

T.C.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL MOTORLARINDA FARKLI PÜSKÜRTME
AVANSLARINDA DİZEL YAKITI + ETANOL
KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

Kadir USLU
(Teknik Öğretmeni)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Cenk SAYIN

İSTANBUL 2006

T.C.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL MOTORLARINDA FARKLI PÜSKÜRTME
AVANSLARINDA DİZEL YAKITI + ETANOL
KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

Kadir USLU

(Motor Teknik Öğretmeni)

(141101719970001)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
MAKİNE EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Cenk SAYIN

İSTANBUL 2006

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL VE ONAY BELGESİ

DİZEL MOTORLARINDA FARKLI PÜSKÜRTME AVANSLARINDA
DİZEL YAKITI + ETANOL KULLANIMININ PERFORMANS VE
EMİSYONLARA ETKİSİ

Kadir USLU'nun Dizel Motorlarında Farklı Püskürtme Avanslarında Dizel Yakıtı + Etanol Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi isimli Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Anabilim Dalı Programında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak Kabul edilmiştir.

Danışman : (Yrd. Doç. Dr. Cenk Sayın) (Marmara Üniversitesi)
Üye : (Yrd. Doç. Dr. Metin GÜMÜŞ) (Marmara Üniversitesi)
Üye : (Yrd. Doç. Dr. Mehmet UÇAR) (Kocaeli Üniversitesi)
Üye : (

Tezin Savunulduğu Tarih : 10.07.2006

ONAY

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı ile'nun Anabilim Dalı Programında Y.Lisans (MSc.) derecesi alması onanmıştır.

Marmara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Günümüzde taşıt üretimindeki artışa paralel olarak petrol rezervlerinin hızla tükenmesi ve petrol kaynaklı emisyon miktarlarının sürekli artması bilim adamlarını yeni arayışlara sürüklemiştir. Enerji sahasındaki yeni arayışlar ekonomik ve teknolojik açıdan gelişme göstermektedir. Ayrıca motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği ve gürültü düzeyi özellikle büyük şehirlerimizde ciddi bir sorun olarak insan sağlığını tehdit edecek boyutlara ulaşmıştır. Hava kirliliğinin ortadan kaldırılması veya minimum düzeye indirilmesi, alternatif yakıtlar ve motorlu taşıtların verimliliğini artırmakla mümkündür. Yakıt olarak çeşitli tarım ürünlerinden elde edilen etanol, taşıt emisyonlarını azaltıcı etkisi nedeni ile alternatif bir yakıt olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, farklı püskürtme avanslarında etanol-dizel yakıtı karışımlarının dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi, test motorunda optimum çalışma şartlarını oluşturacak karışım oranı ve püskürtme zamanlaması incelenmiştir.

Yüksek lisans tez çalışmamın tüm aşamalarında hiçbir yardımı esirgemeyen danışman hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Cenk SAYIN'a, deneysel çalışmalarında yol göstererek yardımcı olan Sn. Doç. Dr. Mustafa ÇANAKÇI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışma ortamından ve atölye imkânlarından faydalanmamı sağlayan Sakarya Üniversitesi T.E.F. Makine Eğitimi Bölüm Başkanlığı ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deney çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan mesai arkadaşlarım Hüseyin YÜKSELTEN, Özcan DÖNMEZ ve Abdullah GÜMÜŞ'e teşekkür ederim.

Son olarak, çalışmalarım süresince yardım ve desteklerini esirgemeyen annem ve eşime sonsuz teşekkür ederim.

Haziran 2006

Kadir USLU

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
YENİLİK BEYANI.....	III
SEMBOL LİSTESİ.....	IV
KISALTMALAR.....	V
ŞEKİL LİSTESİ.....	VI
TABLO LİSTESİ.....	X
BÖLÜM I. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
I.1.GİRİŞ.....	1
I.2. AMAÇ.....	3
BÖLÜM II. GENEL BÖLÜM.....	5
II.1. ETANOLÜN DİZEL MOTORLARINDA KULLANIMI.....	5
II.1.1. Alkolün Emme Manifolduna Verilmesi.....	6
II.1.2. Çift Enjeksiyon Sistemi.....	7
II.1.3. Alkollerin Buji Yardımıyla Ateşlenmesi.....	8
II.1.4. Setan Sayılarının Arttırıcı Katkılarla Alkollerin Kullanılması.....	9
II.1.5. Yüzey Ateşleme.....	10
II.1.6. Etanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Diğer Tekniklere Göre Avantaj ve Dezavantajları.....	10
II.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	11
BÖLÜM III. ALTERNATİF ALKOL YAKITLAR.....	14

III.1. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA ALKOL YAKITLARIN KULLANIMI.....	14
III.2. ETANOLÜN ÖZELLİKLERİ.....	15
III.2.1. Etanol, Metanol ve Dizel Yakıtının Özellikleri.....	15
III.2.2. Etanol Üretimi.....	17
III.2.3. Etanolün Yanma Eşitliği.....	17
III.2.4. Etanolün Gizli Buharlaştırma Isısı.....	18
III.2.5. Etanolün Alt Isıl Değeri ve Yoğunluğu.....	18
III.2.6. Etanolün Kaynama Noktası.....	19
III.2.7. Etanolü Yakıtta Faz Ayrışması.....	25
III.2.8. Etanolün Yanma Performansı.....	20
III.2.9. Etanolün Viskozitesi ve Yağlama Özelliği.....	21
III.2.10. Setan Sayısı ve Kendi Kendine Tutuşma Özelliği.....	23
III.2.11. Etanolün Egzoz Emisyonları.....	24
BÖLÜM IV. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	25
IV.1. DENEYLERDE KULLANILAN YAKITLARIN TANITILMASI.....	25
IV.2. DENEY TESİSATININ TANITILMASI.....	28
IV.2.1. Deney Motoru.....	28
IV.2.2. Dinamometre.....	29
IV.2.3. Egzoz Gaz Analiz Cihazı.....	31
IV.2.4. Yakıt Debisi Ölçme Donanımı.....	32
IV.2.5. Hava Debisi Ölçme Donanımı.....	34
IV.2.6. Sıcaklık Ölçüm Donanımı.....	35
IV.3. DENEYLERİN YAPILIŞI.....	36
IV.4. DENEYLER ESNASINDA HESAPLANAN DEĞERLER.....	38
IV.4.1. Kütleli Hava Debisinin Hesaplanması.....	39
IV.4.2. Kütleli Yakıt Debisinin Hesaplanması.....	39
IV.4.3. Motor Efektif Gücünün Hesaplanması.....	40
IV.4.4. Özgül Yakıt Tüketiminin Hesaplanması.....	40
IV.4.5. Hava Fazlalık Katsayısının Hesaplanması.....	40
BÖLÜM V. DENEYSEL BULGULAR VE YORUMLARI.....	41
V.1. ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMLERİ.....	41
V.1.1. Standart Avans (27° KMA) Değeriindeki Deney Sonuçları	41
V.1.2. +3 ve +6 Avans (30° ve 33° KMA) Değeriindeki Deney Sonuçları.....	43
V.1.3. -3 ve -6 Avans (24° ve 21° KMA) Değeriinde Yapılan Deney Sonuçları.....	46
V.2. MOTOR EMİSYON DEĞERLERİ.....	49
V.2.1. Standart Avans (27° KMA) Değeriindeki Emisyon Sonuçları.....	49

V.2.1.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Değişimi.....	49
V.2.1.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonu Değişimi.....	51
V.2.1.3. Azotoksit (NO _x) Emisyonu Değişimi.....	53
V.2.2. -3 ve -6 Avans (24° ve 21° KMA) Değerlerindeki Emisyon Sonuçları.....	56
V.2.2.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Değişimi.....	56
V.2.2.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonu Değişimi.....	59
V.2.2.3. Azotoksit (NO _x) Emisyonu Değişimi.....	61
V.2.3. +3 ve +6 Avans (30° ve 33° KMA) Değerlerindeki Emisyon Sonuçları.....	64
V.2.3.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Değişimi.....	64
V.2.3.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonu Değişimi.....	67
V.2.3.3. Azotoksit (NO _x) Emisyonu Değişimi.....	69
 BOLÜM VI. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	 72
 KAYNAKLAR.....	 74
 EKLER.....	 80
 ÖZGEÇMİŞ.....	 90

ÖZET

DİZEL MOTORLARINDA FARKLI PÜSKÜRTME AVANSLARINDA DİZEL YAKITI + ETANOL KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

İçten yanmalı motorlarda, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını en az düzeye indirme çabaları, çift yakıtlı çalışan motorlar üzerine yapılan çalışmaların başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Bu çalışmada tek silindirli bir dizel motorunda etanol-eurodizel yakıtı karışımlarının farklı püskürtme avanslarındaki emisyon ve performans parametreleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Deneyisel çalışmada kullanılan test motorunun standart püskürtme başlangıcı değeri krank mili açısı (KMA) cinsinden 27° (Ü.Ö.N'dan önce)'dir. Yakıt pompasının motora bağlantı yerlerinde bulunan avans şimleri 0,25 mm kalınlığında olup KMA cinsinden bir adet şim 3° 'ye karşılık gelmektedir. Avans şimlerin artırılıp azaltılması ile deneyler 5 farklı avans değerinde (0, ± 3 , ± 6) gerçekleştirilmiştir.

Deneyler sabit yük şartlarında gerçekleştirilmiş ve faz ayrışmasını önlemek için yakıt deposuna bir mikser ilave edilmiştir. Deney sonuçlarına göre her bir avans değeri için karışım içerisindeki etanol miktarının artması ile özgül yakıt tüketimi ve NO_x emisyonlarında artma CO ve HC emisyonlarında ise azalma kaydedilmiştir. Avans değerinin değiştirilmesi ile özgül yakıt tüketiminde artma gözlemlenmiştir.

Avans değerinin artırılması ile CO ve HC emisyonlarında azalma NO_x emisyonlarında artma, avans değerinin azaltılması ile de CO ve HC emisyonlarında artma NO_x emisyonlarında ise azalma olduğu gözlemlenmiştir. Deneylerden elde edilen bulgular alt gruplar halinde birbirleriyle karşılaştırılarak tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

ABSTRACT

INFLUENCE ON PERFORMANCE AND EMISSION ON USING DIESEL FUEL AND ETANOL AT THE DIFFERENT INJECTION TIMING IN THE DIESEL ENGINE

To reduce brake specific fuel consumption and exhaust emission in internal combustion engine is the start of the investigations on the engines which use dual fuels. In this study, the influence of ethanol-eurodiesel fuels mixture at the different injection timing in a single cylinder diesel engine on emission and performance parameters has been investigated.

Standard injection timing of the test engine, used in experimental study is 27° as type of crank angle. Thickness of advance shim, located in connection place between motor and fuel pump is 0,25 mm and one shim is 3° as CA. Experimentals were made in five different advance values with decreasing or increasing advance shim.

Experiments were conducted at constant load and a mixer was mounted inside fuel tank in order to prevent phase-separation. According to experimental results for each values of mixture, it was determined in decreasing of brake specific fuel consumption and NO_x emissions and increasing of CO and HC emissions with rising of ethanol amount in mixture. It was seen rising in brake specific fuel consumption with the changing of advance value.

It was observed that the increasing of advance value caused augmenting of HC and CO emissions and reducing of NO_x and the decreasing of advance value cause diminishing of HC and CO emissions and increasing of NO_x . The experimental results were compared each other in sub-groups and shown in tables and graphics.

YENİLİK BEYANI

DİZEL MOTORLARINDA FARKLI PÜSKÜRTME AVANSLARINDA DİZEL YAKITI + ETANOL KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

Günümüzde taşıt üretimindeki artışa paralel olarak petrol rezervlerinin hızla tükenmesi ve petrol kaynaklı emisyon miktarlarının sürekli artması bilim adamlarını yeni arayışlara sürüklemiştir. Bundan dolayı dünyamızdaki enerji politikaları, çevre bilinciyle birlikte insanların refahı içinde kullanılacak şekilde ve ulusal çıkarlar göz önüne alınarak belirlenmelidir. Bitkisel kökenli yakıtlardan üretilmesi nedeniyle etanol bir tarım ülkesi olan Türkiye için oldukça önemlidir. Tarımsal yenilebilir enerji kaynaklarından olan etanol, dizel motorlarında dizel yakıtı ile birlikte kullanıldığında zararlı emisyonları azalttığı bilinmektedir. Bu çalışmada farklı oranlardaki etanol-eurodizel karışımlarının bir dizel motorunda ilk kez farklı püskürtme avanslarındaki performans ve emisyonlara etkisi incelenmiştir.

Etanol-eurodizel karışımları içerisinde en az yakıt tüketimini ED (% eurodizel) vermiş olmasına karşın, emisyonlar açısından bakıldığında en düşük emisyon değerleri (CO ve HC), E15 (% 15 etanol + % 85 eurodizel) yakıtında alınmıştır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, dizel motorlarında etanol-dizel karışımlarının farklı püskürtme avanslarındaki emisyon ve performans özelliklerinin incelenmediği görülmektedir. Yapılan bu çalışma ile hem literatürdeki bu eksiklik giderilmiş hem de optimum şartları oluşturan karışım oranı ve püskürtme avansı belirlenmiştir.

SEMBOL LİSTESİ

b_{sfc}	: Özgöl yakıt tüketimi (gr/kWh)
C	: Karbon
C_o	: Orifis katsayısı
C_2H_5OH	: Etanol
CH_3OH	: Metanol
CO	: Karbonmonoksit
CO_2	: Karbondioksit
D_2	: Orifis çapı
$dp/d\alpha$	: Krank derecesi başına düşen basınç değişimi
F	: Kuvvet (N)
HC	: Hidrokarbon
l	: Frenleme çemberi merkezi ile dijital terazi arasındaki uzaklık (m)
m	: Kütle (kg)
Md	: Motor torku (Nm)
m_y	: Kullanılan yakıtın miktarı (kg)
n	: Motor devir sayısı (d/d)
NO	: Azot oksit
NO_x	: Azot oksitler
Pe	: Efektif güç (kW)
P_{man}	: Manometre basıncı (N/m ²)
Q	: Hacimsel debi (m ³ /s)
T	: Sıcaklık (°C)
Y	: Genişleşme katsayısı
t	: Yakıt tüketimi (s)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)
α	: Manometre eğim açısı (derece)

KISALTMALAR

ASME	: Amerikan Makine Mühendisleri Birliği
ASTM	: Amerikan Test ve Materyal Birliği Standartları
DI	: Direkt Enjeksiyon
DIN	: Alman Normu
ED	: Eurodizel
E5	: % 5 Etanol + % 95 Eurodizel Karışımı
E10	: % 10 Etanol + % 90 Eurodizel Karışımı
E15	: % 15 Etanol + % 85 Eurodizel Karışımı
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
H/Y	: Hava Yakıt Oranı
KMA	: Krank Mili Açısı (derece)
PA	: Püskürtme Avansı (KMA)
ppm	: Milyondaki Partikül Miktarı
Ü.Ö.N.	: Üst Ölü Nokta
TG	: Tutuşma Gecikmesi

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Şekil II.1 Etanolün Emme Manifolduna Verilmesi.....	6
Şekil II.2 Direk Enjeksiyonlu Motorda Çift Enjeksiyon Sisteminin ve Yanma Odasının görünüşü.....	8
Şeki III.1 Alkol ve Dizel Yakıtının Kaynama Eğrileri.....	19
Şekil III.2 Etanol-Dizel Karışımlarının Setan Sayısının Değişimi.....	23
Şekil IV.1 Deneylerde Kullanılan Yakıtlar, Eurodizel ve % 5, 10, 15 Oranında Etanol-Eurodizel Karışımları.....	27
Şekil IV.2 Deneylerde Kullanılan Motor.....	29
Şekil IV.3 Dinamometre ve Motor.....	30
Şekil IV.4 Dinamometre ve Dijital Terazi.....	30
Şekil IV.5 CO, HC, O ₂ , CO ₂ ve Hava Fazlalık Katsayısı Ölçümü için Kullanılan Opus 40 Marka Emisyon Test Cihazı.....	31
Şekil IV.6 NO _x Ölçümü için Kullanılan Kane-May Quintox Marka Emisyon Test Cihazı.....	32
Şekil IV.7 Yakıt Debisi Ölçüm Donanımı.....	33
Şekil IV.8 Mikser.....	33
Şekil IV.9 Hava Debisi Ölçüm Donanımı.....	34
Şekil IV.10 Sıcaklık Ölçüm Donanımı.....	35
Şekil IV.11 Dijital Takometre.....	36
Şekil IV.12 Deney Tesisatı.....	37
Şekil IV.13 Avans Şimi.....	38
Şekil IV.14 Orifis.....	39
Şekil V.1 Standart Avans ve 15 Nm Sabit Yükte Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki Özgül Yakıt Tüketiminin Devir Sayısıyla Değişimi.	42

Şekil V.2 Standart Avans ve 30 Nm Sabit Yükte Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki Özgül Yakıt Tüketiminin Devir Sayısıyla Değişimi...	42
Şekil V.3 +3 Avans ve 15 Nm Sabit Yükte Farklı Dizel Etanol Karışımlarındaki Özgül Yakıt Tüketiminin Devir Sayısıyla Değişimi.....	44
Şekil V.4 +3 Avans ve 30 Nm Sabit Yükte Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki Özgül Yakıt Tüketiminin Devir Sayısıyla Değişimi.....	44
Şekil V.5 +6 Avans ve 15 Nm Sabit Yükte Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki Özgül Yakıt Tüketiminin Devir Sayısıyla Değişimi.....	45
Şekil V.6 +6 Avans ve 30 Nm Sabit Yükte Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki Özgül Yakıt Tüketiminin Devir Sayısıyla Değişimi.....	45
Şekil V.7 -3 Avans ve 15 Nm Sabit Yükte Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki Özgül Yakıt Tüketiminin Devir Sayısıyla Değişimi.....	46
Şekil V.8 -3 Avans ve 30 Nm Sabit Yükte Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki Özgül Yakıt Tüketiminin Devir Sayısıyla Değişimi.....	47
Şekil V.9 -6 Avans ve 15 Nm Sabit Yükte Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki Özgül Yakıt Tüketiminin Devir Sayısıyla Değişimi.....	47
Şekil V.10 -6 Avans ve 30 Nm Sabit Yükte Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki Özgül Yakıt Tüketiminin Devir Sayısıyla Değişimi.....	48
Şekil V.11 Eurodizel-etanol karışımlarının 1600 d/d da ve iki farklı sabit yükteki özgül yakıt tüketiminin püskürtme avansına bağlı olarak değişimi.....	48
Şekil V.12 Standart Avans 15 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki CO Emisyonlarının Devir Sayısıyla Değişimi.....	50
Şekil V.13 Standart Avans 30 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki CO Emisyonlarının Devir Sayısıyla Değişimi.....	50
Şekil V.14 Standart Avans 15 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki HC Emisyonlarının Devir Sayısıyla Değişimi.....	52
Şekil V.15 Standart Avans 30 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki HC Emisyonlarının Devir Sayısıyla Değişimi.....	52
Şekil V.16 Standart Avans 15 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki NO _x Emisyonlarının Devir Sayısıyla Değişimi.....	54
Şekil V.17 Standart Avans 30 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki NO _x Emisyonlarının Devir Sayısıyla Değişimi.....	54

Şekil V.18 Eurodizel-etanol karışımlarının standart avans değerindeki egzoz gazı sıcaklıklarının devir sayısı ile değişimi.....	55
Şekil V.19 -3 Avans 15 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki CO Emisyonlarının Devir Sayısı ile Değişimi.....	57
Şekil V.20 -3 Avans 30 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki CO Emisyonlarının Devir Sayısı ile Değişimi.....	57
Şekil V.21 -6 Avans 15 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki CO Emisyonlarının Devir Sayısı ile Değişimi.....	58
Şekil V.22 -6 Avans 30 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki CO Emisyonlarının Devir Sayısı ile Değişimi.....	58
Şekil V.23 -3 Avans 15 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki HC Emisyonlarının Devir Sayısı ile Değişimi.....	59
Şekil V.24 -3 Avans 30 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki HC Emisyonlarının Devir Sayısı ile Değişimi.....	60
Şekil V.25 -6 Avans 15 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki HC Emisyonlarının Devir Sayısı ile Değişimi.....	60
Şekil V.26 -6 Avans 30 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki HC Emisyonlarının Devir Sayısı ile Değişimi.....	61
Şekil V.27 -3 Avans 15 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki NO _x Emisyonlarının Devir Sayısı ile Değişimi.....	62
Şekil V.28 -3 Avans 30 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki NO _x Emisyonlarının Devir Sayısı ile Değişimi.....	62
Şekil V.29 -6 Avans 15 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki NO _x Emisyonlarının Devir Sayısı ile Değişimi.....	63
Şekil V.30 -6 Avans 30 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki NO _x Emisyonlarının Devir Sayısı ile Değişimi.....	63
Şekil V.31 +3 Avans 15 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki CO Emisyonlarının Devir Sayısı ile Değişimi.....	65
Şekil V.32 +3 Avans 30 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki CO Emisyonlarının Devir Sayısı ile Değişimi.....	65
Şekil V.33 +6 Avans 15 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki CO Emisyonlarının Devir Sayısı ile Değişimi.....	66

Şekil V.34 +6 Avans 30 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki CO Emisyonlarının Devir Sayısıyla Değişimi.....	66
Şekil V.35 +3 Avans 15 Nm Sabit Yükte ve farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki HC Emisyonlarının Devir Sayısıyla Değişimi.....	67
Şekil V.36 +3 Avans 30 Nm Sabit Yükte ve farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki HC Emisyonlarının Devir Sayısıyla Değişimi.....	68
Şekil V.37 +6 Avans 15 Nm Sabit Yükte ve farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki HC Emisyonlarının Devir Sayısıyla Değişimi.....	68
Şekil V.38 +6 Avans 30 Nm Sabit Yükte ve farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki HC Emisyonlarının Devir Sayısıyla Değişimi.....	69
Şekil V.39 +3 Avans 15 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki NO _x Emisyonlarının Devir Sayısıyla Değişimi.....	70
Şekil V.40 +3 Avans 30 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki NO _x Emisyonlarının Devir Sayısıyla Değişimi.....	70
Şekil V.41 +6 Avans 15 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki NO _x Emisyonlarının Devir Sayısıyla Değişimi.....	71
Şekil V.42 +6 Avans 30 Nm Sabit Yükte ve Farklı Dizel-Etanol Karışımlarındaki NO _x Emisyonlarının Devir Sayısıyla Değişimi.....	71

TABLO LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Tablo III.1 Etanol, Metanol ve Motorinin Özellikleri.....	16
Tablo III.2 Farklı Sıcaklıklarda Etanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Viskozite Değişimi.....	22
Tablo IV.1 Deneylerde Kullanılan Etanol ve Eurodizel Yakıtının Özellikleri...	26
Tablo IV.2 Deney Motoruna Ait Karakteristik Özellikler.....	28

BÖLÜM I

GİRİŞ VE AMAÇ

I.1. GİRİŞ

İnsan yaşamının vazgeçilmez bir parçası olan enerji, geçmişte olduğu gibi bugün de dünya ve Türkiye gündeminde tartışılan konuların en başında yer almaktadır. Tarihsel gelişimi içerisinde birincil enerji kaynaklarının türleri ve tüketim miktarlarının artması yanında teknolojik gelişmelerin günlük yaşama yansması sonucu enerji kaynakları toplum hayatında vazgeçilmez hale gelmiştir. Günümüz dünyasında enerji politikaları, çevre bilinciyle birlikte insanların refahı içinde kullanılacak şekilde ve ulusal çıkarlar göz önüne alınarak belirlenmelidir. [1]

İçten yanmalı motorlar günümüz endüstrisinde çok önemli yer tutmaktadır. İçten yanmalı motorların önemi, üstlendikleri fonksiyonlardan kaynaklanmakta ve taşımacılık başta olmak üzere çok geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. [2, 3]

İçten yanmalı motorlar yakıtın kimyasal enerjisini yararlı mekanik enerjiye dönüştürürler. Motorlar üzerine yapılan araştırmaların temel amaçlarından biri yanma sırasında meydana gelen bu enerji dönüşümü olayının olabildiğince yüksek verimde gerçekleşmesidir. Motorlar yapısal özelliklerinin yanı sıra, kullanılan yakıtların özellikleri de motor performansı ve egzoz emisyonları üzerinde son derece etkilidir. Bu nedenle motorları üstün performanslı duruma getirmek için motor tasarımları ile ilgili araştırmalarla birlikte yakıtlarla ilgili çalışmalar da yaygın bir şekilde yapılmaktadır. [4]

Günümüzde taşıt üretimindeki artışa paralel olarak petrol rezervlerinin hızla tükenmesi ve petrol kaynaklı emisyon miktarlarının sürekli artması bilim adamlarını yeni arayışlara sürüklemiştir. Dünya enerji kaynağının % 50'den fazlasının fosil kökenli olması ve tahmini olarak 25-30 yıl içerisinde tükenecek olması alternatif enerji kaynakları bulunması için yoğun çalışmaları beraberinde getirmiştir. Birçok ülkede biyolojik kaynaklı enerjiden azami şekilde faydalanılması gerekli görülmüş, ABD ve Brezilya'da teşvik programları hazırlanmıştır. [5]

Enerji sahasındaki yeni arayışlar ekonomik ve teknolojik açıdan gelişme göstermektedir. Ekonomik olma yakıtın elde edilebilirliği ile ilgili olduğundan, birim maliyetler değişmese bile tükenen petrol rezervleri nedeniyle günümüzün ekonomik ve ekonomik olmayan yakıtları arasındaki denge yakın bir gelecekte değişecektir.

Netice olarak, yüksek teknolojiye sahip ülkeler ve genelde az ve pahalı olan alternatif yakıt hammaddelerine çokça sahip olan ülkeler göz önüne alındığında yakın tarihin ekonomik dengeler üzerinde bazı değişikliklere neden olacağı söylenebilir. Alternatif yakıt kullanımı dört ana grupta incelenebilir.

1. Konvansiyonel yakıtların alternatif türlerinin elde edilmesi ve alternatif kullanımı
2. Petrol esaslı olan ancak konvansiyonel olanlara benzer özellikler kazandıran yakıtların veya petrol esaslı olmayan konvansiyonel yakıtların kullanımı
3. Sentetik yakıtların kullanımı
4. Tamamen değişik esaslı yakıtların (alkoller) konvansiyonel olanların yerine kullanımı.[6]

Alkollerin, motorlu taşıtlarda yakıt olarak denenmesi, petrol ürünlerine göre daha eski bir geçmişe sahiptir. Ancak, petrolün bulunması ve ürünlerinin motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılmaya başlanması ile çalışmalar petrol üzerinde yoğunlaşmıştır. Yakıt amaçlı alkol üretim ve tüketimine yeteri kadar yatırım yapılmaması ve alkolün petrol ürünlerine nazaran daha pahalıya mal olması, bünyesinde bulundurduğu su miktarının, taşıt motorlarının yakıt sisteminde az da olsa korozyon bir etki yapması ve ayrıca faz ayrışması gibi nedenlerle yakıt amaçlı olarak alkoller yakın döneme kadar geniş bir gelişme gösterememiştir. Ancak yakıt amaçlı alkoller üzerindeki araştırmaların birçoğu enerji krizleri döneminde yapılmış, krizler atlatıldıktan sonra çalışmalar yavaşlamıştır. [7]

Diğer taraftan, petrol türü yakıt kullanan otomotiv sektöründe yakıt ekonomisinin iyileştirilmesini zorunlu hale gelmiştir. Bilimsel ve teknolojik

gelişmelere paralel olarak motorda bulunan sistemler daha etkin hale getirilerek verimin arttırılmasına çalışılmaktadır.

Ayrıca motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği ve gürültü düzeyi özellikle büyük şehirlerimizde ciddi bir problem olarak insan sağlığını tehdit edecek boyutlara ulaşmıştır. Hava kirliliğinin ortadan kaldırılması veya minimum düzeye indirilmesi, yakıt tüketimini azaltmak ve motorlu taşıtların verimliliğini artırmakla mümkündür. Motor parametrelerinin çalışma koşullarına uygun olarak değiştirilmesiyle performans artırılmaktadır.

I.2. AMAÇ

İçten yanmalı motorlarda, yakıt tüketimine etki eden parametreler üzerine araştırmalar yoğun bir şekilde sürmektedir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda, püskürtme ya da ateşleme zamanı, püskürtme basıncı, hava yakıt oranı, hava fazlalık katsayısı, sıkıştırma oranı, supap zamanlaması ve yanma odası tasarımının yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. [8]

Sıkıştırma zamanı sonunda, piston Ü.Ö.N.'ya belirli derece kala yakıtın silindirlere gönderilmesine püskürtme avansı (PA) denir. Motordan en yüksek verimin alınabilmesi, maksimum yanma sonu basıncının piston Ü.Ö.N.'yı 2-3° geçe de elde edilmesine bağlıdır. Bu şartlar püskürtme avansının yaklaşık 10-15° arasında olması ile gerçekleştirilir. [9]

Yakıtın silindirlere püskürtüldüğü andan ilk alev zerreciğinin oluşmasına kadar geçen süreye tutuşma gecikmesi (TG) denir. Tutuşma gecikmesindeki artış püskürtmenin daha erken veya daha geç yapılmasından kaynaklanır. Çünkü sıkıştırma zamanındaki havanın sıcaklığı ve basıncı Ü.Ö.N.'ya yaklaştıkça önemli miktarda değişir. Eğer püskürtme erken başlatılırsa, püskürtme başlangıcındaki basınç ve sıcaklık düşük olacağından tutuşma gecikmesi artar.

Tutuşma gecikmesi süresinin artması ile yanma süreçlerinden biri olan ani yanma periyodunda birim krank derecesi başına düşen basınç değişimi ($dp/d\alpha$) aşırı derecede artacağından çevrimin maksimum sıcaklığı ve basıncı da yükselecektir. Buna bağlı olarak NO_x emisyonlarında artış olacaktır. Sıcaklık artışı ile yanma odasının soğuk cidarlarına yakın olan bölgelerde alev sönme bölgeleri azalacak ve HC emisyonları azalacaktır. Püskürtme başlangıcının öne alınması ile yakıt bünyesindeki karbon oksijen ile yeterli oksidasyon reaksiyon süresi bulacak ve CO , CO_2 'e dönüşecektir. [10]

Yukarıda belirtildiği gibi, püskürtme zamanlaması hem yakıt tüketimi hem de egzoz emisyonlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada, farklı püskürtme avanslarında etanol-dizel yakıtı karışımlarının dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenecektir. Sonuç olarak test motorunda optimum çalışma şartlarını oluşturacak karışım oranı ve püskürtme zamanlaması belirlenecektir.

BÖLÜM II

GENEL BÖLÜM

II.1. ETANOLÜN DİZEL MOTORLARINDA KULLANIMI

Etanol fosil bazlı yakıtlara karıştırılması ile dizel yakıtının bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri (setan sayısı, viskozite v.b.) üzerine değişimler meydana getirmektedir. Bu konuyla ilgili detaylı açıklamalar Bölüm III'de verilmektedir. Bu özelliklerin en önemlisi etanolün tutuşma kapasitesinin farklı olmasıdır. Etanolün düşük setan sayısı dizel yakıtının tutuşma kalitesini sınırlamaktadır. En temel teknik olan etanol-dizel yakıtı karışımlarının uygulanmasında karşılaşılan sorunların başında karışımda artan etanol miktarı ile setan sayısının tavsiye edilen dizel yakıtına göre aşırı azalması ile karışımın stabilizesinin yüksek etanol oranlarında (en fazla % 20) tam olarak sağlanamamasından dolayı motorun çalışma düzeninde sıkıntılar meydana getirmesidir.

Bu nedenlerden dolayı alternatif yakıt olarak etanolün ya da alkollü yakıtların yüksek oranlarda dizel motorlarda kullanımını sağlamak için çeşitli teknikler mevcuttur. Kullanılan tekniklere göre etanol dizel yakıtı yerine tamamen veya kısmen kullanılabilmekte ve motor gücü, momenti, termik verim, egzoz emisyonlarında farklılıklar görülmektedir. Alkol dizel yakıtı karışım tekniğinde ayrı olarak diğer tekniklerin temel yapıları ve farklılıkları aşağıda anlatılmaktadır.

