
Şekil 6.18 1400 d/dk'da silindir içi basıncı



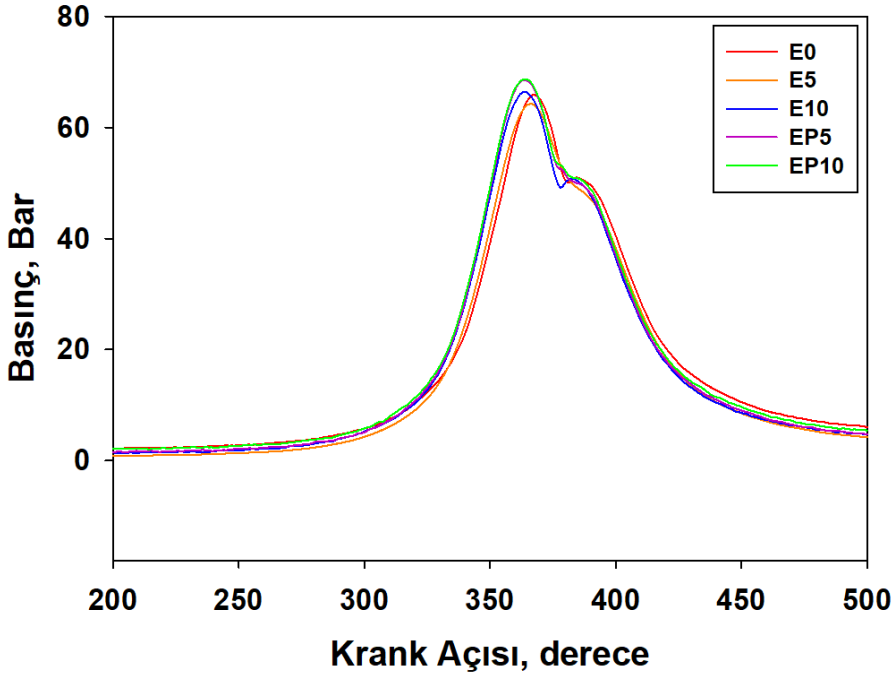
Şekil 6.19 1500 d/dk'da silindir içi basıncı



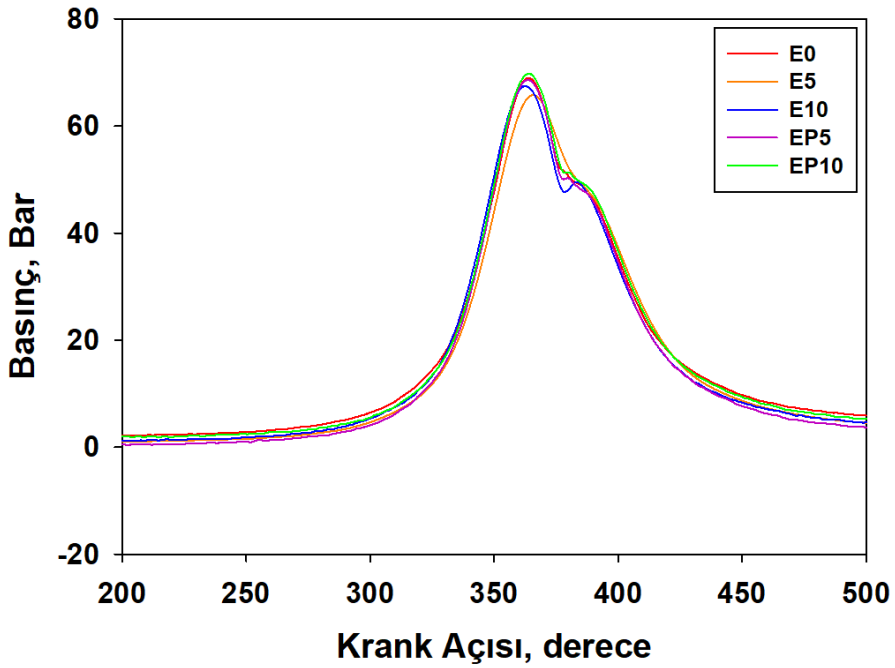
Şekil 6.20 1600 d/dk'da silindir içi basıncı



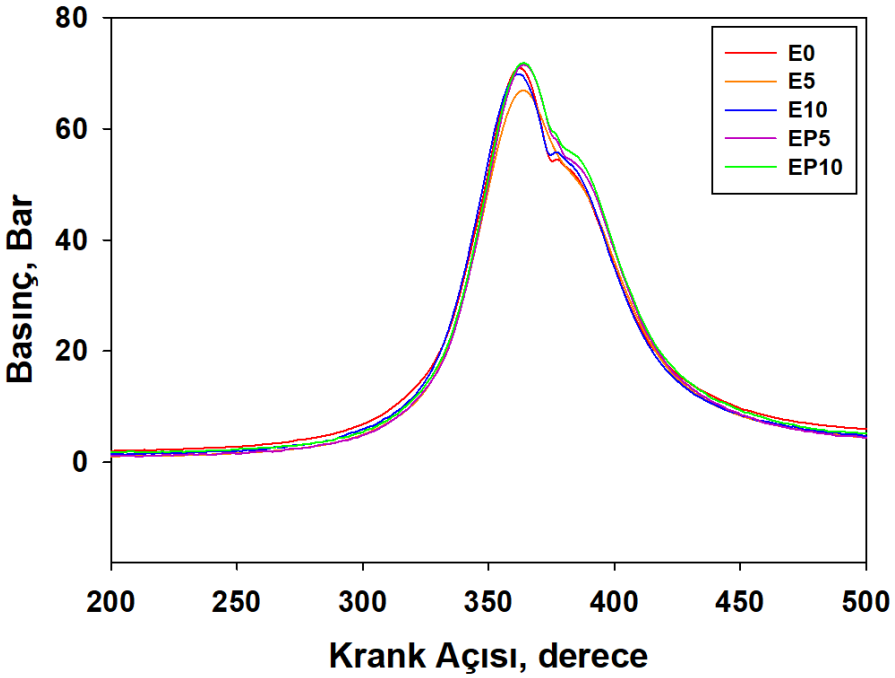
Şekil 6.21 1700 d/dk'da silindir içi basıncı



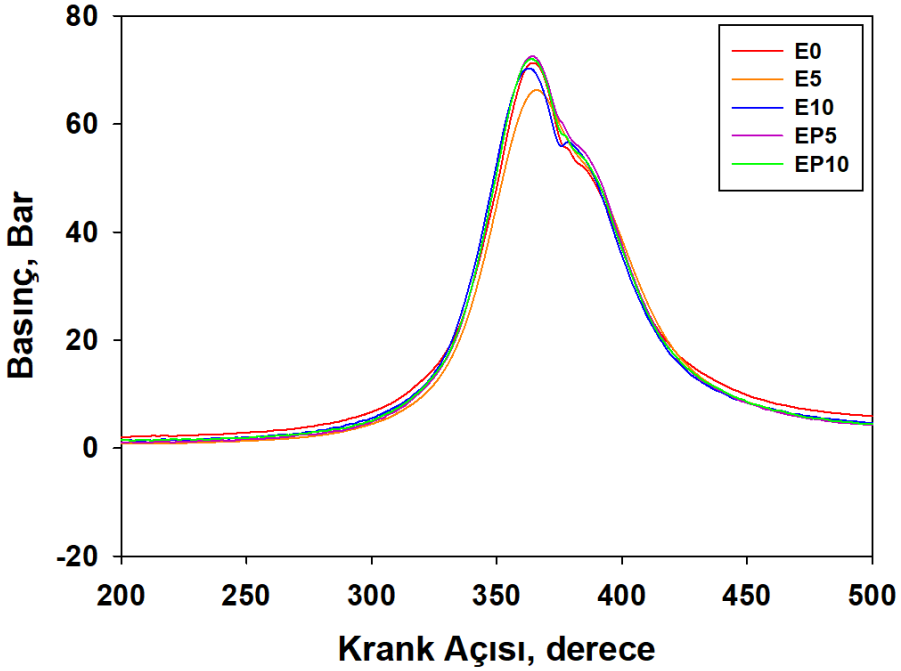
Şekil 6.22 1800 d/dk'da silindir içi basıncı



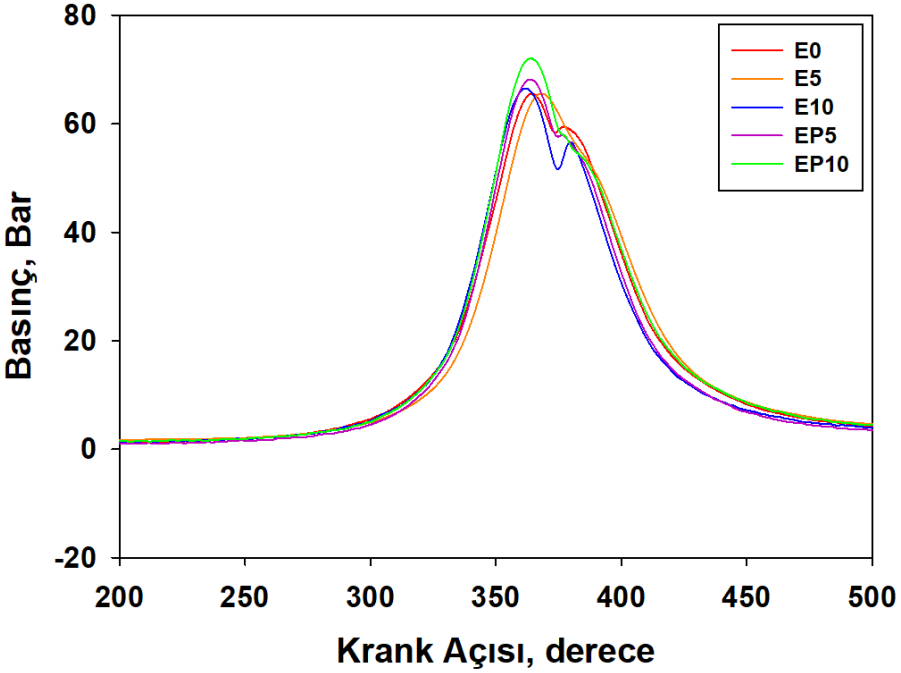
Şekil 6.23 1900 d/dk'da silindir içi basıncı



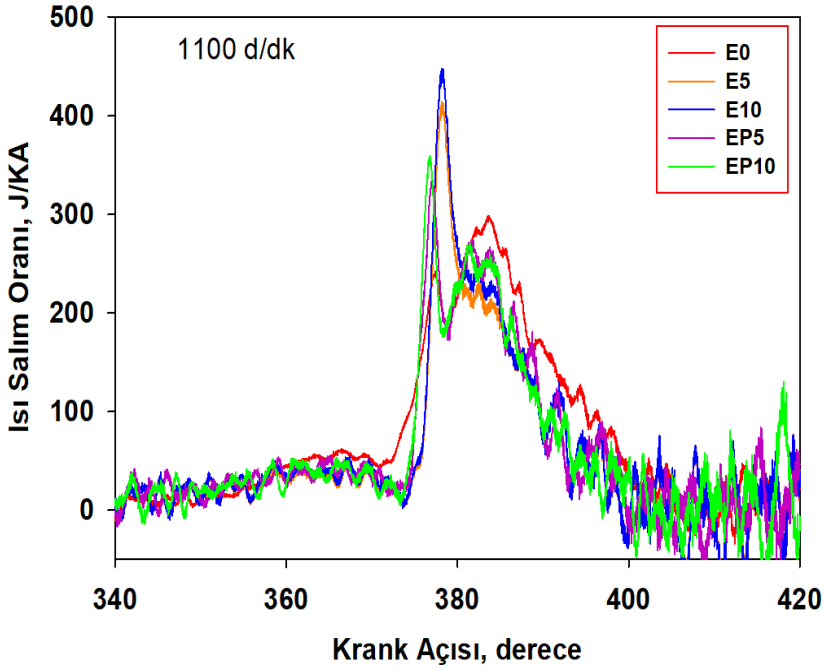
Şekil 6.24 2000 d/dk'da silindir içi basıncı



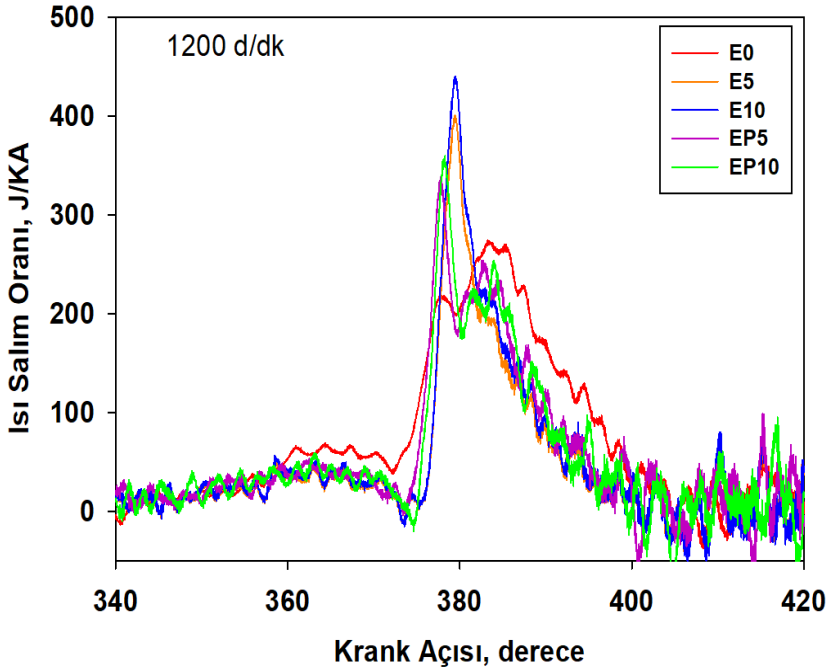
Şekil 6.25 2100 d/dk'da silindir içi basıncı



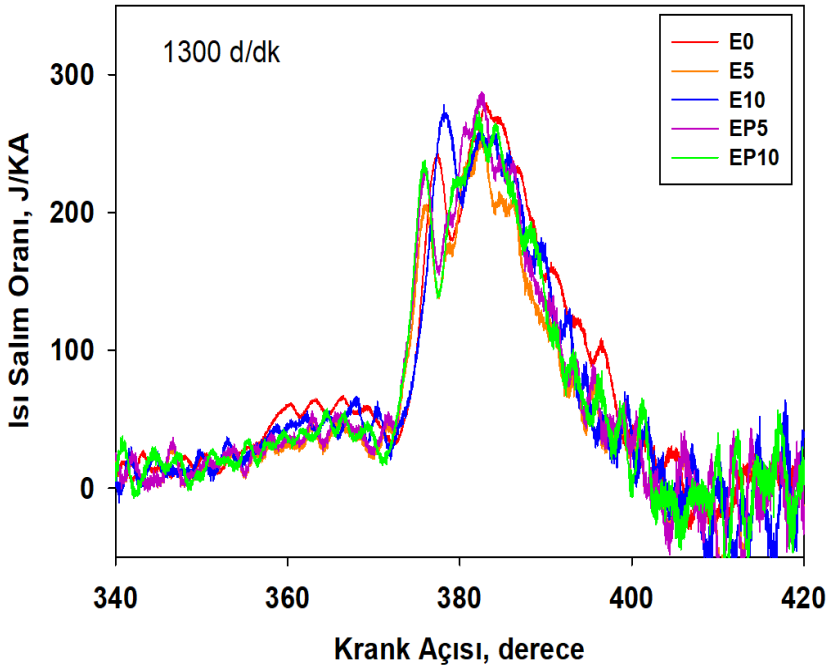
Şekil 6.26 2200 d/dk'da silindir içi basıncı



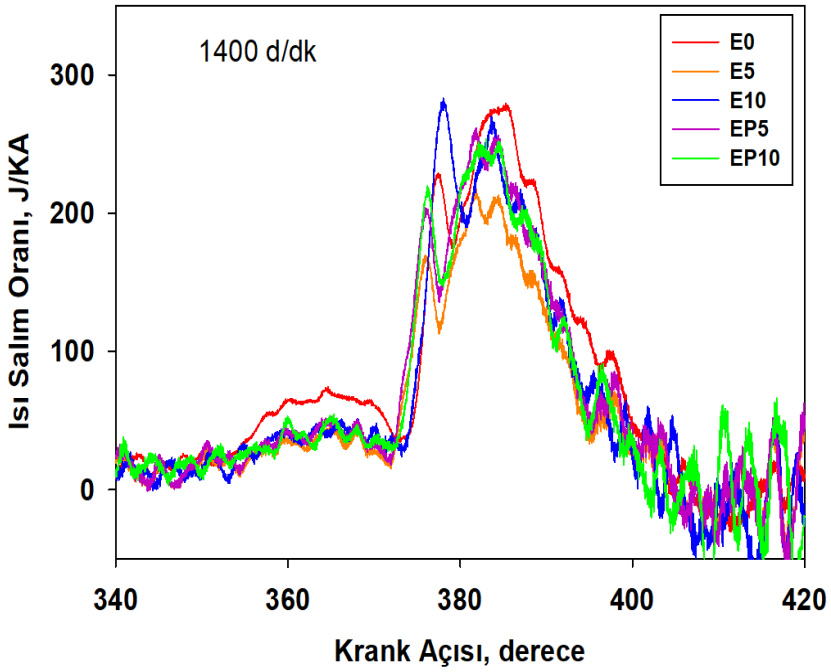
Şekil 6.27 1100 d/dk'da ısı salımı



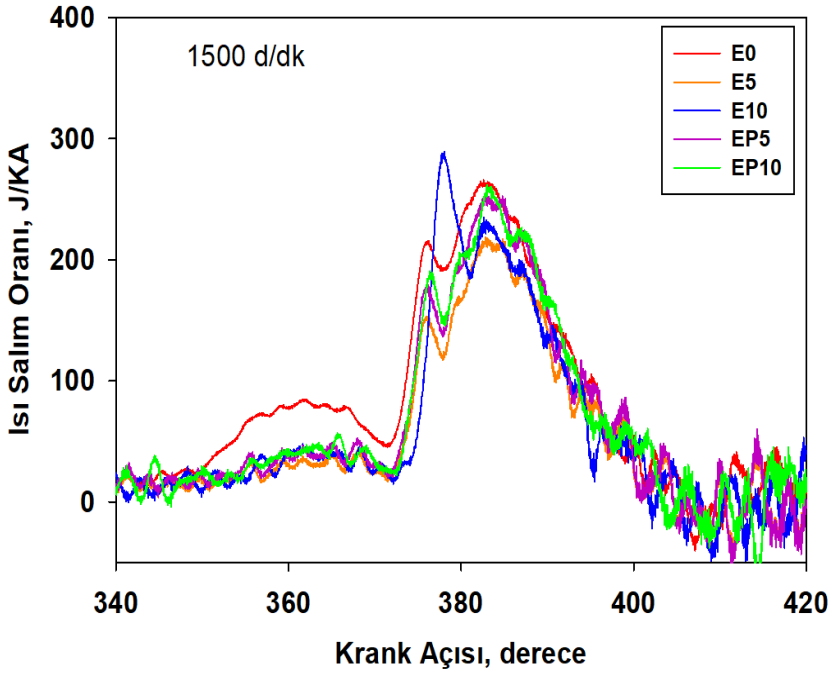
Şekil 6.28 1200 d/dk'da ısı salımı



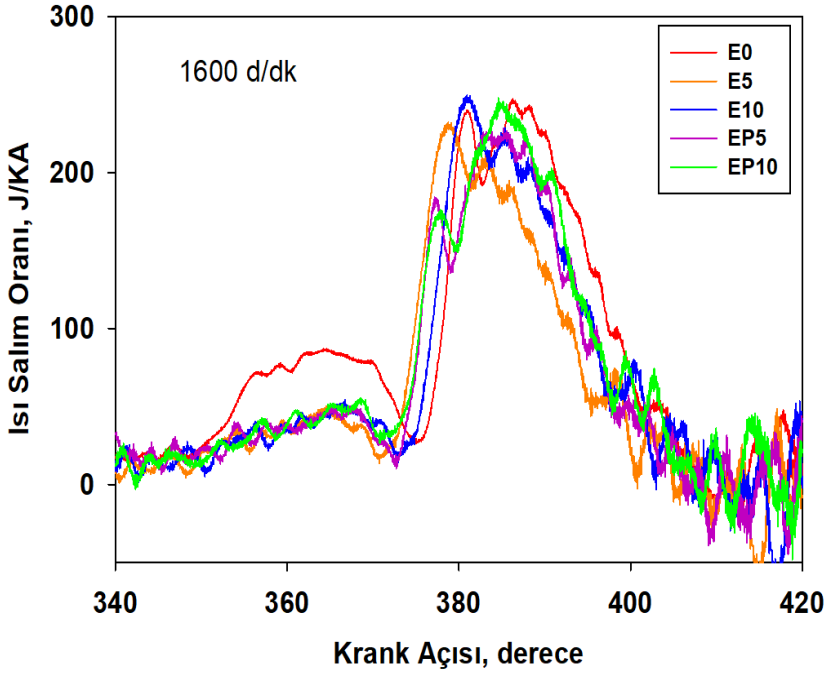
Şekil 6.29 1300 d/dk'da ısı salımı



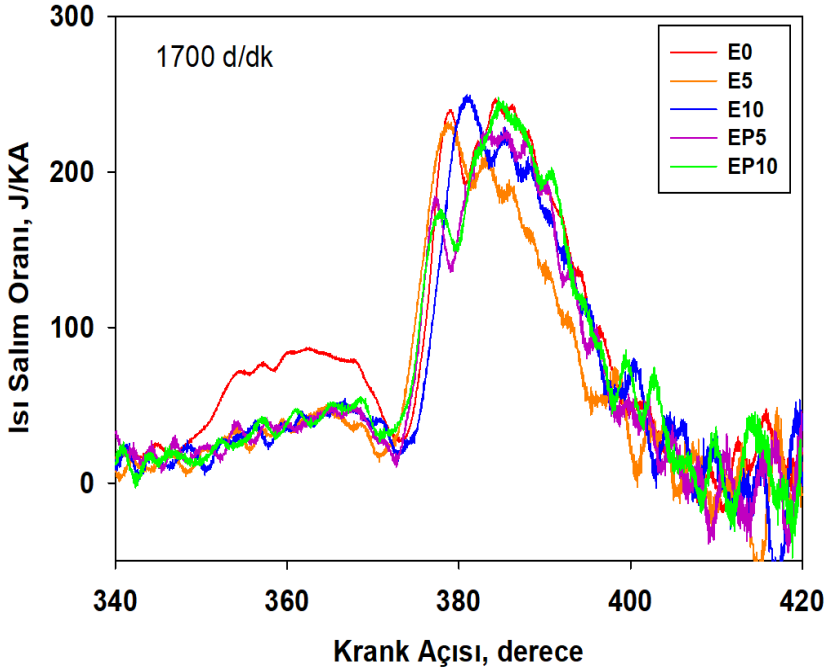
Şekil 6.301400 d/dk'da ısı salımı



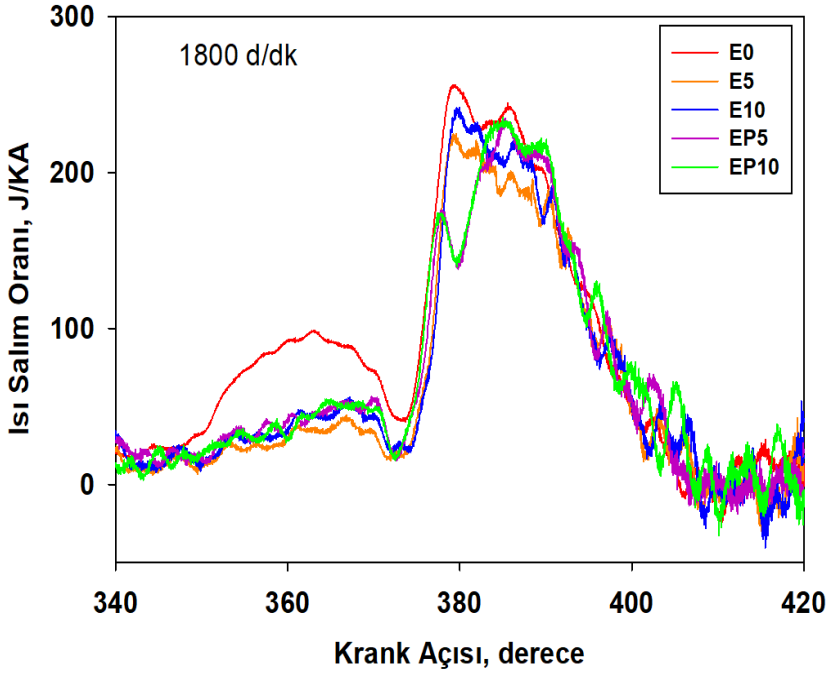
Şekil 6.31 1500 d/dk'da ısı salımı



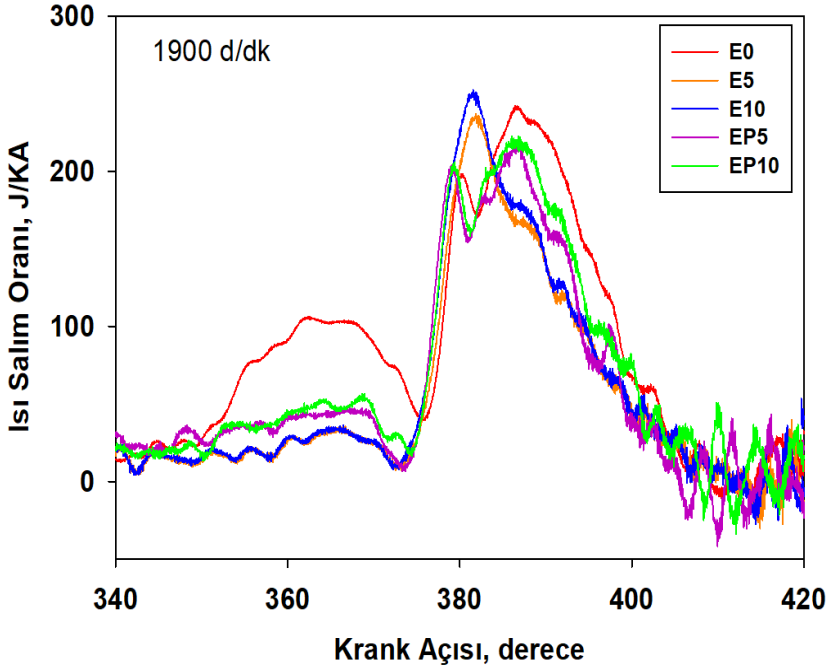
Şekil 6.32 1600 d/dk'da ısı salımı



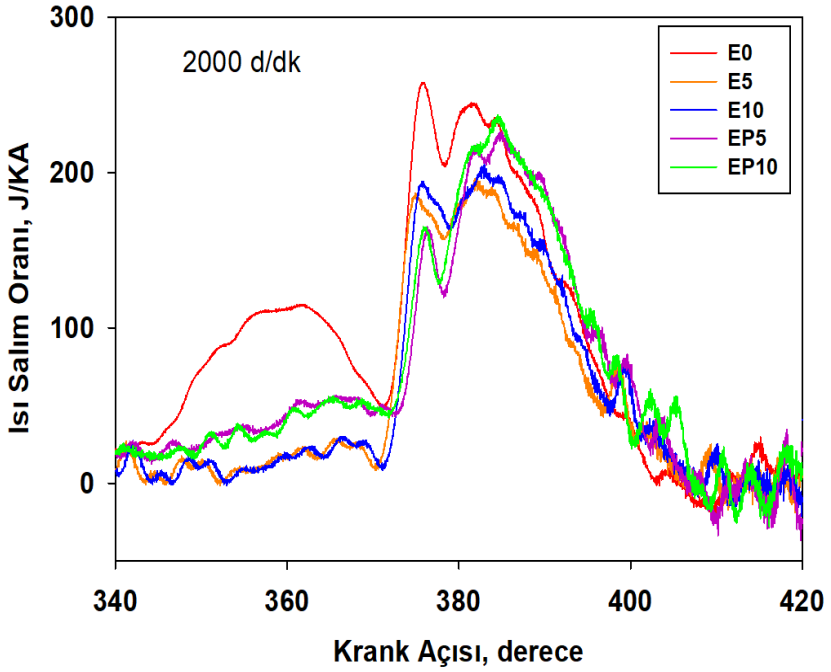
Şekil 6.33 1700 d/dk'da ısı salımı



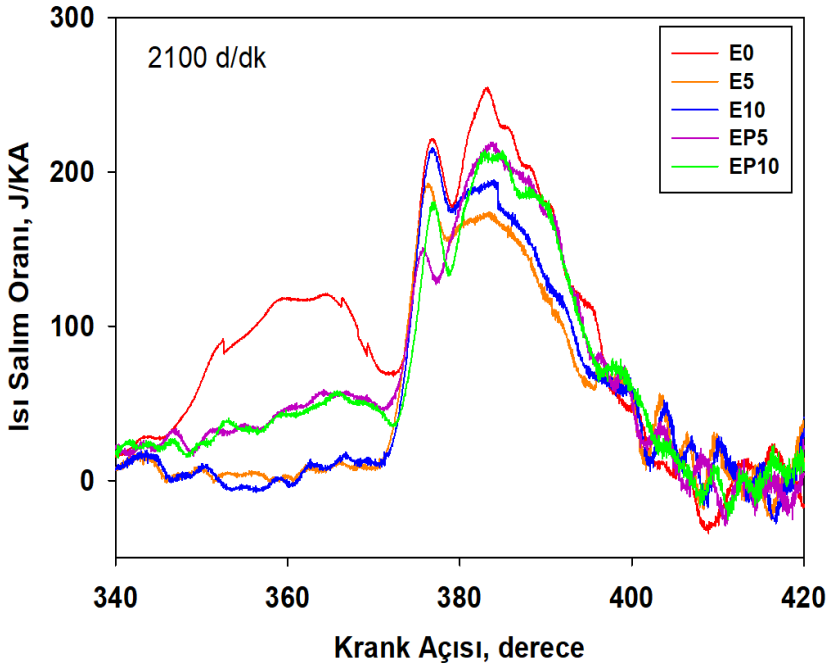
Şekil 6.34 1800 d/dk'da ısı salımı



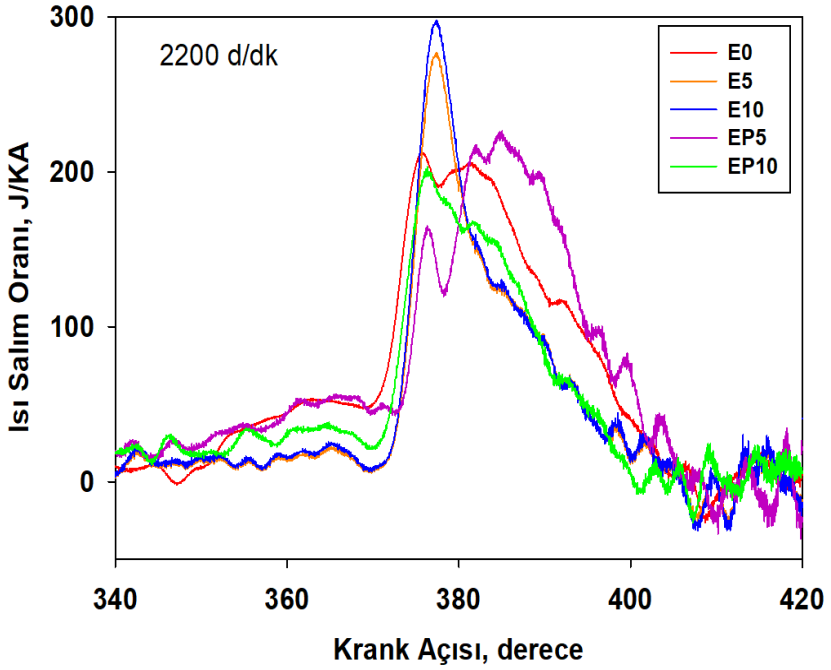
Şekil 6.35 1900 d/dk'da ısı salımı



Şekil 6.36 2000 d/dk'da ısı salımı



Şekil 6.37 2100 d/dk'da ısı salımı



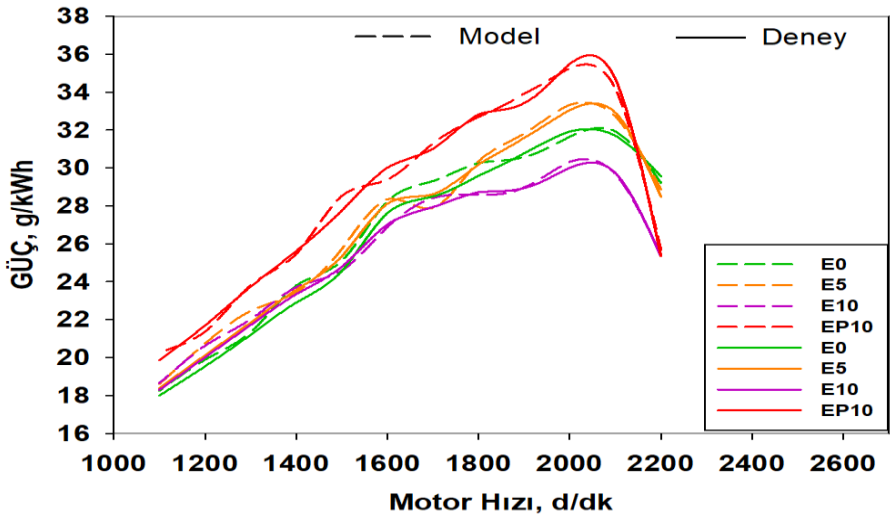
Şekil 6.38 2200 d/dk'da ısı salımı

6.7. AVL BOOST Programı Model sonuçları

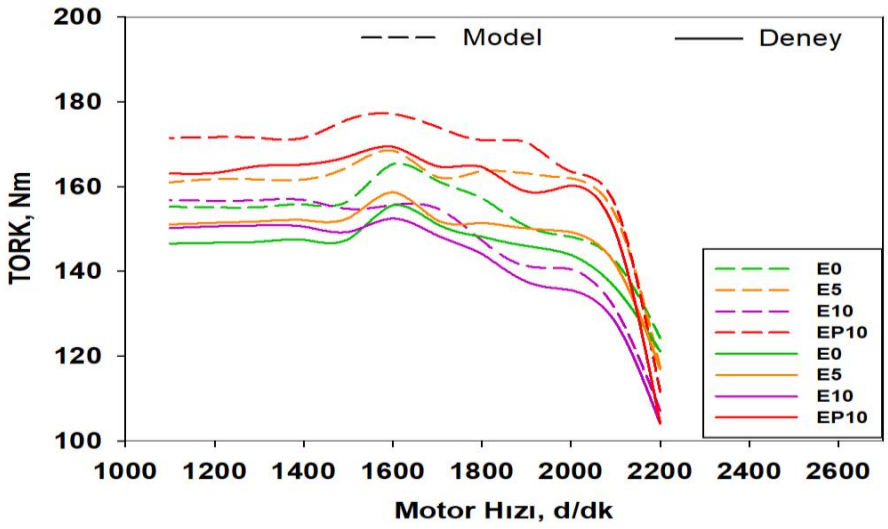
Yapılan deneyler AVL BOOST v2016 analiz programı ile modellenerek E0, E5 ve E10 ve EP10 yakıtlarının emülsiyon ve fumigasyon yöntemlerinin kullanarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. AVL BOOST programında yanma modeli olarak Vibe tabanlı Target Pressure 2 zone modeli, ısı salımı için Woschni 1990 modeli kullanılmıştır. AVL BOOST programı ile elde edilen silindir içi basıncı ısı salımı oranı (Heat Realese Rate), motor gücü, motor torku, özgül yakıt tüketimi, NOx ve İs emisyon sonuçları, deneyler ile elde edilen sonuçlara yakın sonuçlar elde edilmiştir. AVL BOOST ile elde sonuçların doğruluğunu göstermek için dizel yakıt ile koşturulan simülasyon sonuçları ve dizel yakıt ile yapılan gerçek deney sonuçlarının silindir içi basıncı ve ısı salım oranı sonuçları her bir devir için ayrı ayrı grafiklendirilmiştir. Simülasyon model deneyleri, deney motorunun motor gücü verileri elde edildikten sonra NOx ve İs emisyonları % 3 sapmanın altında bir farkla tutturulmuştur. Deneylerde elde edilen motor gücü Model deneyleri ile aynı güç değerleri ortalama yaklaşık %2 farkla elde edilmiş fakat motor torku yaklaşık ortalama %3.8 fazla olarak tespit edilmiştir.

6.7.1 Model Simülasyonu Performans Sonuçları

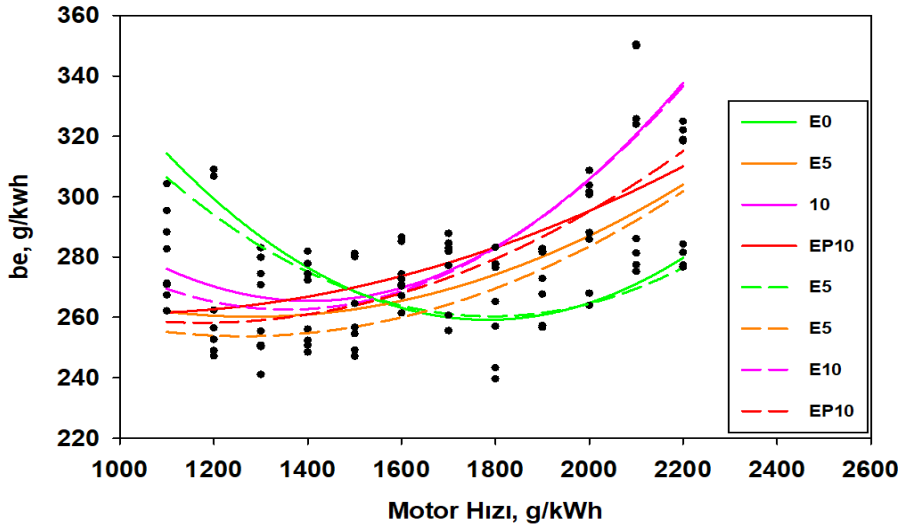
Simülasyon programı ile elde edilen güç, tork ve özgül yakıt tüketimi şekil 6.39-41'de gösterilmektedir.



Şekil 6.39 Model simülasyonu ile elde edilen güç değişimleri



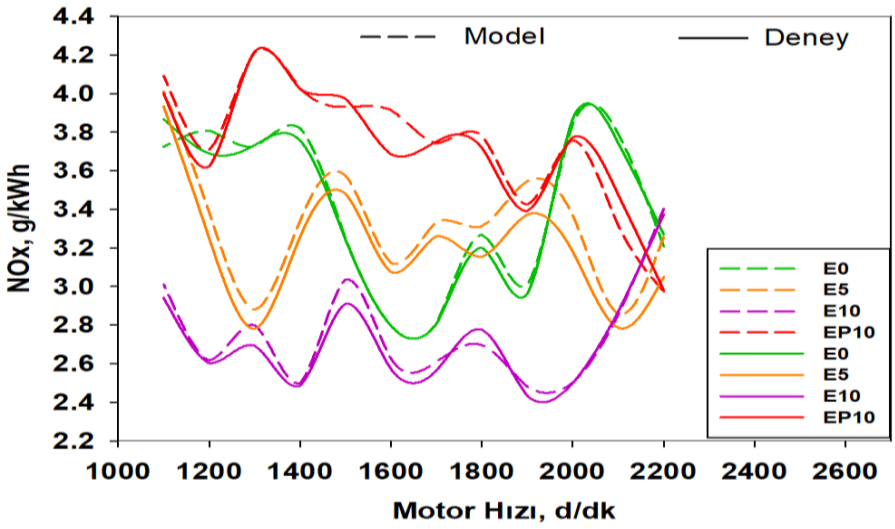
Şekil 6.40 Model simülasyonu ile elde edilen tork değişimleri



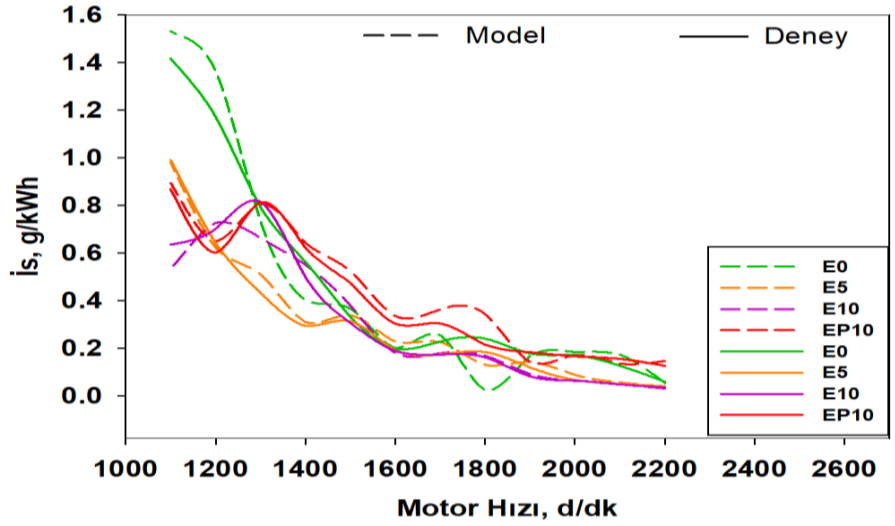
Şekil 6.41 Model simülasyonu ile elde edilen özgül yakıt tüketimi değişimleri

6.7.2 Model Simülasyonu Emisyon Sonuçları

Simülasyon programı ile elde edilen NOx ve is emisyon değerleri şekil 6.42-43'de gösterilmektedir



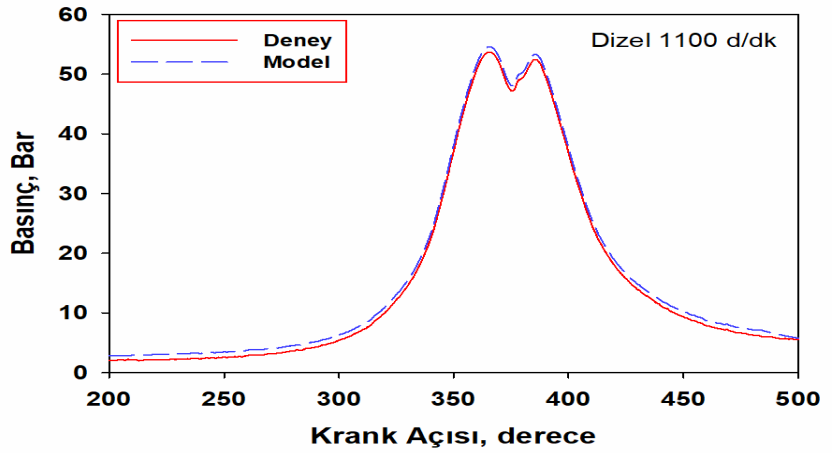
Şekil 6.42 Model simülasyonu ile elde edilen NOx emisyon değişimleri



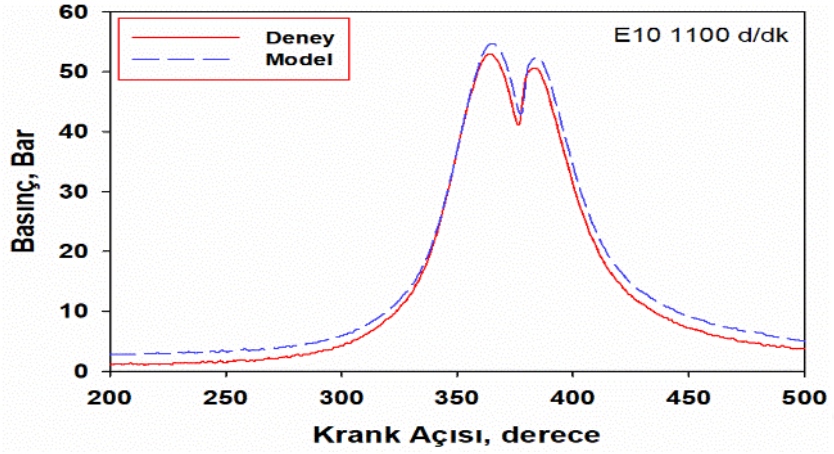
Şekil 6.43 Model simülasyonu ile elde edilen İs emisyon değişimleri

6.7.3 Model Simülasyonu Silindir içi Basınç Sonuçları

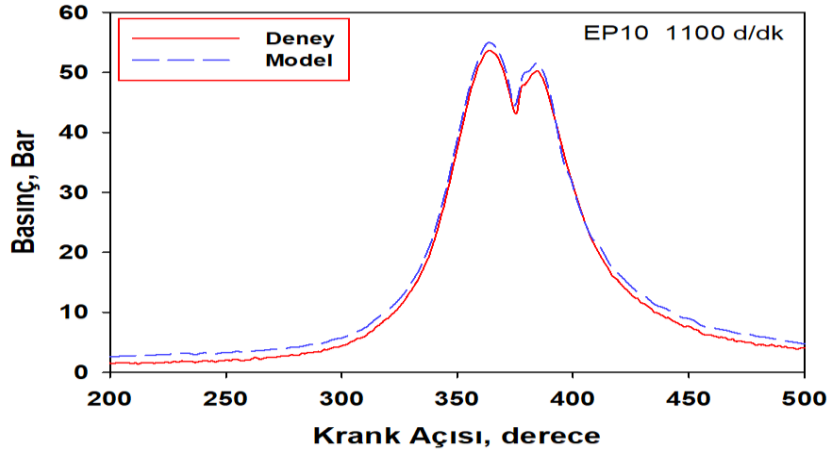
Simülasyon programı ile E0, E10 ve EP10 yakıtları ile elde edilen silindir içi basıncı ve deneyler ile elde edilen silindir içi basınç sonuçları şekil 6.44-79 arasında gösterilmektedir. Deney silindir içi basınçları simülasyon programında doğrulanmıştır.



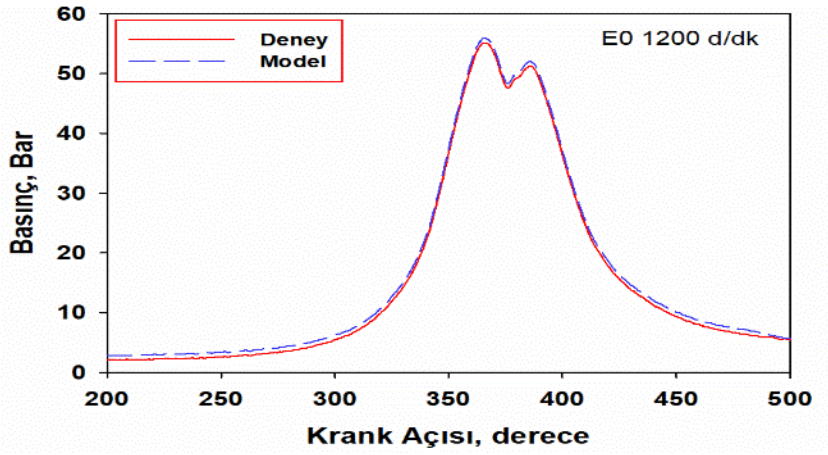
Şekil 6.44 1100 d/dk' da E0 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



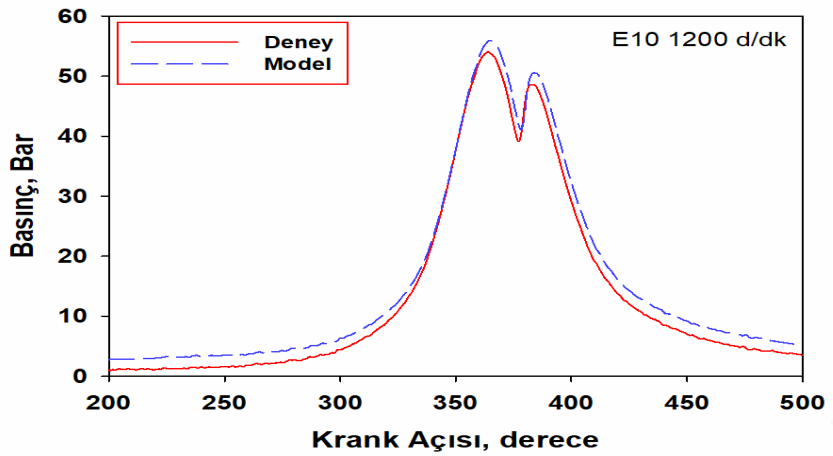
Şekil 6.45 1100 d/dk' da E10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



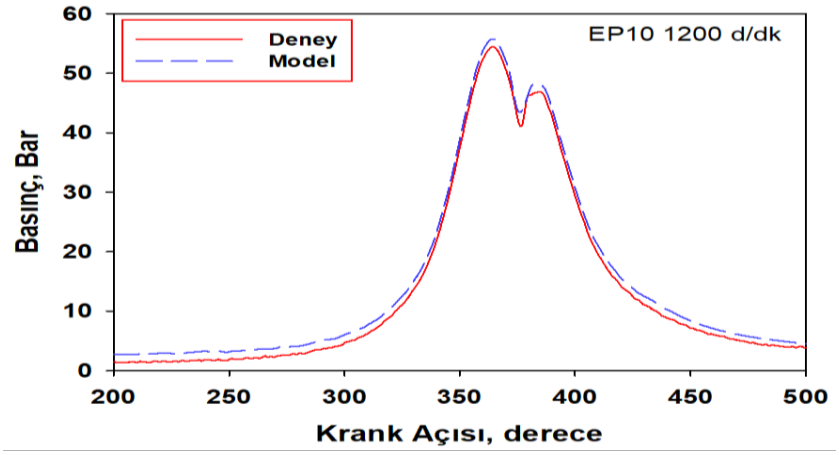
Şekil 6.46 1100 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