Bu yaklaşımlar;

- Alkolün emme manifolduna verilmesi
- Çift enjeksiyon sistemi
- Alkollerin buji yardımıyla ateşlenmesi

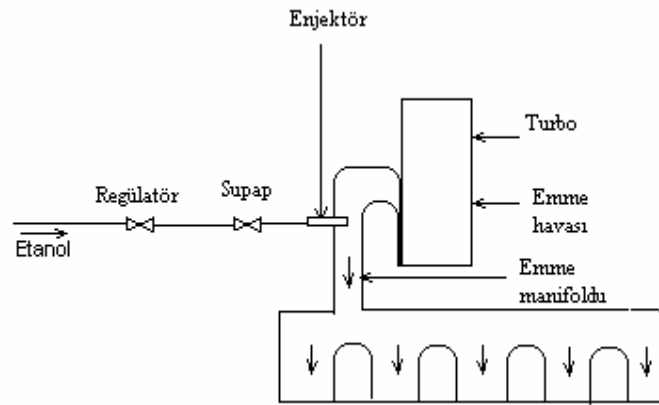
- Setan sayılarını geliştirici katkılarla alkollerin kullanılması
- Yüzey ateşlemedir.

Uygulanan bu tekniklerin çoğunun dezavantajı, alkollerin dizel yakıtı yerine tamamen kullanımını sağlayamamasıdır. Güncel olan uygulamalar göz önüne alındığında, sadece alkollerin buji yardımı ile ateşlenmesi ve tutuşmayı geliştirici katkılar ile etanol dizel yakıtı yerine tamamen kullanılabilir. [24]

Yukarıda görülen tekniklerin güvenilirliği ve motor açısından dayanıklılığının incelenmesi için halen araştırmalar sürmektedir. Gelecekteki çalışmalarla birlikte bu teknikler güncel olarak trafikteki taşıtlara uygulanarak gelişimini sürdürecektir. [24]

II.1.1. Alkolün Emme Manifolduna Verilmesi

Bu uygulama ile dizel motorlarında etanol bir karbüratör-enjektör ya da buharlaştırıcı sistem yardımı ile emme manifolduna verilerek motorun emme havasıyla karıştırılmakta ve kullanım oranı % 50'lere ulaşmaktadır. Fakat bu tekniğin uygulanabilmesi için, karbüratör veya buharlaştırıcı mikserin motor üzerinde adaptasyonu, alkol enjeksiyonun ölçme işlemi için farklı bir kontrol mekanizması, alkol ve dizel yakıtı sistemlerine ayrı yakıt tankı ve hattı için motorda birtakım değişikliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil II.1'de etanolün emme manifolduna verilmesi görülmektedir. [11-15]



Şekil II.1 Etanolün emme manifolduna verilmesi

Standart dizel motorlarında bulunan emme manifoldları çift fazlı akış için tasarlanmadığından bu teknik uygulandığında etanolün manifold içerisine akışı uygun gerçekleşmemektedir. Buna karşılık emme manifoldu üzerine yerleştirilen alternatif formdaki sprey enjeksiyonlar ile sistem daha verimli olmaktadır. Diğer bir dezavantaj olarak yakıt ölçme işlemi için motor üzerinde yeni bir tekniğin geliştirilmesi, ikinci bir yakıt hattı ve yakıt tankı gereksinimi ortaya çıkmaktadır. [11–14, 16]

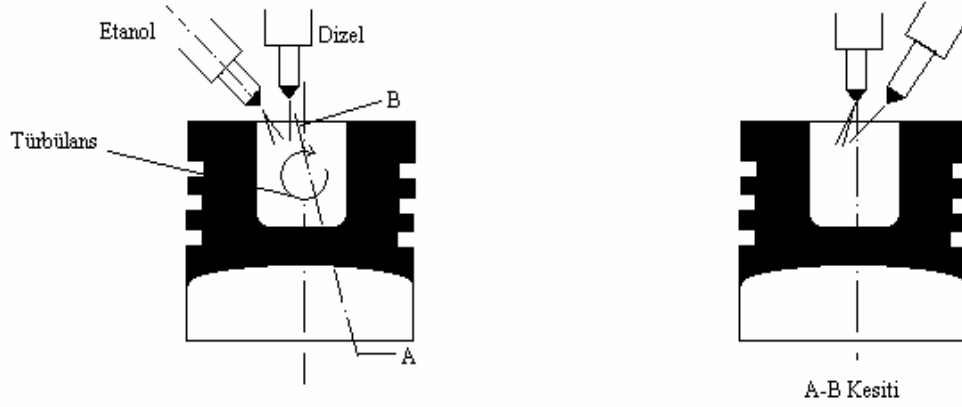
Etanol emme manifolduna karbüratör ya da enjektör ile verildiğinde manifold içerisinde buharlaşarak içeriye alınan havayı soğutmaktadır. Böylece emme dolgu havasının yoğunluğu artarak doğal bir ara soğutucu görevi görmektedir. Etanolün düşük ısı değerine rağmen bu farklı özellik ile motor gücünde ve ısı veriminde artma sağlanması diğer uygulamalara göre avantajlı hale getirmektedir. [11, 13, 17, 29]

II.1.2. Çift Enjeksiyon Sistemi

Pilot enjeksiyon olarak da bilinen bu sistemde, kullanılan etanolün hacimsel olarak oranı % 90'lara çıkarılabilmektedir. Bu teknikte alkol ayrı bir enjektörle yanma odasına püskürtülmekte ve etanol yakıtı enjeksiyonundan önce yanma işlemine başlatılıp etanolün tutuşturulmasını sağlamak için yalnızca dizel enjektörden pilot enjeksiyon yapılmaktadır. [13, 18]

Bu tekniğin bazı olumsuz yanları ise, ikinci bir enjeksiyon sistemi ve yakıt tankı gerekliliği, bu nedenle motorda karmaşıklığa neden olmasıyla beraber uygulaması zor ve maliyetinin yüksek olması, ayrıca saf alkolle çalışabilen yakıt enjeksiyon pompaları ve enjektörleri daha tam anlamıyla geliştirilememiş olmasıdır. Bunlara karşılık güncel tasarımlarda yapılabilen değişikliklere bu teknik uygulanabilmektedir. [13, 16]

Çift enjeksiyon sistemi uygulanmak istenildiğinde, üzerindeki gerekli değişikliklerin başında yanma odasına ikinci bir enjektörün yerleşimi için gerekli alana ihtiyaç duyulması gelmektedir. Pilot enjeksiyon sisteminde iyi performans elde edebilmek için, her iki enjektörün yanma odasındaki yerleşimi uygun şekilde gerçekleştirilmelidir. Şekil II.2'de KHD marka dizel motoru enjektörlerinin yerleşimi görülmektedir. Bu uygulama tasarım olarak türbülans odalı ve ön yanma odalı dizel motorlarında daha başarılı olarak uygulanabilmektedir. [13]



Şekil II.2 Direk enjeksiyonlu motorda çift enjeksiyon sisteminin ve yanma odasının görünüşü

II.1.3. Alkollerin Buji Yardımıyla Ateşlenmesi

Dizel motorlarında yanma odası içerisine alınan etanolün buji yardımıyla ateşlenmesi tekniği ile birlikte motorun ihtiyaç duyduğu dizel yakıtının % 100'ü yani tamamı alkol yakıtı ile birlikte değiştirilebilmektedir.

Genelde bu uygulamada motorun standart enjeksiyon sistemi karbürasyon yada port tipi enjeksiyon modeli ile değiştirilerek yanma odasında bir bujinin yerleşimi gerektirmekte ve ateşleme sistemi elemanları motora sonradan entegre edilerek uygulanabilmektedir. Motor tasarımı göz önüne alındığında, bir dizel motoru buji ile ateşlemeli sisteme dönüştürürken ortaya çıkan sorunlar çift enjeksiyon sisteminde gerekli olan değişikliklere oldukça benzer olmaktadır. Bujinin yanma odasına yerleşimi için silindir kapağında yer problemi olmamalı ve bujinin soğuyabilmesi için yeri uygun olmalıdır. Bu teknikte bujinin yanma odasındaki yerleşimi, motorun tüm çalışması boyunca yanma işleminin düzenli olmasını sağlaması açısından büyük öneme sahiptir. Çift enjeksiyonlu sisteme göre buji ile ateşlemeli sistem mevcut yakıt tankı ve yakıt besleme sistemi kullanılabilmektedir. [13]

Alkoller yüksek buharlaşma ısısı ve yüksek oktan sayısına sahip olduklarından, bu yaklaşım ile daha avantajlı sonuçlar alınabilmektedir. Dizel motorunda yüksek kompresyon oranı ve ateşleme sistemi yardımı ile oluşan düzgün bir yanma ile motorun % 100 etanol ile ısı veriminde artış kaydedilebilmektedir.

Aslında bu yaklaşım ile birlikte motor % 100 alkol yakıtı ile çalışan ve benzin ile dizel motoru arasında özellikler gösteren verimli bir motor haline dönüşebilmektedir.

II.1.4. Setan Sayısını Arttırıcı Katkılarla Alkollerin Kullanılması

Alkollere % 10-20 oranında katılan tutuşmayı geliştirici katkılarla, setan sayılarının arttırılarak tutuşmanın sıkıştırma ile gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Böylece dizel motorlarında alkoller tutuşmayı geliştirici katkı ile birlikte % 100 oranında yani tamamen kullanımını sağlayan alternatif yöntemlerden birisi olmaktadır. Bu katkı maddelerinin çoğu nitrojen bazlı bileşiklerdir ve NO_x emisyonları üzerinde negatif bir etkiye sahiptir. Bu katkılardan başlıcaları, İzooamil Nitrat, Trietilen Glikol Dinitrat ve Sikloheksil Nitrattır. Son zamanlardaki çalışmalarda kaydedilen gelişmelerle katkı maddesi oranı Etilen Glikol Nitrat ile yaklaşık % 5 dolaylarına çekilebilmiş ve bazı araştırmalarda kullanılmıştır. [13, 19, 20, 21]

Bu şekilde motor üzerinde masraflı, karmaşık ve pahalı tasarımlara gidilmeden alkollerin dizel motorlarında kullanılabilmekte fakat minimum % 10 ya da % 20 oranında setan geliştirici katkı maddesine ihtiyaç olmaktadır. Kullanılan bu katkıların fiyatlarının yüksek olması ve kullanımda bazı sakıncalar oluşturması (yüksek NO_x) nedeniyle güncel uygulamalarda sınırlı kalmıştır.

Dizel motorlarında geliştirilmiş setan sayısına sahip alkollerin direkt olarak kullanımı için yinede bazı küçük değişikliklere ihtiyaç olmaktadır. Enjeksiyon zamanlamasında ve enjeksiyon miktarında optimum motor performansını elde etmek için yakıt enjeksiyon pompasında ayarlar gerekmektedir. Motor üzerinde uygulanmış olan güncel dizel enjeksiyon sistemlerinde tutuşmayı geliştirici katkılarla birlikte alkollerin kullanımında, etanolün yağlama özelliği dizel yakıtına göre daha düşük olduğundan dolayı genellikle yağlayıcı katıklar gerekli olmaktadır. Yağlayıcı katkı maddesi olarak Hint yağı en çok kullanılanlardan birisidir. [13]

II.1.5. Yüzey Ateşleme

Etanol gibi setan sayısı düşük yakıtların dizel motorlarında kullanımında, yanma odasında yüzey yardımcı tutuşturma tasarımı halinde alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Piston Ü.Ö.N.'da iken, bir önceki çevrimin yanma enerjisinden sağlanan enerjinin bir kısmını tutacak yüzeyler ile yada harici bir ısı kaynağı elemanı ile (ısıtma bujisi) yanma odasındaki sıcak yüzey için gerekli enerjinin sağlanarak lokal tutuşma koşulları ortaya çıkarılmaktadır. Hava yakıt karışımının içerisinde tutuşma alevinin yayılmasını gerçekleştirerek kararlı bir difüzyon alevinin oluşması sağlanabilmektedir.

Minimum yüzey sıcaklığı, kullanılan yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliğine ve yanma odasındaki koşullara bağlı olarak değişmektedir. Uygulamalar sonucu ısıtma bujisinin yüzey sıcaklığı tutuşmanın gerçekleşebilmesi için yaklaşık 850°C olması beklenmektedir. Sıcak yüzey uygulaması genellikle ön yanma indirekt enjeksiyonlu motorlarda ısıtma bujilerinin kullanımı ile soğukta ilk hareket problemlerinin üstesinden gelebilmek için kullanılmaktadır. Etanolün tutuşma karakteristikleri yakıt miktarına, püskürtme zamanlamasına, ısıtma bujisinin uzunluğuna, sıcaklığına ve yanma odasındaki konumuna bağlıdır. [16]

II.1.6. Etanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Diğer Tekniklere Göre Avantaj ve Dezavantajları

Etanol-dizel yakıtı karışımlarının kararlılığını sağlayacak ve yağlayıcı özelliği geliştirecek katkı maddeleri ile herhangi köklü değişikliğe gidilmeden dizel motorlarda kullanımı için uygulanabilen en pratik yöntemdir. Etanol-dizel yakıtı karışımlarında temel parametrelerden sadece maksimum yakıt enjeksiyon miktarında, zamanlamasında ve enjeksiyon basıncında yapılacak ayarlamalarla motorun çalışması dizel yakıtı ile çalışma durumundakine yakın bir hale getirilebilmektedir. Diğer uygulamalardan olan alkolün emme manifolduna verilmesi, çift enjeksiyon sistemi, alkollerin buji yardımı ile ateşlenmesi, setan ayırlarını arttırıcı katkılarla alkollerin kullanılması, yüzey ateşleme motor üzerinde detaylı ve köklü değişimler gerektirmekte ve uygulama maliyetleri artmaktadır.

Etanol-dizel karışımlarının en büyük dezavantajları, karışımda etanol oranının en fazla % 20'lerde sorunsuz uygulanabilmesi ve sonrasında karışımın setan sayısı göz önüne alındığında, motorda direkt kullanımın en fazla % 12-15 kadar etanol

miktarına imkan vermesidir. Bu karşılık alkolün emme manifolduna verilmesi ve çift enjeksiyon sisteminde alkol-dizel oranı % 50 ile % 90 olmaktadır. Yalnızca alkollerin buji ile ateşlemeli ve setan sayısını arttırıcı katkı maddesi ile kullanımında tamamen % 100 alkol oranına geçilebilmektedir. [13, 27]

Alkolün emme manifolduna verilmesi yönteminde, emme manifoldunda değişikliğe gidilerek karbüratör ya da buharlaştırıcı sistem ve oldukça karmaşık yakıt ölçme sistemi entegresi ile ayrı yakıt tankına ihtiyaç duyulmaktadır. Çift enjeksiyon sistemi ve buji ile ateşleme sistemlerinde sıkıntılar oldukça benzer olmaktadır. Bu tekniklerde silindir kapağında köklü değişikliklere gerek duyulmaktadır. Çift enjeksiyon sisteminde ikinci enjeksiyon sisteminin, buji ile ateşleme sisteminde de ayrı bir ateşleme sisteminin motora ilave edilme durumu vardır. Emisyonlardaki büyük gelişmelere rağmen dizel motorlarının tasarımları bu sistemlere uygun olmadığından her motorda uygulanması zor ve pahalı olmaktadır. [22]

Tutuşturmaya geliştirici katkı maddelerinde kullanılan nitrat bazlı bileşikler etanolün setan sayısını dizel yakıtı setan sayısı seviyesine getirerek motorda değişiklik yapılmadan doğrudan ve tamamen kullanabilmesi sağlanabilmektedir. Nitrat bazlı setan sayısı arttırıcı katkı maddelerinin pahalı olması ve NO_x emisyonlarını arttırması nedeniyle kullanımı kısıtlı olduğu için pek tercih edilmemektedir. [13]

Etanol üretimi fiyatı ve yukarıda açıklanan durumlar göz önüne alındığında, % 20'ye kadar etanol içeren etanol-dizel karışımlarının motorun yapısında herhangi bir değişikliğe gidilmeden diğer tekniklere göre en avantajlı ve ekonomik yöntem olmaktadır.

II.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde etanolün dizel motorlarında karışım olarak uygulanmasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Bir çalışmada tarımsal alanda kullanılan makinelerde dizel yakıtı yerine etanol-dizel karışımları kullanımının uygulanabilirliği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, dizel yakıtı yerine etanol-dizel karışımları kullanılmasıyla yakıt tüketiminde 0,38-1,78 \$/hektar artma CO, HC emisyonlarında ise önemli azalmalar kaydedilmiştir. Etanol üretiminde kullanılan bitkisel kökenli hammaddelerin üretimine destek verilmesi durumunda maliyeti düşecek ve etanol-dizel karışımları daha yaygın kullanılabilecektir. [23]

Bir yüksek lisans çalışmasında, dizel yakıtına hacimsel oranda (% 10 ve % 20) etanol katkısının bir dizel motorunda performans ve emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak etanol dizel yakıtı karışımları ile CO, is, ve SO₂ emisyonları azalırken NO_x emisyonlarında artış motor gücünde ise azalma olmaktadır. [24]

Hansen ve ark., deneysel çalışmalarında % 10, % 20 ve % 30 oranında etanol-dizel yakıt karışımlarının emisyonlara etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışma ile optimum şartlarının % 20 etanol-dizel karışımı ile olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma şartları ile is emisyonlarında % 55, HC emisyonlarında % 70 ve CO emisyonlarında ise % 45 azalma sağlanmıştır. [25]

Bilgin ve ark., etanol dizel yakıtı karışımlarını farklı sıkıştırma oranlarında deneyerek optimum performansı sağlamayı amaçlamışlardır. Deneylerinde % 2, 4, 6 oranında etanolü dizel yakıtı ile karıştırarak 19:1, 21:1, 23:1 sıkıştırma oranlarında denemişler ve motor performansındaki olumsuz etkinin minimum düzeyde kalmasını sağlayabilecek optimum sıkıştırma oranını araştırmışlardır. Deneyler sonucunda en optimum etanol miktarının % 4 olduğu gözlenmiş ve 21:1 sıkıştırma oranında termik verimde % 3,5'lik bir artış sağlanmıştır. [26]

Hansen ve ark., deneysel çalışmalarında, ikişer adet traktör ve biçerdöverde % 10 etanol-dizel yakıtı karışımları ile performans ve emisyon karşılaştırması yapmışlardır. Deneylerde her araçta CAN bus yolu ile bilgi toplayan bir data kartı kullanarak çalışma safhalarında performansları incelenmiştir. Karşılaştırmalar neticesinde dizel yakıtına göre etanol-dizel karışımlarının motor gücünü düşürerek yakıt tüketiminde % 4-5 oranında bir artışa neden olduğunu tespit etmişlerdir. [27]

Yapılan bir çalışmada, turbo doldurmalı, 6 silindirli ve 24 supaplı ağır hizmet tipi bir dizel motorunda % 10-15 etanol-dizel karışımlarının emisyonlar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Etanol karışımları ile partikül, CO ve HC emisyonlarında azalma NO_x emisyonlarında artma sağlanmıştır. En düşük emisyon değerleri ise % 15 etanol-dizel karışımı ile elde edilmiştir. [28]

Ajav ve ark., çalışmalarında modifiye edilmiş bir dizel motorunda buharlaştırılmış etanol-dizel yakıtı ile çalışma şartlarında performans emisyon karakteristiklerini incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada, ön ısıtmaya tabi tutulan etanol yakıtı, dizel motoruna eklenen bir karbüratör düzeneği ile emme zamanında hava ile birlikte silindirlere emilmektedir. Beş farklı yük şartlarında gerçekleştirilen bu çalışmanın sonucu olarak, etanol katkısı ile % 75 motor yüküne kadar özgül yakıt

tüketimi azalma ve efektif verim artma daha sonra ise özgül yakıt tüketiminde artma ve efektif verimde ise azalma gözlemlenmiştir. [29]

Literatürde püskürtme avansı üzerine ise sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Parlak ve ark., (2005) deneysel çalışmalarında standart püskürtme avansı 38° (KMA) olan ön yanma odalı bir dizel motorunda, püskürtme avansının 4° (34°) geciktirilmesinin performans ve NO_x emisyonu üzerine etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, püskürtme avansının 4° geciktirilmesi ile NO_x emisyonlarında yaklaşık % 40, özgül yakıt tüketiminde ise % 1,5 azalma kaydedilmiştir. [9]

Benzer bir çalışmada, standart püskürtme avansı 30° (KMA) olan çift yakıtlı (dizel + doğal gaz) ve tek silindirli bir dizel motorunda, püskürtme avansının 5° (35°) öne alınmasının yakıt tüketimi ve emisyonlar üzerine etkileri incelemişlerdir. Çift yakıtlı deney motorunda, % 10 oranındaki doğal gaz emme zamanında hava ile birlikte silindirlere emilmektedir. Sonuç olarak püskürtme avansının artması ile HC ve CO emisyonlarında önemli azalmalar kaydedilirken özgül yakıt tüketiminde ise kısmi olarak artma gözlemlenmiştir. [30]

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, dizel motorlarında etanol-dizel karışımlarının farklı püskürtme avanslarındaki emisyon ve performans özelliklerinin incelenmediği görülmektedir. Yapılan bu çalışma ile hem literatürdeki bu eksiklik giderilmiştir hem de optimum şartları oluşturan karışım oranı ve püskürtme avansı belirlenmiştir.

BÖLÜM III

ALTERNATİF ALKOL YAKITLAR

III.1. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA ALKOL YAKITLARIN KULLANIMI

Alkollerin motor yakıtı olarak değerlendirilmesi düşüncesi, içten yanmalı motorların tarihi kadar eskidir. Otto 1897’de motor çalışmalarında alkol kullanmış, Henry Ford ise ilk oto tasarımını alkolü de kullanacak şekilde gerçekleştirmiştir. 20. yüzyılın başlarında benzinli motorlarda alkol ve alkol-benzin karışımlarının kullanılması uygulamaları başlamıştır. Konuya ilişkin bilimsel çalışmalar ikinci dünya savaşı yıllarında yoğunlaşmıştır. [31]

Ulusal kaynaklardan yararlanma, tarımsal potansiyeli değerlendirme, döviz tasarrufu sağlama, yaşanan enerji krizleri ve gelecekte olası enerji krizlerine hazırlıklı olma nedenleri ile çeşitli ülkelerde alkollerin yakıt olarak değerlendirilmesi gündeme gelmiştir. Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Rusya, Brezilya, Yeni Zelanda, Küba, Güney Afrika Cumhuriyeti ve İsveç konunun uygulama ve çalışmalarının yoğun olduğu ülkeler arasında sayılabilir. [32] Türkiye’de benzine alkol katılarak ve yakıt olarak kullanılmasıyla ilgili bazı girişimlerde bulunulmuştur. Konu ilk defa 1931 yılında yapılan Ziraat Kongresi’nde ele alınmıştır. 1932 Yılında motorlarda kullanılan benzine belirli oranda alkol katılarak, hem alkol kullanımının artırılması, hem de yakıt tüketiminin kısmen yurt içinden karşılanması düşünülmüştür. 1942 yılında askeri araçlarda benzine % 20 oranında alkol katılmıştır. Savaşın sona ermesinden sonra, petrol üretiminin artması ve fiyatların düşürülmesi ile alkolün yakıt olarak kullanılması çalışmaları duraklamıştır. [33]

1973 yılında Arap ülkelerinin petrole ambargo koymaları ile fiyatların artması sonucu konuya ilgi yeniden artmıştır. Türkiye Şeker Fabrikaları A. Ş. “Yakıt amaçlı alkol üretim projesi”ni yatırım planına almış ve 8 adet alkol fabrikasının kurulması planlanmıştır ancak uygulamaya konulamamıştır. Alkol ve alkol karışımlarının yakıt olarak değerlendirilmesi üzerinde atılımlar Brezilyada gerçekleştirilmiş ve halen Brezilya bu konunun öncülüğünü yapmaktadır. Günümüz alternatif yakıt grupları içinde motor yakıtı olarak kullanılan alkol ve alkol karışımlarıdır. Gerek etanol gerekse metanol, başta Brezilya ve Amerika olmak üzere, birçok ülkede motor yakıtı olarak dikkate değer bir kullanım düzeyine ulaşmıştır. Ülkemizin tarımsal kaynaklarının bol olması ve petrole bağımlılığın en az düzeye indirilmesi ülkemizde alkol kökenli yakıtlar üzerine yapılan çalışmaların başlangıç noktasını oluşturmaktadır. [34]

Motorlu taşıtların neden olduğu hava kirliliğini azaltmak için özellikle fosil kökenli yakıtlara nazaran daha temiz egzoz gazı veren alternatif yakıtlar üzerinde bilimsel çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu özellikle alkollerin önemini bir kez daha artırmıştır. [5]

III.2. ETANOLÜN ÖZELLİKLERİ

III.2.1. Etanol, Metanol ve Dizel Yakıtının Özellikleri

Etanol, renksiz, saydam hafif kokulu, zehirli olmayan bir sıvıdır. Etilenin hidratlaşması ve şekerli bitkilerin fermantasyonu ile endüstriyel ölçüde üretilmektedir. Metanol üretiminde olduğu gibi çeşitli biokütle kaynakları, tarımsal artıklar, evsel endüstriyel artık ve atıklarda etanolün elde edilmesi için kullanılmaktadır. [35] Etanol, metanol ve dizel yakıtına ait fiziksel kimyasal ve özellikler Tablo III.1’de görülmektedir.

Etanol su ile her oranda karışabilir. Etanolün bileşiminde yandığı zaman hiçbir kalori değeri olmayan % 34 oranında oksijen vardır. Bu nedenle etanolün kalorisi düşüktür (6960 kcal/kg). Etanol 78,3°C’de kaynar. Bir kilogram etanolün tamamen yanabilmesi için 7 m³ havaya ihtiyaç bulunmaktadır. İçerisinde hiç su bulunmayan saf etanolün (% 99,5) yoğunluğu 15°C’de 794,2 kg/m³’tür. Su miktarı arttıkça yoğunluğu artmaktadır.

Etanol yandığında, hava miktarına göre, sirke asiti meydana getirebilir. Eğer alkol yanarken yeterli miktarda hava bulunmaz ise aldehit ve su, daha az bulunması

halinde ise sirke asiti meydana getirebilir. Bu durum etanolün yanmasında önem kazanmaktadır. Aldehit, havanın oksijeni ile birleşerek sirke asiti meydana gelebilir. Bu nedenden motorda etanol yakıldığında havanın iyi ayarlanması gerekmektedir.

Ancak havayı iyi ayarlamakla yanma sonucunda sirke asiti veya aldehit meydana gelmesi önlenebilmektedir. Etanol, dizel yakıtı beraber yandığında fazla oksijen, benzin tarafından kullanıldığından, aldehit veya sirke asiti meydana gelmesi kendiliğinden giderilmiş olmaktadır.

Etanol, buharlaşabilmesi için dizel yakıtına nazaran daha fazla ısı enerjisine ihtiyaç duymakta ve buharı da daha düşük derecelerde yoğunlaşmaktadır. Bunun sonucunda yalnız etanol ile çalışan motorlarda, motorun ilk harekete geçmesi için sıcak havaya ihtiyaç duyulmakta ve buharın yoğunlaşmaması içinde ısının yüksek tutulması gerekmektedir. Yalnız etanol, dizel yakıtı ile karıştırılınca bu durum normal hale gelmektedir. [36]

Tablo III.1 Etanol, metanol ve motorinin özellikleri [37, 38, 39]

ÖZELLİK	Etanol	Metanol	Dizel yakıtı
Kimyasal formülü	C_2H_5OH	CH_3OH	$C_{12}H_{26} - C_{14}H_{30}$
Mol ağırlığı (kg/kmol)	46,07	32,04	170-198
Kaynama noktası ($^{\circ}C$)	78,3	65	190-280
Donma noktası ($^{\circ}C$)	-117	-97	
Yoğunluk (kg/m^3 , $20^{\circ}C$ 'de)	811,5	794	820
Parlama noktası ($^{\circ}C$)	225	400	380
Tutuşma sıcaklığı ($^{\circ}C$)	425	470	300-340
Alt ısı değer (MJ/kg)	27	20,1	43
Setan sayısı	>15	>15	40-60
Buhar basıncı (kPa, $38^{\circ}C$ 'de)	17	32	0,34
Adyabatik alev sıcaklığı ($^{\circ}C$)	1930	1890	2054
Stokiyometrik Hava/Yakıt oranı	8,96	6,46	14,7
Gizli buharlaşma ısısı (kJ/kg)	921,1	1167,7	620
Vizkozite (mPa.s, $40^{\circ}C$ 'de)	1,1	0,58	1,75
Nemden etkilenme	Etkilenir	Etkilenir	Etkilenmez
Görünüm	Renksiz	Renksiz	Renksiz, hafif, sarı

III.2.2. Etanol Üretimi

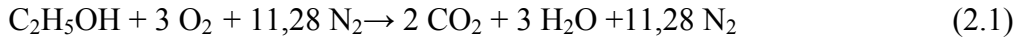
Yirminci yüzyılın başlarında etanol üretiminin tarımsal hammaddeye dayanması, çiftçiye bir enerji üreticisi yapmıştır. Fakat son yıllarda petrolün ucuz olması, kolaylıkla ve bol miktarda temin edilmesi, etanolün yakıt olarak kullanılmasını geliştirmemiştir. [40, 41]

Bütün hidrokarbonlar fermantasyon yolu ile etanola dönüşebilir. Bu dönüşüm, şeker için basit ve kolaydır. Nişasta için ise kısmen zordur. Ayrıca dönüşüm selülozda biraz daha zorlaşmaktadır. Her ne şekilde olursa olsun etanol üretiminin kaynağını,

1. Şeker içeren ürünler (şeker pancarı, şeker kamışı, hayvan pancarı, tatlı sorgum, yaş ve kuru meyveler v.b.)
2. Nişasta kapsayan ürünler (tahıl, mısır, patates v.b.)
3. Gıda sanayi artıkları (peynir suyu, narenciye)
4. Selülozlu maddeler (şehir atıkları, çiftlik atıkları, odun ve artıkları v.b.)
5. Tarımsal kökenli olmayan bazı gazlar (etilen, asetilen, tabi gaz, kömür gazı, sanayi artığı gazlar v.b.) oluşturmaktadır. [33]

III.2.3. Etanolün Yanma Eşitliği

Teorik olarak etanolün yanma denklemi: [42]



$$46 \text{ kg} + 96 \text{ kg} + 315,84 \text{ kg} \rightarrow 88 \text{ kg} + 54 \text{ kg} + 315,8 \text{ kg}$$

Etanol de toplam molekül ağırlığının % 34,8'i oksijendir.

Hava yakıt oranı değişkendir. Reaksiyonda yer alan hava yakıt oranı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$m(\text{hava}) = \frac{96}{0,232} = 413,8 \text{ kg} \quad (2.2)$$

$$\text{hava/yakıt} = \frac{413,8}{46} = 8,96 \quad (2.3)$$

III.2.4. Etanolün Gizli Buharlaşma Isısı

Etanolün buharlaşma gizli ısısı Tablo III.1’de görüldüğü gibi dizel yakıtından 1,5 kat daha fazladır. Bunun anlamı, buharlaşma esnasında yanma odasından daha fazla ısı çekilmesi demek olduğundan, ilk hareket dizel yakıtına göre biraz daha zor olmaktadır. Eğer ilk çalışma esnasında yanma odasına dışarıdan yeterli ısı verilemiyorsa bazı olumsuzluklar neden olacaktır. Etanol silindirlere püskürtüldüğünde tutuşma gecikmesi süresi uzayacak, yakıt tüketimini ve egzoz emisyonlarını olumsuz yönde etkilenecektir. [43]

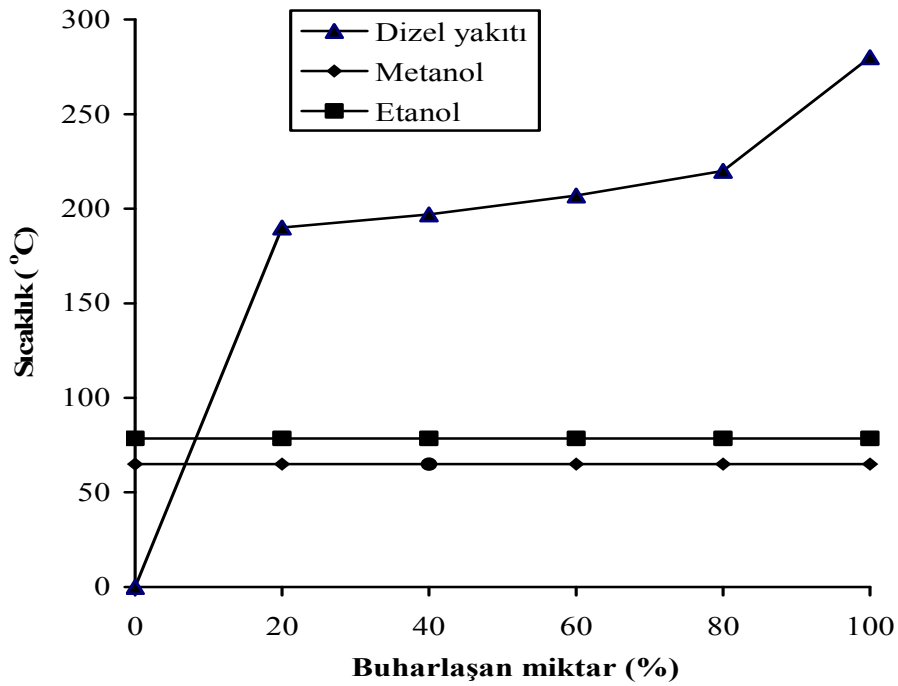
III.2.5. Etanolün Alt Isıl Değeri ve Yoğunluğu

Yoğunluk, belirtilen sıcaklıkta kütle ile hacim arasındaki mutlak ilişki olup, uluslararası Sistem’de kg/l birimi ile ifade edilir. Yakıtların yoğunlukları farklı sıcaklıklarda ölçülmekteyse de daha çok karışırmalarda 40°C sıcaklıktaki yoğunluk değişimi kullanılmaktadır. Ölçümlerden sonra mutlak sıcaklık olan 15°C’deki yoğunluk üzerinde değişiklik yapılmaktadır.