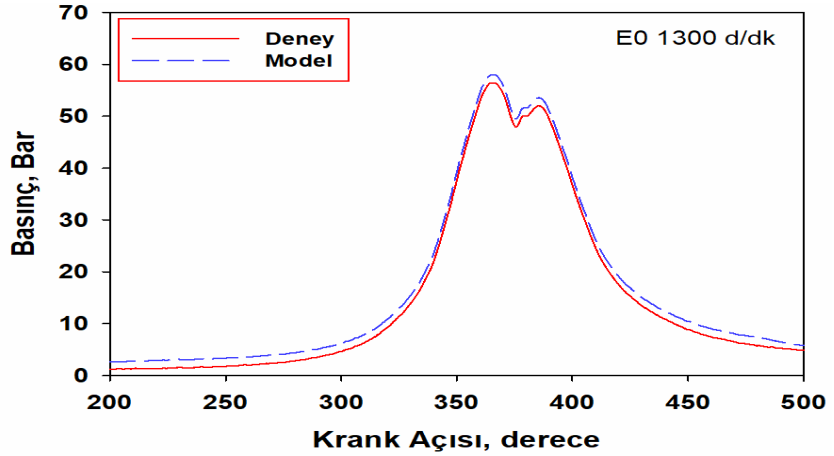
Şekil 6.47 1200 d/dk' da E0 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



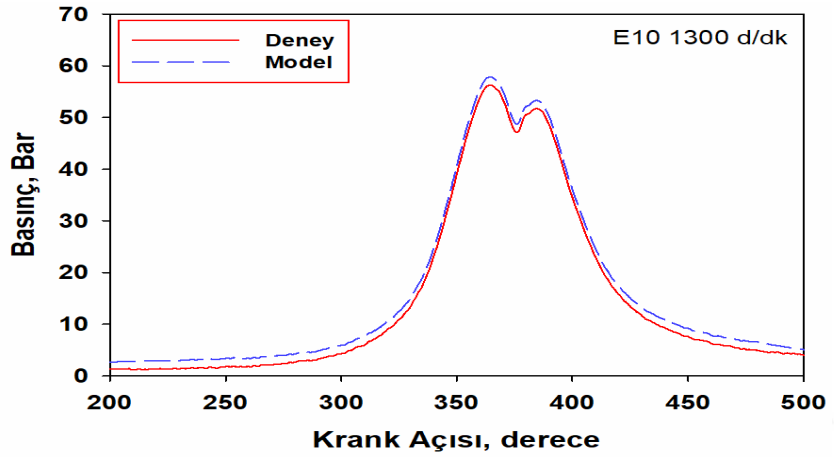
Şekil 6.48 1200 d/dk' da E10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



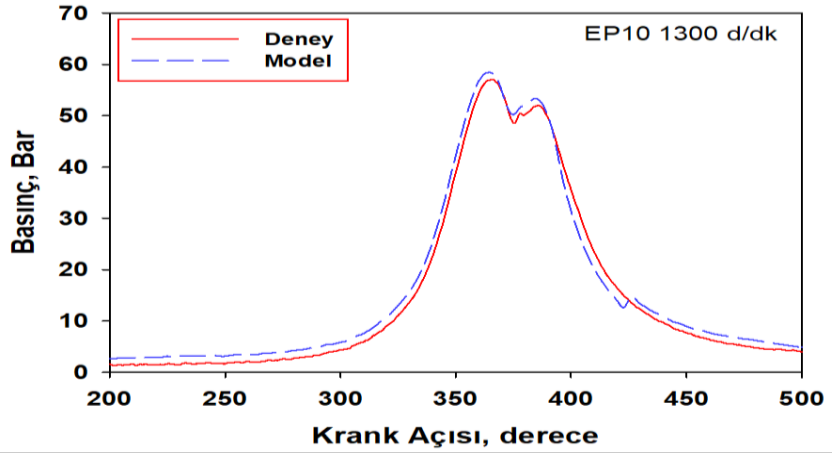
Şekil 6.49 1200 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



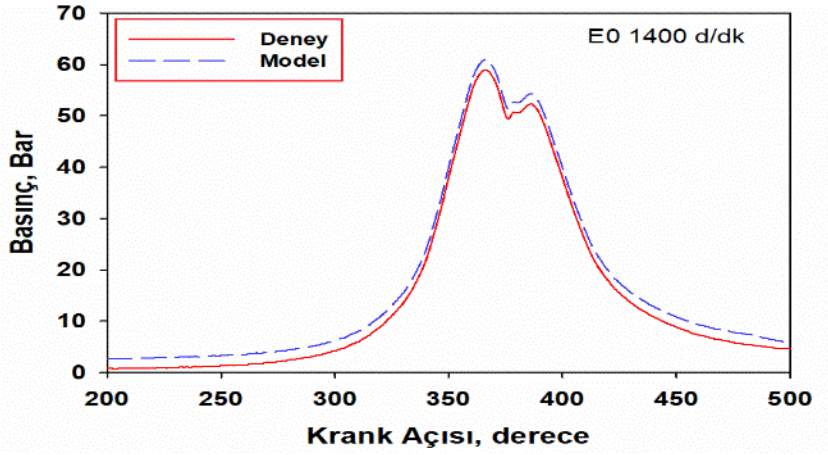
Şekil 6.50 1300 d/dk' da E0 yakıtı için simülasyon silindir içi basıcı



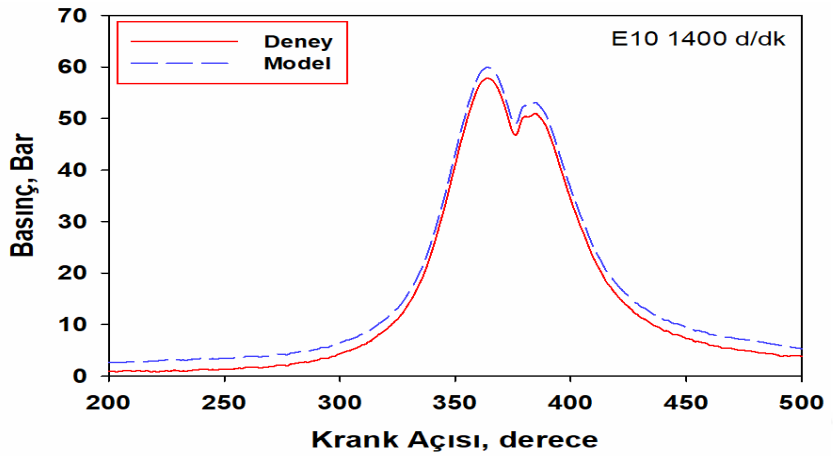
Şekil 6.51 1300 d/dk' da E10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



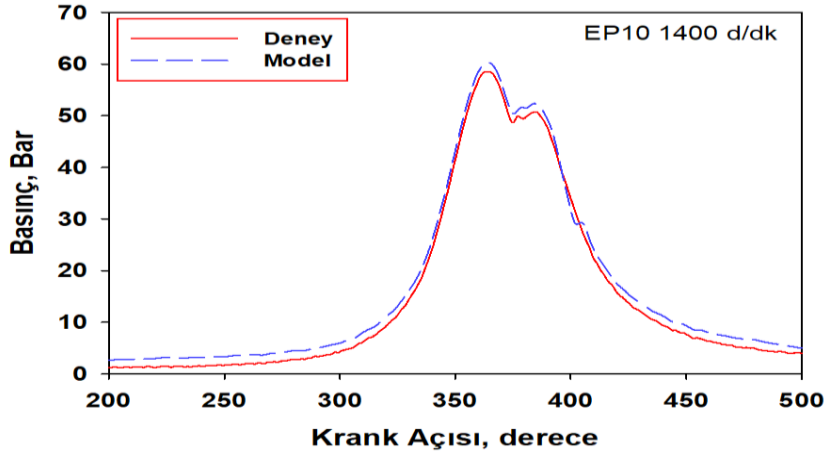
Şekil 6.52 1300 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



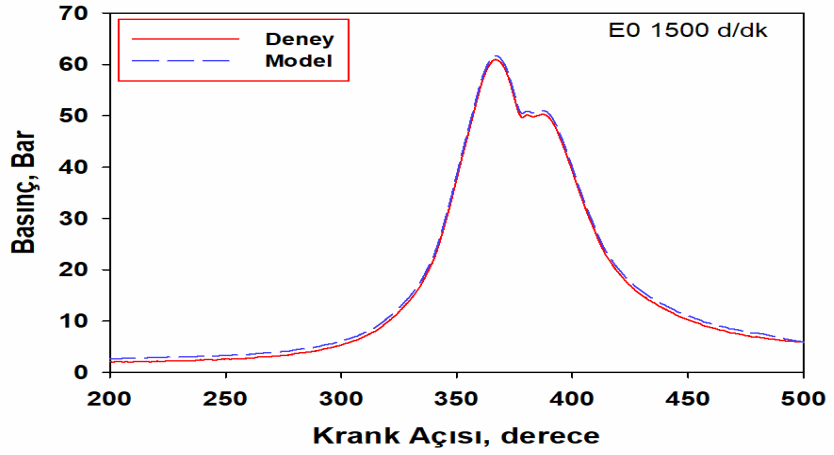
Şekil 6.53 1400 d/dk' da E0 yakıtı için silindir içi basıncı



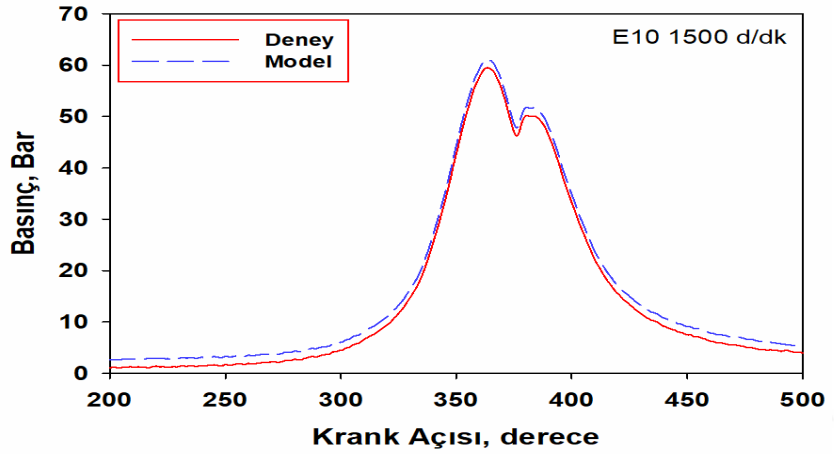
Şekil 6.54 1400 d/dk' da E10 yakıtı için silindir içi basıncı



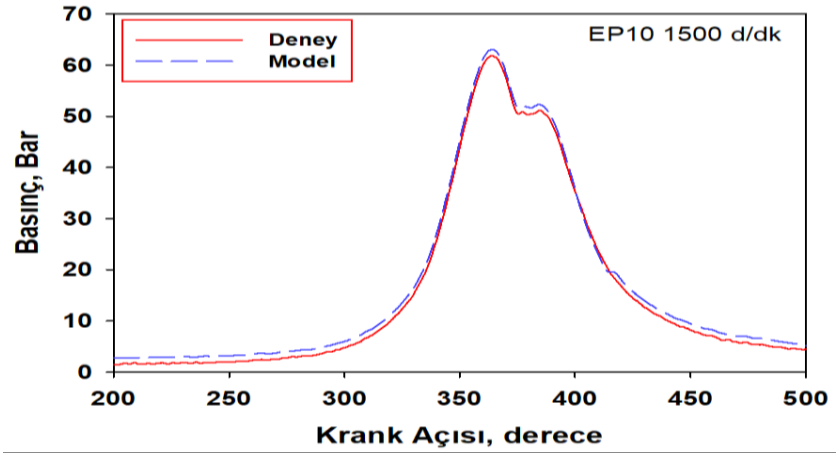
Şekil 6.55 1400 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



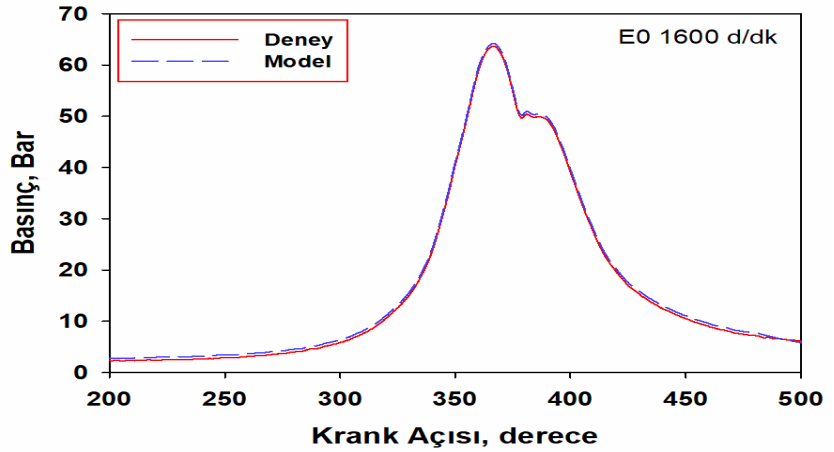
Şekil 6.56 1500 d/dk' da E0 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



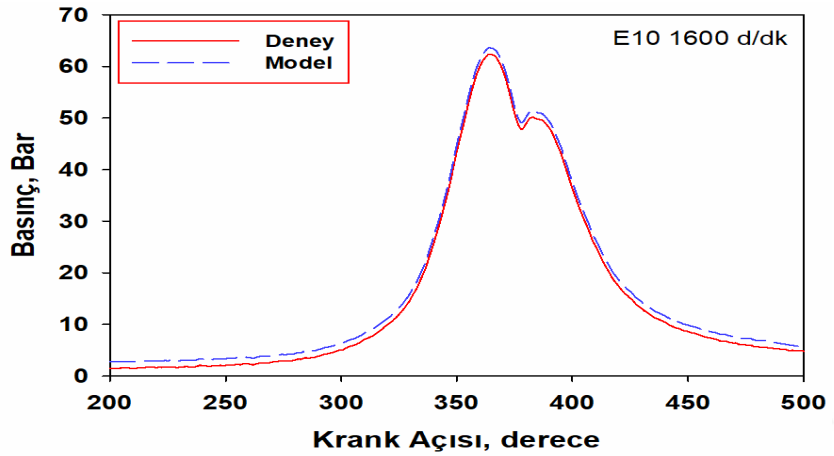
Şekil 6.57 1500 d/dk' da E10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



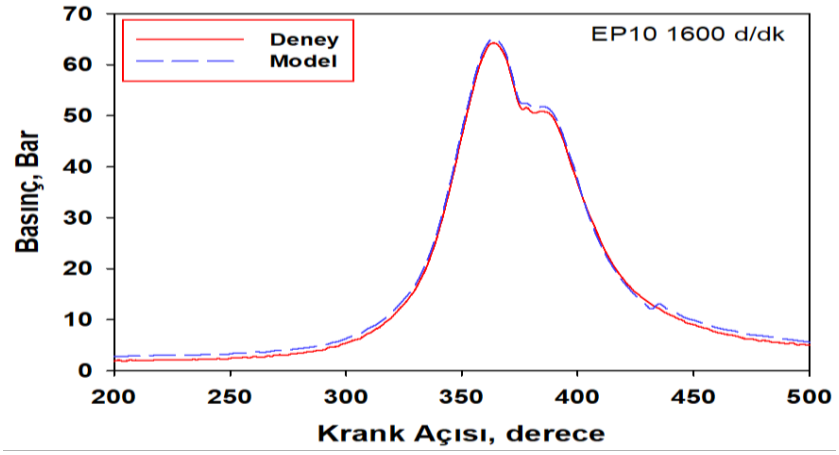
Şekil 6.58 1500 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



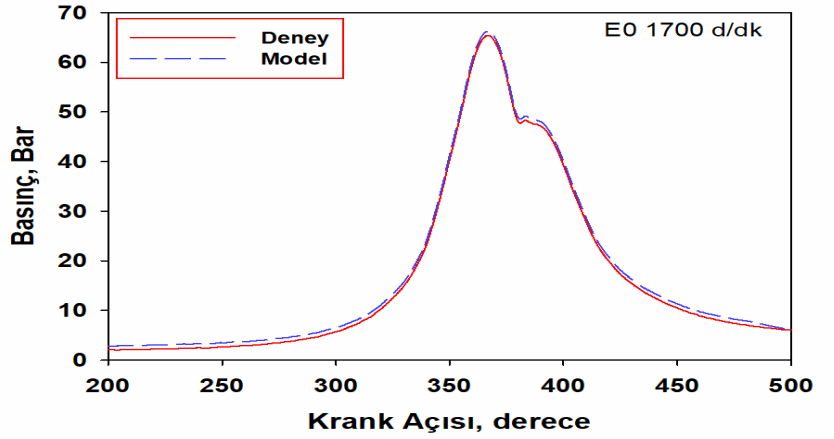
Şekil 6.59 1600 d/dk' da E0 yakıtı için silindir içi basıncı



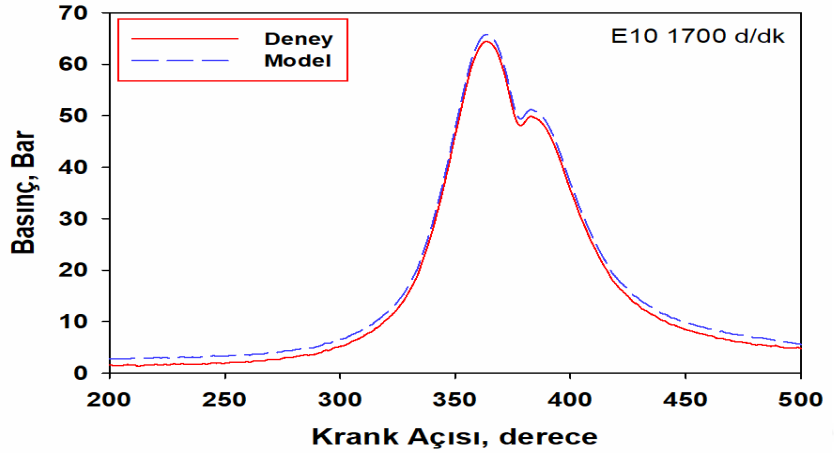
Şekil 6.60 1600 d/dk' da E10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



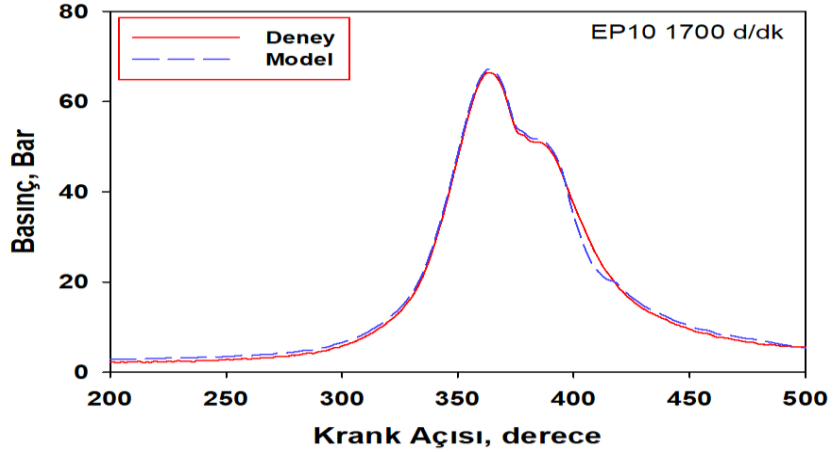
Şekil 6.61 1600 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



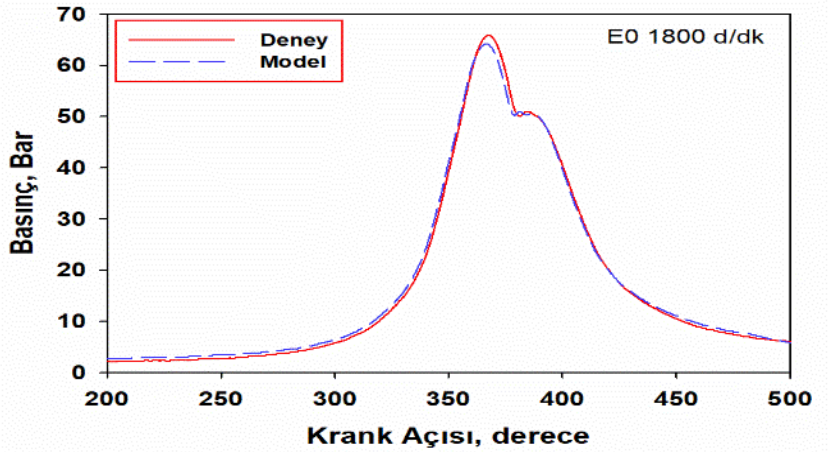
Şekil 6.62 1700 d/dk' da E0 yakıtı için silindir içi basıncı



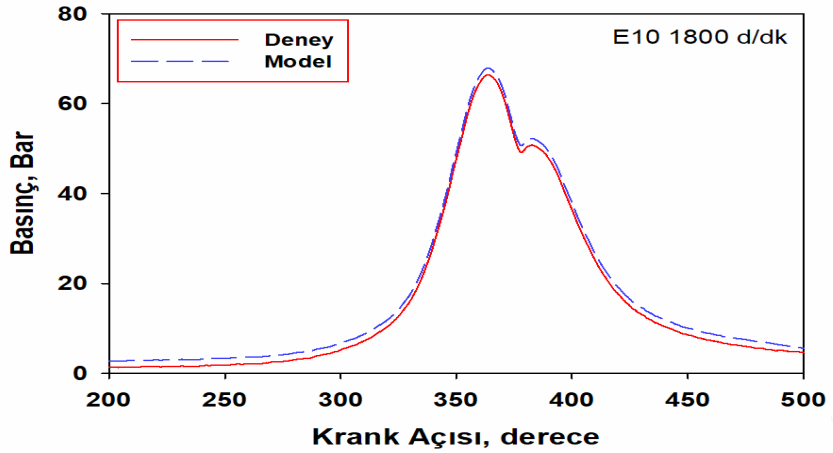
Şekil 6.63 1700 d/dk' da E10 yakıtı için silindir içi basıncı



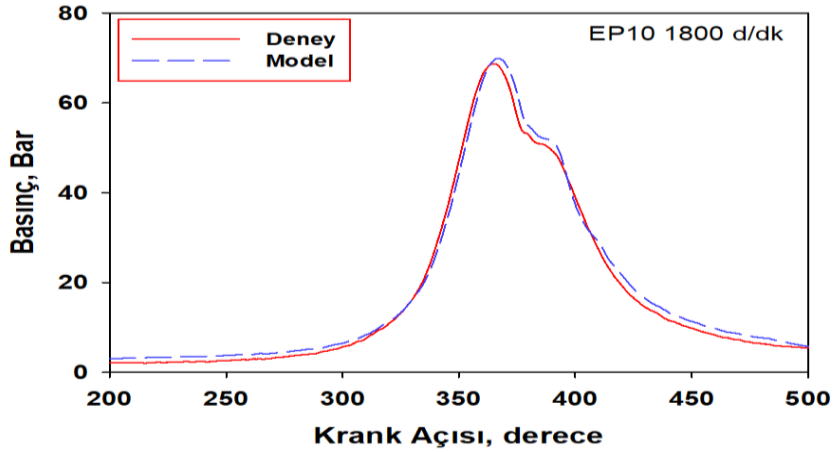
Şekil 6.64 1700 d/dk' da EP10 yakıtı için silindir içi basıncı



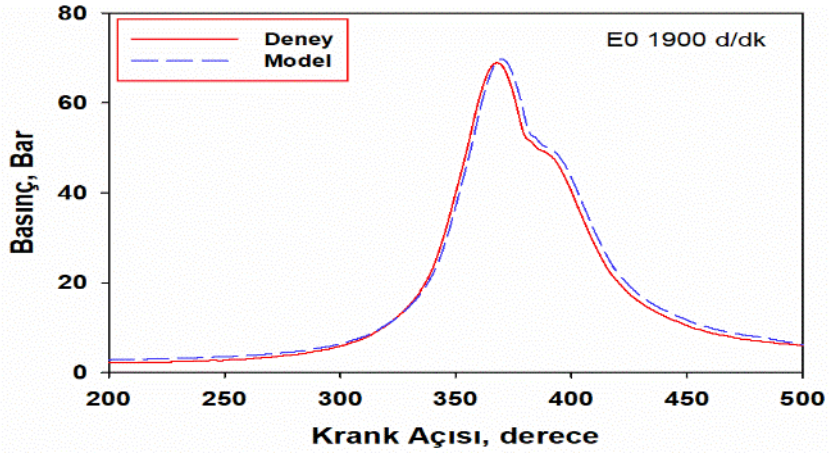
Şekil 6.65 1800 d/dk' da E0 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



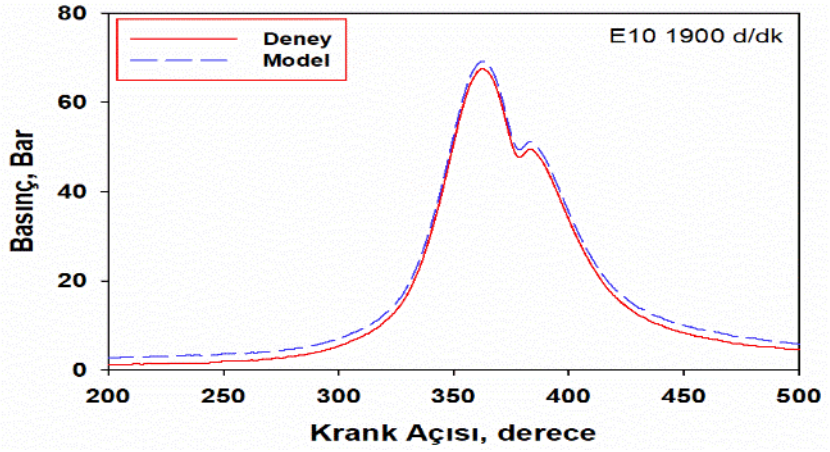
Şekil 6.66 1800 d/dk' da E10 yakıtı için silindir içi basıncı



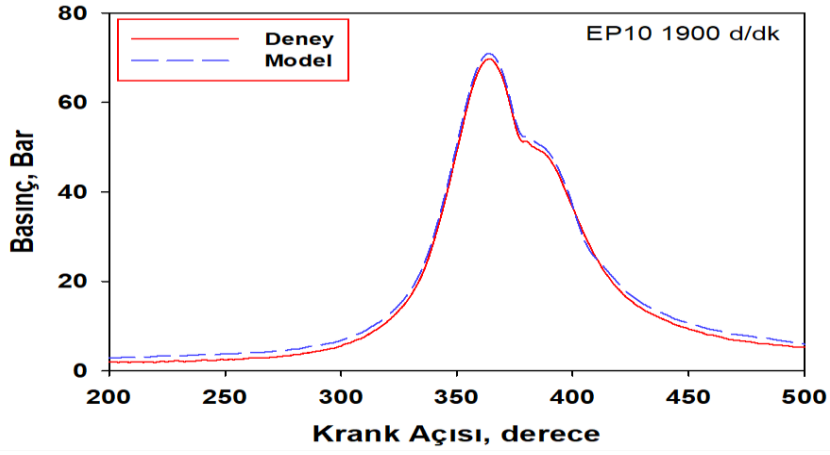
Şekil 6.67 1800 d/dk' da EP10 yakıtı için silindir içi basıncı



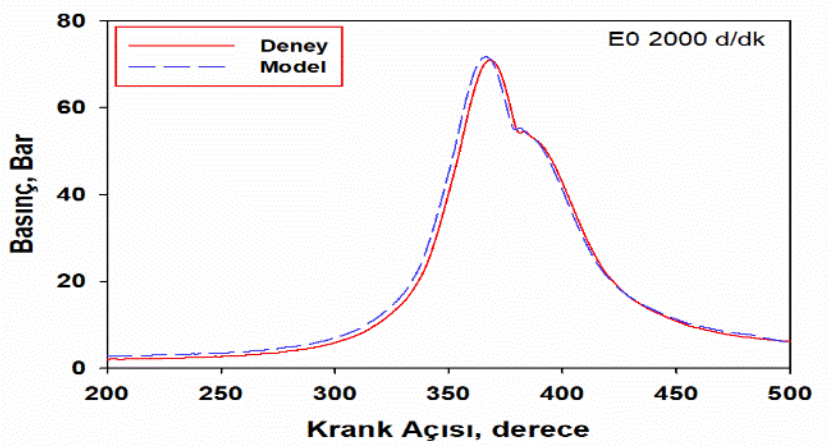
Şekil 6.68 1900 d/dk' da E0 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



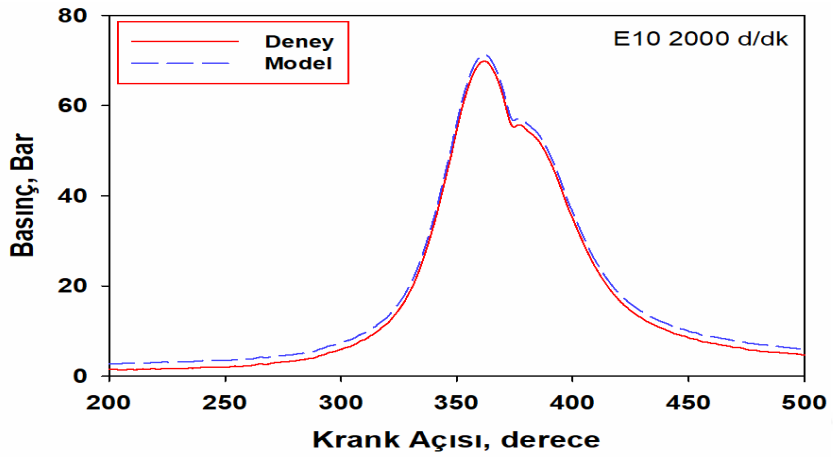
Şekil 6.69 1900 d/dk'da E10 yakıtı için silindir içi basıncı



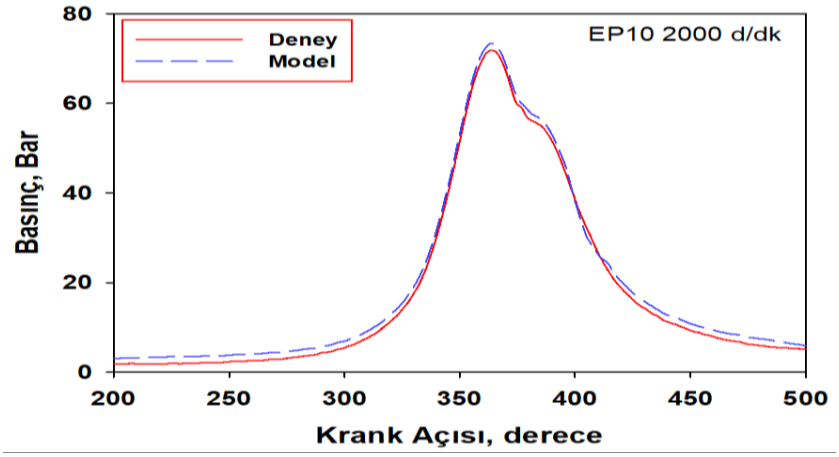
Şekil 6.70 1900 d/dk'da EP10 yakıtı için silindir içi basıncı



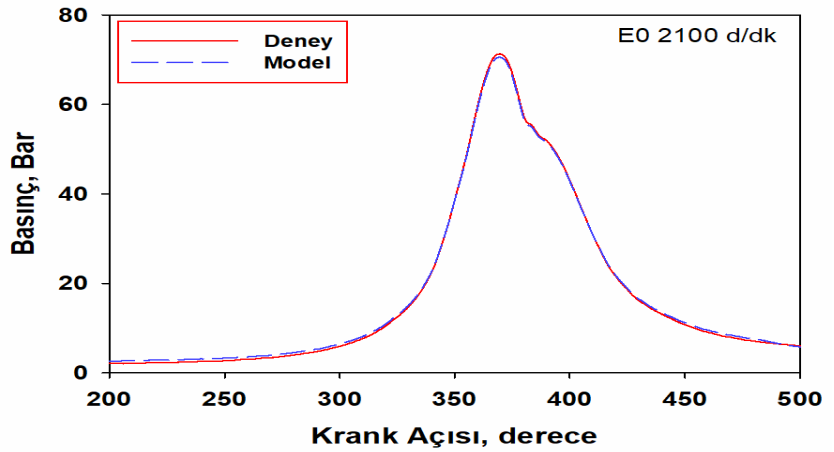
Şekil 6.71 2000 d/dk' da E0 yakıtı için silindir içi basıncı



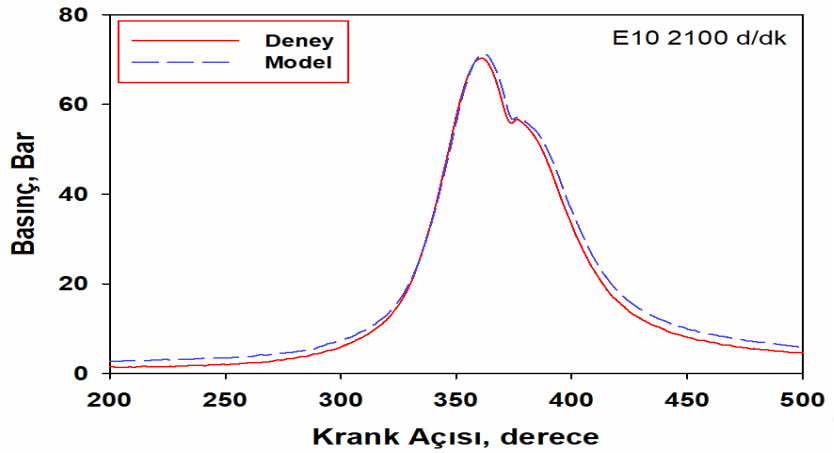
Şekil 6.72 2000 d/dk' da E10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



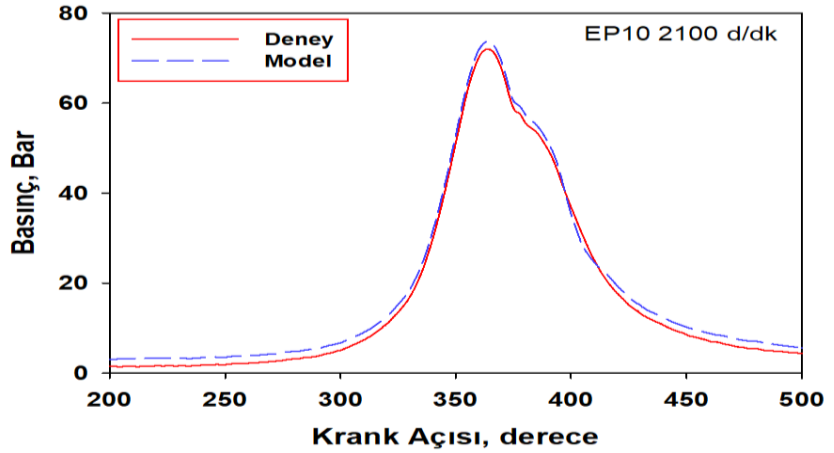
Şekil 6.73 2000 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



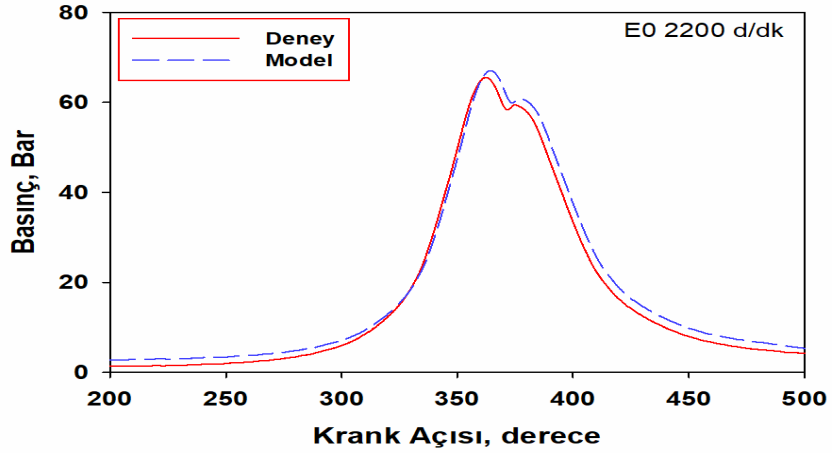
Şekil 6.74 2100 d/dk' da E0 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



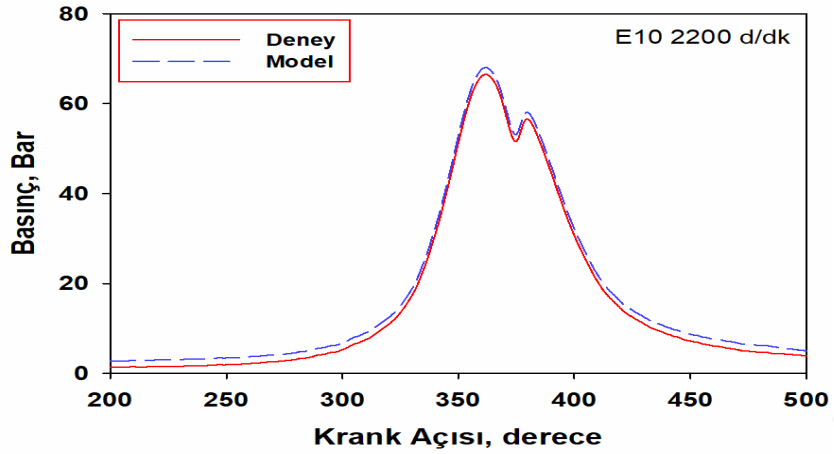
Şekil 6.75 2100 d/dk' da E10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



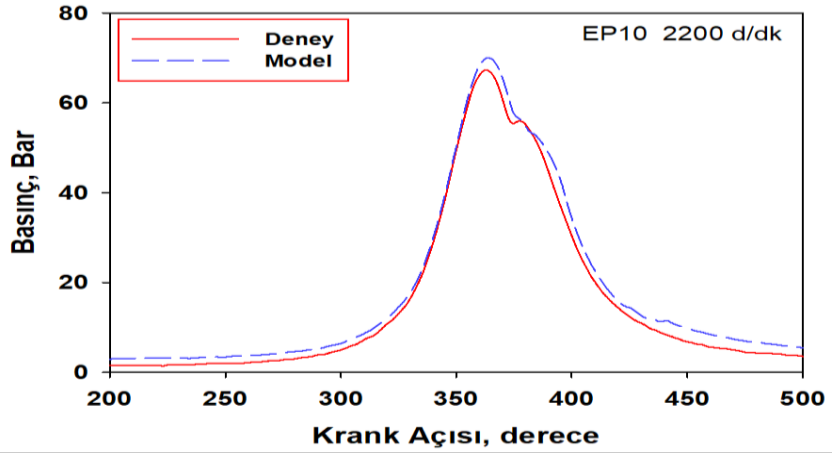
Şekil 6.76 2100 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



Şekil 6.77 2200 d/dk' da E0 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



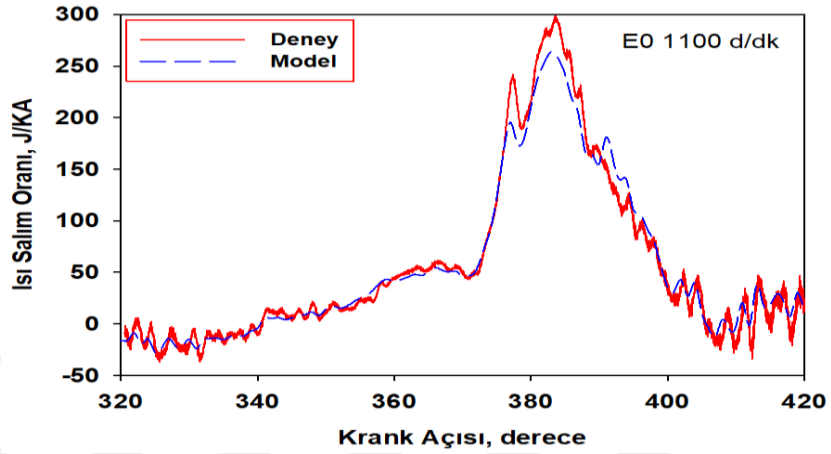
Şekil 6.78 2200 d/dk' da E10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı



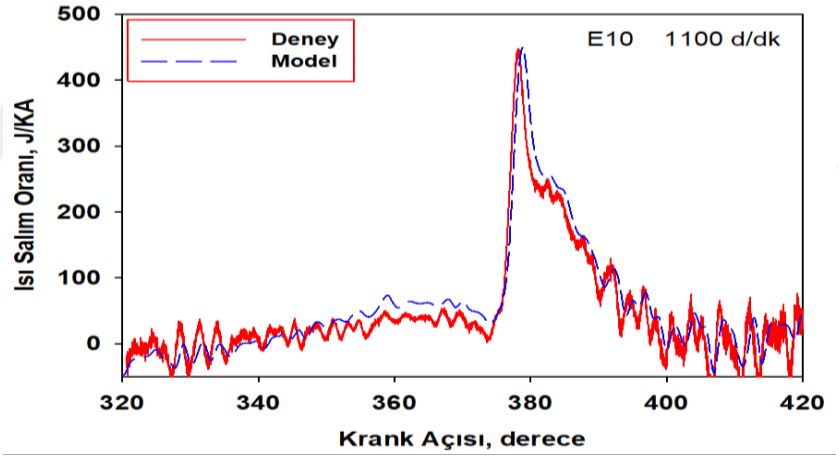
Şekil 6.79 2200 d/dk' da EP10 yakıtı için simülasyon silindir içi basıncı

6.7.4 Model Simülasyonu Isı Salımı Sonuçları

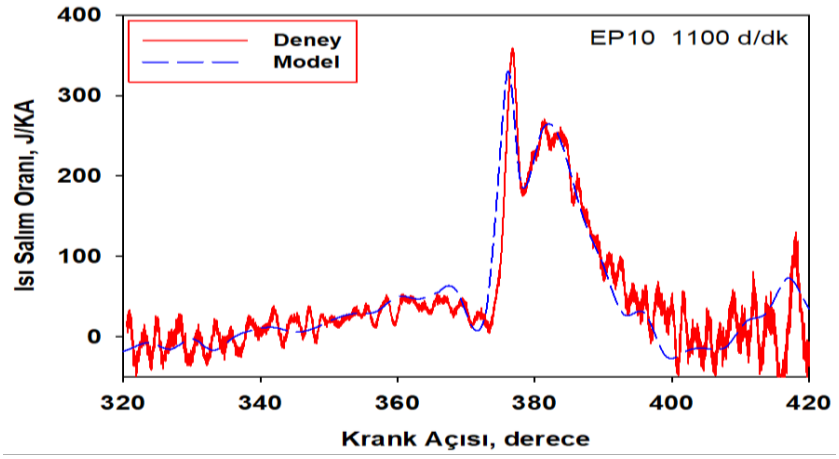
Simülasyon programı ile E0, E10 ve EP10 yakıtları ile elde edilen ısı salım oranı ve deneyler ile elde edilen ısı salım oranı sonuçları şekil 6.80-115 arasında gösterilmektedir. Deney ısı salım oranı simülasyon programı ile doğrulanmıştır.



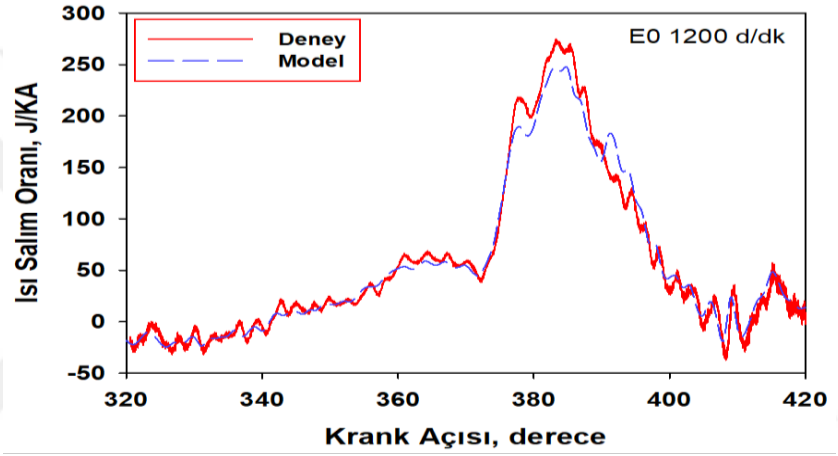
Şekil 6.80 1100 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



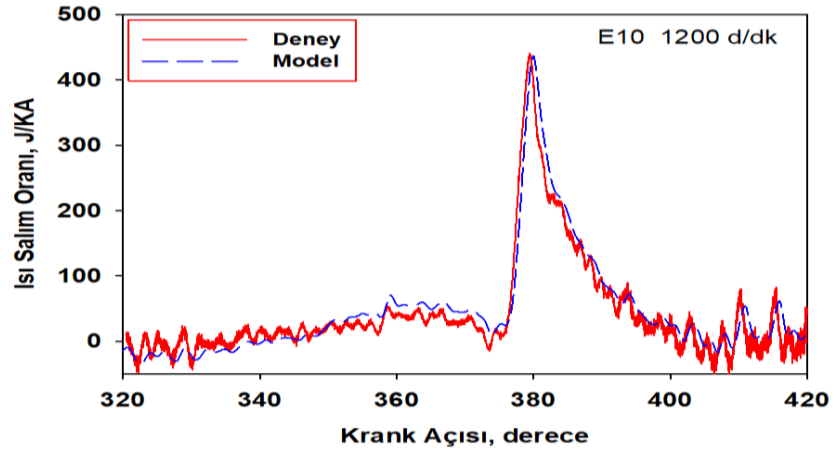
Şekil 6.81 1100 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



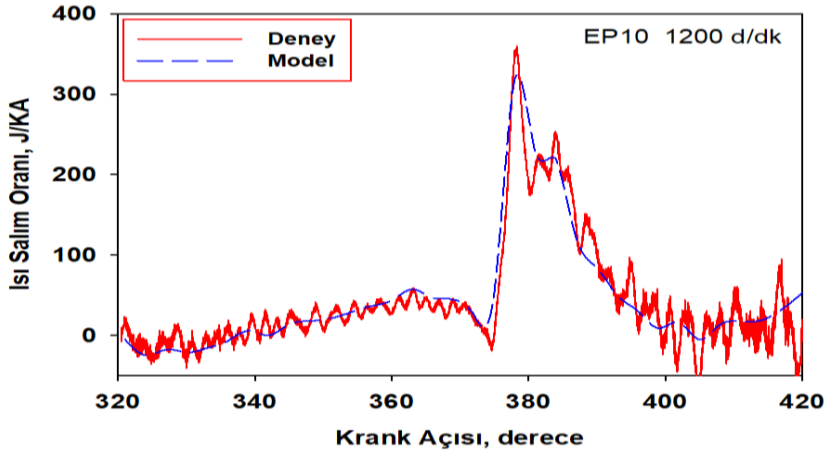
Şekil 6.82 1100 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



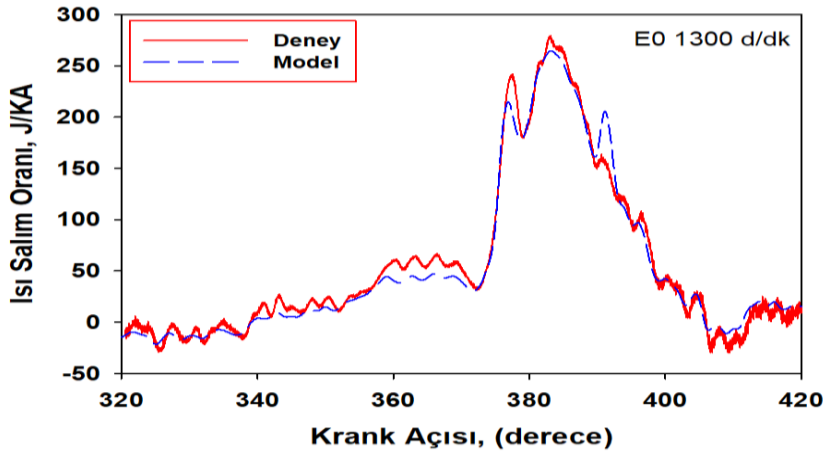
Şekil 6.83 1200 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



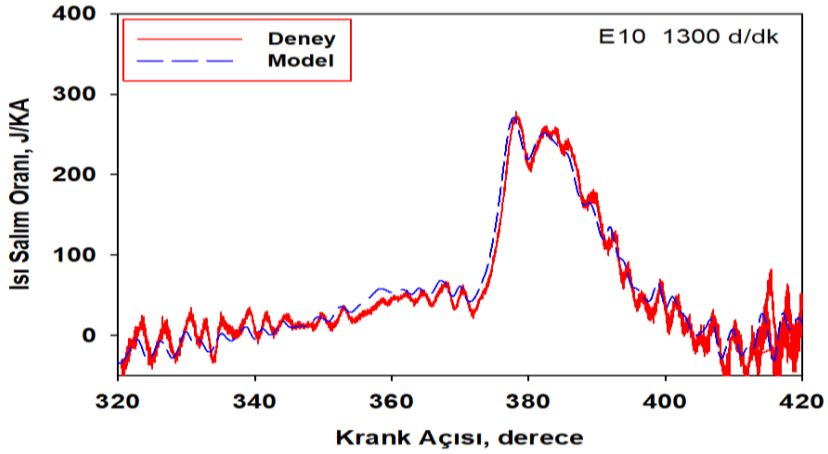
Şekil 6.84 1200 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



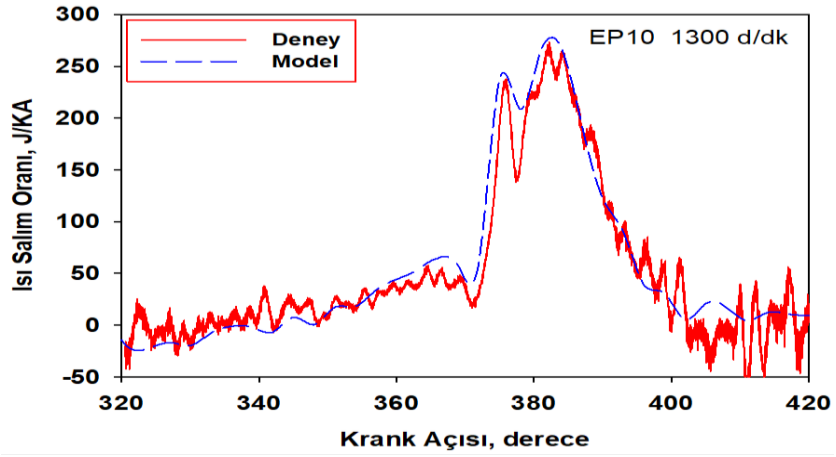
Şekil 6.85 1200 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