Dizel yakıtının 15°C’deki yoğunluğu 0,820-0,860 kg/l arasındadır. Dizel yakıtına göre etanolün yoğunluğu daha az olduğundan karışımın içerisindeki etanol miktarı artırıldıkça karışımın yoğunluğu da azalmaktadır. [37] Dizel motorları üzerinde bulunan enjeksiyon sistemleri hacimsel olarak yakıt enjeksiyonu yaptıklarından dolayı kullanılan yakıtların yoğunlukları ve viskozitelerindeki değişimler motor için gerekli olacak yakıtın kütle transferi ve ölçme işlemlerini etkilemektedir. Motorlarda farklı yakıtlar yada karışımlar kullanıldığında, optimum şartları yakalamak için hacimsel olarak daha fazla yakıt enjeksiyonu gerekli olmaktadır. Böylece yoğunluk, yakıtın özgül enerjisini de belirlediği için motor performansı ile doğrudan ilişkilidir. Tablo III.1’de görüldüğü gibi etanolün alt ısı değeri dizel yakıtının yaklaşık % 62’si kadar olması nedeniyle, etanollü çalışmalarda özgül yakıt tüketimi karışımdaki etanol miktarı ile orantılı olarak artmaktadır. Dizel yakıtı yerine etanol kullanıldığında aynı yolu gitmek için dizelin 1,5 katı yakıt deposu gerekmektedir. Dizel yakıtı-etanol karışımı yakıt hazırlanırken karışımın sahip olacağı alt ısı değerinin kesin olarak bilinmesi gerekmektedir. Çünkü motora ısı değeri düşük yakıt vermek demek, yakıt miktarının ve hava yakıt-karışımının değiştirilmesi demektir. [44]

III.2.6. Etanolün Kaynama Noktası

Şekil III.1’de alkollerin ve tipik bir dizel yakıtı örneğinin kaynama eğrileri gösterilmiştir. Dizel yakıtının kaynama noktaları yaklaşık 190°C ile 280°C arasında değişen farklı yapılara sahip hidrokarbon moleküllerinden meydana gelmiş kompleks yapılu bir maddedir. Etanol ise tek bir sıcaklıkta kaynayan (78,3°C) ve aynı yapıya sahip moleküllerden oluşmuş bir maddedir. Buna göre etanol dizel yakıtına göre daha iyi buharlaşır ve temiz yanar. Etanolün kaynama noktası dizel yakıtından daha düşük olduğundan soğuk ortamlarda motorların çalışabilmesi için sorun teşkil etmemektedir. Aşağıdaki şekilde, y eksenini yüzde cinsinden buharlaşan miktarı x eksenini ise °C cinsinden sıcaklığı ifade etmektedir.



Şekil III.1 Alkol ve dizel yakıtının kaynama eğrileri

III.2.7. Etanollü Yakıtta Faz Ayrışması

Etanol-dizel yakıtı karışımları ile motor çalıştırılmasında karşılaşılan problemlerden birisi, dizel ve etanol aynı tank içerisinde bulundurulursa karışım oranına, ortam sıcaklığına, karışımı oluşturan dizel yakıtının kimyasal yapısına bağlı olarak faz ayrışması meydana gelir. Faz ayrışmasında etanol deponun üst tarafında, dizel yakıtı ise deponun alt tarafında toplanmaktadır.

Faz ayrışması sonucu, etanol ya da dizel yakıtının motora sevk edilmesi ile motorda yakıt dengesizliği ve bu nedenle güç düşüklüğü oluşmaktadır. Bunun yanı sıra, faz ayrışması olması durumlarında, motorlarda ilk hareket zorlukları meydana gelir. Bunu önlemek için, etanol dizel karışımları ya farklı depolardan yanma odasına gönderilirken karıştırılır ya da aynı depo içerisinde bir karıştırıcı ile karıştırılarak yanma odasına sevk edilir. [31, 41]

Buna ilaven, literatürde pek sık rastlanmayan, ancak yakıt deposu içerisinde hazırlanan karışımın üzerine statik bir elektrik uygulanarak da faz ayrışmasının önlenilebileceği üzerinde durulmaktadır.

Çeşitli koşullar altında ve mevcut araçlarda gerekebilecek değişiklikleri belirlemek için karışımların hangi koşullarda faz ayrışmasına uğrayacağı tespit edilmelidir. Böyle bir karışımın mevcut bir araçta neden olacağı tahribat önemli derecede olabilir. Çünkü faz ayrışmasına uğramış bir karışımda hava yakıt oranını değişecektir, bu da motor gücünün düşmesine neden olacaktır. Literatürde, hacimsel olarak % 20 oranına kadar etanol kullanılması halinde faz ayrışması sorununun oluşmadığı görülmektedir.

III.2.8. Etanolün Yanma Performansı

Etanol sahip olduğu birçok özellikten dolayı çok iyi bir alternatif yakıt adayıdır. Aynı hacimdeki metanole göre sahip olduğu yüksek enerji yoğunluğu, ön tutuşma olayına gösterdiği direnç, düşük korozyon ve toksit özellikleri, dizel yakıtı ve metanole göre güvenli oluşu bu özelliklerden bazılarıdır. Etanol dizel yakıtından daha yüksek sıcaklıkta yandığı için sıkıştırma oranının artışına izin verir. Bu yaklaşım ise daha yüksek ısı verimi oluşturur. [45]

Tablo III.1’de görüldüğü gibi etanol dizele göre yüksek ısı verim sağlamaması adyabatik alev sıcaklığının düşük olmasından ileri gelmektedir. Bu sayede daha parlak ve daha hızlı bir yanma sağlanır. Bu nedenle yanma odasından motor soğutma sistemlerine kondüksiyon ve radyasyon aracılığı ile daha az ısı kaybedilir. Egzoz sıcaklığındaki düşme ile de ısı kaybı azaltılmaktadır. Etanolün yanma hızının yüksek olması nedeniyle, motordan maksimum momenti alabilmek için avansın biraz değiştirilmesi gerekmektedir.

III.2.9. Etanolün Viskozitesi ve Yağlama Özelliği

Viskozite, akışkanların akmaya karşı gösterdikleri direnç olup en önemli özelliklerinden birisidir. Viskozite birimi için yaygın olarak centipoise (cP) kullanılmaktadır ve aynı zamanda mPa.s birimine eşittir. Hareketli parçalar arasındaki sürtünme, aşınma ve kaçak gibi etkenler viskozite ile doğrudan ilişkilidir. Yakıtın viskozitesi ve yağlayıcı özelliği yakıt enjeksiyon sistemi için çok önemli bir rol oynamaktadır.

Dizel enjeksiyon sisteminin temel elemanlarının yağlanması yakıt tarafından gerçekleştirildiğinden dolayı viskozitenin belirli bir değerden düşük olması istenmemektedir. Özellikle distribütör tipi yakıt enjeksiyon pompalarının hidrolik başlık ve rotorunda, common rail akümülatör tipi yakıt enjeksiyon sistemlerinde ise yakıtın yüksek basınç transfer pompasından yakıt hattına dağıtılırken yakıtın yağlama özelliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Sıra tipi yakıt enjeksiyon pompaları ise kullanılan yakıtın yağlama özelliğine daha az duyarlı olmaktadır. Fakat yine de az miktarda pompa elemanı arasında yağlamaya gerek duyulmaktadır. Enjektörlerde ise yakıtın yağlama özelliği enjektör iğnesi ve gövdesi arasında gerekli olmaktadır. [27]

Yakıt enjeksiyon pompası elemanı arasına giren yakıtın viskozitesinin düşük olması durumunda, yakıt pompası ve enjektör kaçaklarına neden olmaktadır. Sonuç olarak viskozitesi çok düşük yakıtların pompalama kayıplarında da artış görülmektedir. Motor gücünün azalmasında etanolün düşük ısıl değerlerinden başka viskozitesinden doğan pompalama kayıpları ile bir azalma meydana gelmekte ve düşük viskozite nedeniyle yakıt pompasının elemanlarının aşınması da hızlanmaktadır. [27]

İçten yanmalı motorların emisyonları yalnızca yakıtın kimyasal yapısı ile ilgili değil aynı zamanda yakıtın fiziksel özelliklerine de bağlıdır. Yakıtın fiziksel özelliklerinden viskozitenin değişimi ile birlikte, püskürtülen yakıt zerreciklerinin büyüklükleri, yakıtın silindir içerisindeki atomizasyonu, silindir içerisine nüfuz edişi gibi yakıt enjeksiyon püskürtme karakteristikleri değişmektedir. Dolayısıyla silindir içerisinde ilk yakıt enjeksiyonundan ilk alev cephesinin oluşmasına kadar geçen süre içerisinde tutuşma gecikmesinin fiziksel süreci viskozite ile etkilenmektedir. Yakıtın viskozitesinin istenen değerden daha büyük olması ise yakıt enjeksiyonu sırasında büyük bir direncin oluşmasına neden olmaktadır.

Böylece artan yoğunlukla beraber yakıtın atomizasyonu kötüleşmekte ve iri yakıt tanecikleri soğuk silindir cidarlarına çarparak is emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. [14]

Farklı sıcaklıklardaki dizel ve etanol dizel yakıtı karışımlarının viskozite ile değişimleri ise Tablo III.2’de görülmektedir. 15°C’deki % 5-10-15-20 ve 25 etanol dizel yakıtı karışımlarının viskozitelerinin dizel yakıtına göre % 1,4-4,9-8-9,2 ve 12 daha düşük viskoziteye sahip olmaktadır. % 5 ile % 10’luk karışımların viskoziteleri arasında önemli bir fark bulunmamaktadır.

Tablo III.2 Farklı sıcaklıklarda etanol-dizel yakıtı karışımlarının viskozite değişimi[29]

% Hacimsel		Viskozite (mPa.s veya cP)						
Etanol	Dizel	15°C	20°C	26°C	32°C	38°C	44°C	50°C
0	100	6,245	5,611	4,687	3,800	3,423	2,900	2,814
5	95	6,158	5,534	4,493	3,652	3,278	2,799	2,636
10	90	5,941	5,456	4,246	3,559	2,739	2,739	2,561
15	85	5,747	5,163	4,004	3,451	2,602	2,602	2,469
20	80	5,667	5,087	3,867	3,370	2,392	2,392	2,176
25	75	5,495	5,034	3,439	2,890	2,256	2,256	2,919
30	70	5,372	4,917	3,065	2,804	2,078	2,078	1,829

Standart dizel yakıtı yağlama özelliği üzerine ASTM test metotlarında herhangi bir kriter bulunmamaktadır. Buna karşılık bazı motor üretici firmalar kullanılan dizel yakıtı yağlayıcı özelliği üzerine gerekli minimum kriterleri kendileri için belirlemişlerdir. Gelecekteki uygulamalarda 2006 yılında Amerika’da standart dizel yakıtı içerisindeki kükürt oranı 15 ppm mertebelerine düşürülmesi öngörülmekte ve yakıt içerisindeki kükürt miktarının azaltılması dizel yakıtı yağlama özelliğini azaltacaktır.

Bu yüzden ileride dizel enjeksiyon sistemleri üzerine yapılacak alternatif yakıtların yağlayıcı özellikleri üzerinde şimdiden standardizasyona ihtiyaç duyulmaktadır. [46] Tüm bu sonuçlara rağmen etanol-dizel karışımlarının yenilenebilir ve alternatif olan bitkisel yağ ya da esterlerin dizel yakıtı ile hazırlanan karışımlarına göre dizel yakıtının viskozitesine daha yakın fakat yağlayıcı özelliği daha az olmaktadır. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının etanolün düşük yağlama kalitesi nedeniyle yağlayıcı katkı maddesi ya da yüksek oranda yağlayıcı bileşikler

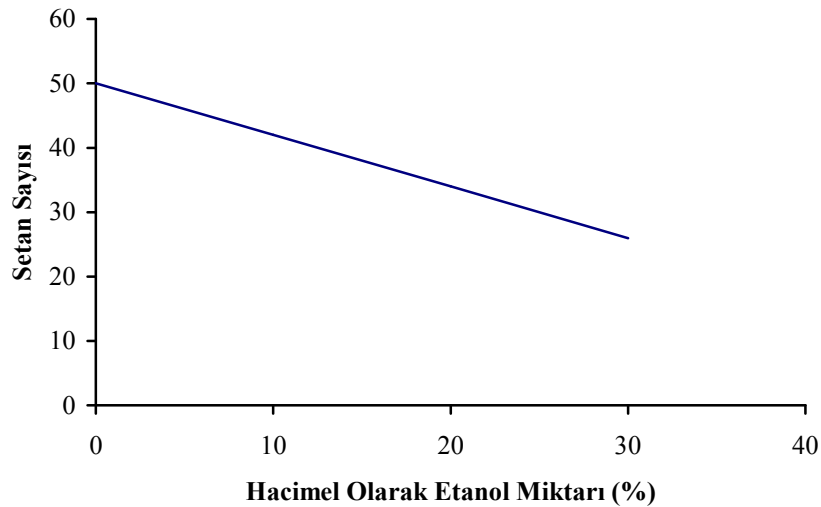
kullanarak yağlama kalitesi geliştirilebilir. Genellikle biyolojik bazlı yağlar özellikle Hint yağı karışıma katılarak yağlayıcı özelliği geliştirici katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. [14]

III.2.10. Setan Sayısı ve Kendi Kendine Tutuşma Özelliği

Setan sayısı, yakıtın silindir içerisine püskürtüldükten sonra sıkıştırma işlemi ile birlikte ısınan havanın içerisinde kendi kendine tutuşma özelliğini belirleyen ölçüttür. Setan sayısı yüksek olduğunda tutuşma gecikmesi süresi azalmakta ve yanma odasında biriken yakıtın ani yanması ile oluşan hızlı basınç artışı engellenilmektedir.

ASTM D975'e göre dizel yakıtı setan sayısının minimum 40 olması istenmektedir. Etanolün setan sayısı 5-15, standart dizel yakıtının ise 45-50 arasında olduğundan dizel yakıtına karıştırılan etanol miktarı arttıkça karışımın setan sayısı istenilen değerin altına düşmektedir.

Şekil III.2'de setan sayısının etanol miktarına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi % 12-12,5 olan etanol-dizel yakıtı karışımının setan sayısı 40 olmaktadır ve % 10 kadar etanol ilavesi karışımının setan sayısı üzerinde az bir etki oluşturmaktadır. Etanol dizel yakıtı karışımlarının dizel motorlarında kullanımında setan sayısının sınırlamaları nedeniyle yakıt karışımında kullanılacak motorda değişikliğe gidilmediği sürece en uygun etanol karışım oranı % 10-15'dir. [11, 26]



Şekil III.2 Etanol-dizel karışımlarının setan sayısının değişimi [14]

Bu belirtilenlerin yanında setan sayısı yüksek veya istenilen sınırlar içinde olduğunda, motorun soğukta ilk hareketi kolaylaşmakta, motor sesi azalmakta, motor ömrü artmakta, performansı iyileşmekte NO_x emisyonları azalmaktadır. Setan sayısı düşük olduğunda motorda düzensiz çalışma, güç düşüklüğü ve egzoz emisyonlarında olumsuz etkiler görülmektedir. [20]

III.2.11. Etanolün Egzoz Emisyonları

Etanol ve dizel yakıtı yanma sonucu hemen hemen benzer emisyon tiplerini oluşturmaktadır. Ancak etanolün dizele göre daha düşük alev sıcaklığının olması, yanma işleminin iyileşmesini, yanma ürünleri içindeki azot oksitlerin NO_x ve CO'nin azalmasını sağlamaktadır. Etanolün yanması sonucu CO, CO_2 ve NO_x gazları oluşmaktadır. Sera etkisini önemli ölçüde etkileyen CO_2 emisyonlarında ortalama % 10 azalma olmaktadır.

Etanol benzinin aksine yanmamış hidrokarbonlar üretmez. Etanolün motorda yanması tam olarak gerçekleşmekte, parçacık oluşmamaktadır. NO_x motor silindiri içinde yüksek sıcaklık ve basınç altında, havadaki azot ve oksijenin birleşmesi ile oluşur. Etanolün yanması ile oluşan ısı azdır, dolayısıyla çok fazla miktarda NO_x meydana gelmesi için gerekli koşul oluşmaz. Diğer taraftan etanol yandığında dizel yakıtına göre iki kat daha fazla formaldehit üretilir. Bu madde daha önceleri biyolojik maddeleri korumak, saklamak için kullanılıyordu, ancak kanserojen madde olduğu anlaşıldı. Bazı araştırmacılar, formaldehit emisyonu olayının etanolün kullanılmasının yaygınlaşmasına engel olacağını söylerken, bazıları da bunların kontrol altına alınarak azaltılabileceğini iddia ediyorlar. Araştırmacılar formaldehit emisyonunun motorun çalışmaya başlaması ile ilk iki dakika içerisinde oluştuğunu ve katalitik konvertörle azaltılabileceğini belirtmekteler. Fakat katalitik konvertörlerin ısıtılması gereklidir. Isıtma işlemi aküden alınacak elektrik enerjisi ile mümkün olabilir. [34]

BÖLÜM IV

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

IV.1. DENEYLERDE KULLANILAN YAKITLARIN TANITILMASI

Ülkemizde mazot olarak bilinen yakıtı da içine alan ve kerozen ile yağlama yağı arasında özgül ağırlık ve damıtma bakımından çok geniş bandı olan bir yakıt grubudur. Dizel motorları İçin kullanım alanına bağlı olarak bu bant içerisinde en uygunu seçilir. [6]

Dizel yakıtı bileşiminde 177–356°C arası kaynayan hidrokarbonlar içeren, normal koşullarda sıvı olan bir petrol ürünüdür. Bu karışımda C₈-C₁₆ hidrokarbonları bulunur. Belli bir kaynama noktası yoktur, kaynama aralığı vardır. Az miktarda kükürt, azot, kül ve su ihtiva eden dizel yakıtı Türkiye’de mazot olarak da isimlendirilir. Uygun değerde olması istenen bazı performans özellikleri, dizel motorunda hava içerisine püskürtülen yakıtın tutuşma gecikmesi küçük olmalıdır. Aksi takdirde biriken yakıt tutuşunca darbe etkisi şiddetli olur. Yakıtın bu olaya karşı mukavemeti setan sayısının büyüklüğü ile ifade edilir. Yakıtın setan sayısı ne kadar yüksek ise tutuşma gecikmesi süresi o kadar kısa olur. Ancak setan sayısı >70 olan yakıtın is teşekkülü arttığından ve ısı değerleri düşük olduğundan maksimum setan sayısı sınırı 70 olarak seçilmelidir.

Viskozite püskürtme sistemi açısından çok önem taşır. Bilindiği gibi püskürtme pompası ve enjektörler çok küçük toleranslarla işlenmiş elemanlardır. Bu nedenle, yakıtın yağlama özelliği bunların sıhhatli çalışması ve ömürleri açısından birinci dereceden önem taşır.

Viskozitenin çok düşük olması, pompa yönünden, çok yüksek olması depodan pompalama ve enjektörden püskürtmede problem çıkarır. Hatta çok iri damlalar teşekkül ederse bunlar tam yanmayacağından egzoz çok isli ve dumanlı olur.

Dizel yakıtının en önemli problemlerinden birisi önemli ölçüde karbon ve kül ihtiva etmesidir. Yanma sonunda oluşan bu atıklar silindir cidarları, segman ve supaplarda birikerek motor performansını olumsuz yönde etkiler. Akma noktası, yakıtın soğuk hava koşullarında, depodan motora gelmesi ve filtreden süzülmesi açısından önemlidir. Kullanım şartlarına uygun olmalıdır. [37, 47]

Bölüm III' de her yönüyle incelenen etanol içerisinde etil alkol (C_2H_5OH) bulunan şeker, şekerle çevrilebilen selüloz ve nişasta gibi maddelerin fermentasyonu sonucu elde edilen alkol türüdür. Etanol, mısır, şeker kamışı, şeker pancarı, patates ve tahıllar gibi tarım ürünlerinden elde edilir. Deneylerde J.T. Baker marka % 99 saflıkta etil alkol (C_2H_5OH) içeren etanol ve Alpet petrol firmasının eurodizel yakıtı kullanılmıştır. Bu yakıtlara ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo IV.1'de belirtilmiştir.

Tablo IV.1 Deneylerde kullanılan etanol ve eurodizel yakıtının özellikleri [37, 48]

ÖZELLİK	Etanol	Eurodizel yakıtı
Kimyasal formülü	C_2H_5OH	$C_{12}H_{26} - C_{14}H_{30}$
Mol ağırlığı (kg/kmol)	46,07	170 – 198
Kaynama noktası ($^{\circ}C$)	78,3	190 – 280
Donma noktası ($^{\circ}C$)	-117	
Yoğunluk (kg/m^3 , 20 $^{\circ}C$ 'de)	811,5	820 – 845
Parlama noktası ($^{\circ}C$)	225	375
Tutuşma sıcaklığı ($^{\circ}C$)	425	300 – 340
Alt ısı değeri (MJ/kg)	27	43
Setan sayısı	>15	50>
Buhar basıncı (kPa, 38 $^{\circ}C$ 'de)	17	0,34
Adyabatik alev sıcaklığı ($^{\circ}C$)	1930	2054
Stokiyometrik Hava/Yakıt oranı	8,96	14,7
Gizli buharlaşma ısısı (kJ/kg)	921,1	620
Viskozite (mPa.s, 40 $^{\circ}C$ 'de)	1,1	4,45–12

Eurodizel yakıtı kullanımı ile kükürt oranında motorine kıyasla 140 kat, diğer bir ifade ile % 99,99 (6950 ppm) oranında azalma sağlanmış olmaktadır. Yakıt içerisinde bulunan kükürdün yanması ile oluşan kükürt oksitler ve daha sonra oluşan sülfürik asit dolayısıyla partikül emisyon değerlerinde çok önemli miktarda azalma sağlanacaktır.

Yakıt içerisinde bulunan yüksek miktardaki kükürt katalitik konvertör dönüşüm veriminde ciddi düşüslere ve tıkanmalara neden olmaktadır. Eurodizel yakıtı kullanımı ile bu problemler tamamen ortadan kalkacaktır.

Emisyonlar açısından eurodizel yakıtı kullanımı değerlendirilecek olursa, yakıt içeriğindeki kükürt ile partiküller madde emisyon değerleri arasında ilişki dikkate alındığında yakıtın bünyesindeki kükürt değerinde sağlanan % 99,99'luk azalma, partikül emisyon değerlerinin tamamına yakınının yok olmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak emisyon değerlerinde sağlanan iyileşme neticesinde, asit yağmurlarının oluşumu, bitki örtüsüne ve insan sağlığına verilen zarar minimum seviyeye düşürülmüş olacaktır. Şekil IV.1'de deneylerde kullanılan yakıtlar görülmektedir. Deneylerde % 100 eurodizel ve hacimsel olarak % 5, 10, 15 oranında etanol-eurodizel karışımları yakıt olarak kullanılmıştır.



Şekil IV.1 Deneylerde kullanılan yakıtlar, eurodizel ve % 5, 10, 15 oranında etanol-eurodizel karışımları

IV.2. DENEY TESİSATININ TANITILMASI

IV.2.1. Deney Motoru

Bu çalışmada Motosan firmasına ait Süper Star 7710 model, tek silindirli, dört zamanlı ve direk püskürtmeli bir dizel motoru kullanılmıştır. Deneyde kullanılan motora ait karakteristik özellikler Tablo IV.2’de verilmiştir. Motor testlerine başlamadan önce yakıt pompası, silindir, piston, supaplar, silindir kapak contası, enjektör, yakıt sistemi bağlantı hortumları, yakıt filtresi, soğutma sistemi elemanları ve bağlantıları kontrol edilerek arızalı elemanlar değiştirilmiştir. Ayrıca avans, supap ve yakıt pompası ayarları motorun katalog değerlerine göre düzenlenmiştir. Deneylerde kullanılan motor Şekil IV.2’de görülmektedir.

Tablo IV.2 Deney motoruna ait karakteristik özellikler [49]

Motor cinsi	Süper Star
İmalat tarihi	1990
Çalışma türü	Dört zamanlı-Direkt püskürtmeli
Silindir sayısı	1
Strok boyu	100 mm
Toplam silindir hacmi	770 cm ³
Yakıt tankı kapasitesi	13000 cm ³
Silindir çapı	98 mm
Yağ kapasitesi	2000 cm ³
Ağırlık	160 kg
Sıkıştırma oranı	17:1
Maksimum moment	39,8 Nm (1650 d/d’da)
Maksimum güç	7,4 kW (1900 d/d’da)
Soğutma şekli	Su soğutmalı
Püskürtme basıncı	175 kg/cm ²
Supap boşlukları (Soğuk)	Emme ve egzoz: 0,25 mm
Emme supabı açılması	Ü.Ö.N.’dan 15 derece önce
Egzoz supabı kapanması	Ü.Ö.N.’dan 15 derece sonra



Şekil IV.2 Deneylerde kullanılan motor

IV.2.2. Dinamometre

Motor test sisteminde Motosan marka hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre motorun değişik yük kademelerinde yüklenmesini sağlayarak yük ve devre bağlı olarak performans değerlerinin belirlenmesi sağlar. Dinamometre motor volanına bir kaplin ile bağlanmıştır. Bu dinamometrelerde dönen kısımdaki mekanik enerji çark etrafında dolaşan suyun sürtünmesiyle ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Sürekli olarak devir daim ettirilen su soğutularak dinamometreye alınmaktadır. Su kontrolünü sağlamak için dinamometrenin giriş ve çıkışına küresel vanalar bağlanmıştır. Küresel vanalar ile dinamometre içerisinde dolaşan suyun debisi ayarlanmış ve dinamometre üzerindeki bir kuvvet kolu dijital terazi üzerine basarak yükleme miktarı ölçülmüş motor testleri de sabit yükte yapılmıştır. [50] Deneylerde kullanılan dinamometre ve motor Şekil IV.3’de görülmektedir. Şekil IV.4’de ise dijital terazi üzerine kuvvet uygulayan dinamometrenin kuvvet kolu görülmektedir.



Şekil IV.3 Dinamometre ve motor



Şekil IV.4 Dinamometre ve dijital terazi

IV.2.3. Egzoz Gaz Analiz Cihazı

Egzoz emisyonları ölçümü iki farklı test cihazı ile yapılmıştır. CO, HC, O₂, CO₂ ve hava fazlalık katsayısı ölçümü için Opus 40 marka emisyon test cihazı kullanılmıştır. Cihazın ölçüm aralıkları, CO için % 0-10 hassasiyet % 0,02, HC için 0-2000 ppm hassasiyet 1 ppm, CO₂ için % 0-16 hassasiyet % 0,3 ve O₂ için % 0-25 hassasiyet % 0,1'dir. NO_x emisyonu ölçümü için ise Kane-May Quintox marka emisyon test cihazı kullanılmıştır, cihazın ölçüm aralığı 0-5000 ppm ve hassasiyeti % ± 5 'dir. Ayrıca motor yağ sıcaklığı ölçümü Opus 40 emisyon test cihazıyla da yapılmış ve ölçüm aralığı 0-160°C hassasiyet 1°C'dir. Şekil IV.5'de Opus 40, Şekil IV.6'da ise Kane-May Quintox marka emisyon test cihazı görülmektedir.



Şekil IV.5 CO, HC, O₂, CO₂ ve hava fazlalık katsayısı ölçümü için kullanılan Opus 40 marka emisyon test cihazı



Şekil IV.6 NO_x ölçümü için kullanılan Kane-May Quintox marka emisyon test cihazı

IV.2.4. Yakıt Debisi Ölçme Donanımı

Kütleli yakıt tüketimini ölçmek için Şekil IV.7’de görülen Soemle marka, 1gr hassasiyetli dijital terazi kullanılmıştır. Bu yöntemin amacı, hacimsel olarak yakıt tüketiminden ziyade direkt olarak yakıt kütlesini ölçmektir. Bu yöntemin kullanılmasıyla hava sıcaklığının yakıtın yoğunluğuna olan etkisi ortadan kaldırılmaktadır. Yakıt tüketimi ölçüm işlemi şu şekilde yapılmıştır. Bir kronometre kullanılarak belirli bir zaman sürecinde hassas terazi göstergesinde meydana gelen değer farkı kaydedilmiş ve birim zamanda tüketilen yakıt miktarı hesaplanmıştır. Ayrıca yakıt deposuna faz ayrışmasını önlemek ve homojen bir karışım elde etmek için Şekil IV.8’de görülen mikser monte edilmiştir.



Şekil IV.7 Yakıt debisi ölçüm donanımı



Şekil IV.8 Mikser

IV.2.5. Hava Debisi Ölçme Donanımı

Hava debisinin ölçülmesi gerek motorun performansının gerekse emisyon karakteristiklerinin hesaplanmasında oldukça önemlidir. Hava/yakıt oranı, hava fazlalık katsayısı, hacimsel verim ve yanma analizinin yapılabilmesi için hava debisi ölçülmelidir. [8] Deney sonuçlarının gerçekçi olması için hava miktarının hassas bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir.

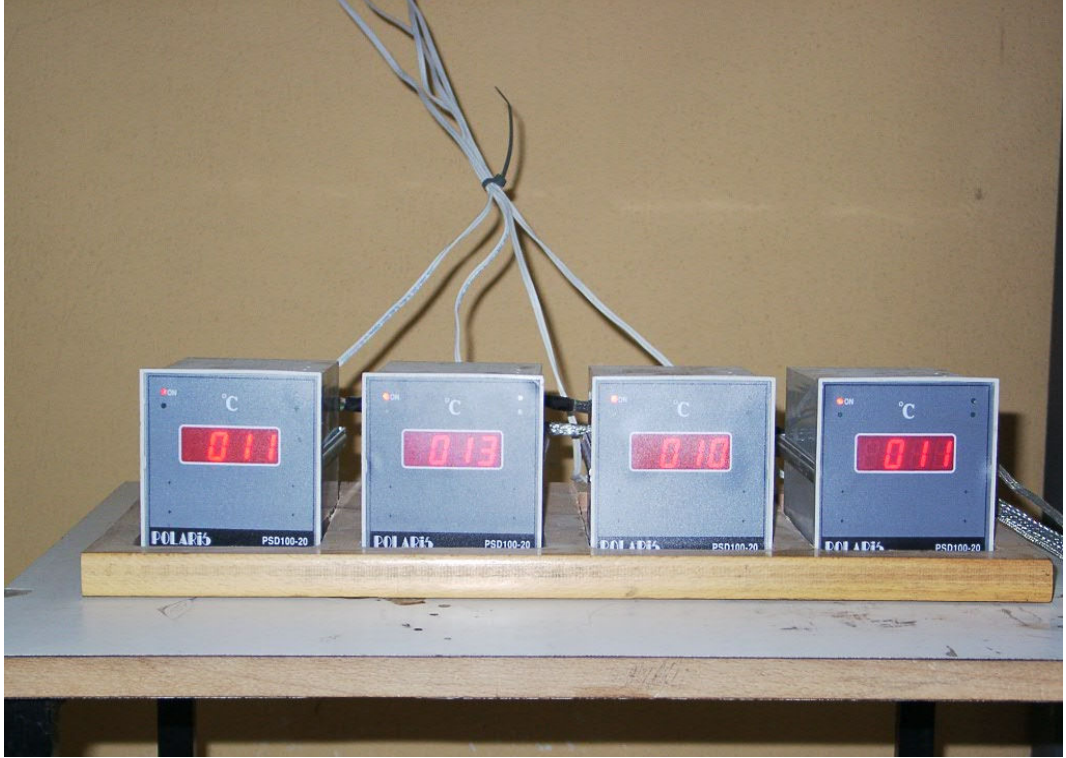
Motora giren hava debisini ölçmek için Şekil IV.9’da görülen düzenek hazırlanmıştır. Düzenekte kararlı havayı sağlayabilmek için toplam silindir hacminin yaklaşık 50 katı büyüklüğündeki bir tank kullanılmıştır. [51] Sistemde boru çapına uygun olarak üretilmiş bir orifis ve 30° eğim açılı Dwyer marka eğik manometre kullanılmıştır. Burada orifis plaka ile borudan geçen havanın hızı artırılarak basıncı düşürülmektedir. Orifisin her iki tarafındaki basınç farkı eğik manometre ile ölçülmüştür. Çevre havası sıcaklığını belirlemek için ASTM standartlarına uygun bir termometre kullanılmıştır. Ölçümler esnasında, sıcaklık değişiminin hava yoğunluğu üzerine etkisi dikkate alınmamıştır.