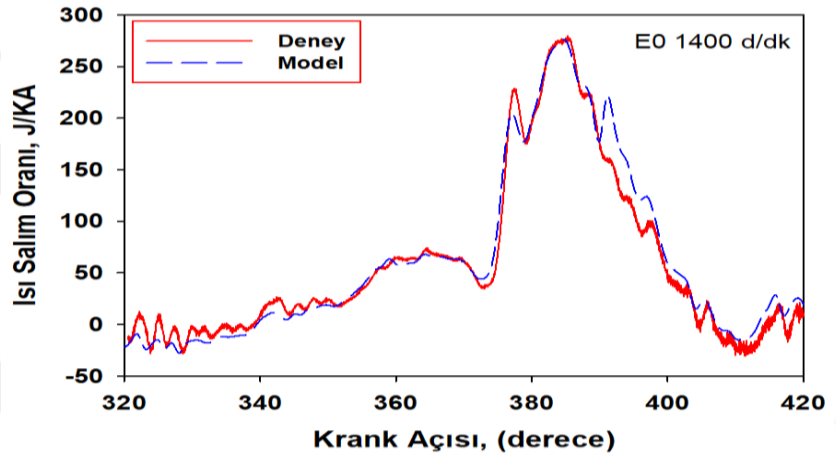
Şekil 6.86 1300 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



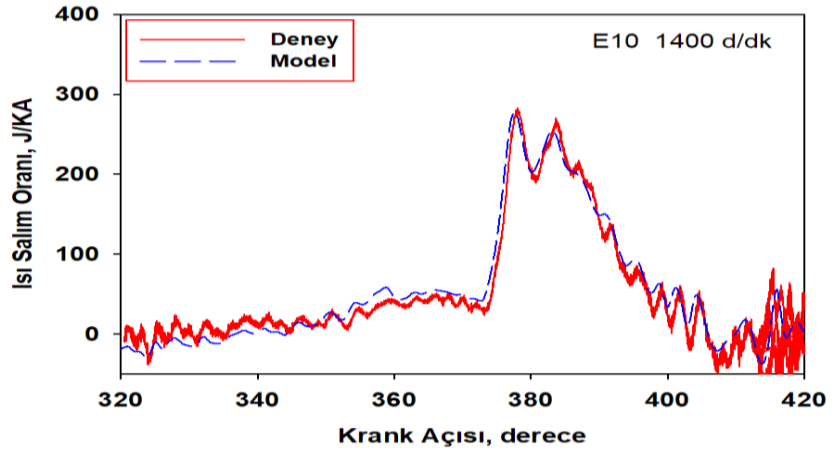
Şekil 6.87 1300 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salami



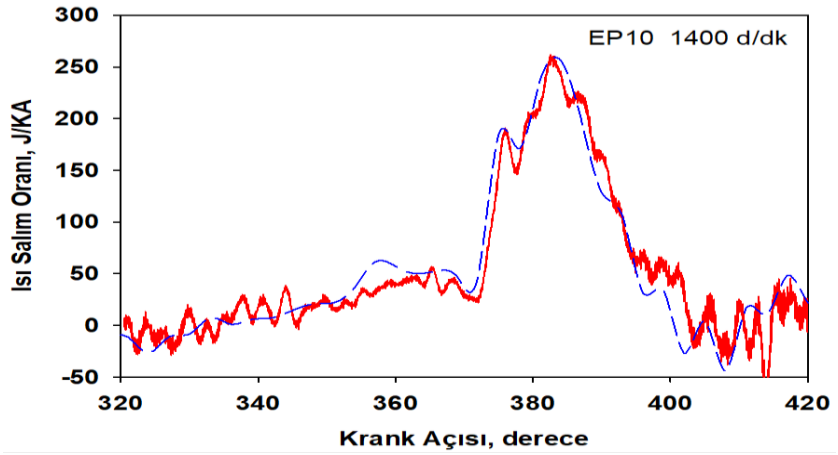
Şekil 6.88 1300 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



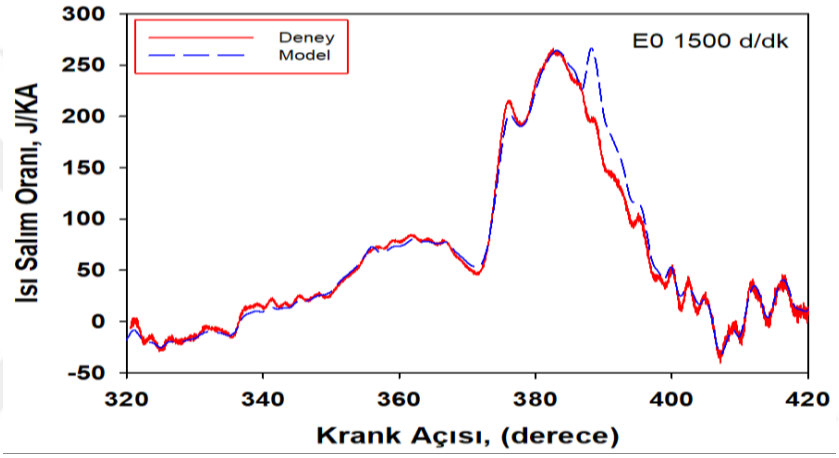
Şekil 6.89 1400 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımıı



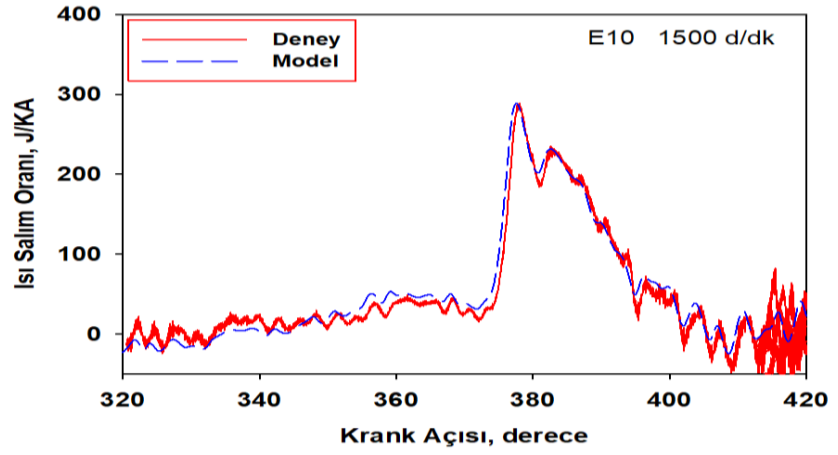
Şekil 6.90 1400 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımıı



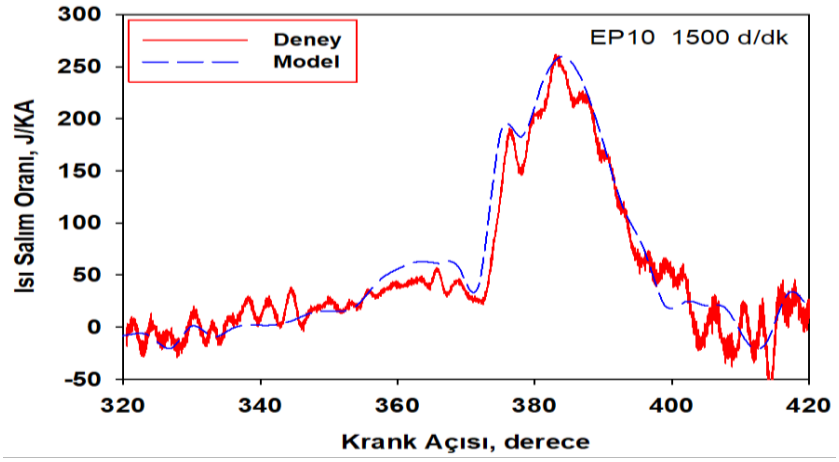
Şekil 6.91 1400 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



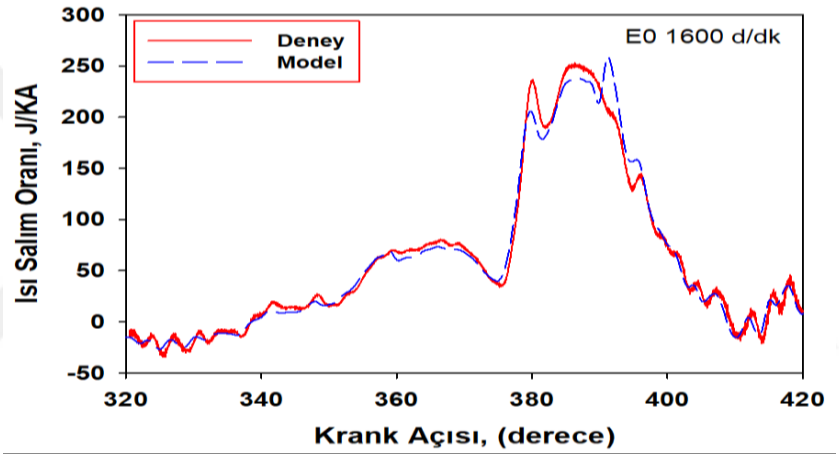
Şekil 6.92 1500 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



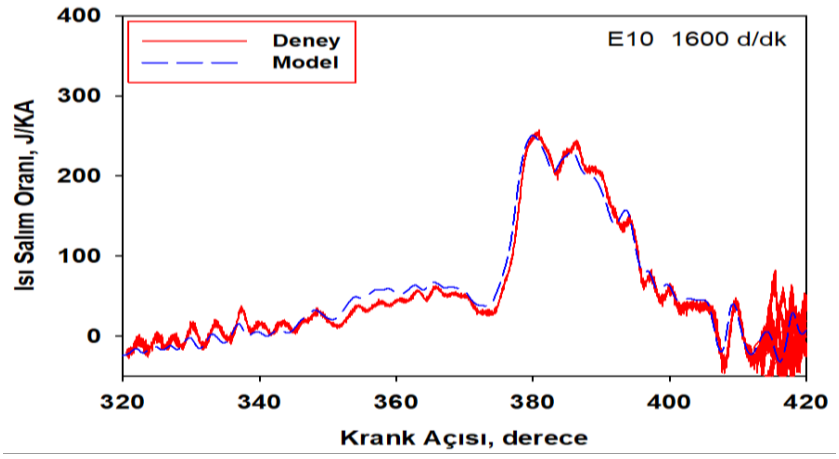
Şekil 6.93 1500 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



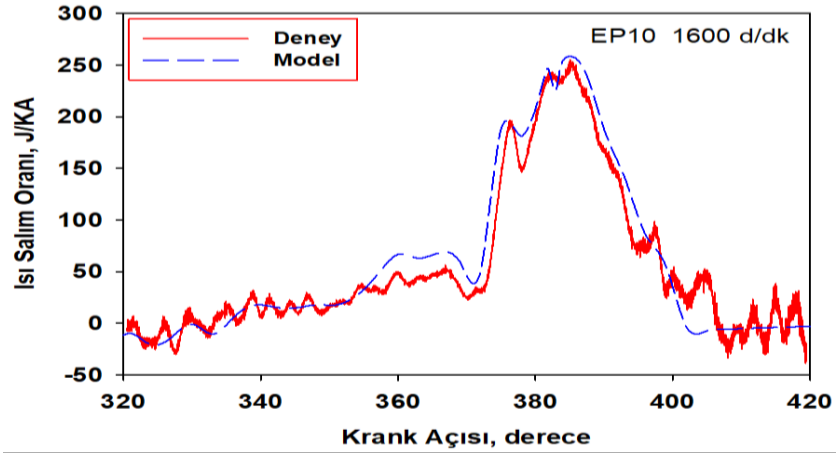
Şekil 6.94 1500 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



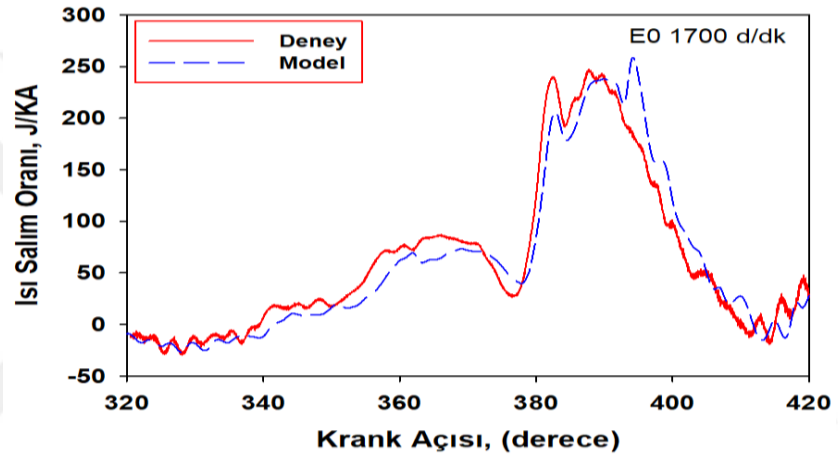
Şekil 6.95 1600 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salami



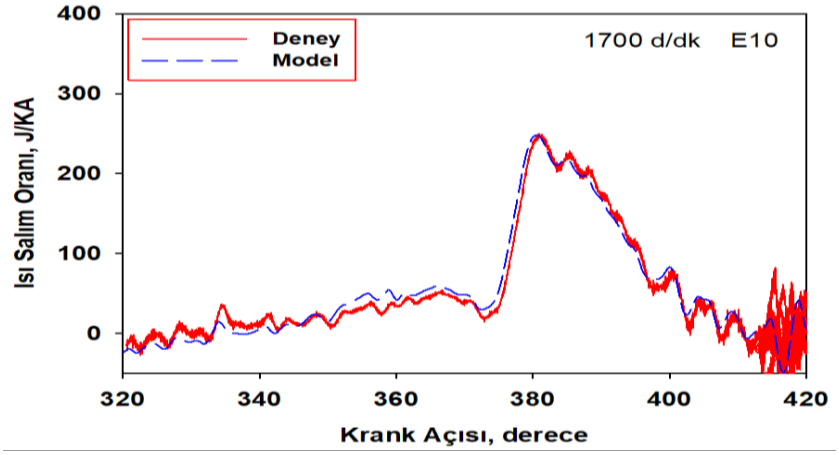
Şekil 6.96 1600 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



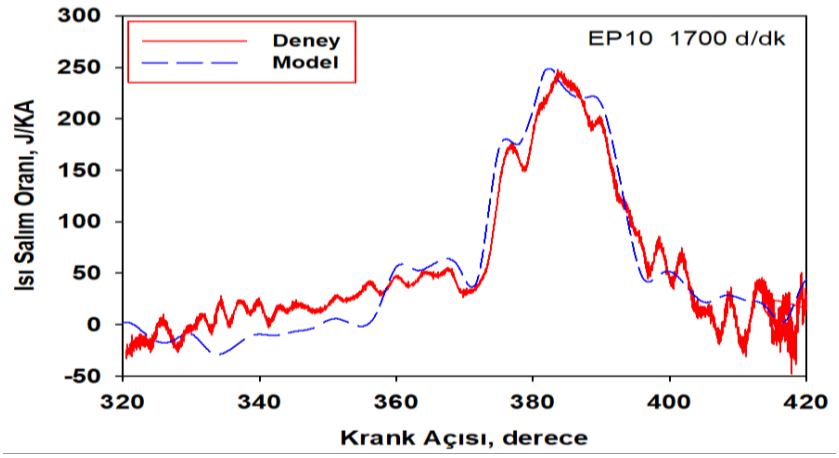
Şekil 6.97 1600 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



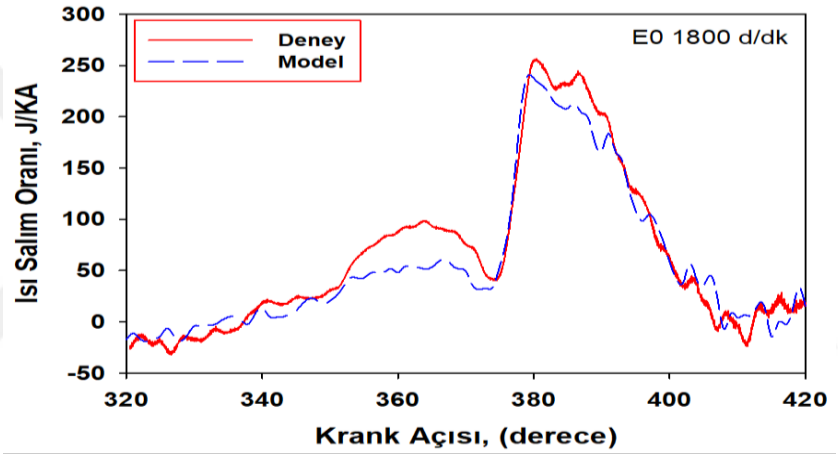
Şekil 6.98 1700 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



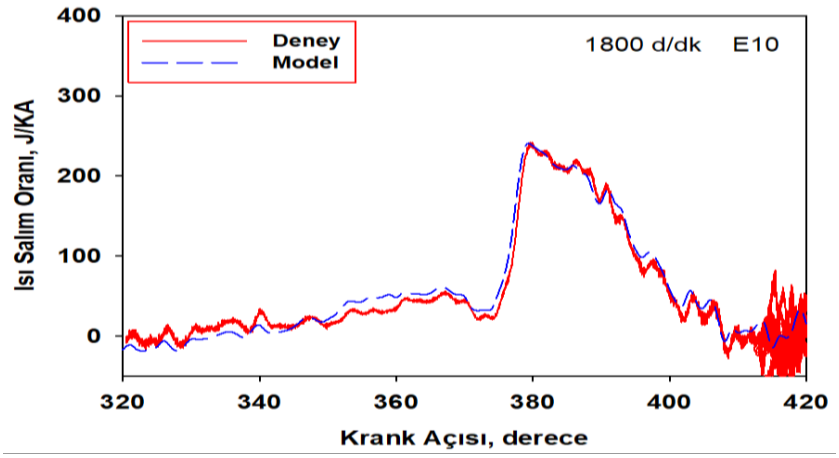
Şekil 6.99 1700 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



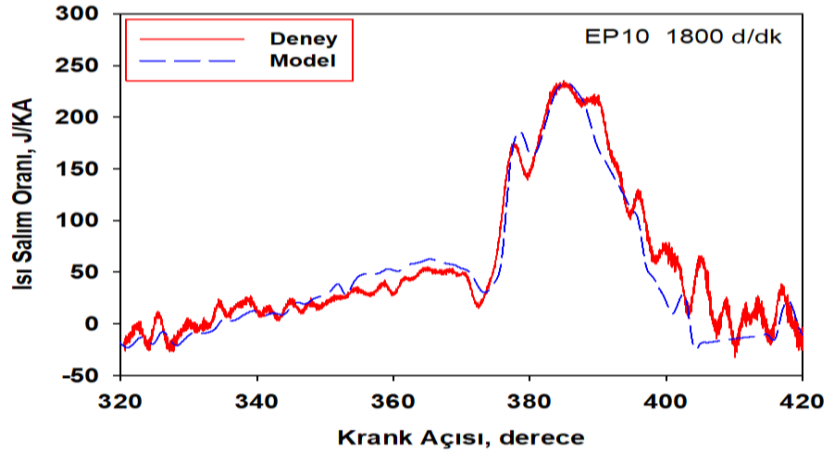
Şekil 6.100 1700 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



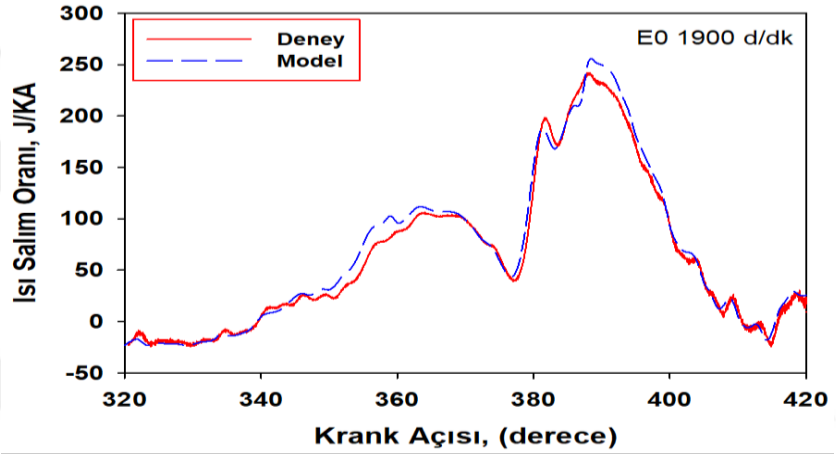
Şekil 6.101 1800 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



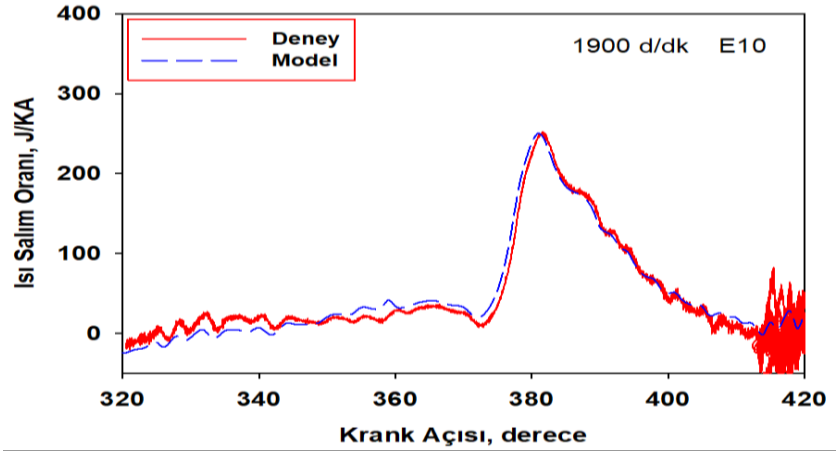
Şekil 6.102 1800 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



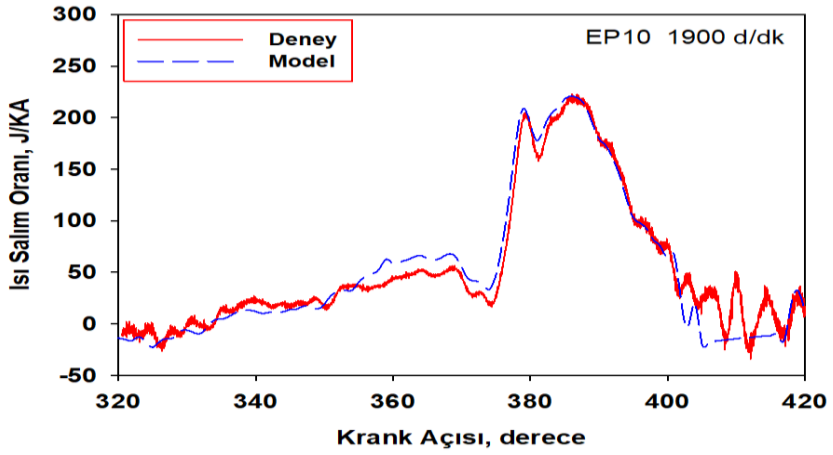
Şekil 6.103 1800 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



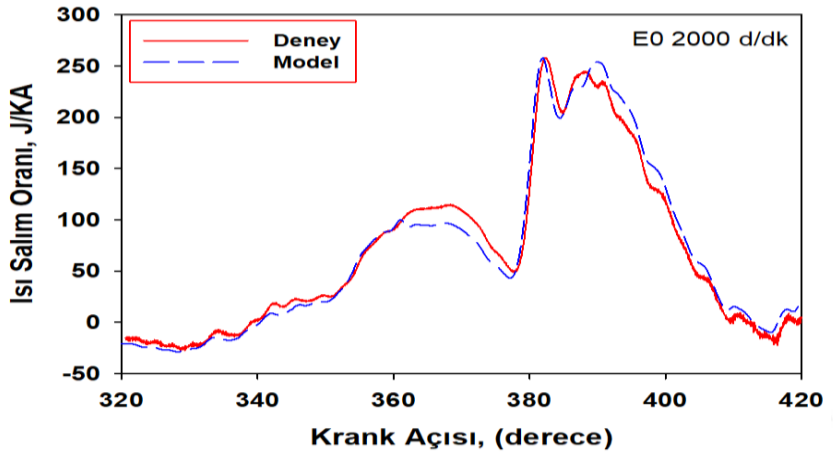
Şekil 6.104 1900 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



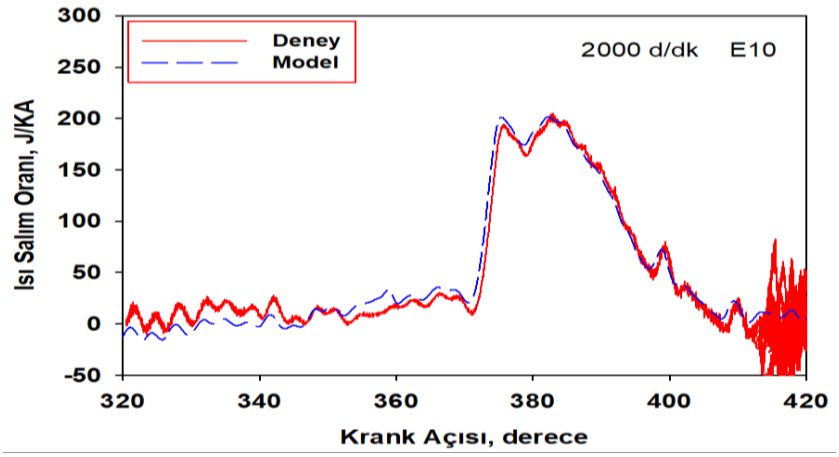
Şekil 6.105 1900 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