Şekil IV.9 Hava debisi ölçüm donanımı

IV.2.6. Sıcaklık Ölçüm Donanımı

Deneylerde bir adet dijital termometre ve Ni-Cr-Ni elemanlı 4 adet dijital göstergeli termokoupl kullanıldı. Dijital termometre $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ hassasiyetli olup 0 ile 120°C arasında ölçüm yapabilmektedir. Termometre motor karterine monte edilerek motor yağının çalışma sıcaklığı ölçüldü. Dijital termokoupl'lar ise $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ hassasiyetli olup $0-1200^{\circ}\text{C}$ arasında ölçüm yapabilmektedir. Dijital termokouplarla radyatör giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları, emme ve egzoz manifoldu sıcaklıkları ölçüldü. Sıcaklık ölçüm donanımı Şekil IV.10'da görülmektedir.



Şekil IV.10 Sıcaklık ölçüm donanımı

IV.2.7. Dijital Takometre ile Devir Ölçülmesi

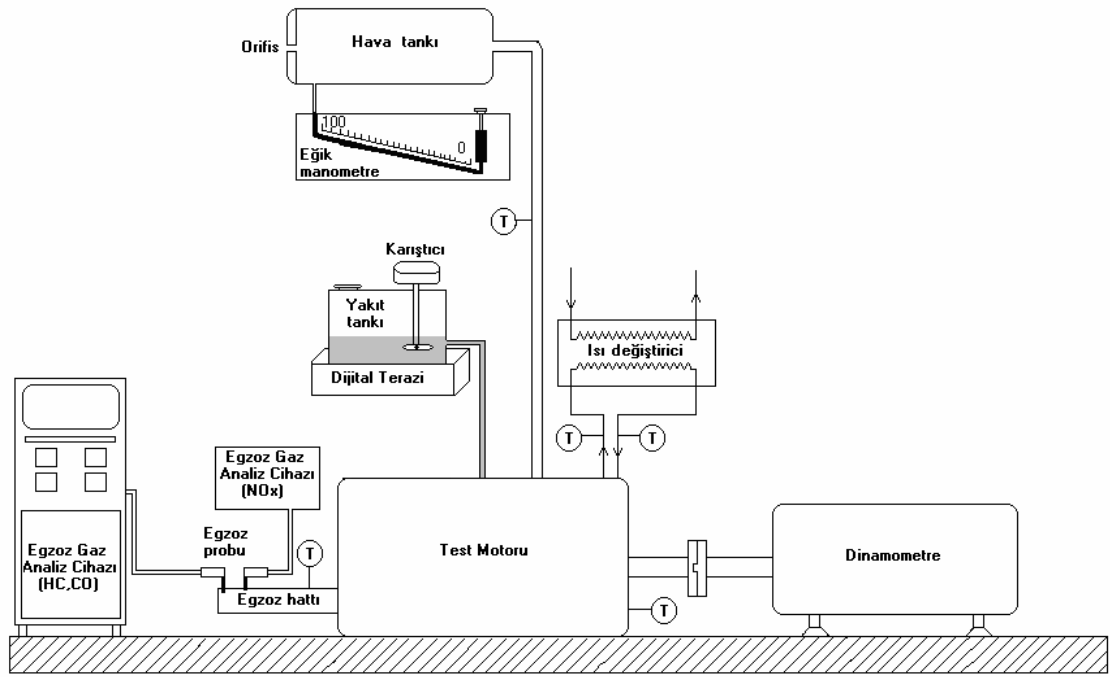
Motor test ünitesinde Elimko marka 10-10000 d/d ölçüm aralığına sahip dijital takometre kullanılmıştır. Ölçüm hatası yaklaşık $0,01$ 'dir. Kullanılan dijital takometre Şekil IV.11'de görülmektedir.



Şekil IV.11 Dijital takometre

IV.3. DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneyler Şekil IV.12’de görülen deney tesisatında yapılmıştır. Ön deneylerin yapılmasından sonra, yakıt pompası, silindir, piston, supaplar, silindir kapak contası, enjektör, yakıt sistemi bağlantı hortumları, yakıt filtresi, soğutma sistemi elemanları ve bağlantıları kontrol edilerek arızalı elemanlar değiştirilmiştir. Ayrıca avans, enjektör püskürtme basıncı, supap ve yakıt pompası ayarları motorun katalog değerlerine göre yapıldı ve bu değerler deney çalışmaları boyunca sık sık kontrol edilerek deney şartlarına uygun düzeltmeler yapıldı. Deneyler esnasında motor soğutma suyunun motora giriş ve çıkış sıcaklıkları, karterdeki motor yağının sıcaklığı, silindire giren dolgu sıcaklığı, egzoz gazlarının sıcaklığı değişik ölçüm aralığına sahip, hassas termometre ile ölçüldü.



Şekil IV.12 Deney tesisatı

Deneyisel çalışmada kullanılan test motorunun standart püskürtme başlangıcı değeri krank mili açısı (KMA) cinsinden 27° (Ü.Ö.N'dan önce)'dir. Yakıt pompasının motora bağlantı yerlerinde bulunan avans şimleri 0,25 mm kalınlığında olup KMA cinsinden bir adet şim 3° 'ye karşılık gelmektedir. [49] Motorun avans değerinin belirlenmesinde kullanılan şimler Şekil IV.12'de görülmektedir. Şimlerin artırılıp azaltılması ile deneyler 5 farklı avans değerinde (0, ± 3 , ± 6) gerçekleştirilmiştir. Öncelikle deneyler standart avans değerinde % 100 eurodizel ve hacimsel olarak % 5, 10, 15 etanol–eurodizel karışımlarında gerçekleştirildi. Motor iki sabit yük (15 ve 30 Nm) kademesinde yüklenerek her bir yükleme durumu için beş farklı devir sayısında (1000, 1200, 1400, 1600, 1800) ölçümler yapıldı. Daha sonra her bir avans değeri için aynı yük, devir ve yakıt kompozisyonlarında testler tekrarlandı. Her bir ölçüm 3 defa tekrarlanarak ortalama değerler alındı. Yakıt deposuna faz ayrışmasını önlemek ve homojen bir karışım elde etmek için mikser (karıştırıcı) ilave edildi. Her bir ölçüm 120 saniye süresince yapıldı. Yükleme şartlarında motorun rejime (motor yağ sıcaklığı 40°C oluncaya kadar çalıştırılmıştır) girmesine özellikle dikkat edilmiş ve rejim şartlarına ulaşıldığında, motora ve sisteme monte edilen ölçüm cihazlarından gerekli değerler okunarak kaydedildi. Yüksek devirlerde motor yağında görülen aşırı ısınmanın motora vereceği zararı önlemek için yağ sıcaklığı devamlı kontrol edilmiştir.

Motor yükü gerektiğinde boşaltılarak motor rölanti devri üzerinde ve boşta çalıştırılarak dinlenmeye terk edildi.



Şekil IV.13 Avans şimi

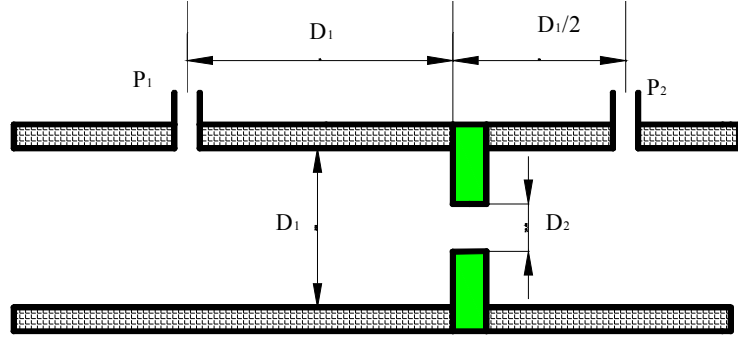
Motorun normal çalışma davranışı gösterdiği aralıklarda, egzoz, motor yağı ve su giriş çıkış sıcaklıkları, eğik manometre sapması, kütleli yakıt debisi, motor devir sayısı, egzoz emisyon cihazlarının gösterdiği emisyon değerleri okundu ve kaydedildi. Ölçüm sonucu elde edilen değerler ekler kısmında tablolar halinde sunuldu.

IV.4. DENEYLER ESNASINDA HESAPLANAN DEĞERLER

Ölçülen değerler referans alınarak motora giren havanın debisi, yakıt debisi, hava fazlalık katsayısı, özgül yakıt sarfıyatı, motor efektif gücü aşağıdaki hesaplama yöntemleri kullanılarak bulundu.

IV.4.1. Kütlesel Hava Debisinin Hesaplanması

Kütlesel akış debisi aşağıdaki denklemler kullanılarak bulunabilmektedir. Kullanılan orifisin çap oranına bağlı olarak ve $k=1,4$ için genişleme katsayısı 0,96 ve orifis katsayısı 0,62 olarak alınmıştır. [52]



Şekil IV.14 Orifis

$$Q_h = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot C_o \cdot Y \sqrt{2 \frac{P_{man}}{\rho_h}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (4.1)$$

$$P_{man} = \rho_{su} \cdot g \cdot \Delta h \cdot \sin \alpha \quad [\text{N}/\text{m}^2] \quad (4.2)$$

$$\dot{m}_h = Q_h \rho_h \quad (\text{NECC 1998}) \quad [\text{kg}/\text{s}] \quad (4.3)$$

$$C_o \text{ (Orifis katsayısı)} = 0,62 \text{ [52]} \quad [-]$$

$$Y \text{ (Genişleme katsayısı)} = 0,96 \text{ (} k=1,4 \text{ için)} = 0,96 \text{ (ASME)} \quad [-]$$

$$D_2 = \text{Orifis çapı} \quad [\text{m}]$$

$$\alpha = \text{Manometre eğim açısı} \quad [^\circ]$$

IV.4.2. Kütlesel Yakıt Debisinin Hesaplanması

$$\dot{m}_y = \frac{m_y}{t} \text{ [8]} \quad [\text{kg}/\text{s}] \quad (4.4)$$

$$m_y = \text{Kullanılan yakıtın miktarı} \quad [\text{kg}]$$

$$t = \text{Yakıt tüketim süresi} \quad [\text{s}]$$

IV.4.3. Motor Efektif Gücünün Hesaplanması

$$Md = F \cdot \ell$$

$$F = \text{Dijital terazide okunan kuvvet} \quad [\text{N}]$$

$$\ell = \text{Frenleme çemberi merkezi ile dijital terazi arasındaki uzaklık} \quad [\text{m}]$$

$$P_e = \frac{Md \cdot n}{9549} \quad [8] \quad [\text{kW}] \quad (4.5)$$

$$Md = \text{Motor torku} \quad [\text{Nm}]$$

$$n = \text{Devir sayısı} \quad [\text{d/d}]$$

Frenleme çemberi merkezi ile dijital terazi arasındaki dik uzaklık 0,75 m'dir. Hesaplanan efektif gücü bir örnekle açıklayacak olursak, % 100 eurodizel ile yapılan testlerde 15 Nm sabit yük ve 1000 d/d test şartlarında motorun efektif gücü;

$$P_e = \frac{15 \cdot 1000}{9549} = 1,57 \text{ kW'dır.}$$

IV.4.4. Özgül Yakıt Tüketiminin Hesaplanması

$$bsfc = 3,6 \cdot 10^6 \frac{m_y}{P_e} \quad [53] \quad [\text{gr/kWh}] \quad (4.6)$$

Hesaplanan özgül yakıt sarfiyatını bir örnekle açıklayacak olursak; % 100 eurodizel yakıtı kullanılan 1000 d/d ve 15 Nm sabit yük deney şartlarında efektif güç 1,57 kW ve tüketilen yakıt debisi $0,1969 \cdot 10^{-4}$ kg/s ise özgül yakıt tüketimi;

$$bsfc = 3,6 \cdot 10^6 \frac{0,1969 \cdot 10^{-4}}{1,57} = 439 \text{ gr / kWh 'dir.}$$

IV.4.5. Hava Fazlalık Katsayısının Hesaplanması

$$HFK = \left[\frac{HYO_{Gerçek}}{HYO_{Teorik}} \right] \quad [-] \quad (4.7)$$

$$HYO_{Gerçek} = \left[\frac{m_h}{m_y} \right] \quad [-] \quad (4.8)$$

BÖLÜM V

DENEYSEL BULGULAR VE YORUMLARI

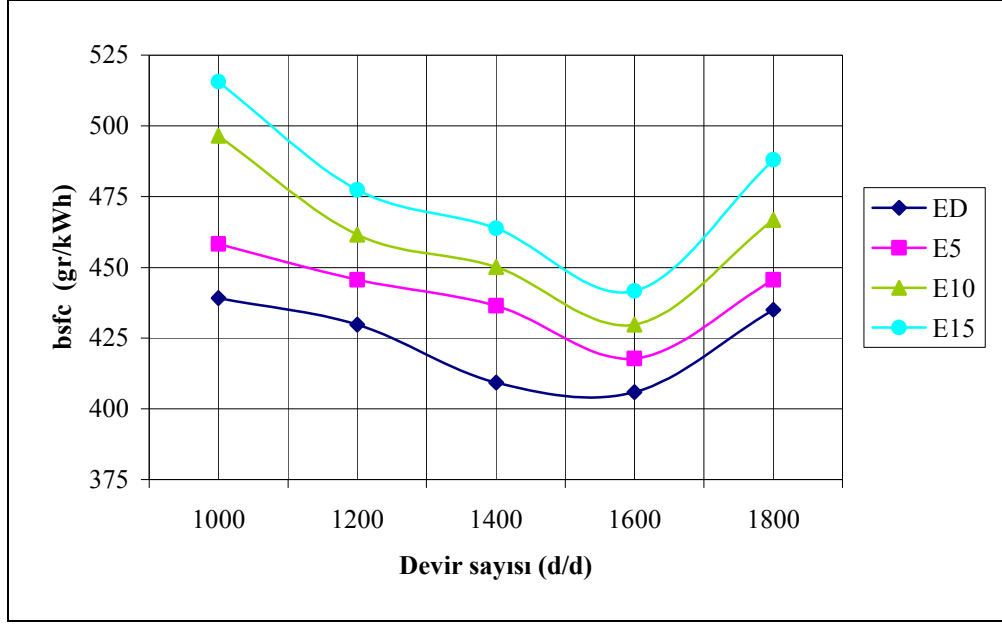
V.1. ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMLERİ

V.1.1. Standart Avans (27° KMA) Değerindeki Deney Sonuçları

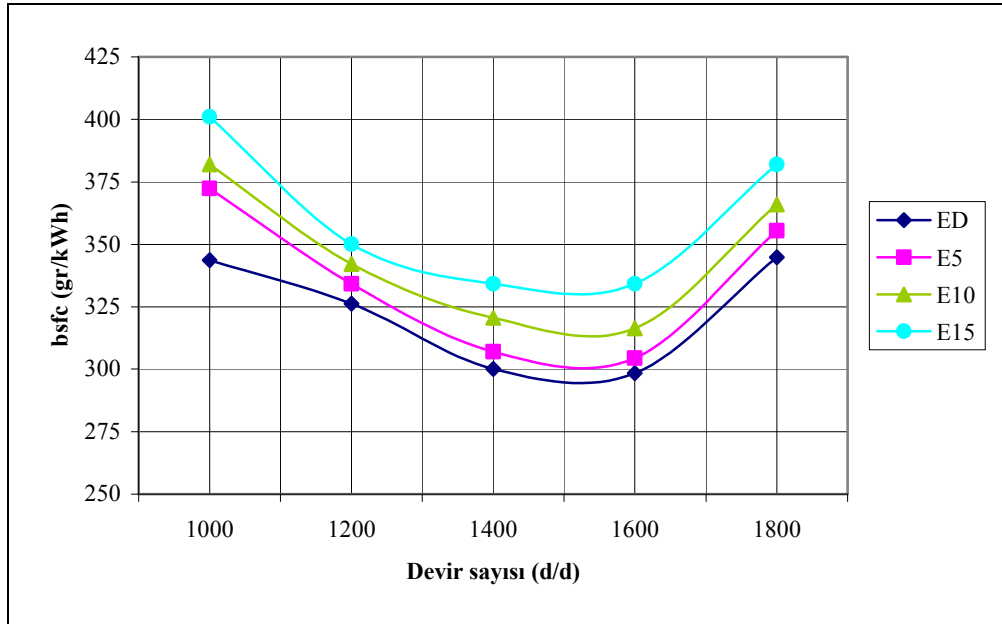
Tüm deneyler boyunca kullanılan, eurodizel, % 5 etanol + % 95 eurodizel, % 10 etanol + % 90 eurodizel ve % 15 etanol + % 85 eurodizel yakıtları sırası ile ED, E5, E10 ve E15 olarak belirtilmiştir. Şekil V.1’de test motorunun standart avans değeri olan 27° (KMA cinsinden) ve 15 Nm sabit yük değerinde özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi devir sayısının artması ile özgül yakıt tüketimi azalmakta ve motorun maksimum torku ürettiği 1600 d/d da minimum değerine ulaşmaktadır. Bu değere rejim hızı denir. Motor hızının daha da artması ile volümetrik verim düşmekte ve özgül yakıt tüketimi tekrar artmaktadır.

Örneğin ED yakıtı, 15 Nm sabit yük ve 1000 d/d’da özgül yakıt tüketimi 439 gr/kWh iken 1600 d/d da 405 gr/kWh olmaktadır. 1600 d/d’dan sonra ise volumetrik verimin düşmesi ile özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Yakıtların hepsi karşılaştırıldığında ise karışım içindeki etanol miktarının artması ile özgül yakıt tüketimi de artmaktadır. Bunun nedeni etanolün ısı değeri düşük olmasıdır. Örneğin Şekil V.2’de 30 Nm sabit yük ve 1200 d/d’da E5 yakıtındaki özgül yakıt tüketimi 334 gr/kWh iken E15 yakıtında 350 gr/kWh olmaktadır. Özgül yakıt tüketiminin en yüksek olduğu değer 15 Nm sabit yük ve 1000 d/d deney şartlarında elde edildi.

Bu şartlardaki özgül yakıt tüketimleri ise ED 439 gr/kWh iken, E5, E10 ve E15 yakıtlarında sırası ile 458, 496, 515 gr/kWh dir. Özgül yakıt tüketiminin en düşük olduğu değeri, motordan maksimum torku elde ettiğimiz 30 Nm, 1600 d/d deney şartlarıdır. Bu şartlardaki özgül yakıt tüketimi değerleri sırası ile ED 298 gr/kWh, E5 yakıtında 304 gr/kWh iken sırası ile E10 ve E15 yakıtlarında, 316 gr/kWh'dir.



Şekil V.1 Standart avans ve 15 Nm sabit yükte farklı dizel-etanol karışımlarındaki özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi



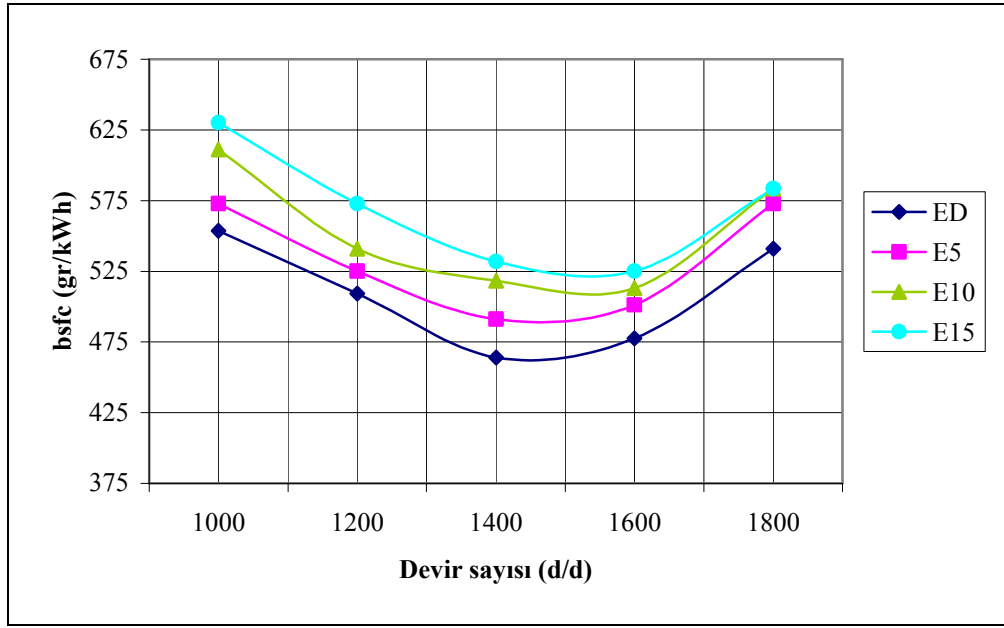
Şekil V.2 Standart avans ve 30 Nm sabit yükte farklı dizel-etanol karışımlarındaki özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi

V.1.2. +3 ve +6 Avans (30° ve 33° KMA) Değerlerindeki Deney Sonuçları

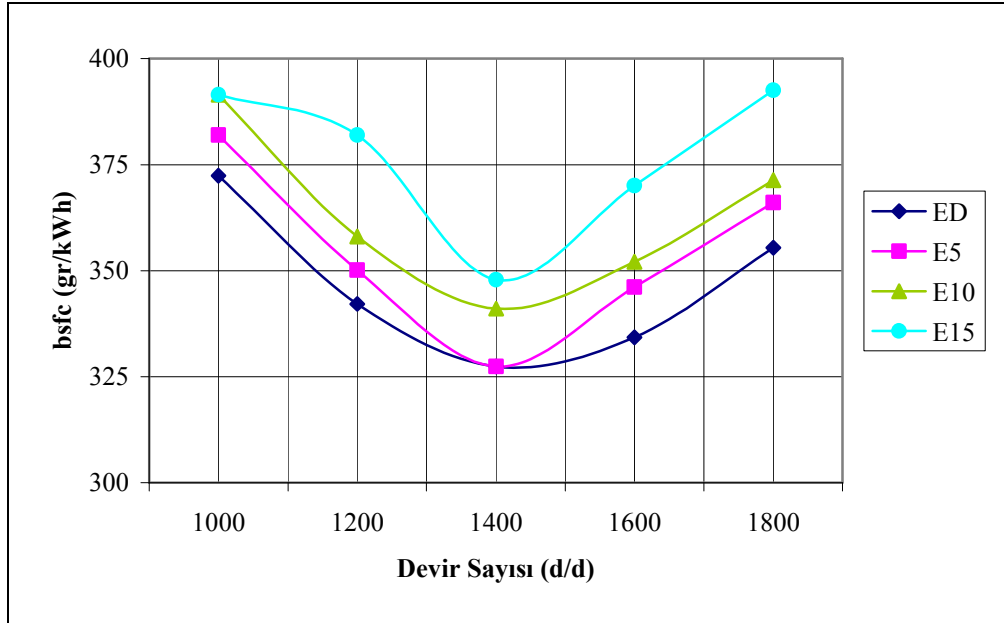
Dizel motorlarında püskürtme Ü.Ö.N.'ya varmadan başlatılır. Buna püskürtme avansı (PA) denir ve krank mili açısı (KMA) olarak ifade edilir. [6] Avans artırıldığında, yakıtın püskürtme başlangıcı KMA olarak daha erkene alınmaktadır. Yanma odasında da yeterli basınç ve sıcaklık oluşmadığı için tutuşma gecikmesi uzamakta ve motor vuruntusu artmaktadır. Buna bağlı olarak içeri alınan yakıtın yanma kalitesi azalmakta ve ısı verim düşmektedir. Motorun sabit yükte yeterli güç oluşturabilmesi içinde özgül yakıt tüketimi artmaktadır.

Şekil V.3, V.4, V.5 te ve V.6'da özgül yakıt tüketiminin avans artışına ve farklı etanol-dizel oranlarına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Örneğin Şekil V.2 de standart avans değerinde 30 Nm sabit yük ve E10 yakıtında 1600 d/d'daki özgül yakıt tüketimi 316 gr/kWh iken Şekil V.4'te +3 avans değerinde ve aynı deney şartlarındaki özgül yakıt tüketimi 352 gr/kWh ve Şekil V.6'da, +6 avans değerindeki özgül yakıt tüketimi, 364 gr/kWh olmaktadır. Standart avans değerinde olduğu gibi yakıtlar karşılaştırıldığında dizel yakıtı içerisindeki etanol oranının artışına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi de artmaktadır.

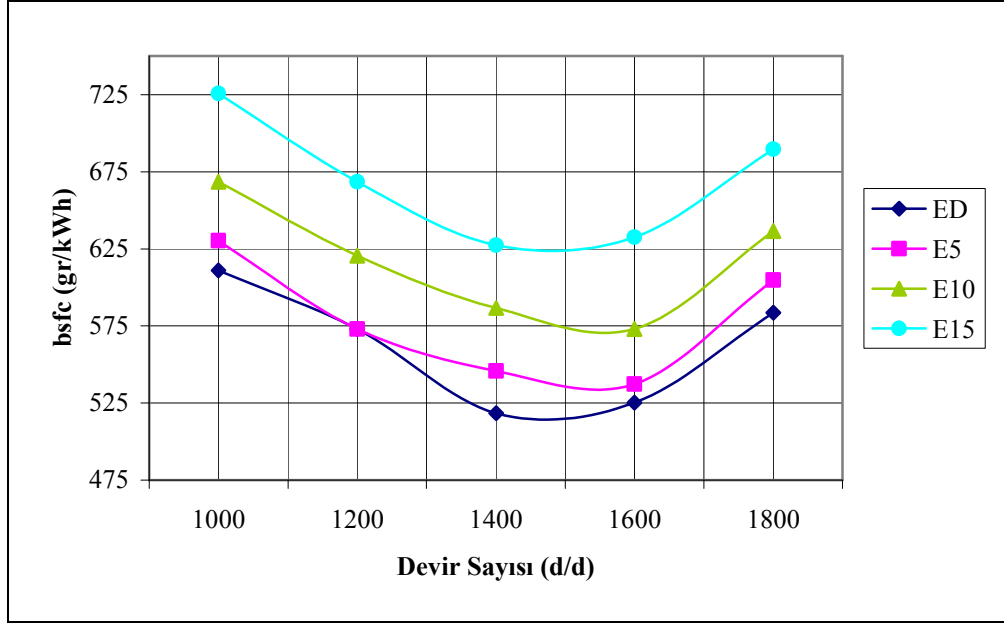
+3 avans değerindeki en düşük özgül yakıt tüketimi 30 Nm sabit yük ve motorun maksimum torku ürettiği 1400 d/d deney şartlarında gerçekleşmiştir. Bu deney şartlarındaki değerler, ED 327 gr/kWh, E5, E10 ve E15 yakıtlarında sırası ile, 327, 341, 347 gr/kWh'dir. +3 avans değerinde en yüksek özgül yakıt tüketimi 15 Nm sabit yük ve 1000 d/d deney şartlarında gerçekleşmiştir. En yüksek özgül yakıt tüketimi E15 yakıtında olmuştur, bu değer 630 gr/kWh iken sırası ile diğer değerler, ED yakıtında, 553 gr/kWh, E5 yakıtında 572 gr/kWh ve E10 yakıtında 611 gr/kWh dir. +6 avans değerinde en düşük özgül yakıt tüketimi 30 Nm sabit yük ve 1600 d/d deney şartlarıdır, bu durumdaki özgül yakıt tüketimleri, ED yakıtında, 340 gr/kWh ve sırası ile E5, E10 ve E15 yakıtlarında, 346, 364, 393 gr/kWh dir. +6 avans değerindeki en yüksek özgül yakıt tüketimi, 15 Nm sabit yük ve 1000 d/d elde edildi. Bu konumdaki özgül yakıt tüketim değerleri sırası ile ED yakıtında, 611 gr/kWh, E5, E10 ve E15 yakıtlarında, 630, 668, 725 gr/kWh dir.