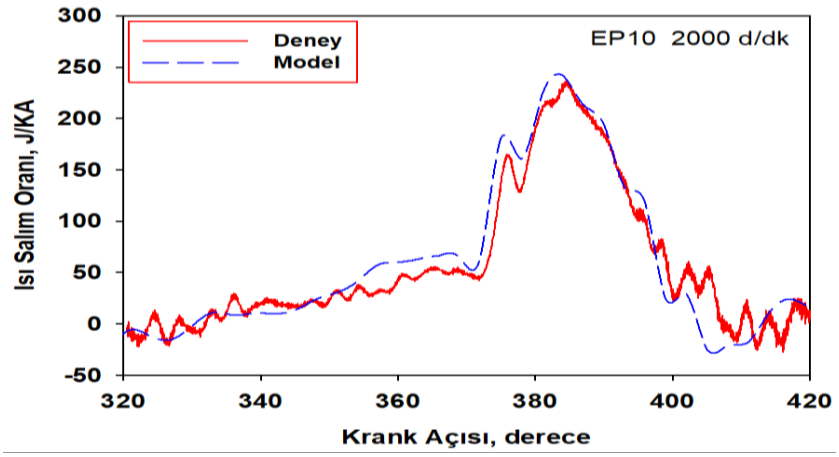
Şekil 6.106 1900 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



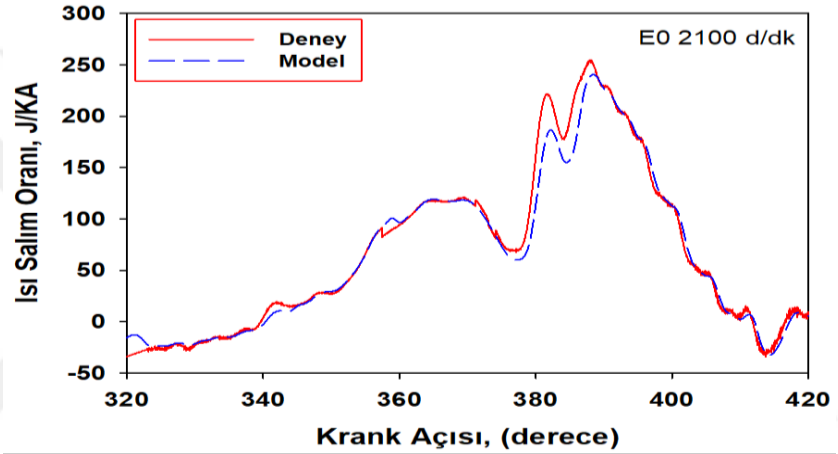
Şekil 6.107 2000 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



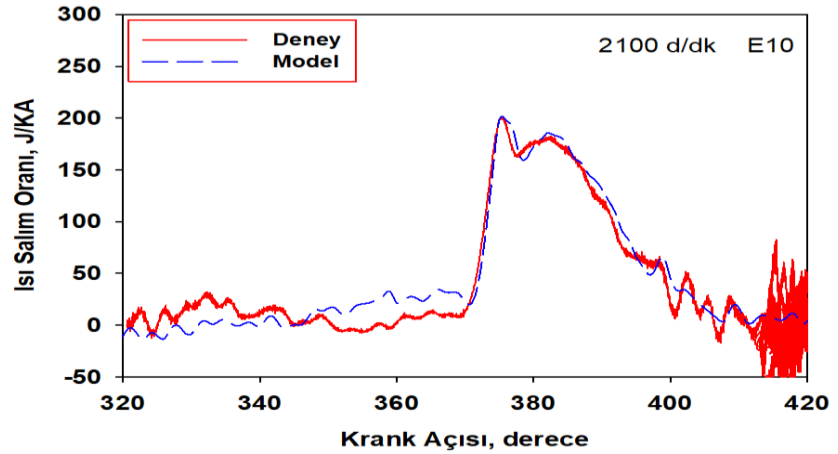
Şekil 6.108 2000 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



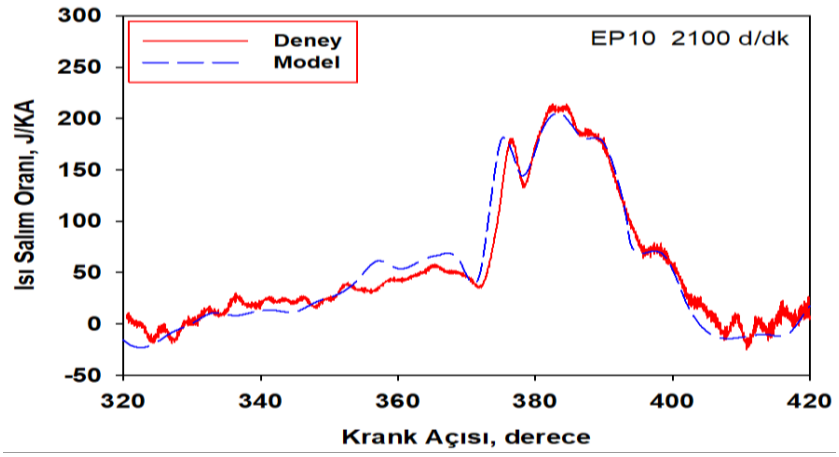
Şekil 6.109 2000 d/dk'da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



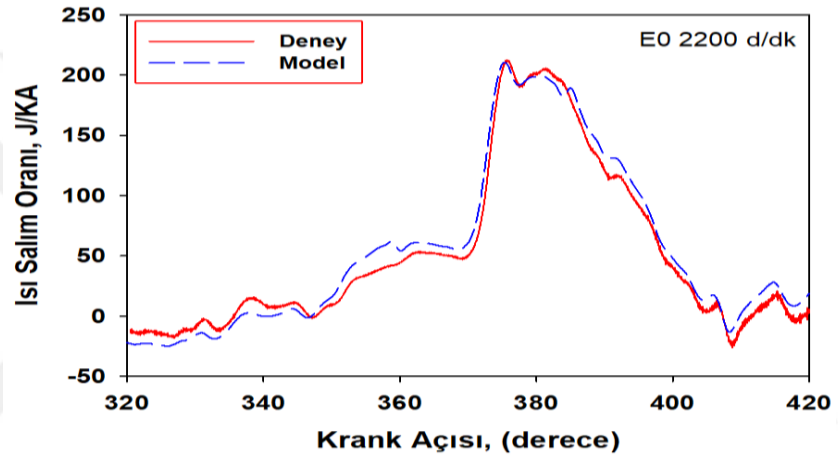
Şekil 6.110 2100 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



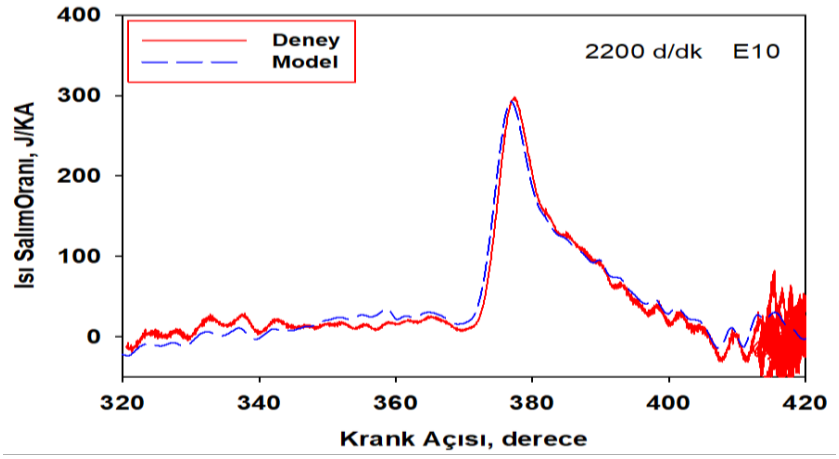
Şekil 6.111 2100 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



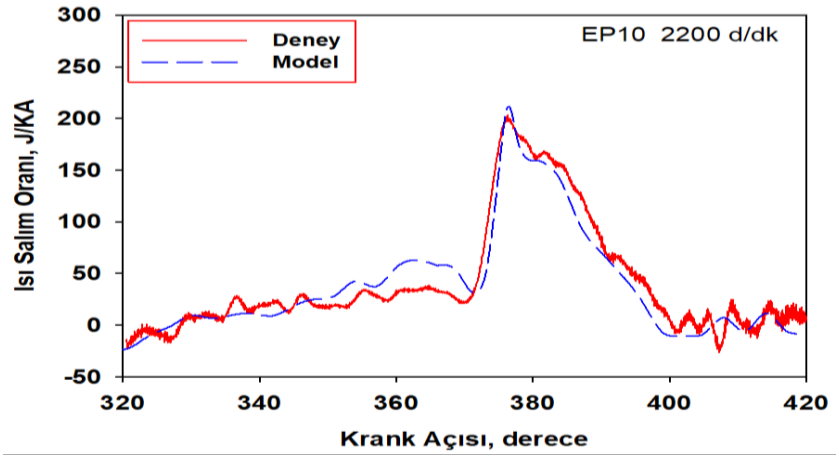
Şekil 6.112 2100 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



Şekil 6.113 2200 d/dk' da E0 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



Şekil 6.114 2200 d/dk' da E10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı



Şekil 6.115 2200 d/dk' da EP10 yakıtı için Simülasyon Isı salımı

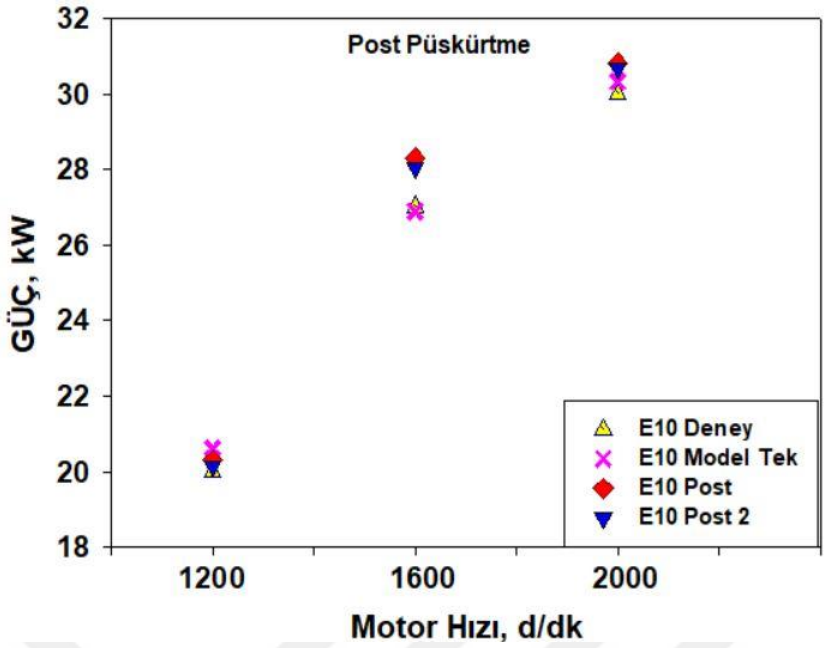
6.7.5 Model Çalışmalarında Post Enjeksiyon sonuçları

Deney motorunun aynı özellikleri kullanılarak yapılan deney motoru modeli ile gerçekleştirilen post püskürtme deneylerinde E10 yakıt kullanılarak toplam yakıtın % 10'u kadarı ana püskürme miktarından çıkartılarak, motor devrine göre değişen ana püskürtme süresi bitiminden 3 KA ve 7 KA kadar sonra post püskürtme yapılmıştır. Daha sonra ikinci bir post modelli geliştirilmiş püskürtme yakıtı olarak dizel, post püskürtme yakıtı olarak sadece saf etanol kullanılmıştır. Post püskürtme yakıtı olarak etanol kullanılan deneylerde silindir içine giren enerji miktarı sabit tutmak için ana püskürtme miktarından %10 kadar çıkartılarak, aynı miktar enerji sağlayacak miktarda etanol girilerek ana püskürtmeden sonra 3 KA ve 7 KA kadar sonra iki ayrı post püskürtme yapılmıştır. Böylelikle her iki post püskürtme deneyleri 1200d/dk, 1600 d/dk, ve 2000 d/dk hızları için gerçekleştirildiği için post püskürtme başlangıç krank mili açıları birinci post püskürtme için sırasıyla 17 KA, 19 KA ve 22 KA' ikinci post püskürtme ise sırasıyla 21 KA, 23 KA ve 25 KA'dır.

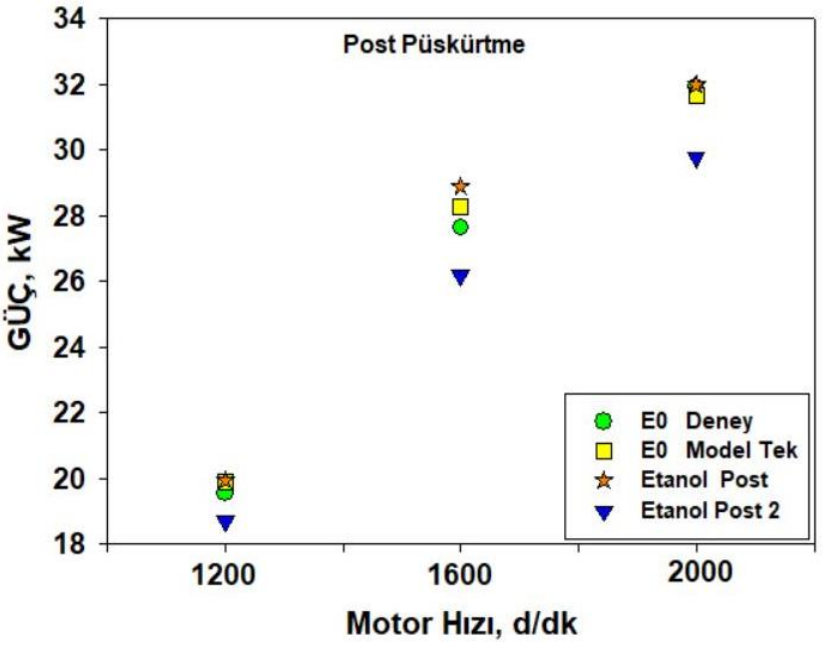
Şekil 6.94 ve Şekil 6.95'de saf etanol ve E10 yakıtı post püskürme motor gücü değişimleri, Şekil 6.96 ve Şekil 6.97'de motor torku gösterilmektedir. Motor gücü deneysel çalışmalara göre birinci E10 Post püskürtme deneylerinde her 3 devirde de artmıştır. Bu artışın nedeni ana püskürtme miktarında yanmadan kalan yakıt ile beraber yanmaya dâhil olan post kısım ile daha iyi yanma sonucu olabilir. Etanolün birinci post püskürtme (Etanol Post) ile motor gücü orta ve yüksek devirde daha

artmıştır. Düşük devirde motor gücü deneysel çalışmalar ile aynı olmuştur. Bunun nedeni yanmanın birinci fazın sonuna doğru püskürtülen etanol 1200 d/dk devirde silindir içi sıcaklığın düşük olması nedeniyle yeterince hızlı şekilde buharlaşma sıcaklığına ulaşmamasından kaynaklanabilir[69]. Ayrıca, E10 yakıtının ikinci post püskürtme (E10 Post 2) ve etanolün ikinci post püskürtme (Etanol post 2) deneylerinin her ikisinde de motor gücünde düşüşler meydana gelmiştir. Şekil 6.98 ve Şekil 6.99'da özgül yakıt tüketiminin post püskürtme ile değişimi gösterilmiştir. E10 yakıtı ile post püskürtme yapıldığında orta ve yüksek devirlerde özgül yakıt tüketiminde bir düşüş görülmektedir. Bu düşüşün nedeni ana püskürtme ile yanmanın son fazında daha iyi yanma meydana gelmesi nedeniyle olabilir[24]. Saf etanol püskürtülerek yapılan birinci post püskürtme deneyleri özgül yakıt tüketiminde özellikle orta ve yüksek devirlerde %0.18 ve %1.14 oranında arış meydana gelmesi, yapılan simülasyon motor deneylerdeki silindir içine gönderilen toplam enerjinin sabit kalması için dizel yakıt ile yapılan ana püskürtmeden çıkarılan enerji miktarı kadar post püskürtmede aynı enerji içeriğine sahip olacak kadar etanol gönderilmesi nedeniyledir. Etanolün alt ısıl değerinin dizele göre düşük olmasından dolayı silindir içine giren toplam enerji içeriğini eşitlemek post püskürtme ile içeri giren etanol miktarının ana püskürtmeden çıkarılan dizel yakıt miktarından fazla olması nedeniyle toplam yakıt tüketiminde artış meydana gelmiştir. Şekil 6.100 ve Şekil 6.101'de Post püskürtmenin NOx emisyonları üzerine etkisi, Şekil 6.102 ve Şekil 6.103'de İs emisyonları üzerine etkisi gösterilmiştir. E10 yakıtı ile birinci post püskürtme ana püskürtmeye yakın yapıldığı için is emisyonlarında önemli ölçüde düşüşler meydana gelmiştir. Dizel yakıtına göre E10 yakıtı birinci post püskürtme ile is emisyonunda 2000 d/dk'da %63.19, 1600d/dk'da %39.85, 1200d/dk'da %78.46 oranında düşüş meydana gelmiştir. Ayrıca E10 yakıtı kullanılarak yapılan ikinci post püskürtme ile E0 yakıtına göre is emisyonundaki düşüş oranları sırasıyla %57.4, %43,34, %80.07 olarak meydana gelmiştir. Saf etanol ile yapılan Etanol Post ve Etanol Post 2 deneylerinin her ikisinde de 1200 d/dk'da deneysel çalışmalara göre is emisyonları önemli oranda düşmüştür. Fakat orta ve yüksek devirlerde simülasyon programı is emisyonlarını sıfır olarak göstermiştir. O devirlerdeki motor gücünün artması ve ayrıca silindir içi sıcaklığın etkisiyle NOx

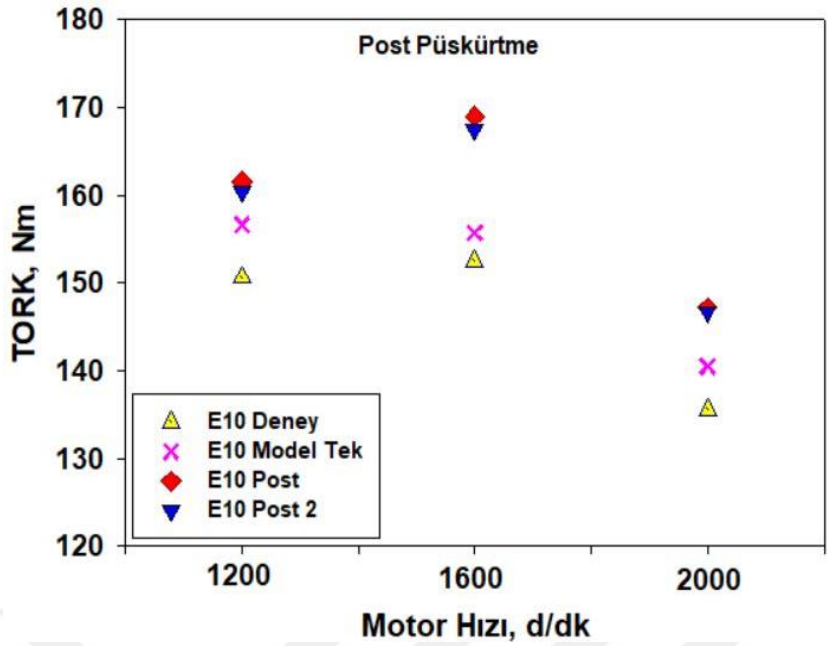
emisyonlarındaki artış, simülasyon programında is emisyonlarının sıfır olmasının doğru olduğunu göstermektedir. E10 Post deneyi ile is emisyonunda düşüş 1200 d/dk, 1600 d/dk, 2000 d/dk motor hızlarında sırasıyla %63.9, %36.7 ve %1.42 oranında iyileşmeler meydana gelmişidir. Simülasyon Etanol Post ve Etanol Post 2 deneylerinde is emisyonlarında 1200 d/dk'da sırasıyla %87.68 ve %86.87 oranında, orta ve yüksek devirlerde %100 oranında iyileşme meydana gelmiştir. NOx emisyonunda post püskürtmenin etkisi ile ısı salım oranı grafiklerinden de anlaşıldığı gibi yanmanın daha iyileşmesi ile artan silindir içi sıcaklığının etkisi ile artış meydana gelmiştir. Etanol ile ikinci post püskürtme deneylerinde NOx emisyonlarında artış daha da fazla meydana gelmiştir. Post püskürtme ile ısı salımı ve silindir içi basın değişimleri Şekil 6.104 ve Şekil 6.110 arasından gösterilmiştir. Isı salımı grafiklerinde post püskürtme ile ikinci bir ısı artışı olduğu açıkça görülmektedir. Özellikle post olarak sadece saf etanol püskürtülen deneylerde yanma devam ederken etanol içindeki bulunan oksijenin etkisi ve püskürtülen yakıt jetleri ile silindir içinde yeniden bir dönme hareketleri ile daha iyi yanmayla beraber pozitif iş etkisi artmıştır[70]. Fakat post püskürtme miktarı aynı kalacak şekilde 4 KA kadar daha ötelenerek yapıldığından yanmanın sonuna doğru yapılan post püskürtme ile ısı salımında ki ikinci artış miktarı azalmış ama süresi uzamıştır. Ayrıca, E10 yakıtı ile yapılan ikinci post püskürtme (E10 Post 2) ile ortaya çıkan ısı salımı birinci post püskürtme ısı salımına göre daha geç ve daha az oranda meydana gelmiştir. Ana püskürtmenin dizel post püskürtmenin etanol olduğu deneylerde birinci post püskürtmeye (Etanol Post) göre ikinci post püskürtme (Etanol Post 2) deneylerinde ısı salım oranı oranları daha uzun sürmesine rağmen ikinci tepe ısı salımı azalmıştır. Bu artışlar silindir içi basınlarında ikinci basınç artışı meydana getirmiştir. Tablo 6.2'de E10 yakıtı ve etanol ile yapılan post püskürtme deneylerinin performans ve emisyon sonuçları gösterilmiştir.