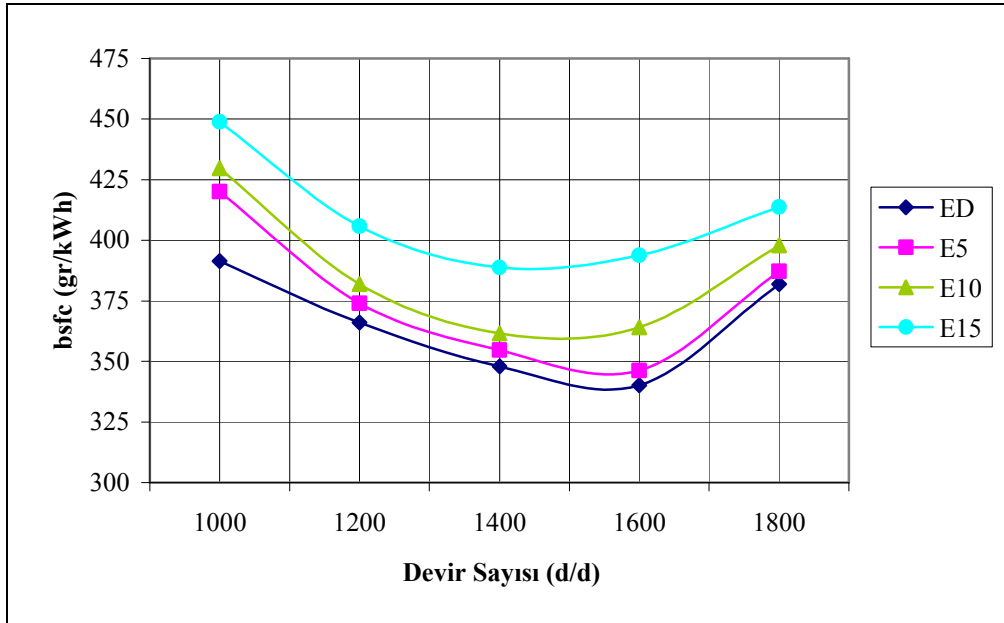
Şekil V.3 +3 Avans ve 15 Nm sabit yükte farklı dizel-etanol karışımlarındaki özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi



Şekil V.4 +3 avans ve 30 Nm sabit yükte farklı dizel-etanol karışımlarındaki özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi



Şekil V.5 +6 avans ve 15 Nm sabit yükte farklı dizel-etanol karışımlarındaki özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi



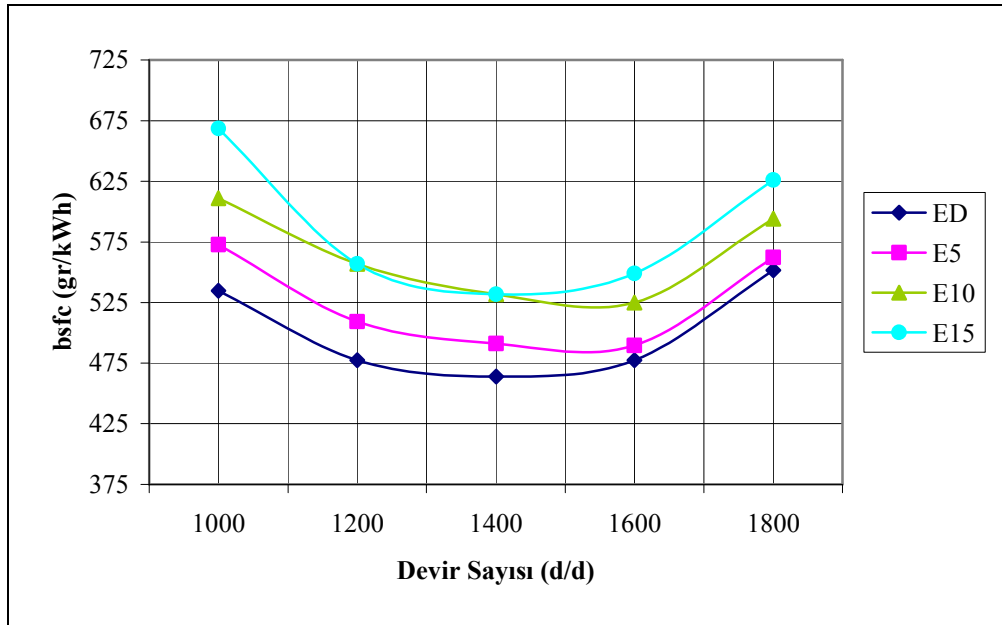
Şekil V.6 +6 avans ve 30 Nm sabit yükte farklı dizel-etanol karışımlarındaki özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi (Devam)

V.1.3. -3 ve -6 Avans (24° ve 21° KMA) Değerlerinde Yapılan Deney Sonuçları

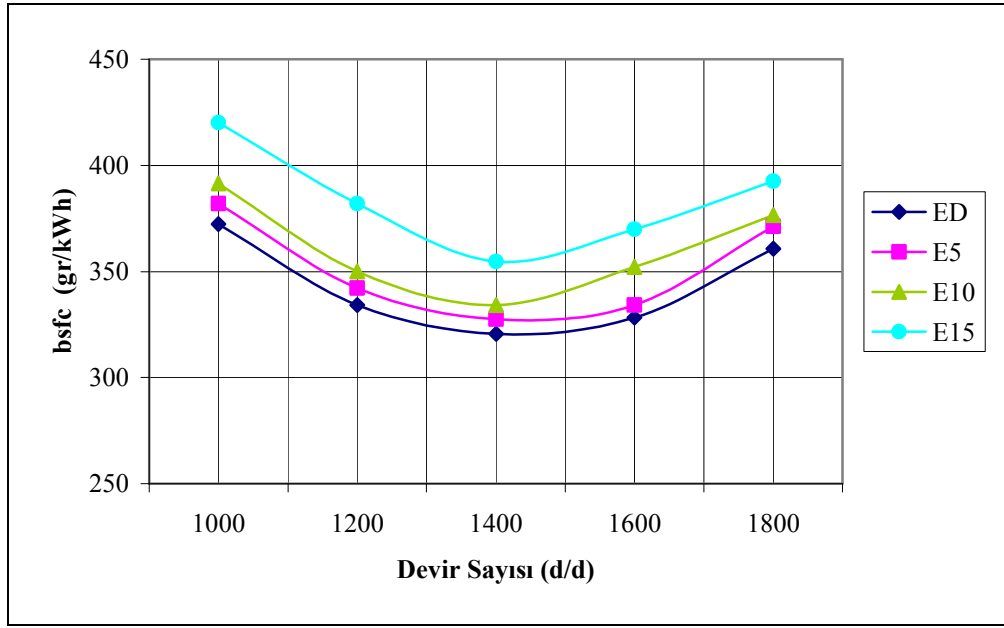
Püskürtme avansı azaltıldığında, yakıtın püskürtme başlangıcı geciktirilmekte ve Ü.Ö.N.'ya daha yakın noktalarda püskürtme gerçekleşmektedir. Yakıtın yanması için yeterli süre oluşmamaktadır. Pistonun Ü.Ö.N.'dan A.Ö.N.'ya ilerlemesiyle, hacim artmakta, basınç ve sıcaklık azalmaktadır, yani yakıtın yanması için ideal şartlar oluşmamaktadır. Deneylerde de buna bağlı olarak, sabit yükte motorun güç üretebilmesi için özgül yakıt tüketimleri artmaktadır. [6]

Şekil V.7, V.8, V.9 ve V.10'da özgül yakıt tüketiminin azalan avansa bağlı olarak değişimi görülmektedir. Elde edilen deney sonuçlarına göre özgül yakıt tüketimi değerlerinin standart avansa göre arttığı görülmektedir.

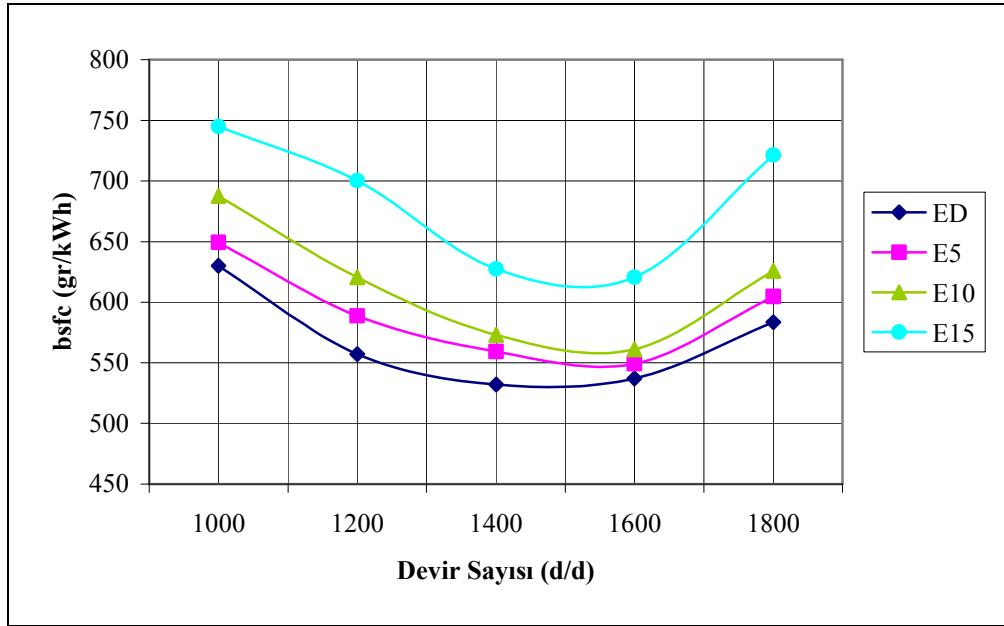
Örneğin Şekil V.2'de standart avans ve 30 Nm sabit yükte E15 yakıtında 1200 d/d'da özgül yakıt tüketimi, 350 gr/kWh iken, aynı deney şartlarında, -3 ve -6 avanslarındaki özgül yakıt tüketimi, Şekil V.8 ve V.10'da görüldüğü gibi sırası ile 381, 413 gr/kWh değerindedir. Tutuşma gecikmesine bağlı olarak özgül yakıt tüketimleri artmaktadır.



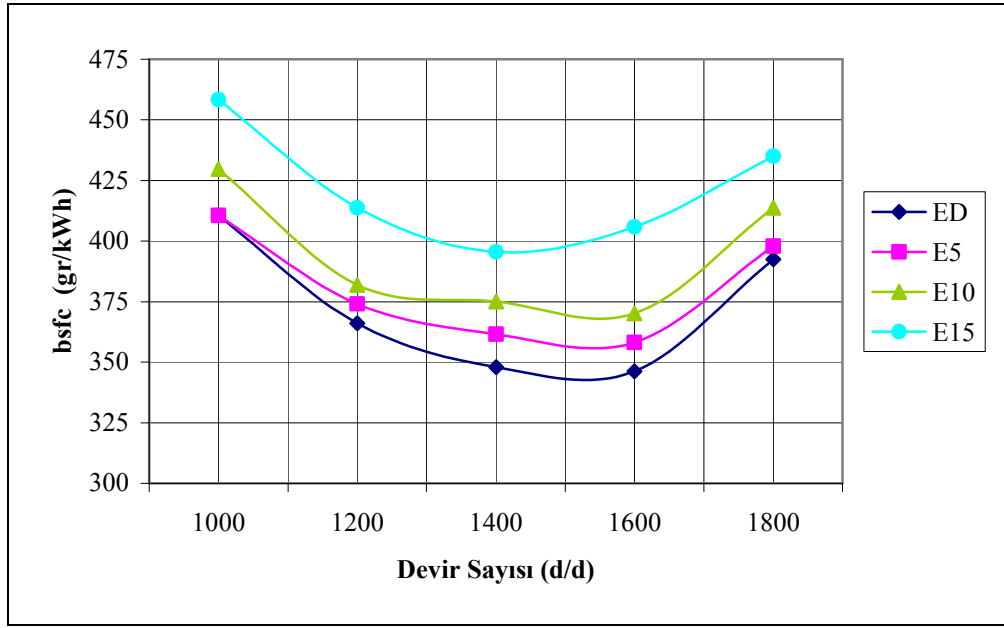
Şekil V.7 -3 avans ve 15 Nm sabit yükte farklı dizel-etanol karışımlarındaki özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi



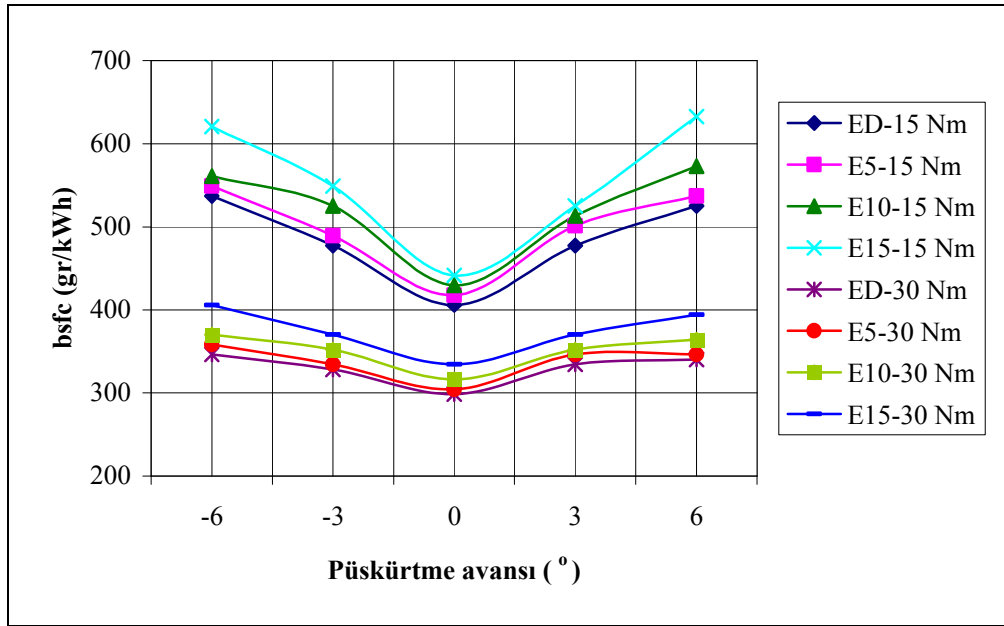
Şekil V.8 -3 avans ve 30 Nm sabit yükte farklı dizel-etanol karışımlarındaki özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi



Şekil V.9 -6 avans ve 15 Nm sabit yükte farklı dizel-etanol karışımlarındaki özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi



Şekil V.10 -6 avans ve 30 Nm sabit yükte farklı dizel-etanol karışımlarındaki özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi



Şekil V.11 Eurodizel-etanol karışımlarının 1600 d/d da ve iki farklı sabit yükteki özgül yakıt tüketiminin püskürtme avansına bağlı olarak değişimi.

Şekil V.11’de eurodizel-etanol karışımlarının 1600 d/d’da ve iki farklı sabit yükteki özgül yakıt tüketiminin püskürtme avansına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Püskürtme avansının artması ve azalması ile özgül yakıt tüketiminde artış olmakta, minimum özgül yakıt tüketimi ise standart avans değerinde olmaktadır. Aynı zamanda yük artışıyla da özgül yakıt tüketiminde düşüş görülmektedir. Karışım

içindeki etanol oranının artması ile de, etanol yakıtının ısı değeri düşük olmasına bağlı olarak, ısı verim düşmekte ve özgül yakıt tüketiminde ise yükselme olmaktadır.

V.2. MOTOR EMİSYON DEĞERLERİ

V.2.1. Standart Avans (27° KMA) Değerindeki Emisyon Sonuçları

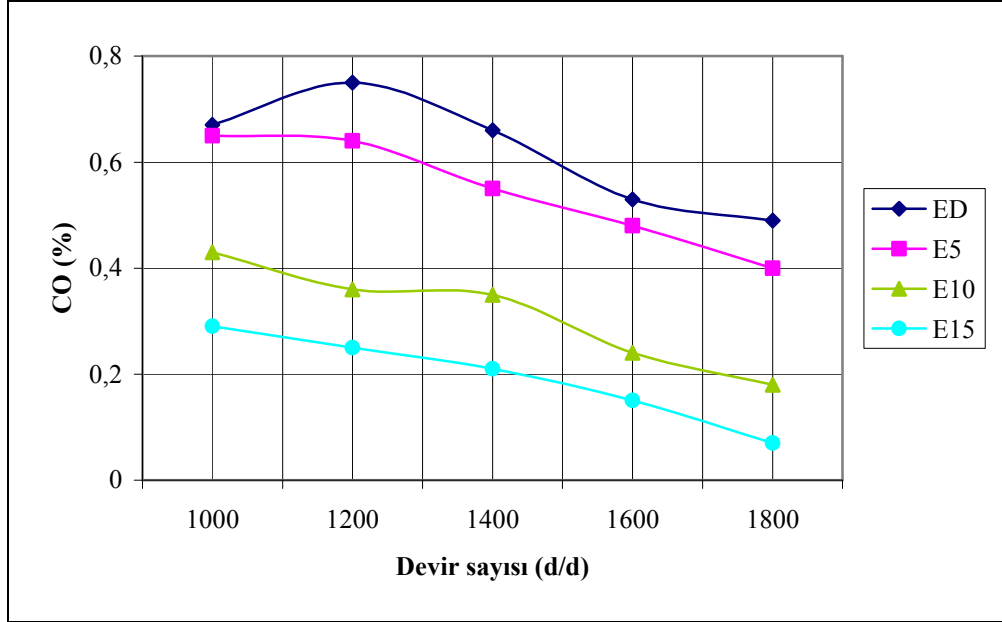
V.2.1.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Değişimi

Dizel motorlarında karbonmonoksit (CO) oluşumu oksijenin yetersiz olduğu veya silindirin içindeki bazı bölgelerde karışımın homojen olamayışından kaynaklanmaktadır. Oksijenin yetersiz olması durumunda tam yanma gerçekleşemediğinden yakıtın içindeki karbon tam yanma ürünü olan karbondioksit (CO_2) dönüşmez ve karbonmonoksit (CO) olarak kalır. [54]

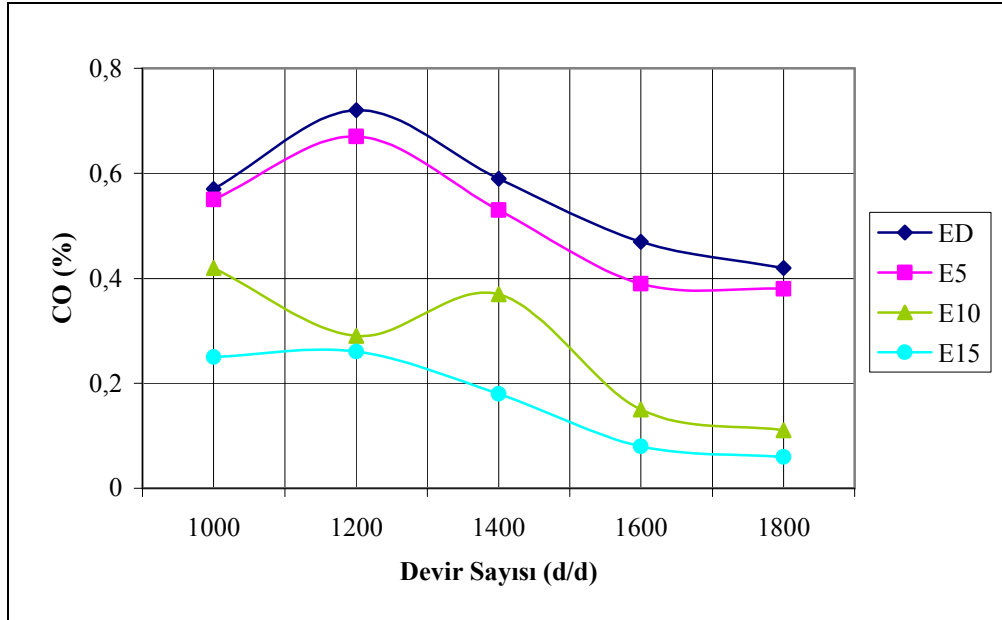
Şekil V.12 ve V.13’de ED, E5, E10 ve E15 yakıtlarının standart avans, 15 Nm ve 30 Nm sabit yüklerde ve farklı devirlerdeki karbonmonoksit (CO) emisyonunun devir sayısı ile değişimleri gösterilmektedir. ED, E5, E10 ve E15 yakıtları ile yapılan testlerde en düşük CO emisyonu değerleri E15 yakıtında alınmıştır. Örneğin 15 Nm sabit yükte ve 1600 d/d’da ED yakıtında % 0,53 iken aynı deney şartlarında E15 yakıtında % 0,15 değerindedir. Karbonmonoksit (CO) emisyonlarındaki azalmanın nedeni, etanolün dizel yakıtına göre daha az karbondan oluşması ve yapısında oksijen bulundurmasıdır. Motor tam yük durumunda silindir içerisindeki yakıt enjeksiyonun zengin olduğu bölgelerde etanol yapısındaki oksijen ile oksijen/yakıt oranını artırarak yanmanın tam olarak gerçekleşmesini sağlamaktadır. [13, 14, 29]

Devir sayısının artması ile yanma odasındaki artan hava hareketlerinin daha fazla homojen bir karışım oluşturması sonucu CO emisyonları azalma eğilimi göstermektedir. [8] Örneğin 30 Nm sabit yük ve E15 yakıtında 1000 d/d’da % 0,25 iken 1800 d/d’da % 0,06 olmaktadır. Yükün artması ile yanma ürünlerinin egzozda kalış süreleri azalmaktadır. Sonuç olarak silindirlere daha fazla hava alma imkânı oluşmakta ve CO emisyonları yükün artması ile Şekil V.12 ve V.13’de görüldüğü gibi azalmaktadır. [55] Örneğin 15 Nm sabit yük 1600 d/d ve E10 yakıtındaki CO emisyonu değeri % 0,24 iken aynı test şartları ve 30 Nm sabit yükte bu değer % 0,15 olmaktadır. En yüksek CO emisyonu 15 Nm sabit yükte ve 1200 d/d’da % 0,75 değeri ile ED yakıtı vermiştir.

Aynı deney şartlarındaki en düşük CO emisyonu % 0,07 değeri ile E15 yakıtında olmuştur. En düşük CO emisyonu E15 yakıtıyla 30 Nm sabit yükte ve 1800 d/d'da % 0,06 olmuştur. Aynı test şartlarındaki en yüksek CO emisyonu % 0,72 değeri ile ED yakıtı vermiştir.



Şekil V.12 Standart avans 15 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki CO emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



Şekil V.13 Standart avans 30 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki CO emisyonlarının devir sayısı ile değişimi

V.2.1.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonu Değişimi

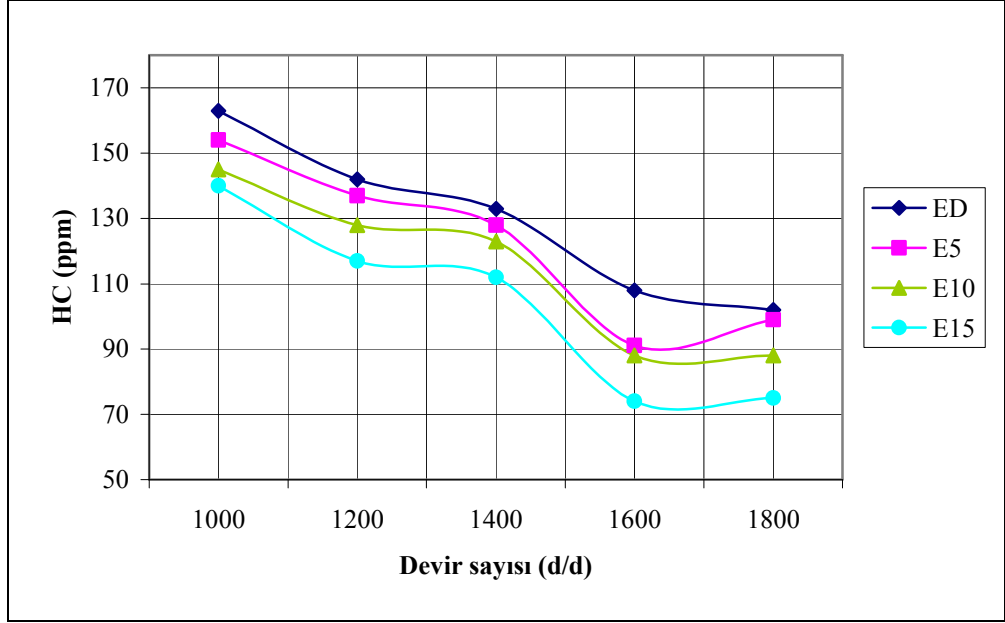
Elde edilen deney sonuçlarına bakıldığında, etanol oranı artışına bağlı olarak HC emisyonları azalmaktadır. Bunun nedeni önceden bahsedildiği üzere etanol içindeki karbon miktarının düşük olması ve yapısında oksijen bulundurmasına bağlı olarak yanma kalitesinin iyileşmesinden kaynaklanmaktadır. Yani oksijen konsantrasyonunun artması ile HC emisyonları azalmaktadır.

Şekil V.14 ve V.15’de standart avans, 15 Nm ve 30 Nm sabit yüklerde, ED, E5, E10 ve E15 yakıtlarından farklı devirlerde elde edilen hidrokarbon (HC) emisyonları görülmektedir. Örneğin standart avans 30 Nm sabit yük 1200 d/d’da ED yakıtında 139 ppm dir. Aynı deney şartlarında E10 yakıtında 121 ppm değerindedir.

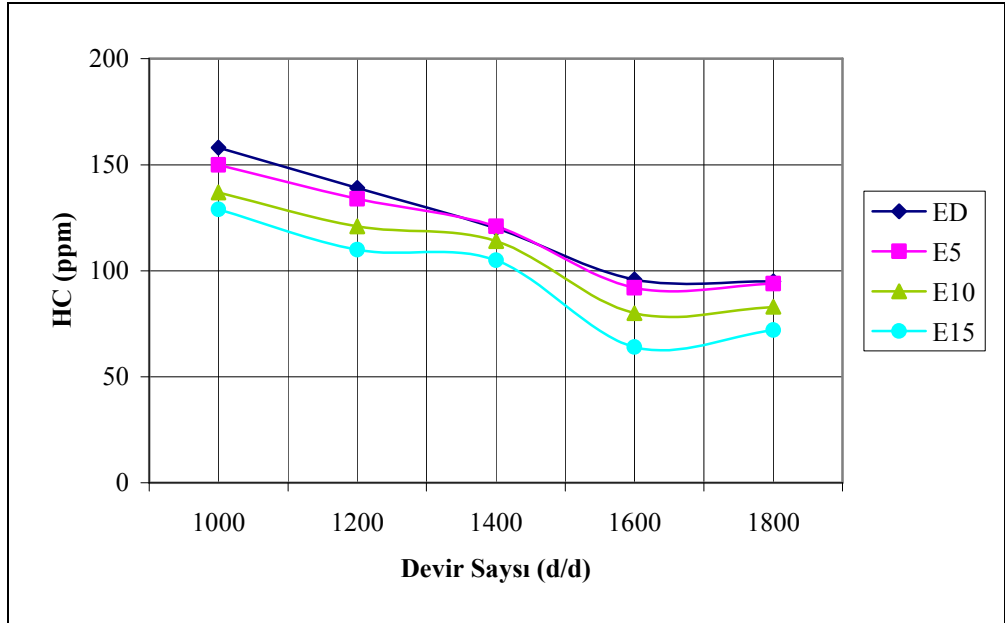
Devir sayısının artması ile yanma odasındaki hava akışı hızlanmakta ve türbülanslar artmaktadır. Yanma odasındaki soğuk cidarlara yakın bölgelerdeki alev sönme bölgeleri azalmaktadır. Buna bağlı olarak ta motor hızının artması ile HC emisyonlarının azaldığı görülmektedir. Örneğin Şekil V.15’de 30 Nm sabit yük, 1000 d/d ve E5 yakıtındaki HC emisyonu 150 ppm iken aynı şartlar ve 1800 d/d’daki değeri 94 ppm’dir.

Yük artışına bağlı olarak HC emisyonlarının azalmaktadır. Bunun nedeni yükün artması ile alev sönme bölgesi küçülecek yanma sonu sıcaklıkları artacaktır. Bu etkenler HC emisyonunu azaltıcı niteliktedir. [55, 56]

Sonuç olarak motor yükünün artması ile HC emisyonları azalmaktadır. Örneğin 15 Nm sabit yük 1400 d/d, ED yakıtındaki HC emisyonu 133 ppm değerindeyken, aynı test şartları ve 30 Nm sabit yükte, yükün artması ile 120 ppm değerine düşmektedir. En düşük HC emisyonu 30 Nm sabit yükte ve 1600 d/d’da 64 ppm ile E15 yakıtında olmuştur, aynı deney şartlarındaki E15 yakıtına ait en yüksek HC emisyonu 1000 d/d’da ve 129 ppm değerindedir. En yüksek HC emisyonu ED yakıtında, 15 Nm sabit yükte ve 1000 d/d’da 163 ppm iken 30 Nm sabit yük ve 1000 d/d’daki değeri 158 ppm’dir.



Şekil V.14 Standart avans 15 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki HC emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



Şekil V.15 Standart avans 30 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki HC emisyonlarının devir sayısı ile değişimi

V.2.1.3. Azotoksit (NO_x) Emisyonu Değişimi

Dizel motorlarındaki azot oksit (NO_x) oluşumu iki ana nedene bağlıdır. Motor içindeki yanmada oluşan yüksek sıcaklıklarda (1600°C'nin üstünde), havanın içerisindeki azotun oksijenle reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler meydana gelmektedir. Azot oksit oluşumunu silindir içi sıcaklığın büyük ölçüde etkilediği, sıcaklık arttıkça azot oksitin hızla arttığı anlaşılmaktadır. [54]

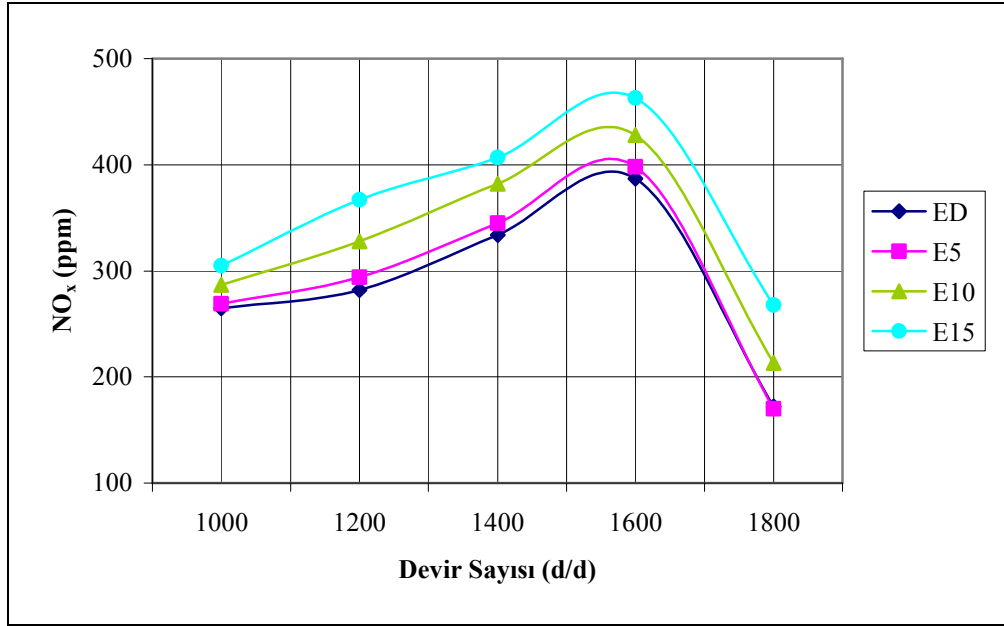
Azot oksit oluşumunu etkileyen diğer bir faktör stokiyometrik orana yakın hava yakıt karışımlarında yanma sırasında NO_x oluşmasıdır. NO_x oluşum hızı alevin geçmiş olduğu bölgelerdeki gaz sıcaklığına ve karışım oranına bağlıdır. Isı açığa çıkma hızının artması NO_x oluşumunu arttıracaktır. Stokiyometrik karışımlardaki NO_x oluşumu maksimum iken karışım zenginleşip fakirleştikçe oluşan NO_x miktarı da azalır. [57, 58]

Şekil V.16 ve V.17'de standart avans, 15 Nm ve 30 Nm sabit yüklerde ve farklı devirlerdeki, ED, E5, E10 ve E15 yakıtlarındaki azotoksit (NO_x) değişimleri görülmektedir. Devir sayısının artması ile yanma sonu sıcaklıklarının artması sonucu NO_x emisyonları artmaktadır. Örneğin 15 Nm sabit yük 1000 d/d'da ED yakıtındaki NO_x emisyonu 265 ppm iken 1600 d/d'da 387 ppm olmaktadır.

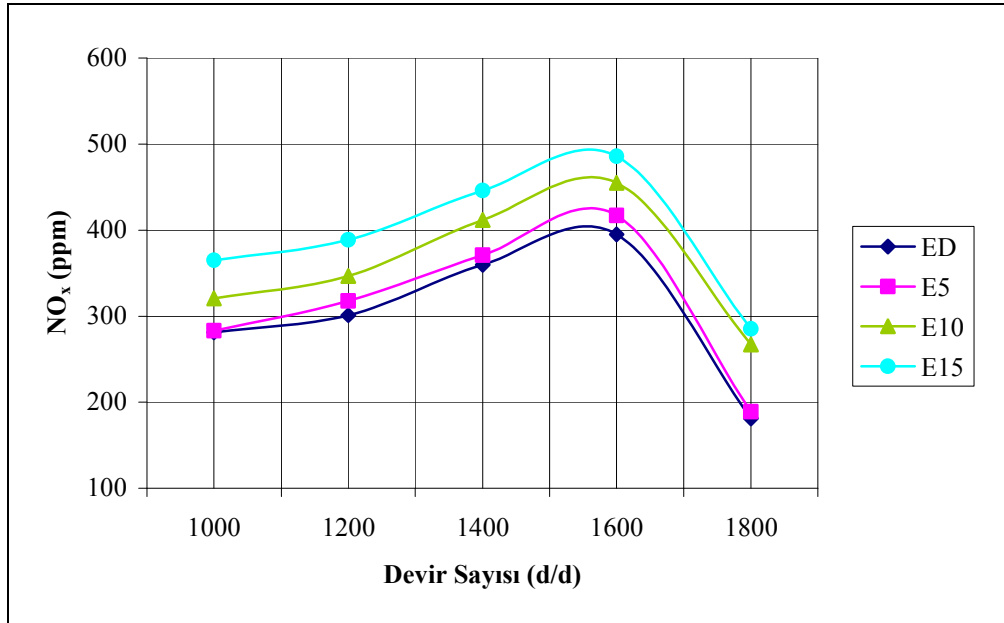
Görüldüğü gibi motorun maksimum momentini ürettiği 1600 d/d'da NO_x emisyonları en yüksek değerine ulaşmaktadır. Bunun yanında en düşük NO_x emisyonlarında yanmanın kalitesinin azaldığı düşük ve yüksek motor hızlarında alınmıştır. Etanol-dizel yakıtı karışımlarında NO_x oluşumu ile ilgili iki farklı görüş bulunmaktadır. Birinci görüşe göre, etanol-dizel yakıtı karışımlarında setan sayısının düşük olmasına bağlı olarak tutuşma gecikmesi artış göstermektedir. Tutuşma gecikmesinin artmasıyla silindir içi ani basınç artış oranı yükselerek maksimum basınç ve yanma sıcaklıkları artmaktadır. Daha önceden bahsedildiği gibi yanma sıcaklıklarının artmasıyla da NO_x emisyonlarında artış görülmektedir. [13, 14, 23]

İkinci görüşte, etanolün gizli buharlaşma ısısının yüksek olmasından dolayı yanma esnasında alev sıcaklığını düşürmesiyle NO_x emisyonlarının azaldığı ifade edilmektedir. [29, 59-61] Örneğin, standart avans 30 Nm sabit yükte 1400 d/d'da ED yakıtındaki NO_x emisyonu değeri 360 ppm iken E15 yakıtında 446 ppm'dir. Standart avans deney şartlarında en yüksek NO_x emisyonu 1600 d/d'da, 486 ppm değeriyle

E15 yakıtı vermiştir. En düşük NO_x emisyonu 30 Nm sabit yük, 1800 d/d deney şartlarında ED yakıtından 181 ppm değerinde alınmıştır.



Şekil V.16 Standart avans 15 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki NO_x emisyonlarının devir sayısı ile değişimi

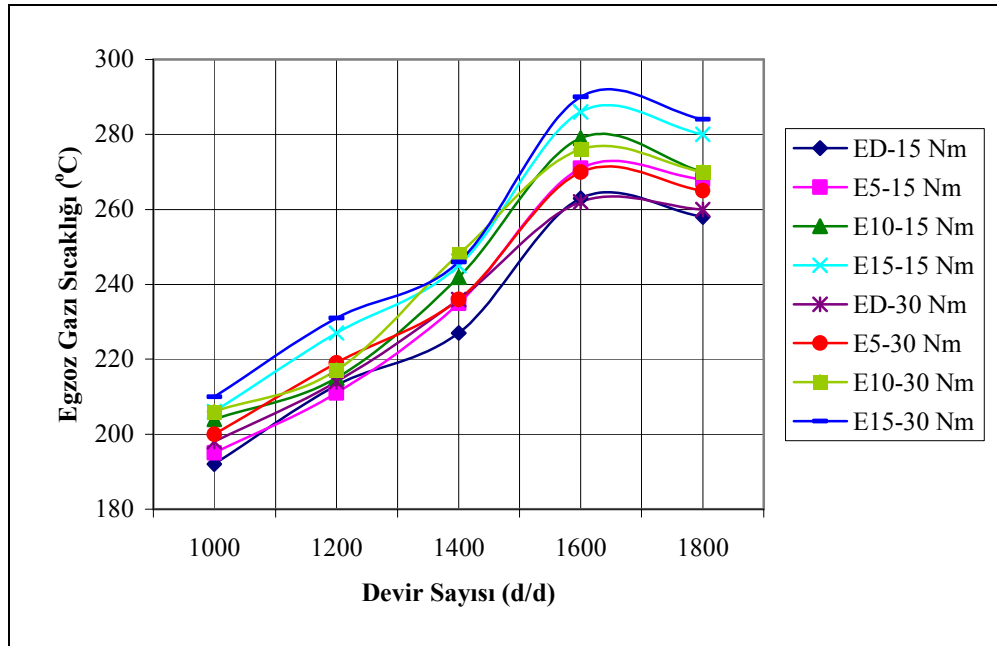


Şekil V.17 Standart avans 30 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki NO_x emisyonlarının devir sayısı ile değişimi

Şekil V.18’de eurodizel-etanol karışımlarının standart avans değerindeki egzoz gazı sıcaklıklarının devir sayısı ile değişimi görülmektedir. NO_x emisyonlarına egzoz gazı sıcaklıkları açısından bakıldığında, dizel-etanol karışımları içindeki etanol oranı artışına bağlı olarak yanma sonu maksimum sıcaklığı ve basıncı incelenirse, etanolün yapısında % 34,8 oranında oksijen bulundurması ve setan sayısının düşük olmasına bağlı olarak TG’nin artmasıyla yanma sonu maksimum sıcaklığı ve basıncında artış olması gerekmektedir.

Etanol yakıtına ait özellikler farklı bir açıdan incelendiğinde ise etanol oranının artması ile etanolün ısı değeri düşük ve buharlaşma ısısının yüksek olmasına bağlı olarak yanma odasından daha fazla ısı çekmesiyle yanma sonu maksimum sıcaklığı ve basıncında düşüş olmalıdır.

Şekil V.18’e bakıldığında ise eurodizel-etanol karışımları içerisindeki etanol oranının artmasıyla egzoz gazı sıcaklıkları artmaktadır. Bunun nedeni az öncede bahsedildiği gibi etanol içerisindeki oksijen miktarı ve setan sayısının düşüklüğüne bağlı olarak TG artması ile yanma sonu sıcaklığı ve basıncını artırmasının neden olduğu düşünülmektedir. Yanma sonu sıcaklıklarının artışına bağlı olarak da NO_x emisyonlarında ise artış gözlemlenmiştir.



Şekil V.18 Eurodizel-etanol karışımlarının standart avans değerindeki egzoz gazı sıcaklıklarının devir sayısı ile değişimi.

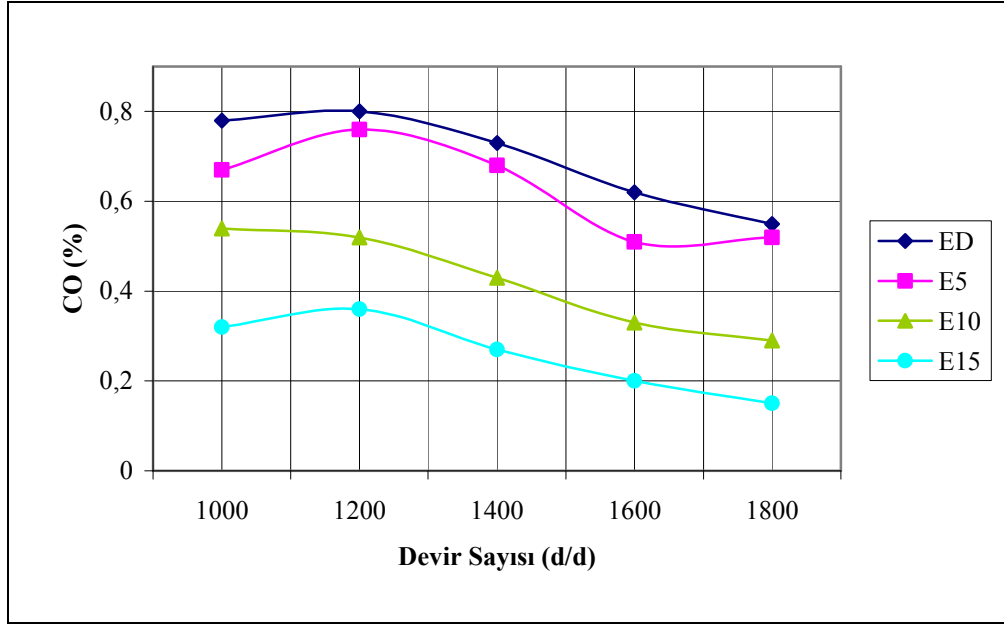
V.2.2. -3 ve -6 Avans (24° ve 21° KMA) Değerlerindeki Emisyon Sonuçları

Tutuşma gecikmesindeki artış püskürtmenin daha erken veya daha geç yapılmasından kaynaklanır. Çünkü sıkıştırma zamanındaki havanın sıcaklığı ve basıncı Ü.Ö.N.'ya yaklaştıkça önemli miktarda değişir. Eğer püskürtme erken başlarsa, püskürtme başlangıcındaki basınç ve sıcaklık düşük olacağından tutuşma gecikmesi artar. Eğer püskürtme standart avans değerinden daha geç yapılırsa, püskürtme başlangıcındaki basınç ve sıcaklık yüksek olmasına rağmen, pistonun alt ölü noktaya (A.Ö.N.) doğru hareket edip silindir hacmini genişletmesinden dolayı tutuşma gecikmesi süresi artacaktır. Bu yüzden uygun püskürtme avansı bu iki nokta arasında olmalıdır. Yanma odasına püskürtülen yakıtın zamanlaması egzoz emisyonunu ve motor performansını önemli ölçüde etkilemektedir. [54, 57]

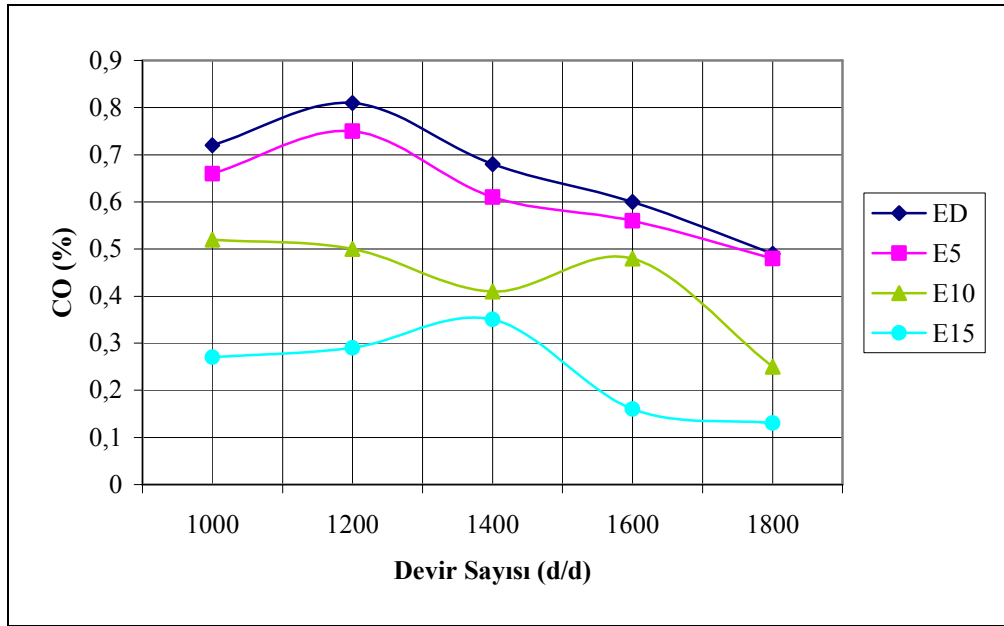
Püskürtme avansının azaltılması NO_x emisyonlarını azaltarak, is oluşumunu arttırır. Bu durum püskürtme basıncının arttırılmasını gerektirir. Dolayısıyla malzeme dayanımı ve yakıt sisteminin fiyatının artması gibi sorunlar ortaya çıkacaktır. Avansın azaltılması silindir içi maksimum basıncı düşürür, fakat yanmamış yakıt miktarı artacağından, yakıt tüketimi kötüleşmektedir. Ayrıca avansın aşırı azaltılması hafif yüklerde teklemeye sebep olmaktadır. [62-64]

V.2.2.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Değişimi

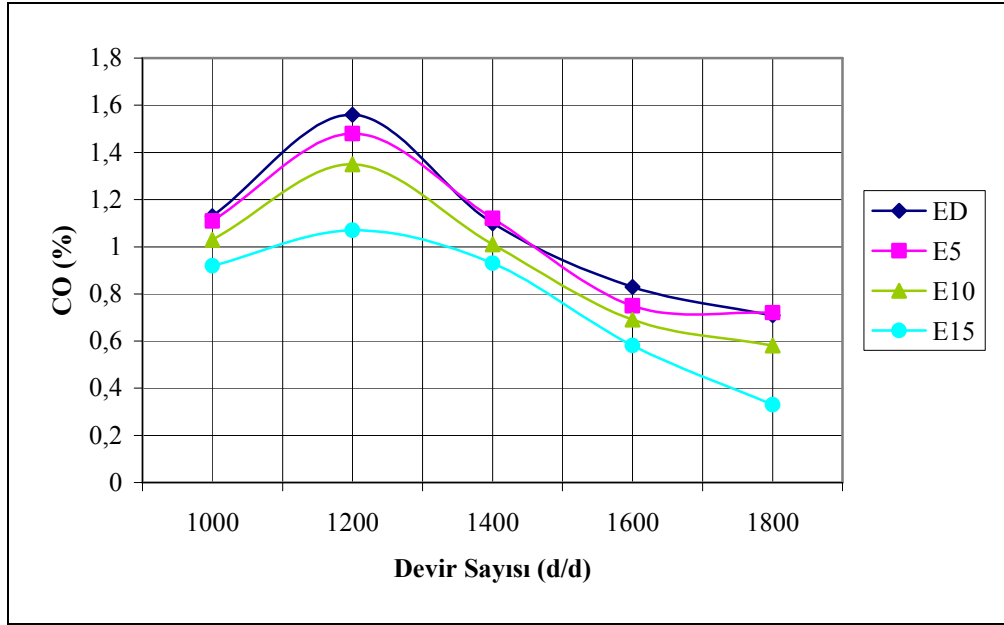
Şekil V.19, V.20, V.21 ve V.22'de azalan avanslarda ve 15 Nm ve 30 Nm sabit yüklerdeki ED, E5, E10 ve E15 yakıtlarında, motor devrine bağlı olarak karbonmonoksit (CO) emisyonlarının değişimleri görülmektedir. Örneğin -3 avans 30 Nm sabit yük ve 1600 d/d'da E5 yakıtında CO emisyonu % 0,56 iken -6 avanstaki aynı deney şartlarında % 0,81 değerindedir. Avansın azalması ile CO emisyonu artmaktadır. Karbon atomları ile oksijen atomlarının reaksiyon süresinin kısılması ve yetersiz oksijen nedeni ile karbondioksit (CO_2) oluşumu azalmakta, reaksiyon tamamlanamadığı için CO emisyonların da artış gözlenmektedir. Emisyon değişimlerine bakıldığında en yüksek CO emisyonunu 1200 d/d'da 15 Nm sabit yükte ve -6 avansta, % 1,56 değeri ile ED yakıtı vermiştir. 15 Nm sabit yük ve -6 avanstaki en düşük CO emisyonu E15 yakıtında ve % 0,33 değerinde 1800 d/d'da alınmıştır. En düşük CO emisyonu % 0,13 değeri ile -3 avans 30 Nm sabit yükte 1800 d/d'da E15 yakıtında alınmıştır. -3 avans ve 30 Nm sabit yükteki en yüksek CO emisyonu % 0,81 değerindedir. Bu değer 1800 d/d ve ED yakıtından alınmıştır.



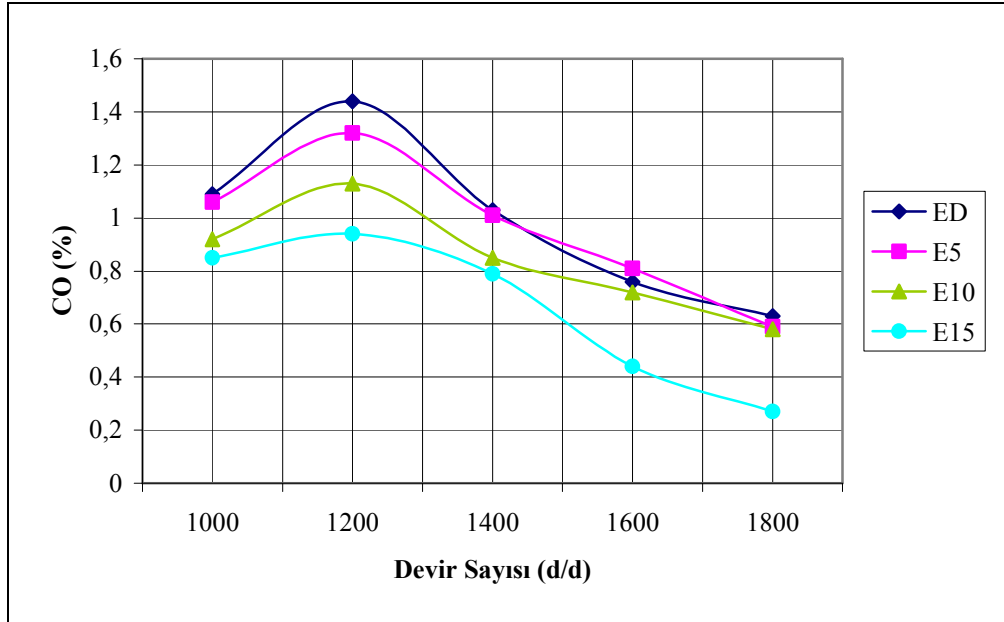
Şekil V.19 -3 avans 15 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki CO emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



Şekil V.20 -3 avans 30 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki CO emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



Şekil V.21 -6 avans 15 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki CO emisyonlarının devir sayısı ile değişimi

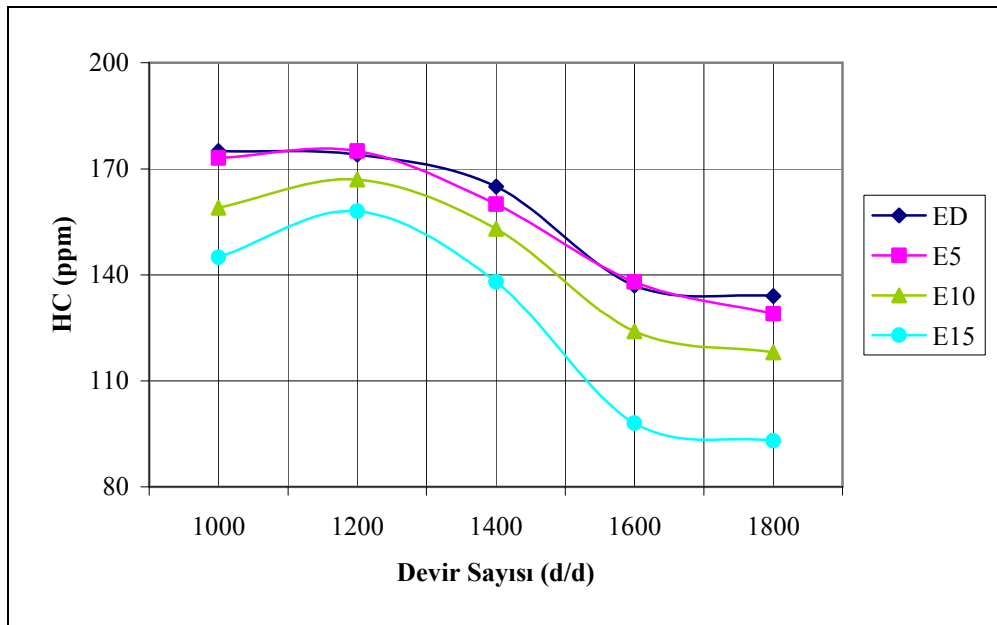


Şekil V.22 -6 avans 30 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki CO emisyonlarının devir sayısı ile değişimi (Devam)

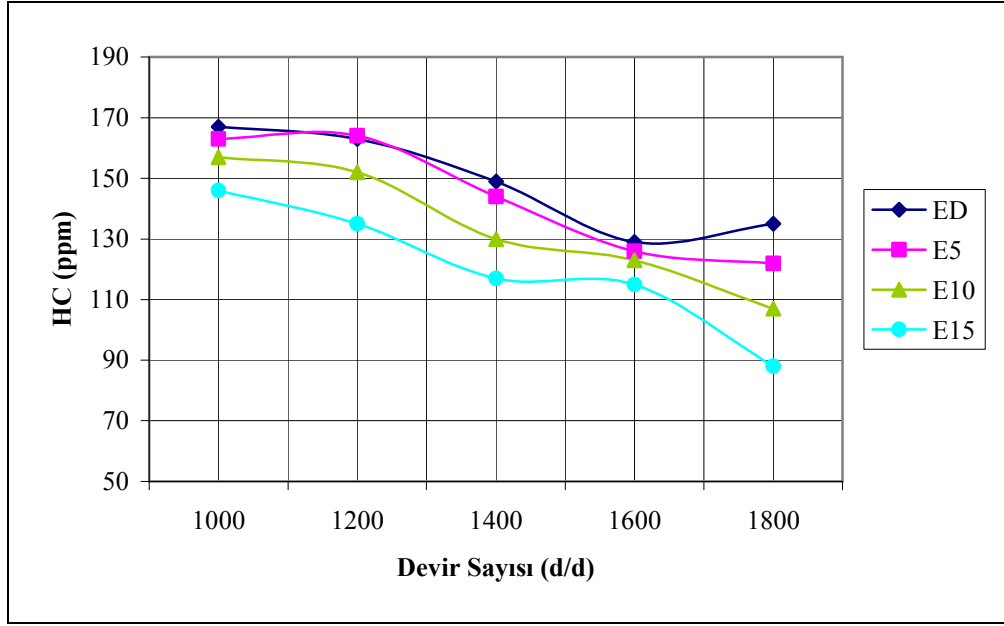
V.2.2.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonu Değişimi

Şekil V.23, V.24, V.25 ve V.26’da azalan avanslarda ve 15 Nm ve 30 Nm sabit yüklerdeki ED, E5, E10 ve E15 yakıtlarında, motor devrine bağlı olarak hidrokarbon (HC) emisyonlarının değişimleri görülmektedir.

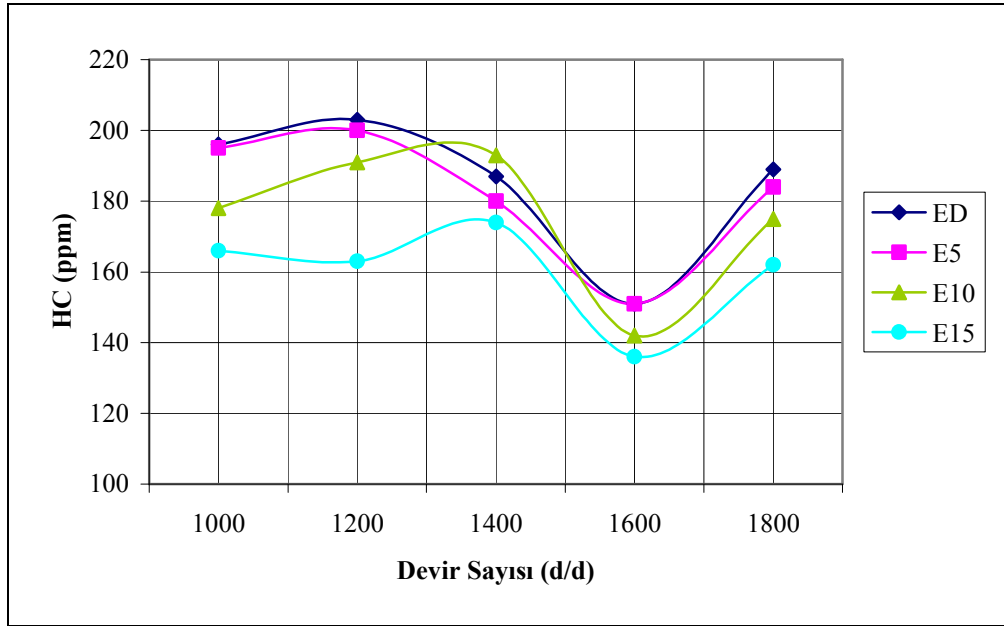
Örneğin -3 avans 30 Nm sabit yükte 1600 d/d’da ED yakıtındaki HC emisyonu 129 ppm iken E10 yakıtında 123 ppm’dir. Avansın azalması ile yanma kötüleşmekte ve HC emisyonlarında artış olmaktadır. Etanol oranının artması ile HC emisyonlarında azda olsa bir düşme görülmektedir. En yüksek HC emisyonu 203 ppm değeri ile -6 avans,15 Nm sabit yükte ve 1200 d/d’da ED yakıtında alınmıştır. 15 Nm sabit yük ve -6 avanstaki en düşük HC emisyonu 1600 d/d ve E15 yakıtında, 136 ppm değerindedir. En düşük HC emisyonu -3 avans ve 30 Nm sabit yükte, 1800 d/d’da E15 yakıtında 88 ppm değerindedir. 30 Nm ve -3 avanstaki en yüksek HC emisyonu 167 ppm değerinde ve 1000 d/d’da ED yakıtından elde edilmiştir. Şekil V.15’de standart avans 30 Nm sabit yükte 1400 d/d ED yakıtındaki HC emisyonu 120 ppm iken, sırası ile aynı deney şartlarında, -3 ve -6 avanslardaki HC emisyonları, 149 ve 153 ppm’dir. Daha önce belirtildiği gibi avansın azaltılması ile yanma kalitesi düşmesine bağlı olarak HC emisyonlarında artış görülmektedir.



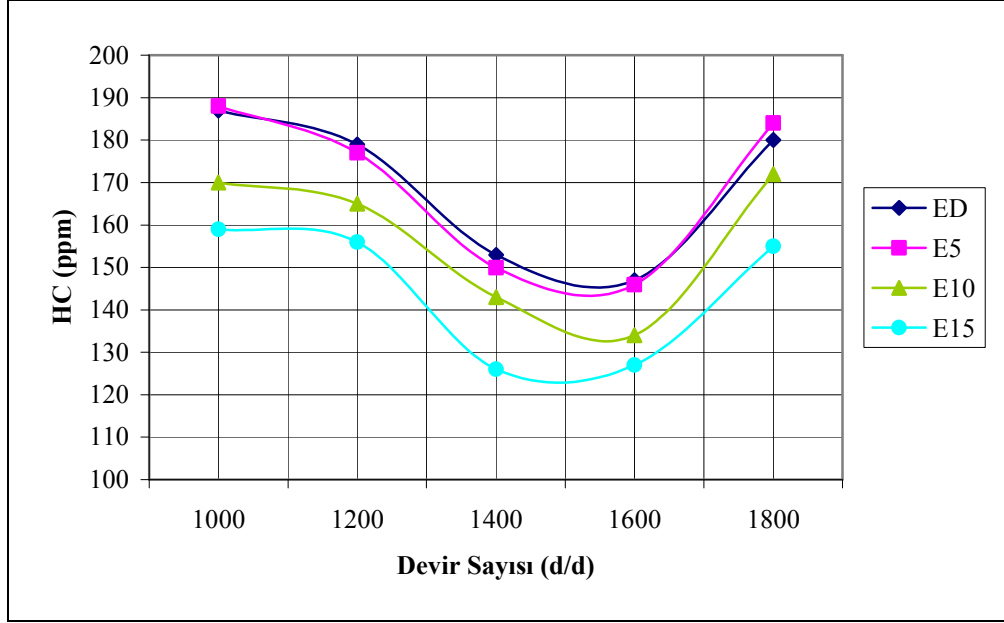
Şekil V.23 -3 avans 15 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki HC emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



Şekil V.24 -3 avans 30 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki HC emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



Şekil V.25 -6 avans 15 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki HC emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



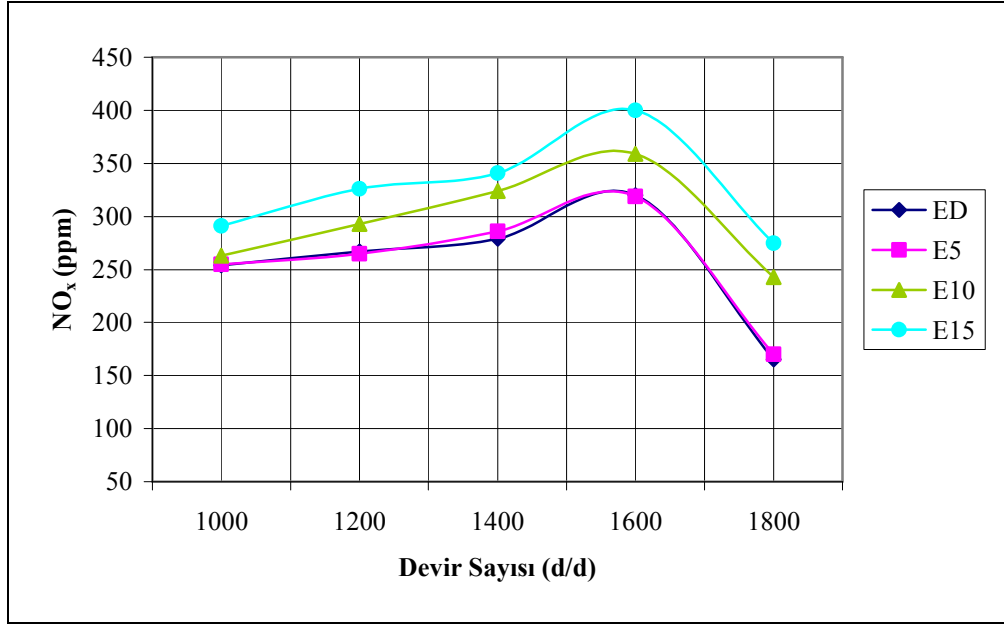
Şekil V.26 -6 avans 30 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki HC emisyonlarının devir sayısı ile değişimi

V.2.2.3. Azotoksit (NO_x) Emisyonu Değişimi

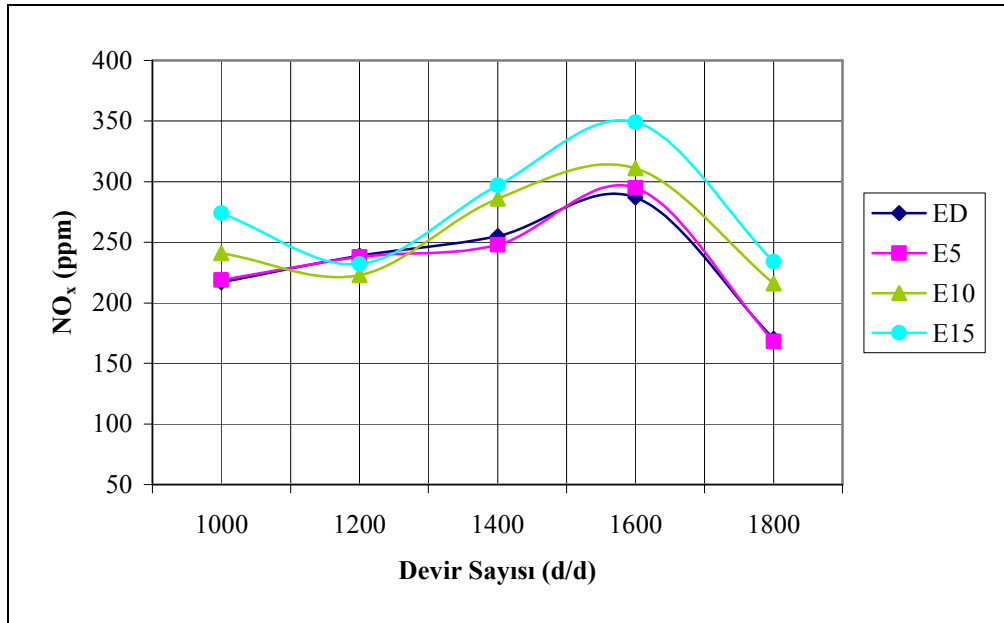
Şekil V.27, V.28, V.29 ve V.30'da azalan avanslarda ve 15 Nm ve 30 Nm sabit yüklerdeki ED, E5, E10 ve E15 yakıtlarında, motor devrine bağlı olarak azotoksit (NO_x) emisyonlarının değişimleri verilmiştir.

NO_x emisyonlarının avans azaldıkça düştüğü görülmektedir. Örneğin -3 avans ve 15 Nm sabit yük ve 1000 d/d'da E10 yakıtındaki NO_x emisyonu 263 ppm'dir. -6 avans ve aynı test şartlarındaki değer 178 ppm'dir. Bunun sebebi avansın azalmasına bağlı olarak yanma sonu sıcaklıklarının düşmesidir.

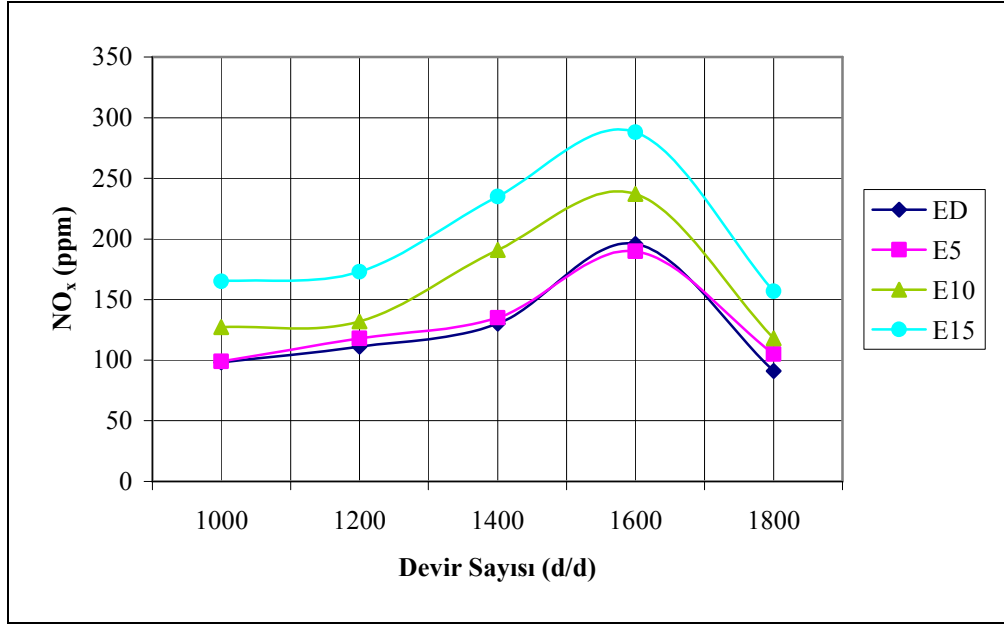
En yüksek NO_x emisyonu, E15 yakıtıyla 1600 d/d'da ve -3 avans 15 Nm sabit yükte 400 ppm değerindedir. Bu test şartlarındaki en düşük NO_x emisyonu 319 ppm değeri ile E5 yakıtında alınmıştır. En düşük NO_x emisyonu -6 avans 30 Nm sabit yükte ED yakıtında 87 ppm değeri ile 1800 d/d'da alınmıştır.