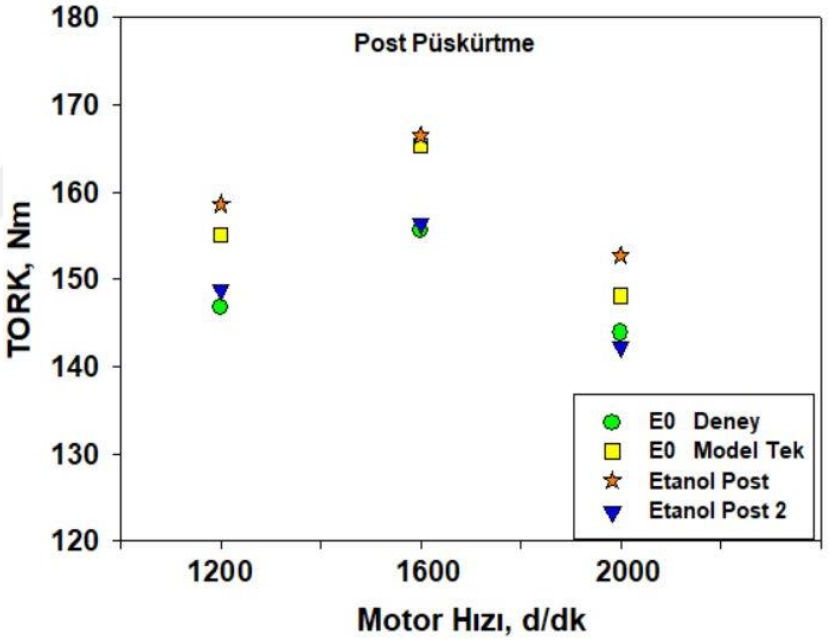
Şekil 6.116 E10 yakıtı ile post püskürtmenin motor gücü üzerine etkisi



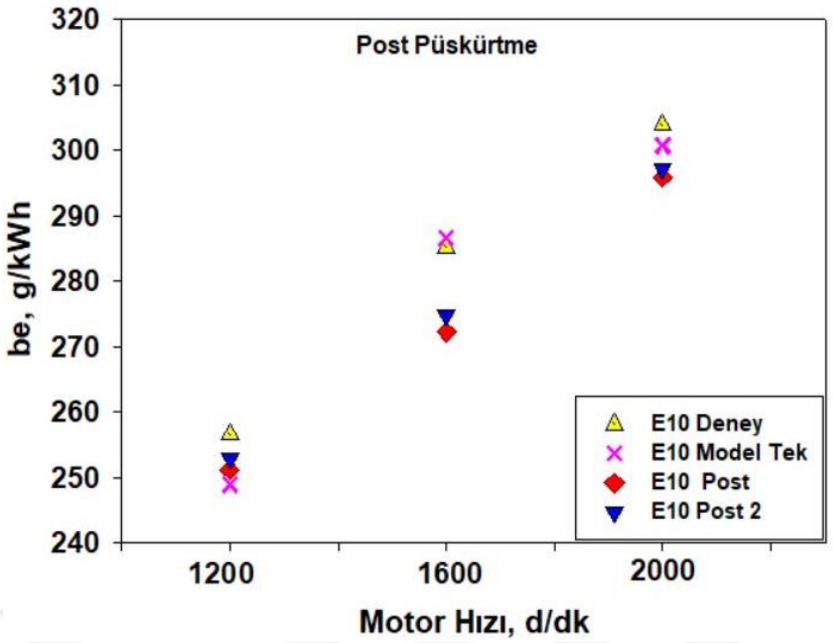
Şekil 6.117 Saf etanolün post püskürtme ile motor gücü üzerine etkisi



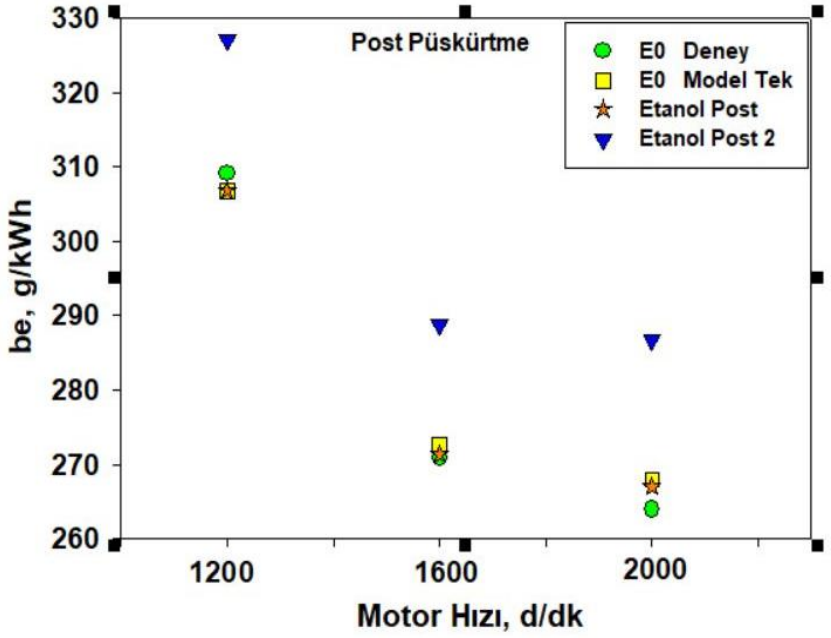
Şekil 6.118 E10 yakıtı ile post püskürtmenin motor torku üzerine etkisi



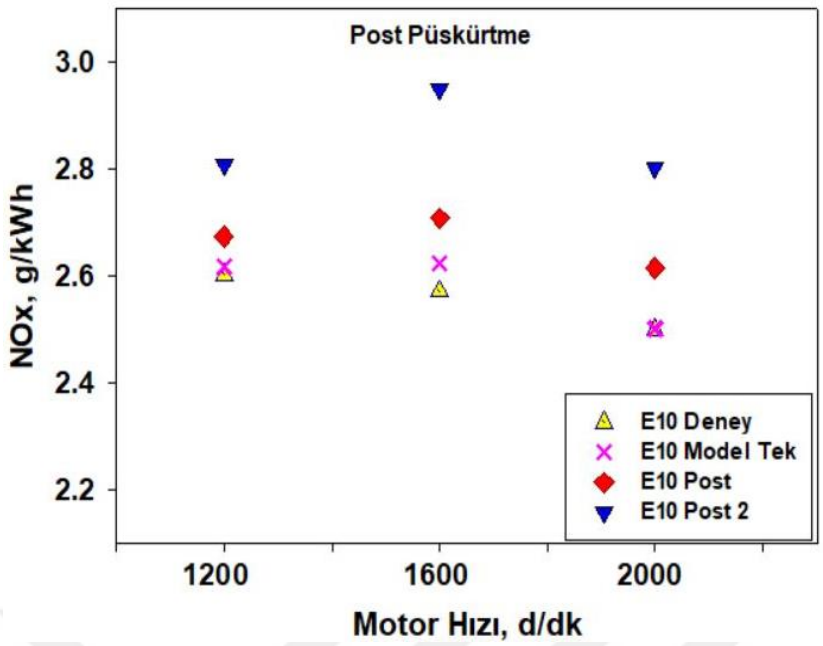
Şekil 6.119 Saf etanolün post püskürtme ile motor torku üzerine etkisi



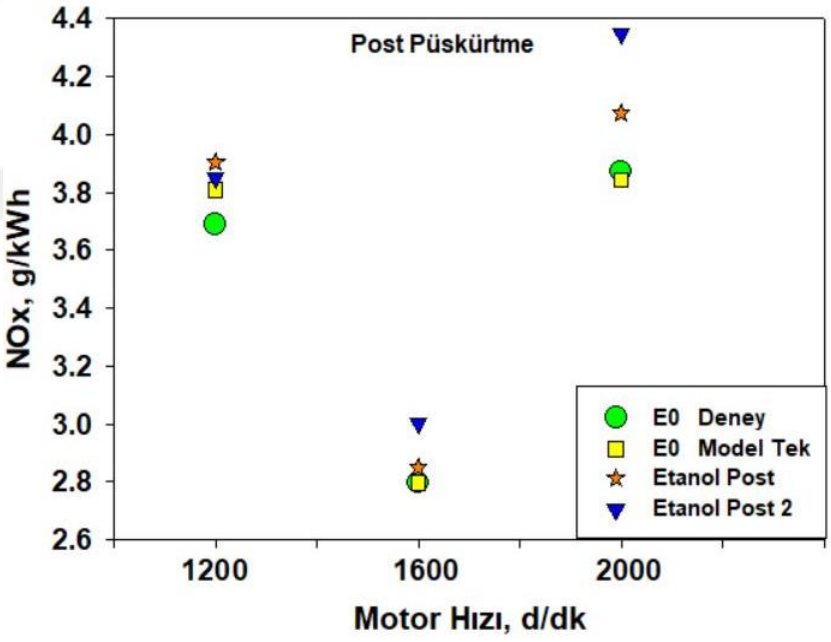
Şekil 6.120 E10 yakıtı ile post püskürtmenin özgül yakıt tüketimi üzerine etkisi



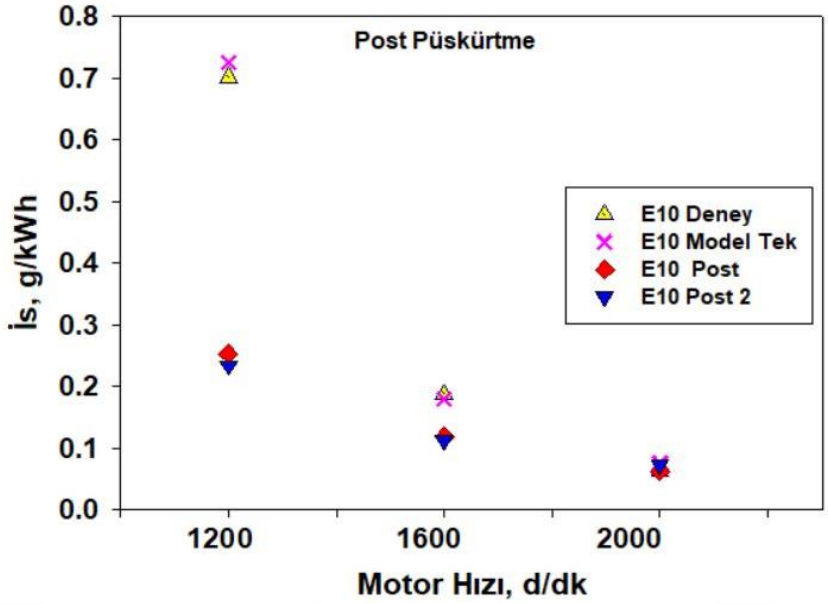
Şekil 6.121 Etanolün post püskürtme ile özgül yakıt tüketimi üzerine etkisi



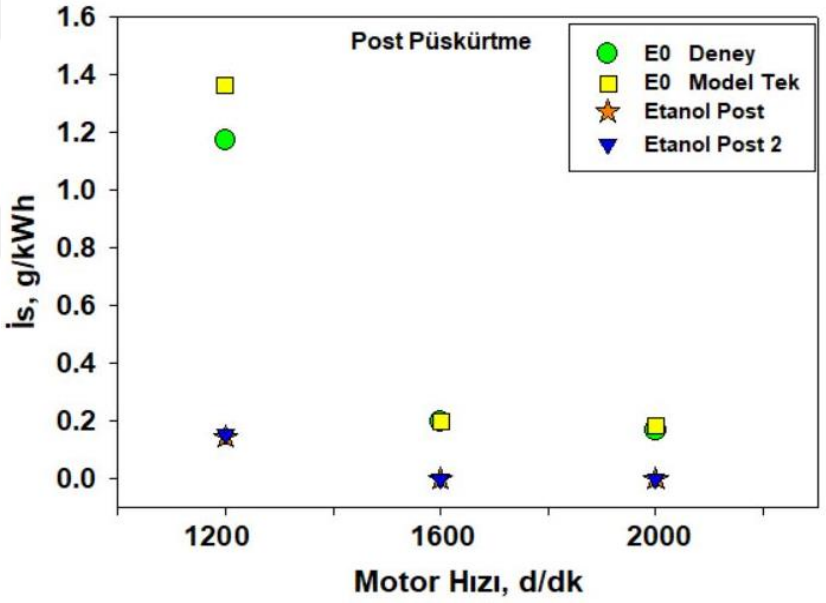
Şekil 6.121 E10 yakıtı ile post püskürtmenin NOx emisyonu üzerine etkisi



Şekil 6.122 Etanol yakıtı ile post püskürtmenin NOx emisyonu üzerine etkisi



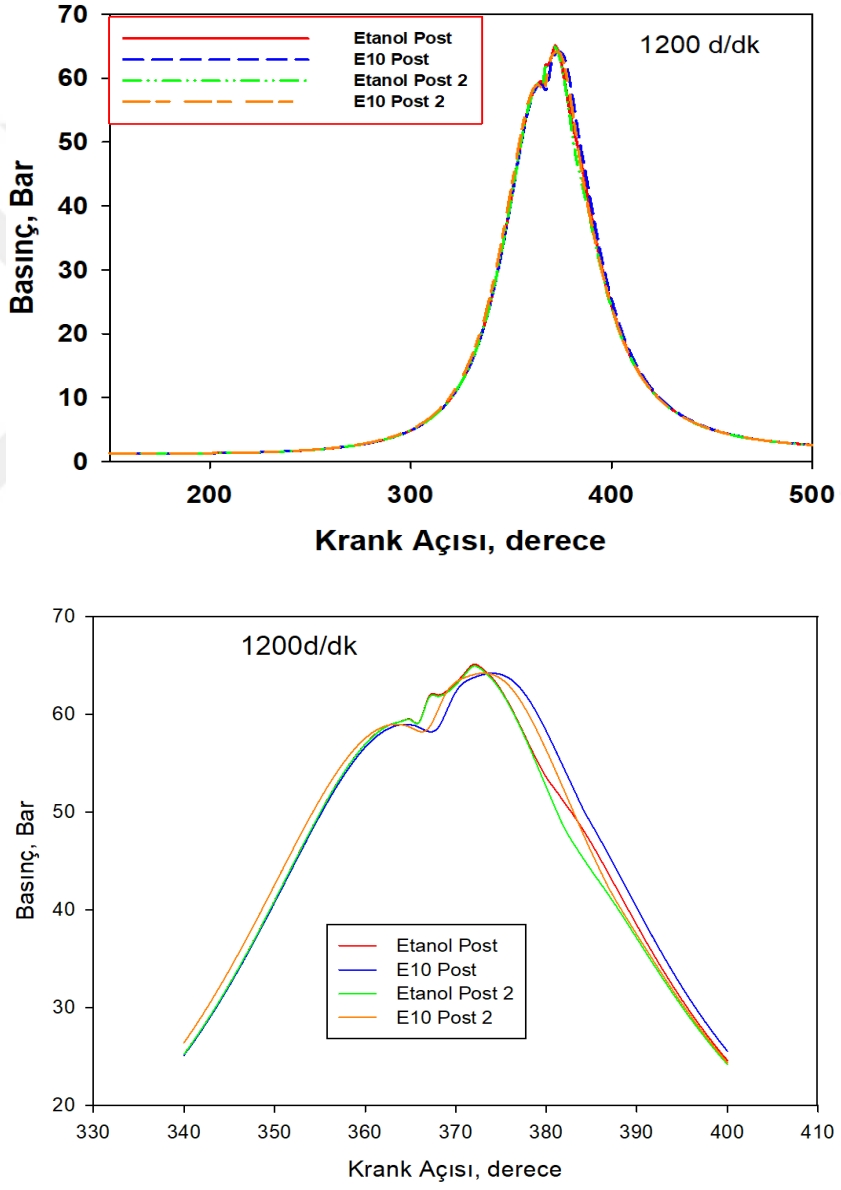
Şekil 6.123 E10 yakıtı ile post püskürtmenin is emisyonu üzerine etkisi



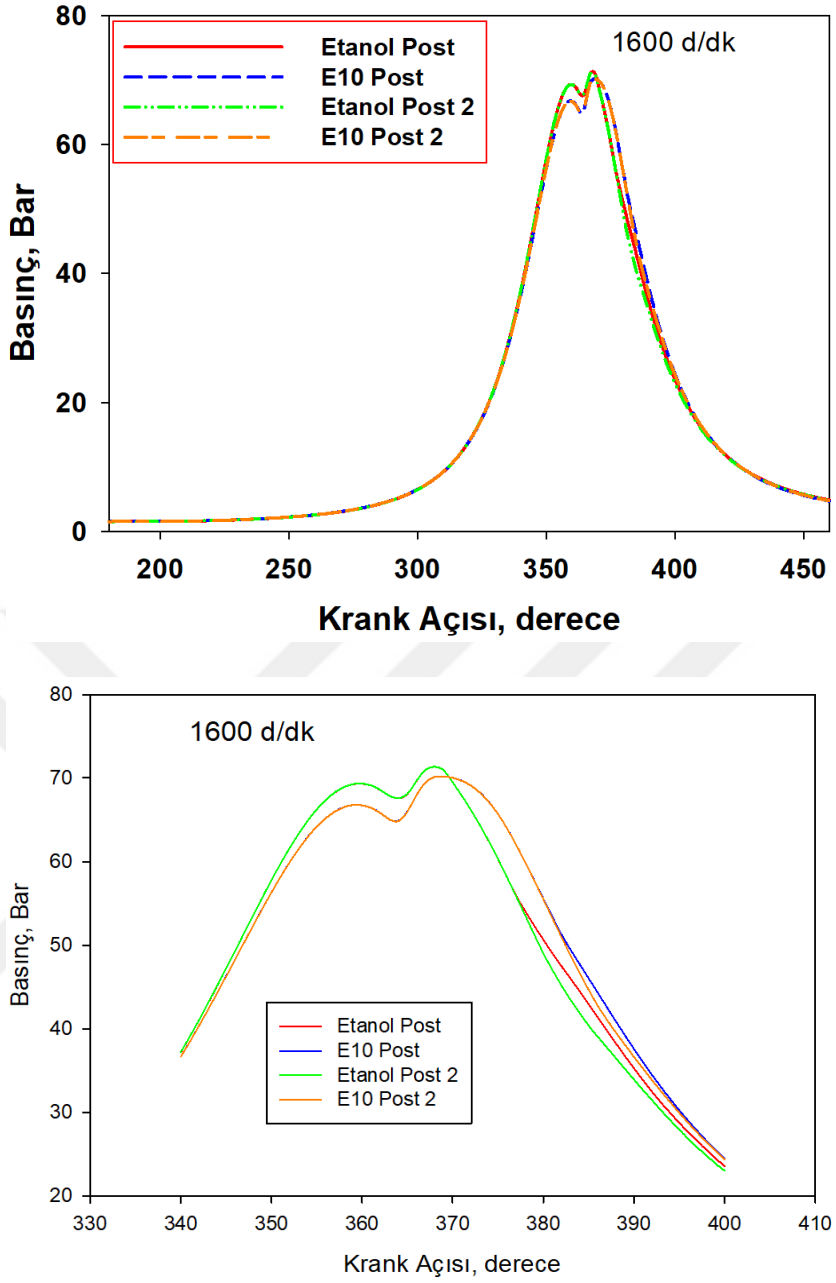
Şekil 6.124 Etanol yakıtı ile post püskürtmenin is emisyonu üzerine etkisi

Tablo 6.2 Etanol ve E10 yakıtları ile yapılan post püskürtme emisyon sonuçları

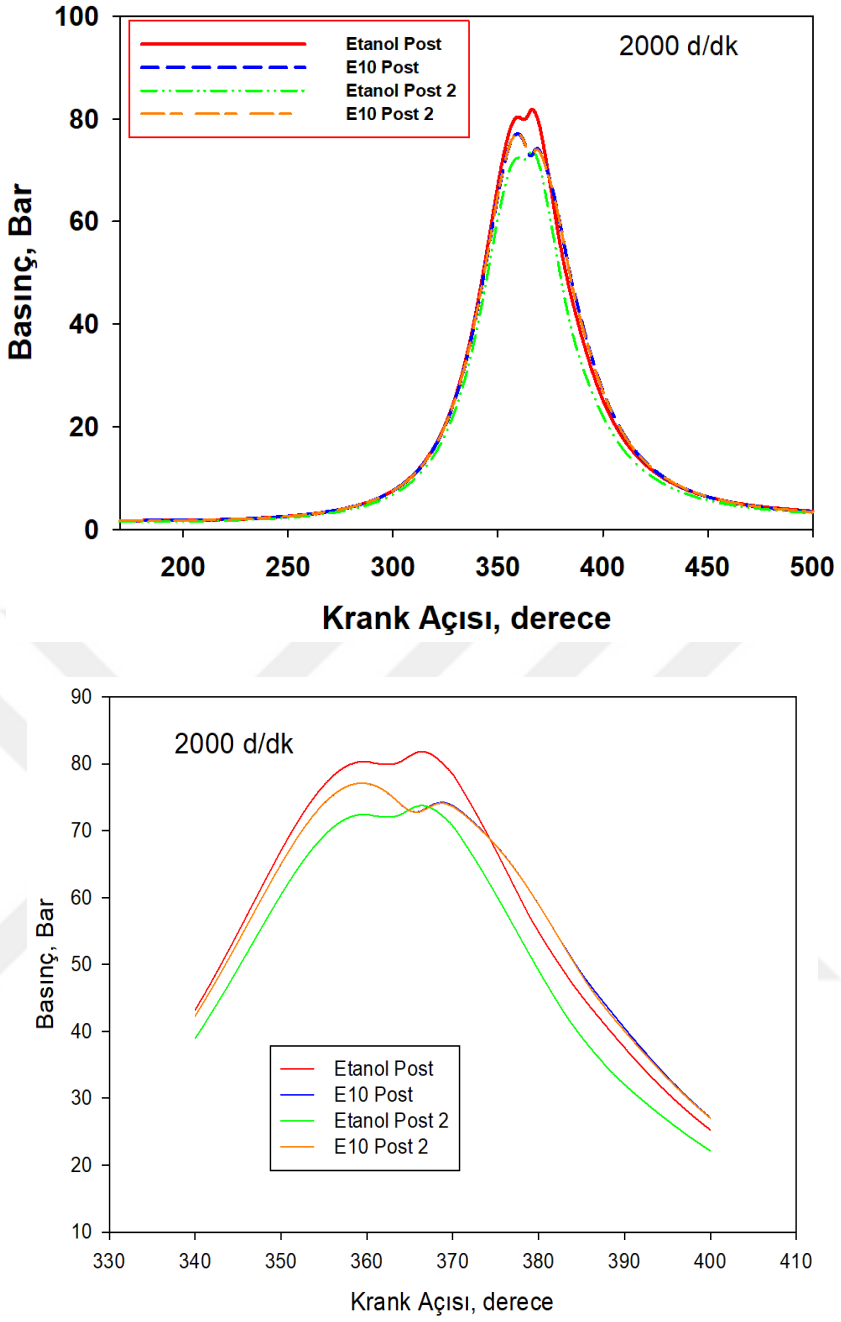
	E10 POST										ETANOL POST									
DEVİR	E10 POST					E10 POST 2					ETANOL POST					ETANOL POST 2				
	Tork	Güç	ÖYT	NOx	İs	Tork	Güç	ÖYT	NOx	İs	Tork	Güç	ÖYT	NOx	İs	Tork	Güç	ÖYT	NOx	İs
2000	147.19	30.83	295.91	2.62	0.062	146.55	30.69	297.19	2.80	0.072	152.70	31.98	266.97	4.07	0.000	142.14	29.77	286.81	4.34	0.000
1600	169.00	28.32	272.17	2.71	0.119	167.42	28.05	274.74	2.95	0.112	166.43	28.88	271.31	2.85	0.000	156.31	26.19	288.88	3.00	0.000
1200	161.53	20.30	251.16	2.67	0.253	160.38	20.15	252.96	2.81	0.234	158.59	19.93	306.84	3.90	0.144	148.77	18.70	327.12	3.85	0.154



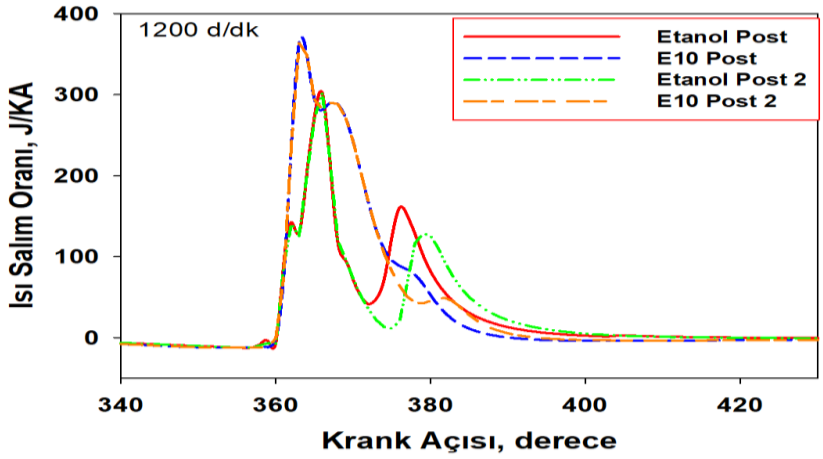
Şekil 6.125 Etanol ve E10 yakıtının post püskürtme ile 1200 d/dk'da basınçları



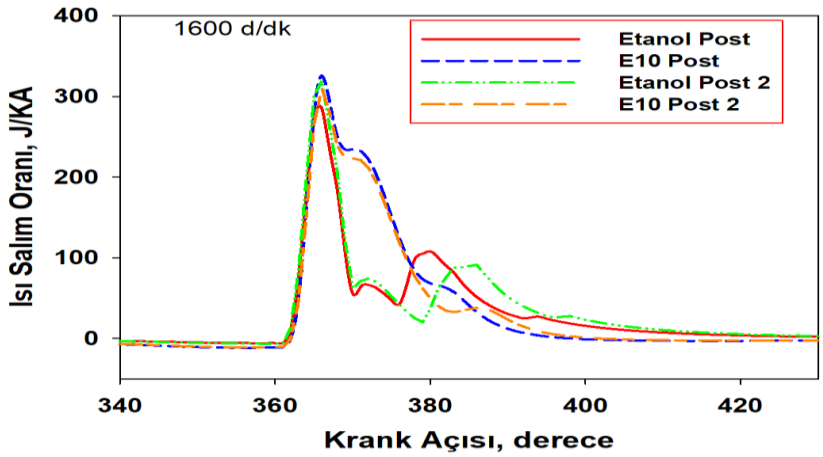
Şekil 6.126 Etanol ve E10 yakıtının post püskürtme ile 1600 d/dk'da basınçları



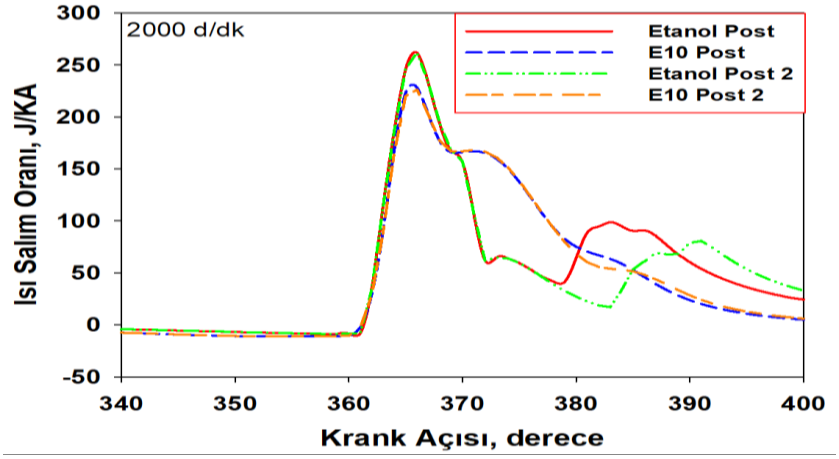
Şekil 6.127 Etanol ve E10 yakıtının post püskürtme ile 2000 d/dk'da basınçları



Şekil 6.128 Etanol ve E10 yakıtının post püskürtme ile 1200 d/dk'da ısı salımı



Şekil 6.129 Etanol ve E10 yakıtının post püskürtme ile 1600 d/dk'da ısı salımı



Şekil 6.130 Etanol ve E10 yakıtının post püskürtme ile 2000 d/dk'da ısı salımı

7
Sonuç ve Öneriler

Deneysel çalışmada, bahçe traktörleri için üretilen 3 silindirli bir dizel motor kullanılmıştır. Etanolün, bahçe traktörlerinin en çok çalıştığı yük şartlarında belli devirlerde çalıştırılıp egzoz emisyonlarına ve motor performansına etkisi incelenmiştir. Motorun öncelikle karakteristiğini belirlemek için dizel yakıt ile çalıştırılmış ve deney çalışma devirlerindeki karakteristiği ortaya çıkarılmıştır.