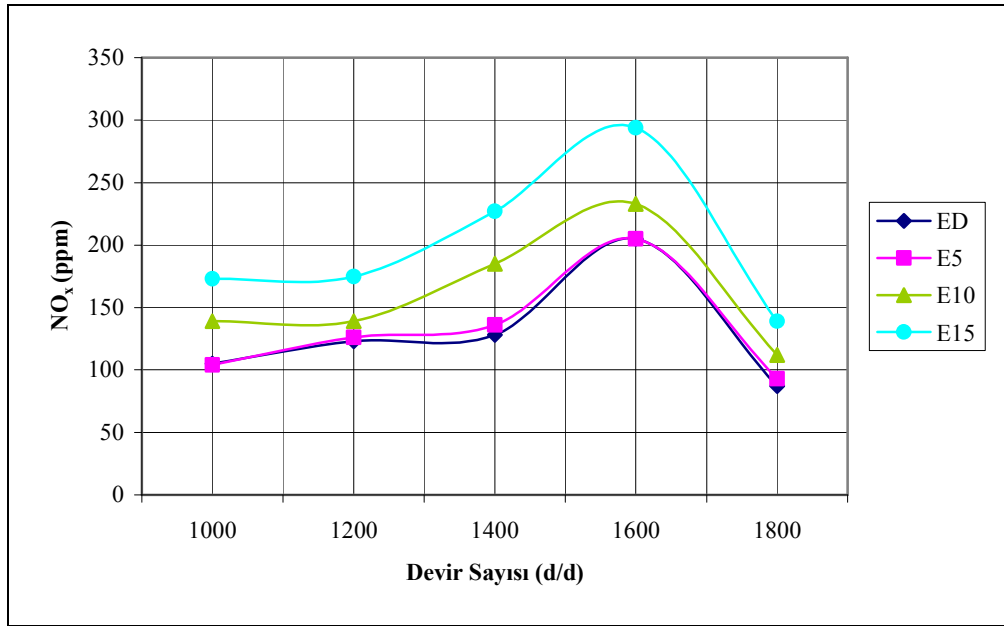
Şekil V.27 -3 avans 15 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki NO_x emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



Şekil V.28 -3 avans 30 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki NO_x emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



Şekil V.29 -6 avans 15 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki NO_x emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



Şekil V.30 -6 avans 30 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki NO_x emisyonlarının devir sayısı ile değişimi (Devam)

V.2.3. +3 ve +6 Avans (30° ve 33° KMA) Değerlerindeki Emisyon Sonuçları

Püskürtme avansı artırıldığında (püskürtme erkene alındığında) yanma odasındaki sıcaklıklar artmakta ve buna bağlı olarak NO_x emisyonlarında artış, is emisyonlarında ise azalma görülmektedir. [54]

Diğer parametreler sabit kabul edilirse, direk püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme başlangıcının bir miktar öne alınması tutuşma gecikmesini arttıracığından bu safhada silindirlere daha fazla yakıt püskürtülecektir. Tutuşma ile birlikte dizel motoru yanma süreçlerinden biri olan ani yanma periyodunda birim krank derecesi başına düşen basınç değişimi ($dp/d\alpha$) aşırı derecede artacağından çevrimin maksimum sıcaklığı ve basıncı da yükselecektir. Buna bağlı olarak NO_x emisyonlarında bir artış olacaktır.[65]

Yanma sonu sıcaklıklarının artması ve yakıt içindeki karbon (C) atomlarının oksijen ile reaksiyon süresinin uzamasına bağlı olarak hidrokarbon (HC) ve karbonmonoksit (CO) emisyonlarında azalma görülürken, karbondioksit (CO₂) emisyonlarında artış olmaktadır.

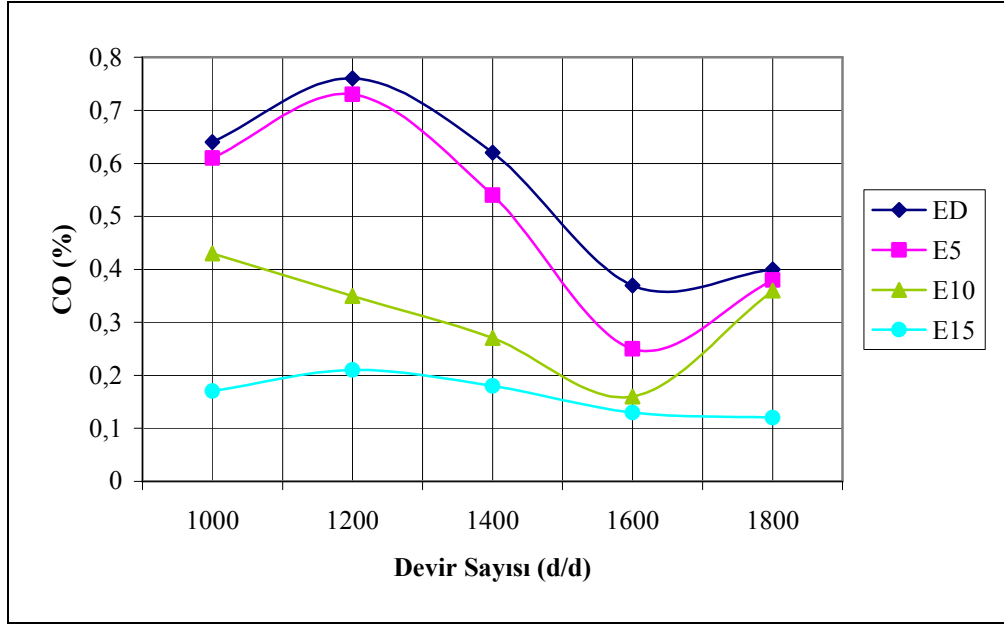
V.2.3.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Değişimi

Şekil V.31 ve V.32’de +3 avansta, Şekil V.33 ve V.34’de +6 avans ve 15 Nm ve 30 Nm sabit yüklerde, ED, E5, E10 ve E15 yakıtlarında devir sayısı ile karbonmonoksit (CO) emisyonlarının değişimi görülmektedir.

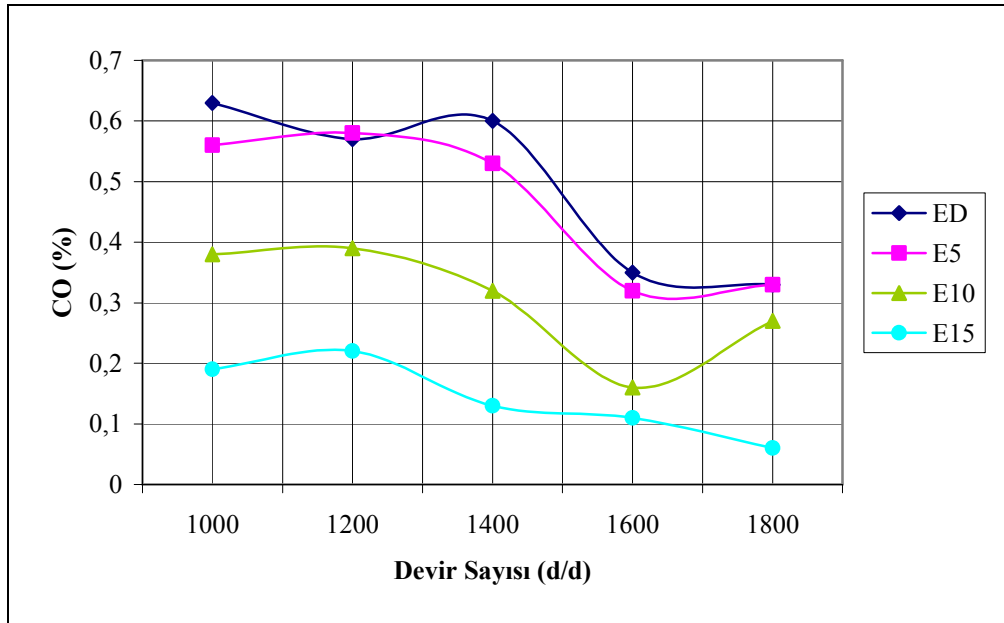
Daha önce belirtildiği gibi avans değerinin artırılması ile yanma sonu sıcaklıklarının artması ve yanma reaksiyon süresinin uzamasına bağlı olarak CO emisyonları azalmaktadır. ED, E5, E10 ve E15 yakıtlarında avans artışıyla CO emisyonlarında azalmalar görülmektedir.

Örneğin Şekil V.12 Standart avans 15 Nm sabit yük, 1400 d/d’da ED yakıtındaki CO emisyonu % 0,66 iken +3 avans ve aynı test şartlarında % 0,62 değerindedir. En yüksek CO emisyonu değeri +6 avans 30 Nm sabit yükte ölçülmüştür. Bu değer ED yakıtında 1400 d/d’da % 0,79’ dur. Bu deney şartlarındaki yükselme, avansın artmasıyla yanma odasındaki ani basınç yükselmelerine bağlı olarak yanmadaki düzensizlikler olduğu düşünülmektedir.

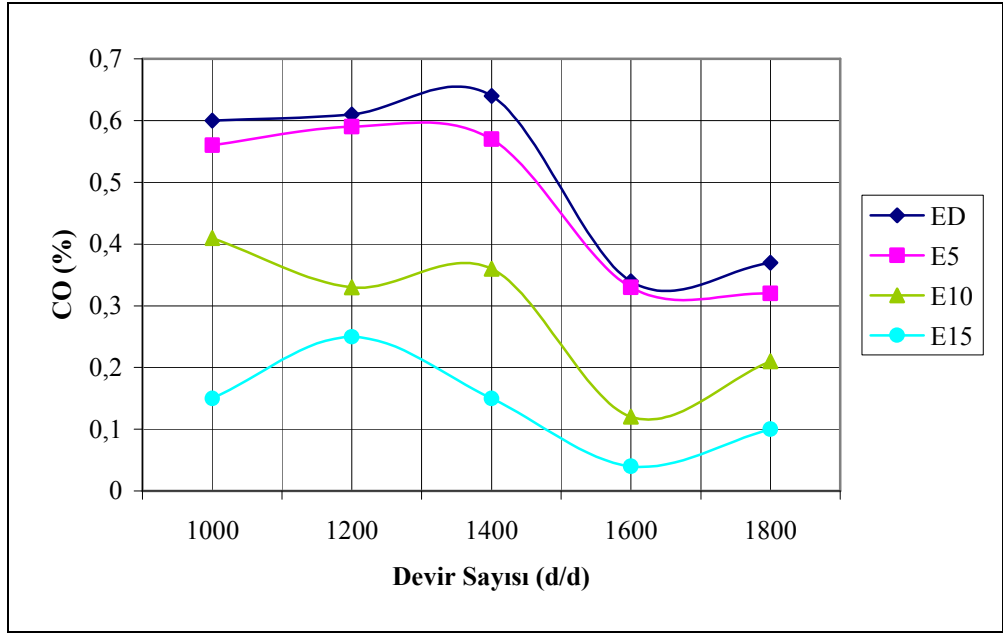
En düşük CO emisyonu +6 avansta % 0,04 değerinde ve 15 Nm sabit yük, 1600 d/d motor hızında, E15 yakıtında alınmıştır. +6 avans ve 15 Nm sabit yükteki en yüksek CO emisyonu % 0,64 değerinde, 1600 d/d’da ED yakıtı vermiştir.



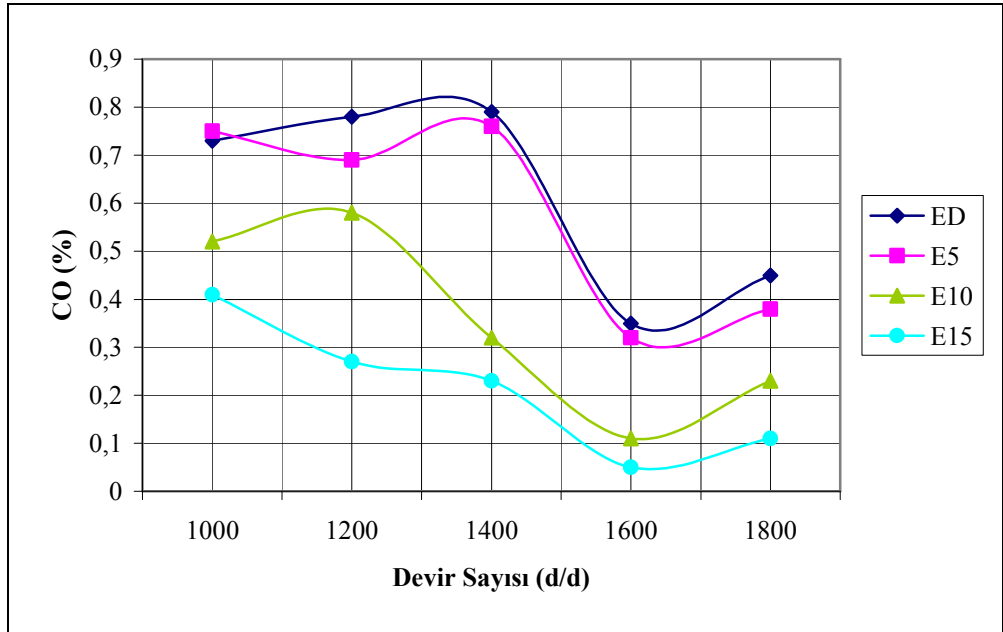
Şekil V.31 +3 avans 15 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki CO emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



Şekil V.32 +3 avans 30 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki CO emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



Şekil V.33 +6 avans 15 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki CO emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



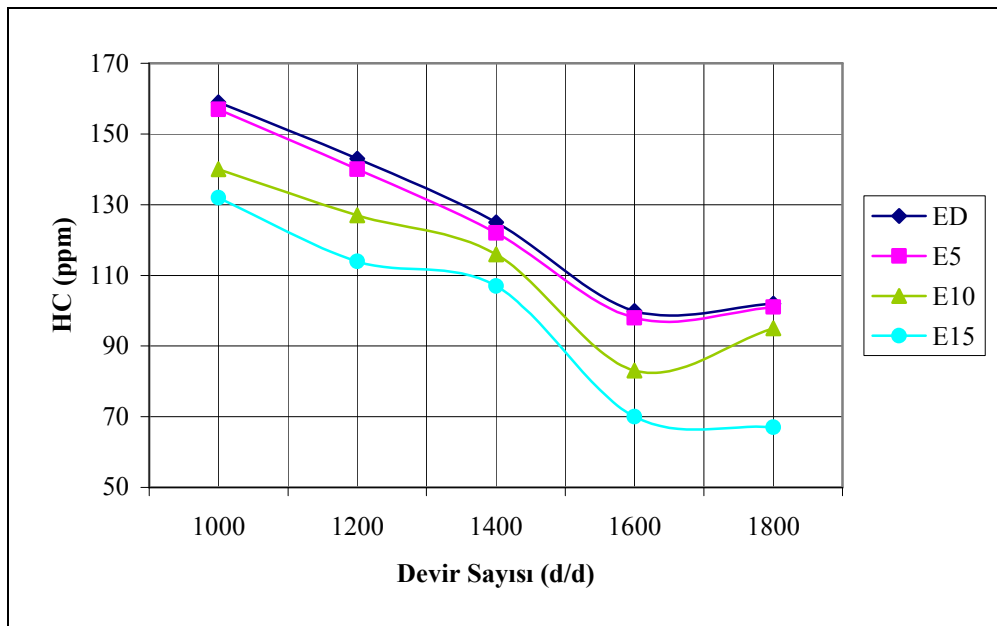
Şekil V.34 +6 avans 30 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki CO emisyonlarının devir sayısı ile değişimi (Devam)

V.2.3.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonu Değişimi

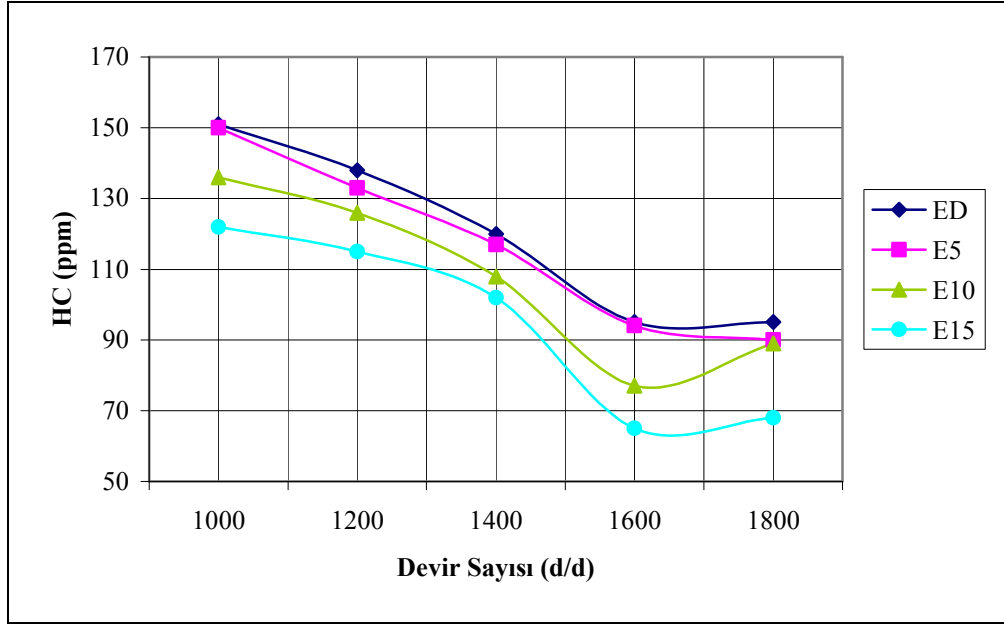
Şekil V.35, V.36, V.37 ve V.38’de artan avanslarda ve 15 Nm ve 30 Nm sabit yüklerdeki ED, E5, E10 ve E15 yakıtlarında, motor devrine bağlı olarak hidrokarbon (HC) emisyonlarının değişimleri görülmektedir. Avansın artmasıyla TG uzamakta ve yakıt yanmak için yeterli süre bulabilmektedir. Yanma sonu basıncı ve sıcaklıkları artmaktadır. Buna bağlı olarak HC emisyonları düşmektedir.

ED, E5, E10 ve E15 yakıtlarında en yüksek HC emisyonları, yanmanın kötü olduğu düşük devirlerde gerçekleşmiştir. En yüksek HC emisyonu değeri 159 ppm’dir. Bu değer +3 avans 15 Nm sabit yük ve 1000 d/d’da ED yakıtı vermiştir. +3 avans ve 15 Nm sabit yükteki en düşük HC emisyonu 67 ppm ve E15 yakıtıyla 1800 d/d motor devrinde alınmıştır.

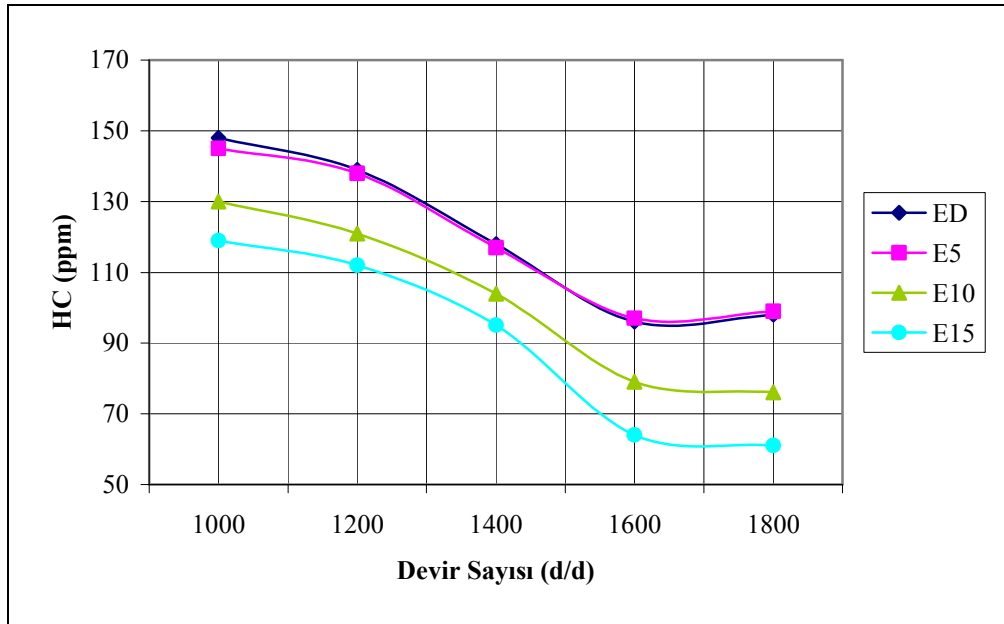
En düşük HC emisyonları motor hızının yüksek olduğu devirlerde elde edildi. Örneğin en düşük HC emisyonu +6 avans, 30 Nm sabit yükte ve 1800 d/d’lık motor hızında 58 ppm ile E15 katında alındı. Aynı avans ve sabit yükteki en yüksek HC emisyonu 1000 d/d’da ED yakıtında 144 ppm değerindedir.



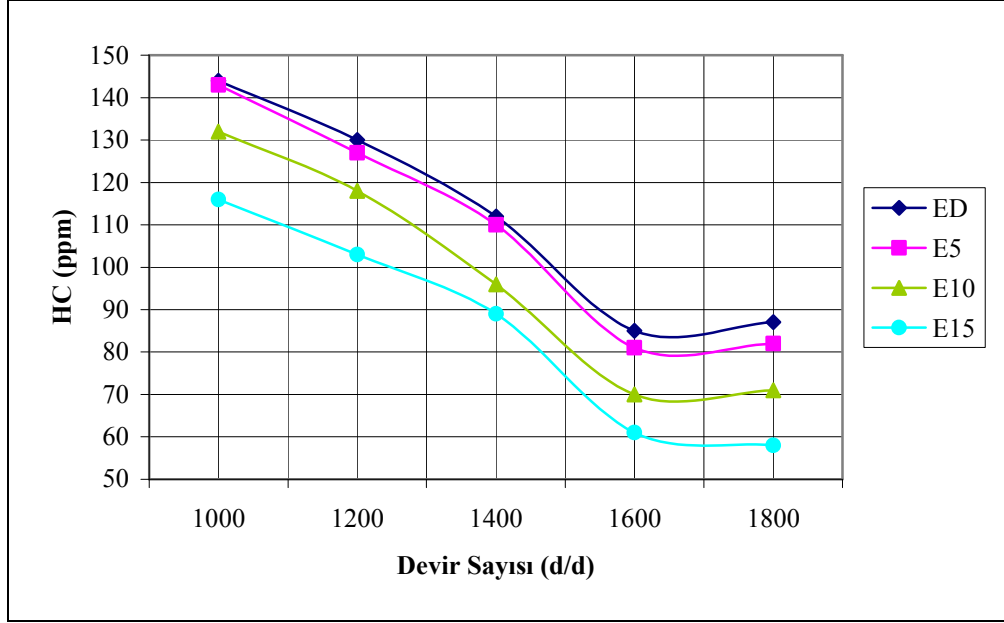
Şekil V.35 +3 avans 15 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki HC emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



Şekil V.36 +3 avans 30 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki HC emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



Şekil V.37 +6 avans 15 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki HC emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



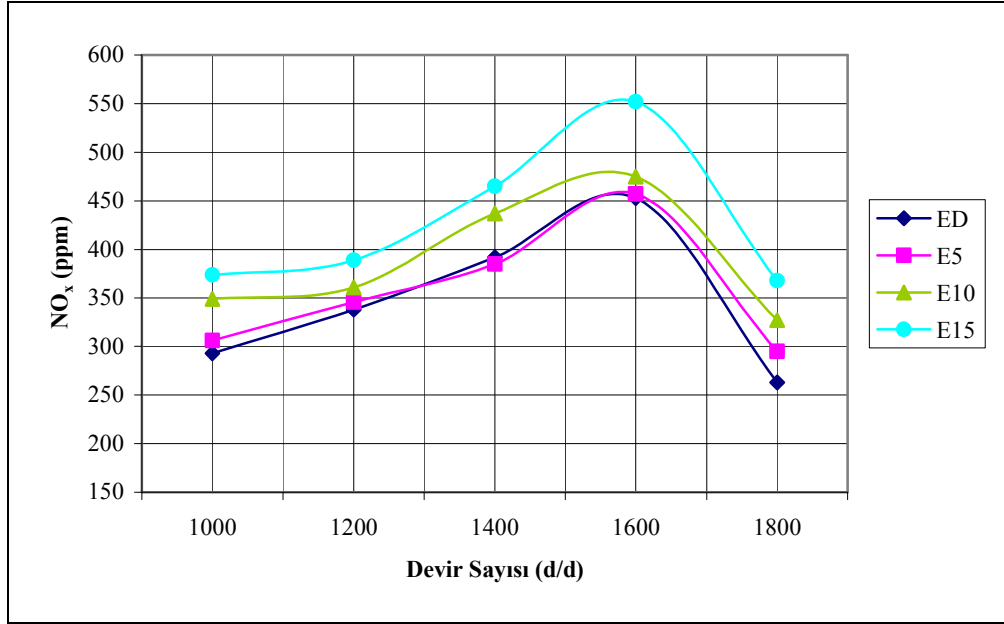
Şekil V.38 +6 avans 30 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki HC emisyonlarının devir sayısı ile değişimi

V.2.3.3. Azotoksit (NO_x) Emisyonu Değişimi

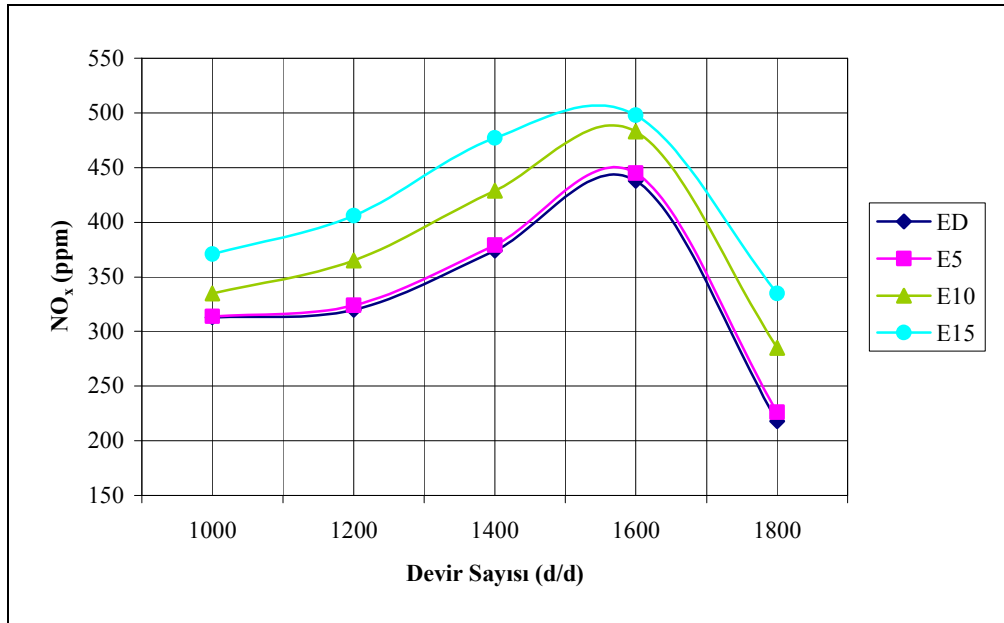
Şekil V.39, V.40, V.41 ve V.42’de azotoksit (NO_x) emisyonlarının, artan avanslarda ve 15 ve 30 Nm sabit yüklerdeki ED, E5, E10 ve E15 yakıtlarında ve motor devrine bağlı olarak değişimi verilmiştir. Avansın artması ile NO_x emisyonlarının arttığı görülmektedir.

Bunun sebebi yanma sonu sıcaklıklarının artışıdır. Örneğin +3 avans 15 Nm sabit yük ve E10 yakıtıyla 1200 d/d’deki NO_x emisyonu 361 ppm iken +6 avans ve aynı deney şartlarındaki NO_x emisyonu 453 ppm değerindedir.

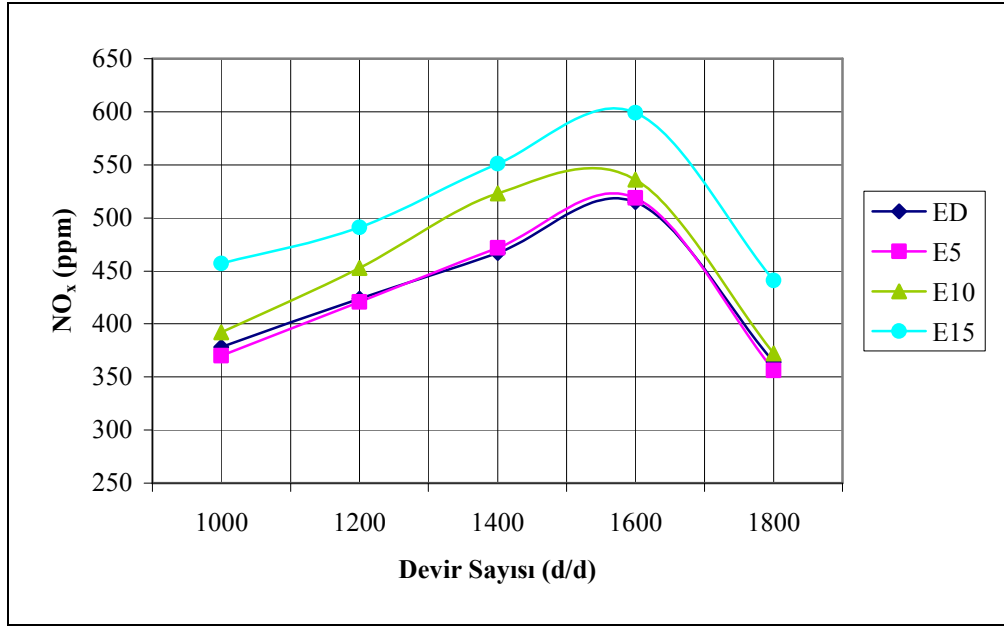
En yüksek NO_x emisyonu değerleri E15 yakıtından elde edilmiştir. Standart avansta olduğu gibi etanol oranının artması ile NO_x emisyonları da artmaktadır. En yüksek NO_x emisyonu +6 avans ve 30 Nm sabit yükte, 1600 d/d’da 695 ppm değeri ile E15 yakıtı vermiştir. En düşük NO_x emisyonu 218 ppm değerindedir. Bu değer +3 avans 30 Nm sabit yük ve 1800 d/d’lık motor hızında alınmıştır.