Yapılan bu çalışma ile emülsiyon ve fumigasyon yöntemleri ile elde edilen deney sonuçları ve AVL BOOST programı ile oluşturulan model simülasyon sonuçları dizel yakıt ile elde edilen deney ve model simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Etanol ile gerçekleştirilmiş deneylerde emülsiyon ve fumigasyon yöntemi kullanılmıştır. Emülsiyon yöntemi için dizel ve etanolün birbiri içinde çözünebilirliği ve oluşturulan karışımların faz ayrışma sürelerine sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Emülsiyon yöntemi ile yapılan testler öncesinde sıcaklığın etanol dizel karışımlarına etkisini belirlemek için %99.9 saflıktaki yerli ve tarım ürünlerinden elde edilmiş etanol ve %2 oranında izopropanol ile oluşturulan E5, E7.5, E10, E15, E20, E30 emülsiyonları 25 ^{o}C ile 50 ^{o}C arasında sıcaklıklarda ve +7^{o}C soğuk kış şartında etkileri gözlemlenmiştir. Sıcaklık arttıkça etanolün dizel içinde faz ayrımı olmadan kalma süresinde arış meydana gelmiştir. Emülsiyondaki etanol miktarı artıkça daha hızlı gerçekleşmiştir. Bütün karışımların +7^{o}C sıcaklıkta dakikalar içinde belirgin bir şekilde ayrışma meydana gelmesi ve sıcaklıkla bu sürenin uzamasından dolayı deneylerin yapıldığı soğuk kış aylarında emülsiyonların sıcaklıkları artırılarak kullanıldı. Daha sonraki çalışmalarda veya hali hazırdaki traktörlerde etanol dizel karışımlarının kullanımında yakıt deposu içinde ve yakıt hattı üzerinde ısıtıcılar kullanılabilir.

Fumigasyon yöntemi ile yapılan testlerde %5 ve %10 etanol motorun emme manifolduna özel yerleştirilen aparat ile tutturulan benzin enjektörü ile

püskürtülerek gerçekleştirilmiştir. Benzin enjektörü Arduino ve sürücü kart ile oluşturulan elektronik kontrol ünitesi (EKU) ile kontrol edilmiştir. Fumigasyon yöntemi kullanılarak yapılan deneylerde emülsiyon ve dizel yakıt kullanılarak yapılan deneylere göre belirgin şekilde artış meydana gelmiştir. Maksimum gücün elde edildiği devirde en yüksek güç EP10 yakıtı kullanımı ile E0 yakıtından %11.18 ve E10 yakıtın göre %18.24 artış meydana gelmiştir. EP5 yakıtı orta ve düşük devirlerde motor gücünde ve motor torkunda en yüksek değerler elde edilmiştir. EP5 yakıtının maksimum tork devrinde motor torkunda E0 yakıtına göre %11.09 oranında artış gerçekleşmiştir. Maksimum tork devrinde EP5 yakıtının yanma sonu basıncının diğer yakıtlara göre daha büyüktür. Ayrıca fumigasyon yöntemi ile emülsiyon yöntemine göre yanma sonu basınçlar daha büyük sonuçlar meydana gelmiştir. Fumigasyon yönteminde kullanılan EP5 yakıtı ile is ve NOx emisyonlarında belli devirlerde artış meydana gelmiş fakat EP10 yakıtları NOx ve İs emisyonunda aynı devirlerde düşüşler gerçekleşmiştir. E10 yakıtı ile NOx emisyonunda bütün devirlerde önemli oranlarda düşüler olmuştur. E10 yakıt ile E0 yakıtına göre maksimum güç devir olan 2000 d/dk'da %35.42 oranında ve maksimum tork devri olan 1600d/dk'da %8.03 oranında düşüş meydana gelmiştir. Ayrıca E10 yakıtı ile E0 yakıtına göre NOx emisyonunda ortalama %19.04 oranında azalma meydana gelmiştir. E5 yakıt ile bütün devirlerde özellikle düşük devirlerde iyileşmeler meydana gelmiştir. E0 yakıt ile E0 yakıtına göre maksimum tork devrinde %2.93 oranında düşüş gerçekleşirken 1400d/dk devirde %45.8 oranında bir iyileşme gerçekleşmiştir. Fumigasyon yönteminde HC emisyonunda EP10 yakıtı ile E0 yakıtına göre 2200d/dk devirde %94.28 oranında iyileşmiştir. Ayrıca EP10 yakıtı ile HC emisyonunda ortalama %73.65 oranında iyileşme meydana gelmiştir.

Yapılan deneyler AVL BOOST v2016 analiz programı ile modellenerek motorin ve E5 ve E10 yakıtlarının emülsiyon ve fumigasyon yöntemlerinin kullanarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. AVL BOOST programında yanma modeli olarak Vibe tabanlı Target Pressure 2 zone modeli, ısı salımı için Woschni 1990 modeli kullanılmıştır. AVL BOOST programı ile elde edilen silindir içi basıncı ısı salımı oranı (Heat Ralease Rate), motor gücü, motor torku, özgül yakıt tüketimi, NOx ve İs emisyon sonuçları, deneyler ile elde edilen sonuçlara yakın sonuçlar elde

edilmiştir. AVL BOOST ile elde sonuçların doğruluğunu göstermek için dizel yakıt ile koşturulan simülasyon ve deney sonuçlarının silindir içi basıncı ve ısı salım oranı sonuçları her bir devir için ayrı ayrı grafiklendirilmiştir. Simülasyon model deneyleri sonucunda NOx ve İs emisyonları % 2 sapmanın altında bir farkla tutturulmuştur.

AVL BOOST simülasyon programı ile ana püskürtme yakıtının dizel post püskürtmenin etanol olduğu ve E10 yakıtının kullanıldığı Post püskürtme uygulamaları yapılarak emisyonlar ve performans üzerine etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda öncelikle %10 etanol içerikli etanol-dizel emülsiyonu kullanılarak iki ayrı krank mili açısında post (art) püskürtme yapılmıştır. Motor deneylerinde kullanılan yakıt miktarının %10 kadarı ile post püskürme yapılmıştır. Post püskürtmede kullanılan yakıt miktarı toplam enerji içeriği değişmemesi için ana püskürtmeden çıkartılmıştır. Daha sonra dizel yakıt kullanılan deneylerde post püskürtme olarak sadece saf etanol kullanılmıştır. Ana püskürtmenin dizel, post püskürtmenin sadece etanol kullanılan deneylerde silindir içine giren toplam enerji miktarının aynı şekilde kalması için ana püskürtmeden çıkarılan enerji miktarı kadar post püskürtmede içeri gönderilmiştir. İki krank açısında etanol post püskürtme yapılmıştır.

E10 emülsiyon yakıtı ile Post püskürtme yapılarak is emisyonunda önemli ölçüde azalmalar meydana gelmiştir. Dizel yakıtına göre E10 yakıtı birinci post püskürtme ile is emisyonunda 2000 d/dk'da %63.19, 1600d/dk'da %39.85, 1200d/dk'da %78.46 oranında düşüş meydana gelmiştir. Ayrıca E10 yakıtı kullanılarak yapılan ikinci post püskürtme ile E0 yakıtına göre is emisyonundaki düşüş oranları sırasıyla %57.4, %43,34, %80.07 olarak meydana gelmiştir. E10 yakıtı motor deneylerine göre E10 Post deneylerinde NOx emisyonunda 2000 d/dk, 1600 d/dk ve 1200 d/dk' sırasıyla % 4.62, %5.29 ve 2.27 oranında ve E10 Post 2 deneyleri ile %12.10, %14.68 ve % 7.87 oranına artış meydana gelmiştir.

Simülasyon Etanol Post deneylerinde is emisyonlarında 1200 d/dk'da %87.6, orta ve yüksek devirlerde %100 oranında iyileşme meydana gelmiştir. Etanol Post 2 deneyi ile E0 yakıtına göre NOx emisyonlarında 1200 d/dk, 1600 d/dk ve 2000 d/dk'da sırasıyla %4.33, %7.31 ve %12.21 oranında artış meydana gelmiştir.

Ayrıca Etanol Post 2 ile Etanol Post deneyine göre 1200 d/dk'da %1,33 oranında düşüş meydana gelmiştir. Etanol ile yapılan post püskürtme deneylerinde dizel yakıtına göre İs emisyonunda 2000d/dk ve 1600d/dk'da %100 oranında düşüş meydana gelmişken 1200 d/dk'da Etanol post püskürtme ile %87.68 oranında ve Etanol Post 2 deneyi ile %86.87 oranında düşüş meydana gelmiştir.

I. Dizel-Etanol emülsiyon oluşumunda sıcaklığın pozitif etkisinden dolayı emülsiyonların ısıtılmasında gerek laboratuvar çalışmalarında gerekse de taşıt depolarında yakıt deposu veya yakıt hattı üzerinde ısıtıcılar kullanılabilir veya yakıt hattı üzerinde sıcak bölge oluşturulup karışımın belli bir sıcaklıkta kalması sağlanabilir.

II. Dizel motorlu tarım makinelerinde emisyon iyileştirme ve motor performansı açısından %5 ve %10 etanol kullanımı uygundur. Ayrıca %5, %7 ve %15 gibi oranlar denenebilir.

III. Yapılan deneylerde emülsiyon ve fumigasyon yönteminin motor performansına ve emisyonlarına farklı etkileri olması iki yönteminde geliştirilecek bir EKU ile beraber entegreli bir şekilde çalıştırılabilir.

IV. E10 yakıtı ile yapılan E10 Post 2 deneyinde, E10 Post deneyinin orta ve düşük devirlerde İs emisyonlarındaki sonuçlara göre %5.81 ve %7.48 oranı gibi önemli azalışlar meydana gelmesine rağmen yüksek devirde E10 Post deneyine göre %15.71 artış meydana gelmiştir. Yüksek devirlerde E10 Post, orta ve düşük devirlerde E10 Post 2 uygulaması daha stabildir.

V. Etanol Post ve Etanol Post 2 deneylerinin dizel yakıtına göre 3 devrin ortalaması olarak İS emisyonunda sırasıyla %95.89 ve %95.6 oranında iyileşme meydana gelmiştir. Fakat NOx emisyonunda ortalama %4.25 ve %7.95 oranında artış meydana gelmiştir. Etanol Post 2 deneylerinde, Etanol Post deneylerine göre NOx emisyonlarında orta ve yüksek devirlerde

sırasıyla %5.36 ve %6.7 oranında artış meydana gelmesi ve düşük devirde is emisyonunda artış meydana gelmesi nedeniyle Etanol Post deneyine göre kullanıma elverişli olmadığı görülmüştür. Ana püskürtmeye daha yakın post püskürtme veya post püskürtme miktarı daha küçük birkaç tane post püskürtme çalışmaları yapılarak NOx emisyonunu iyileştirme çalışmaları yapılabilir.

VI. AVL BOOST programı çift yakıtlı post püskürtme uygulamalarında etanol post püskürtme miktarları, püskürtme başlama açıları değiştirilerek ve karışım yakıtların kullanıldığı çalışmalarda da post olarak etanol kullanımı örnekleri çoğaltılarak gerçek deney çalışmaları için daha fazla veri elde edilebilir.

VII. Bütün bu çalışmaların verileri değerlendirildiğinde tek boyutlu analizlerin, yeterli sayıda deney sonuçlarıyla kalibre edilerek çift enjektörlü ve çift yakıtlı gerçek motor deneyleri yapılabilir sonucuna ulaşılmıştır.

Kaynakça

[1] U.S. Energy Information Administration, International Energy Outlook, Washington DC, 2018

[2] IARC, World Health Organization, "Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths", Press 221, 2013.

[3] Greenhouse gas emission statistics - emission inventories, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 2018.

[4] TÜİK, Sera gazı Emisyon İstatistikleri 2016, Sayı: 27675, 2018.

[5] TÜİK, Motorlu Kara Taşıtları, Sayı: 27663, Eylül 2018.

[6] Kass M.D., Thomas J.F, Storey J.M., Domingo N., Wade J., ve Kenreck G., "Emissions from a 5.9 liter diesel engine fueled with ethanol diesel blends". SAE Technical Paper, 2001-01, 2018.

[7] Rakopoulos D.C., Kakaras E.C., Giakoumis E., "Effect of ethanol–diesel fuel blends on the engine performance and emissions of heavy duty DI diesel engine", Energy Conversion and Management, 49(11), 3155–62, 2008.

[8] Qudais M.A., Haddad O., Qudaisat M., "The effect of alcohol fumigation on Diesel engine performance and emissions", Energy Conversion and Management, 41 (11), 389-399, 2000.

[9] Weidmann K., Menard H., "Fleet test, performance and emissions of diesel engine using different alcohol fuel blends", SAE Paper , 841331, 1984.

[10] Ekholm, K., Karlsson, M., Tunestål, P., Johansson, R. et al., "Ethanol-diesel fumigation in a multi-cylinder engine," SAE Int. J. Fuels Lubr. 1(1): 26-36, 2009.

[11] Huang J., Wanga Y., S. Li, A.P. Roskilly, H. Yu, H. Li, "Experimental investigation on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with ethanol– diesel blends", Applied Thermal Engineering, 29, 2484–2490, 2009.

[12] Tutak W. et al. "A comparative study of co-combustion process of diesel-ethanol and biodiesel-ethanol blends in the direct injection diesel engine", Applied Thermal Engineering, 117:155–163, 2017.

[13] Gnanamoorthi V., Devaradjane G. , "Effect of compression ratio on the performance, combustion and emission of DI diesel engine fueled with ethanol - diesel blend" Journal of the Energy Institute 88: 19-26, 2015.

[14] Huang, J., Wanga, Y., Li, S., Roskilly, A.P., Yu, H., Li, H., "Experimental investigation on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with ethanol–diesel blends", Applied Thermal Engineering, 29, 2484–2490, 2009.

[15] Jamrozik, A., Tutak W., Michal P, ve Sobiepanski M., "Effect of diesel-biodiesel-ethanol blend on combustion, performance, and emissions characteristıcs on a dırect injection diesel engine", Thermal Science, 21(1b): 591-604, 2017.

[16] Koganti R.B., Maheshwari M., Swami K.K, Malhotra R.K, Arora P., Singh V.P., Varyani F.S., "Performance evaluation of ethanol diesel blend in Tractors." SAE paper no.2004 28-0085: 544-550, 2004.

[17] Rossomando B., Arsie I, Pianes C., "Analysis of the impact of diesel-ethanol fuel blends on CI engine performance and emissions via multi-zone combustion modelling", Energy Procedia, 126, 1059–1066, 2017.

[18] Bilgin, A., Durgun, O., Şahin, Z., "The effects of diesel-ethanol blends on diesel engine performance", Energy Sources, 431-440, VL 24, IS 5, 2002.

[19] Song, C-L., Zhou, Y-C., Huang, R-J, Wang, Y-Q., Huang Q-F., Lü, G., Liu,K-M., "Influence of ethanol–diesel blended fuels on diesel exhaust emissions and mutagenic and genotoxic activities of particulate extracts, Journal of Hazardous Materials", 149, 2007, 355–363.

[20] Meisam A. G. , Chun Shun Ka-FuYungb C. , "Study of combustion, performance and emissions of a diesel engine fueled with ternary fuel in blended and fumigation modes" Fuel, 235, pp. 288-300, 2019.

[21] Cheng CH, Cheung CS. Chan TL, Lee SC, Yao CD, Tsang KS. Comparison of emissions of a direct injection diesel engine operating on biodiesel with emulsified and fumigated methanol. Fuel, 87:1870-1879, 2008.

[22] Mariasiu F, Burnete NV, Moldovanu D, Varga BO, Iclodean C, Kocsis L. Effects of bioethanol ultrasonic generated aerosols application on diesel engine performances. Thermo Sci;19(6):1931–41, 2015.

[23] Tsurushima T, Zhang L and Ishi Y 1999 A study of unburnt hydrocarbon emissions in small di diesel engine, SAE Paper 1999-01-0512.

[24] Desantes J M, Arregle J, Lopez J J and Garcia A., "A comprehensive study of diesel combustion and emissions with post-injection", SAE Paper-01-0915, 2007.

[25] Shenghui C. , An Experimental Study Of Low Temperature Combustion In A Diesel Engine, PhD Thesis, Loughborough University, 2010.

[26] Chen P, Umar I., Wang J., Experimental investigation of diesel and biodiesel post injections during active diesel particulate filter regenerations. Fuel, 130, 286–295, 2014.

[27] Li H., Song C., Gang LV., Pang H., Qiao Y., Assessment of the impact of post-injection on exhaust pollutants emitted from a diesel engine fueled with biodiesel, Renewable Energy 114, 924-933, 2017.

[28] KPMG, sektörel bakış Raporu, 2018.

[29] Enerji ve Çevre Dünyası Dergisi, 143, 25, Temmuz-Ağustos 2018.

[30] Petrol Piyasası Sektör Raporu, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu 2018.

[31] Ferguson, C. R., , “Internal Combustion Engines” Applied Thermo Sciences, John Wiley&Sons, Indiana, 1985.

[32] Kaytakoğlu, S., Var, F., Öcal, S. E., “Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Kirlilik ve Giderme Yöntemleri. Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü” 3. Ulusal sempozyumu, Ankara, 1995.

[33] Heywood, J. B., Internal Combustion Engine Fundamentals, Mc- Graw Hill, Singapore 1988.

[34] Alkaya, B., Yıldırım, M. A., “Taşıt Kaynaklı Kirleticilerin Azaltılma Yöntemleri”. Ekoloji Çevre Dergisi, 9(34):15-20, 2000.

[35] Schafer F., and Basshuysen, R. V., “Reduced Emissions and Fuel Consumption in Automobile Engines”, Springer-Verlag Wien New York, Wien, 1995.

[36] World Health organization, “Healt effects of particulate matter” 2013.

[37] Kelen F., “ Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri”, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 19 (1-2):80-87, 2014.

[38] İ. Mutlu, H. Bayrak çeken, İ. Yavuz, E. Çengelci, M. Kunt, Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları ve Önleme Yöntemleri”, 14th International Combustion Symposium (INCOS2018) 25-27, April 2018.

[39] Nesbit M., “Comparative study on the differences between the EU and US legislation on emissions in the automotive sector”, Directorate General For Internal Policies Policy Department A: Economic And Scientific Policy, 2016.

[40] F. Kelen, “Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri”, Journal of The Institute of Natural & Applied Sciences, 19 (1-2):8087, 2014.

[41] Emissions Reference Guide & Standards: Table of Contents, Diesel & Gas Turbine Sourcing Guide, DieselNet, 2018.

[42] IARC, “Diesel and Gasoline Engine Exhausts and Some Nitroarenes”. V:105, Monographs 2014.

[43] Diesel Net, https://www.dieselnet.com/standards/us/nonroad.php#tier3 25.04.2019.

[44] Diesel Net, https://www.dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php, 01.01.2019.

[45] Kotus M., Pexa M. and Kubín K., “Modelling of Non-Road Transient Cycle”, Comparison of Three Tractors Journal of Central European Agriculture, 14(4), p.1281-1294, 2013.

[46] Kiss, A.A., “Separative reactors for integrated production of bioethanol and biodiesel”l, Computers and Chemical Engineering, 34(5), 812-820, 2010.

[47] Ditl P., Skrivanek K. , “The Limits of Renewable Energy Sources in The Czech Republic” Czasopismo Techniczne 5: 57-66, 2008.

[48] Şimşek S., Özdalyan B., Öztürk E., Şimşek H., Alternatif Yakıt Olarak Araçlarda Biyoetanolün Kullanılması" 14th International Combustion Symposium (INCOS2018) 25-27 April, 2018.

[49] Kucerova, J., "The effect of year, site and variety on the quality characteristics and bioethanol yield of winter triticale" Journal of the Institute of Brewing, 113(2): 142–146, 2007.

[50] Balat, M., Balat, H., Öz, C., "Progress in bioethanol processing". Progress in Energy and Combustion Science, 551-573, 2007.

[51] Tutak W., Jamrozik A., Pyrc M., Sobiepański M, "Investigation on combustion process and emissions characteristic in direct injection diesel engine powered by wet ethanol using blend model", Fuel Processing Technology, 149, 86–95, 2016.

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

[53] Ribeiro, N.M., Pinto, A.C., Quintella, C.M., da Rocha, G.O., Teixeira, L.S.G., Guarieiro, L.L.N., et al. "The role of additives for diesel and diesel blended (ethanol or biodiesel) fuels: a review". Energy & Fuels, 21: 2433–2445, 2007.

[54] Sendzikiene E., Makareviciene V., Janulis P., "Influence of fuel oxygen content on diesel engine exhaust emissions", Renewable Energy, 31, 2502–12, 2006.

[55] Shahir S.A., Masjuki H.H., Kalam M.A., Imran A., Rizwanul Fattah I.M, ve Sanjid A. "Feasibility of diesel–biodiesel–ethanol/bioethanol blend as existing CI engine fuel: An assessment of properties, material compatibility, safety and combustion", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 32: 379–395, 2014.

[56] Likos, B., Callahan, T. L., "Performance and Emissions of Ethanol and Ethanol-Diesel Blends in Direct-Injected and Pre-Chamber Diesel Engines" 1982.

[57] Çelebi A. K., Uğur A., "Biyoyakitlara Yönelik Mali Teşvikler: Türkiye Açısından Bir Değerlendirme", Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 33, Sayı 2, s. 25-45, , 2015.

[58] Sektör Raporu 2016, 37, Türkiye Şeker Fabrikları A.Ş., 2017.

[59] Ateş E. B., "Türkiye'de Biyoetanol Üretimi İçin Öngörü, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2017.

[60] AVL Boost, Users Guide version 2011, AVL LIST GmbH, Graz, Austria, Document no. 01.0104.2011, Edition 07, 2011.

[61] Iclodean C., Burnete N., Varga B., "Sımulatıon Of Pollutant Emission For Compressıon Ignıtıon Engıne Fueled Wıth Bıofuels Usıng Computer Sımulatıon With Two Combustıon Models", Annals Of The Oradea University Fascicle of Management and Technological Engineering, 1, 2013

[62] Hansen A.C., Zhang Q, Lyne PWL. "Ethanol–diesel fuel blends – a review", Bioresour Technol", 96: 277–85, 2005.

[63] Praptijantoa A., Muharama A., Nura A. and Putrasaria Y, "Effect of ethanol percentage for diesel engine performance using virtual engine simulation tool", Energy Procedia 68: 345 – 354, 2015 .

[64] Şahin Z., Durgun O., Kurt M., "Turboşarjlı Ön Yanma Odalı Bir Dizel Motorunda Etanol Fumigasyonunun Deneysel İncelenmesi ",TÜBAV Bilim 2(4), 446-461, 2009.

[65] Oliveira A., Morais A. M., Valente O. S, Sodré J. R., "Combustion characteristics, performance and emissions from a diesel power generator fuelled by B7-ethanol blends", Fuel Processing Technology, 139: 67-72, 2015.

[66] Yahuza I., Dandakouta H., Ejilah R. I., Dasin D. Y., Farinwata S. S., "Exhaust emissions characterization of a single cylinder diesel engine fueled with biodiesel-ethanol-diesel blends", International Journal of Energy Engineering, 8(1): 19-24, 2018.

[67] Prabakaran, B., "Utilization of diesel-ethanol blends in a ci engine as a fuel with nano alumina as combustion enhancer," SAE Technical Paper 2018-28-0010, 2018.

[68] Zhen, D., B Tesfa, X Yuan, R Wang, F. Gu and A. D. Bal "An investigation of the acoustic characteristics of a compression ignition engine operating with biodiesel blends", Journal of Physics: Conference Series, 364. 01, 2015.

[69] Agarwal A. K., Gupta P., Dhar A., "Combustion, performance and emissions characteristics of a newly developed CRDI single cylinder diesel engine" Sadhana . 40, 6, 1937–1954 2015.

[70] Stratsianis V. Kontoulis P., and Kaiktsis L., "Effects of Fuel Post-Injection on the Performance and Pollutant Emissions of a Large Marine Engine" J. Energy Eng., 142(2): E4016001, 2016.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: huseyinngurbuz@gmail.com

Makaleler

Gürbüz H. and Sandalcı T., "Investigation of Effects of Fumigation on Performance and Emission in Dual Fuel Engines Injection-Controlled With Electronic Card", International Journal of Engineering Research and Advanced Technology (IJERAT) V:5,3 , 2019. DOI: 10.31695/IJERAT.2019.3400