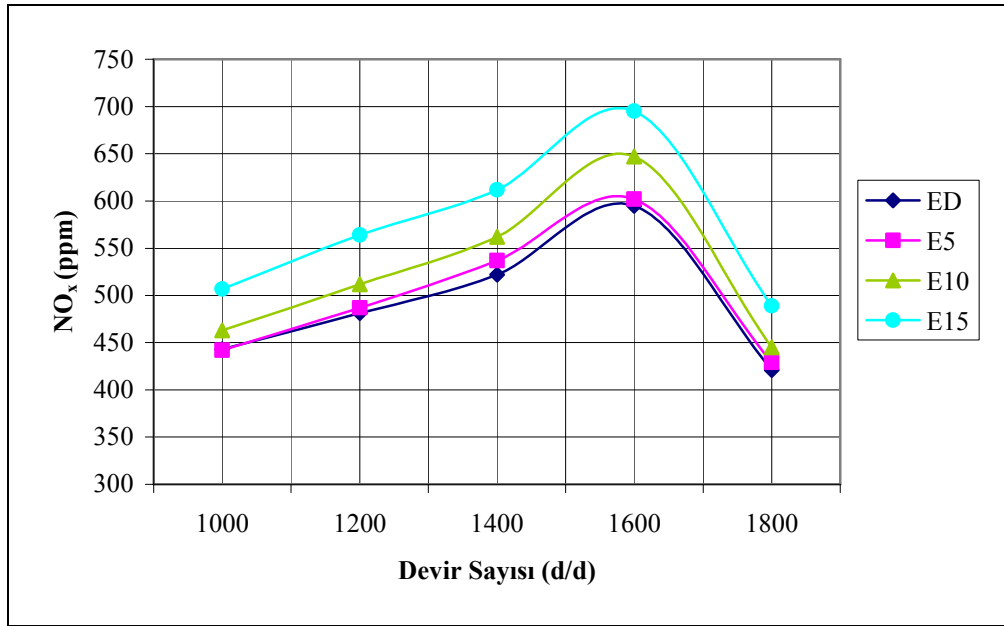
Şekil V.39 +3 avans 15 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki NO_x emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



Şekil V.40 +3 avans 30 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki NO_x emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



Şekil V.41 +6 avans 15 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki NO_x emisyonlarının devir sayısı ile değişimi



Şekil V.42 +6 avans 30 Nm sabit yükte ve farklı dizel-etanol karışımlarındaki NO_x emisyonlarının devir sayısı ile değişimi (Devam)

BOLÜM VI

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tek silindirli bir dizel motorunda püskürtme avans değerleri değişiminin ve yakıt olarak farklı oranlarda etanol-eurodizel karışımlarının kullanılmasının emisyonlar ve performans üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Deney sonuçlarına göre, test motorunun standart avans değerinin değiştirilmesi ile (artırılması ya da azaltılması) özgül yakıt tüketiminde artma gözlemlenmiştir. Avans arttırıldığında ya da azaltıldığında tutuşma gecikmesi süresi uzamakta, buna bağlı olarak içeri alınan yakıtın yanma kalitesi azalmakta ve ısı verimi düşmektedir.

Özgül yakıt tüketiminin en düşük değeri ED yakıtı ile standart avans, 30 Nm sabit yük ve 1600 d/d deney şartlarında elde edildi. Bu durumdaki en düşük özgül yakıt tüketimi değerleri ise ED yakıtında 298 gr/kWh iken E5, E10 ve E15 yakıtında sırasıyla, 304, 316 ve 334 gr/kWh'dır. Etanol miktarının artmasıyla özgül yakıt tüketimi artışının nedeni yakıtların ısı değerinden kaynaklanmaktadır.

Deneyisel çalışma sonucunda elde edilen emisyon değerleri incelendiğinde, CO ve HC emisyonlarında test motorunun avans değerinin artırılması ile azalma gözlemlenmiştir. Avans değerinin artması yanma sonu sıcaklıklarını artırmakta aynı zamanda yakıt içerisindeki karbon atomlarının oksijen ile reaksiyon süresinin uzamasına neden olmaktadır. Bu sonuçlar CO ve HC emisyonlarının azalmasının temel nedenidir. NO_x emisyonları ise avans değerinin artmasına paralel olarak artmaktadır. Bu sonuca yanma sonu sıcaklıklarının artması neden olduğu düşünülmektedir.

Avans değerinin azaltılması ise NO_x emisyonlarını azaltırken CO ve HC emisyonlarını artırmaktadır. Avans değerinin azaltılması ile yanma sonu sıcaklıkları düşmekte ve NO_x emisyonları azalmaktadır. Ancak avans değerinin azaltılması yanma sonu maksimum basıncının AÖN'ya daha yakın yerde oluşmasına neden olmaktadır.

Bu şartlarda yanma sonu basıncı ve sıcaklıkları düşmekte, silindir cidarlarına yakın olan yerlerde alev sönme bölgeleri artmakta bu eğilimde HC emisyonunu artırmaktadır. Avans değerinin azaltılması ile kimyasal yanma sürecindeki reaksiyon süresi azalmakta ve CO emisyonları da artmaktadır.

Karışım içerisindeki etanol oranının artması ile CO ve HC emisyonlarında azalma NO_x emisyonlarında artma gözlemlenmiştir. Etanol yapı olarak daha az karbon atomundan oluşmakta ve yapısında oksijen bulundurmaktadır. Etanol yapısında daha az karbon atomu bulundurması sonucu oksijen/yakıt oranı artırarak tam yanma gerçekleşmektedir. Bu gerçek CO ve HC emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Ancak yapısındaki oksijen fazlalığı yanma sonu sıcaklıklarını yükseltmekte bu da NO_x emisyonlarını artırmaktadır.

Günümüz dünyasında enerji politikaları, çevre bilinciyle birlikte insanların refahı içinde kullanılacak şekilde ve ulusal çıkarlar göz önüne alınarak belirlenmelidir. Bitkisel kökenli yakıtlardan üretilmesi nedeniyle etanol bir tarım ülkesi olan Türkiye için oldukça önemlidir. Brezilya geniş tarım arazileri ile üretmiş olduğu etanolü hem kendi ülkesindeki tüm ulaşım ağında kullanmakta hem de dış ülkelere yaptığı ihracat ile ülkesinin ekonomisine önemli bir gelir kaynağı oluşturmaktadır. Ülkemizde de etanol üretiminin devlet tarafından desteklenmesi gerektiğini düşünmekteyiz.

Etanolün enerji değeri dizel yakıtına göre düşük olmasına karşın NO_x hariç daha temiz emisyonlar üretmektedir. Yapılan bu çalışmada da püskürtme avansının değiştirilmesi ile NO_x emisyonlarında azalma kaydedilmiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda farklı çalışma parametrelerinin (motorun sıkıştırma oranı gibi) değiştirilmesi ile yakıt tüketiminin de azaltılması düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Altın, R., “Haşhaş Yağının Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanılmasının Araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, Cilt:1, Sayı:3-4, **(1998)**
- [2] Thring, R., “Alternative Fuels For Spark Ignition Engines”, *SAE Paper* No:831685, **(1983)**
- [3] Clancy, J., Dunn, P., “Ethanol As Fuel in Small Stationary Spark Ignition Engines Use in Developing Countries”, *FIEE, FI Mech*, C67/88, **(1988)**
- [4] Bayraktar, H., “Benzin-Etanol Karışımlarının Benzin Motorlarında Yanma ve Motor Çevrimi Üzerindeki Etkilerinin Teorik Olarak İncelenmesi”, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, **(1997)**
- [5] Bayındır, H., “Effects of Spark Timing and Air Fuel Ratio Consumption in Gasoline Engines Using Methanol-Gasoline Blends”, *Proceedings of The First Trabzon International Energy and Environment Symposium*, s.1189-2000, Trabzon, **(1996)**
- [6] Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., “İçten Yanmalı Motorlar”, Cilt:1, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, Ankara, **(1992)**
- [7] Reed, G., “Production of Fermentation Alcohol as a Fuel Source”, *The Avi Publishing Company, Inc.*, Wesport Connecticut, USA, **(1981)**
- [8] Sayın, C., “Oktan Sayısı ve LPG Karışımının Buji Ateşlemeli Bir Motorun Performans ve Emisyonuna Etkisinin Deneysel İncelenmesi”, *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, **(2005)**
- [9] Parlak, A., Yaşar, H., Haşimoğlu, C., Kolip, A., “The Effects of Injection Timing on NO_x Emissions of a Low Heat Rejection Indirect Diesel Injection Engine”, *Applied Thermal Engineering*, Volume:25, Issues 17-18, December, P. 3042, **(2005)**

- [10] Soruşbay, C., Soyhan, S., “Doğal Gaz Motorlarında Egzoz Emisyonu”, *Doğal Gaz Dergisi*, Sayı:37, s. 156-163, **(1999)**
- [11] Smith, J. L., Workman, J. P., “Alcohol for Motor Fuels”, *Colorado State University Cooperative Extension*, No. 5010, **(1998)**
- [12] Noboru, N., Tearo, H., Sakta, C.,. “Performance Improvement by Control of Flow Rates and Diesel Injection Timing on Dual-Fuel Engines with Ethanol”, *Biosource Technology*, 56:35-39, **(1996)**
- [13] Likos, B., Callahan, T. L., “Performance and Emissions of Ethanol and Ethanol-Diesel Blends in Direct-Injected and Pre-Chamber Diesel Engines”, *SAE, Paper No:821039*, **(1982)**
- [14] Eugene, E. E., “Bechtold, R. L., “Timbaro, T. C., McCallom, P. W., “State of Art Report on The Use of Alcohols in Disel Engines”, *SAE, Paper No:840118*, **(1984)**
- [15] Qudais, M. A., Haddad, O., Qudaisat, M., “The Effect of Alcohol Fumugation on Disel Engine Performance and Emissions”, *Energy Conversion and Management*, 41.389-399, **(2000)**
- [16] Nagarian, G., Rao, A. N., Jagadesan, T. R., Renganarayanan, S., “Review of Ethanol in Compression Ignition Engine”, *Institute for Energy Studies, Anna University, Chennai*, **(2003)**
- [17] Jiang, Q., Ottikkutti, P., VanGerpen, J., VanMetter, D., “ The Effect of Alcohol Fumigation on Diesel Flame Temperature and Emissions”, *SAE, Paper No: 900386*, **(1990)**
- [18] Bertilsson, B. I., Gustavsson, L., “Experience of Heavy-Duty Alcohol Diesel-Ignition Engines”, *SAE, Paper No: 871672*, **(1987)**
- [19] Schafer, A. J., Hardenberg, H. O., “Ignition Improvers for Ethanol Fuels”, *SAE, Paper, No:821039*, **(1982)**
- [20] Hardenberg, H. O., Ehnert, E. R., “Ignition Quality Determination Problems with Alternative Fuels for Compression Ignition Engines”, *SAE, Paper, No:811212*, **(1981)**
- [21] Bollentin, J. W., Wilk, R. D., “Autoignition Characteristics of Ethanol”, *SAE, Paper No:961175*, **(1996)**
- [22] Satge, P., De Caro., Moloungui, Z., “Interest of Combining and Additive with Diesel-Ethanol Blends for Use in Diesel Engines”, *Fuel*, 82:565-574, **(2001)**

- [23] Robert, L., Richard, P., “Miles Report. Technical Barries to the Use of Ethanol in Diesel Fuel”, *National Renewable Energy Laboratory*, NREL/MP-540-32674, (2001)
- [24] Can, Ö., “Etanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Dizel Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2003)
- [25] Hansen, A. C., Hornbaker, R. H., Zhang, Q., Peter, Lyne, W. L., “On-Farm Evaluation Diesel Fuel Oxgenated with Ethanol”, *ASAE*, Paper No: 01-6173, (2001)
- [26] Bilgin, A., Durgun, O., Şahin, Z., “The Effects of Diesel Ethanol Blends on Diesel Engine Performance”, *Energy Sources*, 24:431-440, (2002)
- [27] Hansen, A. C., Hornbaker, R. H., Zhang, Q., “Ethanol-Diesel Blends: A Step Towards A Bio- Based Fuel for Disel Engines”, *ASAE*, Paper No: 01-6048, (2001)
- [28] Walker, J. T., “Diesel tractor engine performance as affected by ethanol vaporauration”, *Transactions of the ASAE*, 32 (5), (1989) 1507-1511
- [29] Ajav, E. A., “Akingbehin, O. A., “A Study of Some Fuel Properties of Local Ethanol Blended with Diesel Fuel”, *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research Development*, 6:25-36, (2002)
- [30] Minwafor, O., “Effect of Advanced Injection Timing on The Performance of Natural Gas in Diesel Engines”, *Sadhana*, Vol.25, Part.1, February, (2002)
- [31] Bayındır, H., Yücesu, S., “Etanol Benzin Karışımları ve Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri” 6. *Uluslararası Yanma Sempozyum*, İstanbul, Türkiye, (1999)
- [32] Peker, A., “Benzin ve Dizel Motorlarının Performansına Alternatif Yakıtların ve Katkı maddelerinin Etkisinin İncelenmesi” *ITU Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Türkiye, (2000) 32-40
- [33] Çetinkaya, S., Çelik, B., “Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Olarak Metanol-Benzin Karışımlarının Kullanılması”, 5. *Uluslararası Yanma Sempozyum*, Bursa, (1997)
- [34] Yörük, S., “İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Kullanımı”, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (2002)

- [35] Karaosmanoğlu, F., Aksoy, H. A., Civelekoğlu, h., “Alkol Katkılı Benzinlerin Yakıt Tüketimi Üzerine Etkisi”, *İTÜ Dergisi*, Cilt:44, 1-2, 75-79, (1986)
- [36] BOSCH, “Automotive Handbook, 5th Edition, *Published by Robert Bosch*, Stuttgart, (2000)
- [37] Owen, C., Coley, T., “Automotive Fuels Reference Book”, *SAE Published*, USA, (1995)
- [38] Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., “Yanma Bilgisi”, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, Ankara, (1992)
- [39] TMMOB, “Araçlarda LPG Dönüşümü”, *TMMOB Yayınları*, Ankara, (1999)
- [40] Hsieh, D., Chen, R. H., Wu, T. L., Lin, T. H., “Engine Performance and Pollutant Emission of an SI Engine Using Ethanol-Gasoline Blended Fuels”, *Atmospheric Environment*, 36, (2002) 403-410
- [41] Yüksel, F., Ceviz, M. A., “Effects of Ethanol- Unleaded Gasoline Blends on Cyclic Variability and Emissions in an SI Engine, *Applied Thermal Engineering*, (in press) (2004)
- [42] Çengel, Y., Boles, M., “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, *McGraw-Hill*, (2000)
- [43] Qissek, F., Barbera, E., Hulak, K., “Development and Optimization of Alcohol Fueled SI Engines For Passenger Cars For The Bresilian Market ”, *SAE Trans*, Paper No:911730 (1991) 250-252
- [44] Beba, A., “Etanol/Benzin Karışımı Yakıtların Karakteristiklerinin İncelenmesi”, *I.Yanma Sempozyumu*, Bursa, Türkiye, (1983) 183-202
- [45] Henhama, W.E., Johns, R.A., “Development of Fuel Tolerant Diesel for Alternative Fuels”, *International J. Of Vehicle Design*, Vol 12, No:3, (1991) 196-303
- [46] Robert, L. McCormick., Richard, Parish., “Miles Report: Technical Barriers to The Use of Ethanol in Diesel Fuel”, *National Renewable Energy Laboratory*, NREL/MP-540-32674, (2001)
- [47] Sürmen, A., Karamangil, M. İ., Arslan, R., “Motor Termodinamiği”, *Aktüel Yayınları*, Bursa, (2004)
- [48] Tüpraş A.Ş., “Eurodizel Teknik Özellikleri” İzmit, (2006)
- [49] Süper Star Dizel Motorları Kullanma ve Bakım Kılavuzu, *Motosan*, İstanbul, (1992)

- [50] Ganesan, W., “Internal Combustion Engines”, *McGraw-Hill*, pp.399-400, (1996)
- [51] Zhao, H., and Ladammatos, N., “Engine Combustion Instrumentation and Diagnostics”, *SAE*, (2001)
- [52] Figliola, R. S., Beasley, D. E., “Theory and Design for Mechanical Measurements”, *John Wiley & Sons*, USA, (1991)
- [53] Yavaşlıoğlu, İ., “İçten Yanmalı Motorlar”, *Eğitim Yayınları*, İstanbul, (1988) 12-16
- [54] Ergeneman, M., Mutlu, M., Kutlar, O.A., Arslan, H., “Taşıtlardan Kaynaklanan Egzoz Kirleticileri”, *ITU Makine Fakültesi Otomotiv A.B.D.,Birsen Yayınevi*, İstanbul, (1998)
- [55] Crouse, W., Anglin, D., “Automotive Engines” *Mc Graw-Hill*, pp.116-118, USA, (1998)
- [56] Soruşbay, C., “İçten Yanmalı Motorlarda Egzoz Gazları Emisyonları”, *ITU Makine Fakültesi Ders Notları*, İstanbul, (1999)
- [57] Heywood, J.B., “Internal Combustion Engine Fundamentals”, *McGraw-Hill Publishing Company*, New York, (1988)
- [58] Khan, I.M., Wang, C.H.T., “Factors Affecting Emissions of Smoke and Gaseous Pollutants from Direct Injection Diesel Engines”, *Lucas Engineering Review*, Vol.6, No: 2, November, (1973)
- [59] Satgé, P., De Caro, Moloungui, Z., “Interest of Combining an Additive with Diesel-Ethanol Blends for Use in Diesel Engines”, *Fuel*, No: 80, (2001) 565-574
- [60] Weidmann, K., and Menrad, H., “Fleet Test, performance and Emissions of Diesel Engines Using Different Alcohol-Diesel Fuel Blends”, *SAE*, Paper No: 841331 (1981)
- [61] Bang-Quan, H., Shi-Jin, S., Jian-Xin, W., Hong, H., “The Effect of Ethanol Blended Diesel Fuels on Emissions from A Diesel Engine”, *Atmospheric Environment*, (37), (2003) 4965-4971
- [62] Chan, M., Das, S., Reitz, R.D., “Modelling Multiple Injection and EGR Effects on Diesel Engine Emissions”, *SAE Paper*, No: 972864, (1997)

- [63] Austion, E.W., Lyn, W.T., ‘‘Relation between Fuel Injection and Heat Release in a Direct Injection Engine and the Nature of the Combustion Processes’’, *Proceedings Institution of Mechanical Engineers (A.D.)*, London, Vol.1, pp 47-62, **(1960-61)**
- [64] Needhan, J.R., Nicol, A.J., Such, C.H., ‘‘Low Emission Heavy Duty Diesel Engine for Europe’’, *SAE Paper* No: 932959, **(1993)**
- [65] Khan, I. M., Matula R. A., ‘‘13 th Symposium (International) on Combustion’’, Pittsburg,Pem, **(1971)**

EKLER

EK 1. Standart avans değerinde ve 15 Nm sabit yükte elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	E5						E10						E15					
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Tork (Nm)	1000	1200	1400	1600	1800	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200
Devir Sayısı (d/d)	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885
Efektif Güç (kW)	23	27	30	34	41	41	24	28	32	35	42	26	29	33	36	44	27	30
Yakıt Tüketimi (gr/120 s)	439	429	409	405	435	435	458	445	436	417	445	496	461	450	429	466	515	477
Özgül Yakıt Tüketimi (gr/kWh)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Emme Manifoldu Sıcaklığı (°C)	192	213	227	263	258	258	195	211	235	271	268	204	215	242	279	270	206	227
Egzoz Manifoldu Sıcaklığı (°C)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Ortam Sıcaklığı (°C)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı (°C)	65	73	78	79	80	80	68	75	81	87	91	70	76	82	90	94	77	83
Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı (°C)	46	50	51	52	53	53	45	47	48	48	51	48	49	51	52	54	52	53
Motor Yağı Sıcaklığı (°C)	12,6	11,9	10,59	9,92	9,73	9,73	15,7	16,82	15,69	16,15	10,73	18,82	17,19	16,07	17,92	17,44	18,21	18,64
O ₂ (%)	0,67	0,75	0,66	0,53	0,49	0,49	0,65	0,64	0,55	0,48	0,4	0,43	0,36	0,35	0,24	0,18	0,29	0,25
CO Emisyon Değerleri (%)	163	142	133	108	102	102	154	137	128	91	99	145	128	123	88	88	140	117
HC Emisyon Değerleri (ppm)	1,8	3,5	3,5	5,7	5,6	5,6	4,4	5,2	4,1	6	6,1	5,7	6,9	5,1	6,5	6,3	6,1	6,9
CO ₂ Emisyon Değerleri (%)	265	282	334	387	172	172	269	294	345	398	170	287	328	382	428	213	305	367
NO _x Emisyon Değerleri (ppm)	260	275	327	371	169	169	262	279	320	388	164	279	319	369	416	205	291	353
NO Emisyon Değerleri (ppm)	1,853	1,795	1,716	1,651	1,658	1,658	1,867	1,808	1,729	1,673	1,726	1,875	1,853	1,742	1,756	1,823	1,891	1,87
Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)	10,5	11	13	14,5	19	19	11	12,5	15	17	20	10	11	12,5	15	19,5	10,5	11
Eğik Monometre Sapması (mmSS)																		

EK 2. Standart avans değerinde ve 30 Nm sabit yükte elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	E5						E10						E15					
	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Tork (Nm)	30	1000	1200	1400	1600	1800	30	1000	1200	1400	1600	1800	30	1000	1200	1400	1600	1800
Devir Sayısı (d/d)	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141
Efektif Güç (kW)	36	41	44	47	50	53	39	42	45	48	51	54	42	44	46	48	50	52
Yakıt Tüketimi (gr/120 s)	343	326	300	274	248	222	372	334	306	278	250	222	401	350	309	268	227	186
Özgül Yakıt Tüketimi (gr/kWh)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Emme Manifoldu Sıcaklığı (°C)	198	214	236	262	298	344	200	219	236	260	290	326	210	231	246	260	274	288
Egzoz Manifoldu Sıcaklığı (°C)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Ortam Sıcaklığı (°C)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı (°C)	67	72	74	77	81	85	65	73	80	88	96	104	75	84	91	99	107	115
Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı (°C)	53	53	55	56	59	62	41	48	55	62	70	78	45	49	54	61	69	77
Motor Yağı Sıcaklığı (°C)	11,99	11,09	8,54	6,37	4,20	2,03	14,43	13,87	9,95	9,3	10,08	15,68	16,61	15,18	14,86	13,96	12,85	11,74
O ₂ (%)	0,57	0,72	0,59	0,47	0,35	0,23	0,55	0,67	0,53	0,39	0,25	0,11	0,25	0,26	0,18	0,08	0,06	0,04
CO Emisyon Değerleri (%)	158	139	120	96	71	46	150	134	121	92	67	43	129	110	105	64	72	81
HC Emisyon Değerleri (ppm)	4,2	4,8	5,9	6,1	6,7	7,4	4,4	5,2	6,2	6,6	7,2	8,0	6,8	6,2	5,6	4,9	4,2	3,5
CO ₂ Emisyon Değerleri (%)	281	301	360	395	437	489	283	318	371	417	469	521	365	389	446	486	525	564
NO _x Emisyon Değerleri (ppm)	270	285	344	378	412	446	277	307	363	400	434	468	354	377	421	478	523	568
NO Emisyon Değerleri (ppm)	1,313	1,295	1,272	1,253	1,234	1,215	1,355	1,303	1,279	1,253	1,227	1,201	1,388	1,37	1,349	1,402	1,456	1,510
Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)	10	11,5	15,5	18	21	24	10,5	11	15	19	23	27	11	11,5	13,5	16,5	19	22
Eğik Monometre Sapması (mmSS)																		

EK 3. -3 avans değerinde ve 15 Nm sabit yükte elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	ED						E5						E10						E15					
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Tork (Nm)	15	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400
Devir Sayısı (d/d)	15	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400
Efektif Güç (kW)	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199
Yakıt Tüketimi (gr/120 s)	28	30	34	40	47	55	30	32	36	41	49	30	32	36	41	49	30	32	36	41	49	30	32	36
Özgül Yakıt Tüketimi (gr/kWh)	535	477	464	477	477	551	573	509	491	489	562	611	557	532	525	594	668	557	532	549	626	668	557	532
Emme Manifoldu Sıcaklığı (°C)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Egzoz Manifoldu Sıcaklığı (°C)	198	228	258	289	320	351	200	233	257	276	282	213	239	265	290	300	220	239	264	289	313	220	239	264
Ortam Sıcaklığı (°C)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı (°C)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı (°C)	70	78	83	85	88	91	78	80	85	89	91	73	79	84	89	91	65	75	84	87	92	65	75	84
Motor Yağı Sıcaklığı (°C)	50	52	56	60	63	66	42	44	49	52	55	48	51	56	57	59	41	44	51	53	58	41	44	51
O ₂ (%)	7,87	5,17	12,6	11,02	8,3	12,19	12,46	9,67	7,95	9,7	11,89	8,65	9,34	9,87	10,14	11,62	9,97	9,01	11,57	11,43	9,97	9,01	11,57	11,43
CO Emisyon Değerleri (%)	0,78	0,8	0,73	0,62	0,55	0,67	0,76	0,68	0,51	0,52	0,54	0,52	0,43	0,33	0,29	0,32	0,36	0,27	0,2	0,15	0,36	0,27	0,2	0,15
HC Emisyon Değerleri (ppm)	175	174	165	137	134	173	175	160	138	129	159	167	153	124	118	145	158	138	98	93	158	138	98	93
CO ₂ Emisyon Değerleri (%)	7,8	7,3	6,8	7,7	7,4	8	7	8,4	7,6	7,8	6	8,3	7,5	7,1	6,9	5,3	7,1	8,2	6,6	6,6	7,1	8,2	6,6	6,6
NO _x Emisyon Değerleri (ppm)	254	267	279	320	361	402	255	265	286	319	350	263	293	324	359	390	326	341	400	475	326	341	400	475
NO Emisyon Değerleri (ppm)	243	256	270	307	348	389	248	249	273	305	337	255	287	319	351	383	313	328	388	463	313	328	388	463
Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)	1,443	1,203	1,448	1,555	1,662	1,769	1,499	1,297	1,556	1,804	2,052	1,563	1,305	1,632	1,959	2,287	1,625	1,31	1,675	2,002	1,625	1,31	1,675	2,002
Eğik Monometre Sapması (mmSS)	10	13	15,5	19	21	23	10,5	12	15,5	19	21	12	13,5	16	17,5	20	11	12,5	15	18,5	20	11	12,5	15

EK 4. -3 avans değerinde ve 30 Nm sabit yükte elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	ED						E5						E10						E15					
	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Tork (Nm)	30	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400
Devir Sayısı (d/d)	1000	1200	1400	1600	1800	2000	1000	1200	1400	1600	1800	2000	1000	1200	1400	1600	1800	2000	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Efektif Güç (kW)	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141
Yakıt Tüketimi (gr/120 s)	39	42	47	55	68	84	40	43	48	56	70	84	41	44	49	59	71	84	44	48	52	62	74	84
Özgül Yakıt Tüketimi (gr/kWh)	372	334	320	328	361	382	382	342	327	334	371	391	391	350	334	352	376	420	382	355	370	392	420	392
Emme Manifoldu Sıcaklığı (°C)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Egzoz Manifoldu Sıcaklığı (°C)	190	213	251	280	329	378	211	229	248	263	281	219	246	265	295	307	328	355	382	409	436	463	490	517
Ortam Sıcaklığı (°C)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı (°C)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı (°C)	68	75	80	85	89	94	74	80	87	90	91	72	77	81	85	91	97	103	109	115	121	127	133	139
Motor Yağı Sıcaklığı (°C)	49	53	56	59	61	64	44	47	49	51	54	49	51	55	57	60	63	67	71	75	79	83	87	91
O ₂ (%)	7,02	5,48	4,29	4,42	8,23	9,2	9,2	7,63	5,67	6,91	9,1	9	8,44	6,99	5,72	8,9	8,9	8,9	9,35	8,91	4,62	7,93	8,9	8,9
CO Emisyon Değerleri (%)	0,72	0,81	0,68	0,6	0,49	0,66	0,66	0,75	0,61	0,56	0,48	0,52	0,5	0,41	0,48	0,25	0,27	0,29	0,35	0,16	0,13	0,13	0,13	0,13
HC Emisyon Değerleri (ppm)	167	163	149	129	135	163	163	164	144	126	122	157	152	130	123	107	146	135	117	115	88	88	88	88
CO ₂ Emisyon Değerleri (%)	6,8	8,5	7,9	8	7,5	6	6	7,1	7,8	7,6	7,8	6,5	7,3	7,4	8,3	8,7	6,3	7,5	7,2	7,9	8,4	8,4	8,4	8,4
NO _x Emisyon Değerleri (ppm)	217	239	255	287	170	219	219	238	248	295	168	241	223	286	311	216	274	232	297	349	234	234	234	234
NO Emisyon Değerleri (ppm)	202	223	245	278	265	211	211	227	234	275	155	225	211	277	297	201	258	215	278	327	219	219	219	219
Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)	1,492	1,212	1,545	1,005	1,153	1,455	1,455	1,183	1,053	1,15	1,328	1,403	1,254	1,177	1,237	1,478	1,382	1,302	1,264	1,032	1,521	1,521	1,521	1,521
Eğik Monometre Sapması (mmSS)	9	11,5	14,5	18	20	10	10	13,5	15	18	20	10,5	12	13	17	19	11	11,5	13,5	17	19	19	19	19

EK 5. -6 avans değerinde ve 15 Nm sabit yükte elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	ED						E5						E10						E15					
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Tork (Nm)	15	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600
Devir Sayısı (d/d)	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600
Efektif Güç (kW)	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513
Yakıt Tüketimi (gr/120 s)	33	35	39	45	55	34	37	41	46	57	36	39	42	47	59	39	44	46	52	68	39	44	46	52
Özgül Yakıt Tüketimi (gr/kWh)	630	557	532	537	583	649	589	559	549	605	687	620	573	561	626	745	700	627	621	721	745	700	627	621
Emme Manifoldu Sıcaklığı (°C)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Egzoz Manifoldu Sıcaklığı (°C)	188	212	234	269	286	195	212	243	255	258	204	218	236	265	287	198	207	225	248	267	198	207	225	248
Ortam Sıcaklığı (°C)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı (°C)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı (°C)	71	78	82	85	89	79	82	85	90	91	75	79	86	88	92	69	74	80	87	90	69	74	80	87
Motor Yağı Sıcaklığı (°C)	51	52	55	59	61	49	54	58	61	64	50	53	56	59	60	47	48	51	55	58	47	48	51	55
O ₂ (%)	8,56	8,17	12,76	12,04	9,5	13,56	14,78	12,99	11,92	12,77	13,67	13,95	12,34	11,88	12,13	12,43	11,97	12,03	11,06	11,45	12,43	11,97	12,03	11,06
CO Emisyon Değerleri (%)	1,13	1,56	1,1	0,83	0,71	1,11	1,48	1,12	0,75	0,72	1,03	1,35	1,01	0,69	0,58	0,92	1,07	0,93	0,58	0,33	0,92	1,07	0,93	0,58
HC Emisyon Değerleri (ppm)	196	203	187	151	189	195	200	180	151	184	178	191	193	142	175	166	163	174	136	162	166	163	174	136
CO ₂ Emisyon Değerleri (%)	6,55	6,32	6,52	7,56	7,13	7,04	7,38	8,13	7,5	7,78	5,67	6,45	7,15	7,41	7	5,01	5,73	6,12	6,47	6,11	5,01	5,73	6,12	6,47
NO _x Emisyon Değerleri (ppm)	98	111	130	196	91	99	118	135	190	105	127	132	191	237	118	165	173	235	288	157	165	173	235	288
NO Emisyon Değerleri (ppm)	90	103	119	185	90	92	115	127	179	98	118	121	176	228	112	160	161	223	275	149	160	161	223	275
Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)	1,414	1,2	1,328	1,456	1,21	1,367	1,342	1,54	1,339	1,436	1,604	1,505	1,603	1,408	1,481	1,543	1,429	1,615	1,53	1,637	1,543	1,429	1,615	1,53
Eğik Monometre Sapması (mmSS)	10,5	11,5	14	17	19,5	11	11,5	13	15	18,5	11,5	13	15	17,5	20	11	12,5	14	16,5	20	11	12,5	14	16,5

EK 6. -6 avans değerinde ve 30 Nm sabit yükte elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	ED						E5						E10						E15					
	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Tork (Nm)	30	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1800
Devir Sayısı (d/d)	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,827
Efektif Güç (kW)	43	46	51	58	66	74	43	47	53	60	68	43	48	55	62	70	43	48	55	62	70	43	48	82
Yakıt Tüketimi (gr/120 s)	411	366	348	346	346	346	410,6	374	361	358	358	430	382	375	370	413	458	414	395	405	435	458	414	435
Özgül Yakıt Tüketimi (gr/kWh)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Emme Manifoldu Sıcaklığı (°C)	185	209	227	270	283	283	195	210	247	255	267	216	226	233	260	281	211	215	224	245	261	211	215	261
Egzoz Manifoldu Sıcaklığı (°C)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Ortam Sıcaklığı (°C)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı (°C)	65	73	82	85	88	88	70	77	86	91	92	72	80	83	86	90	69	72	85	92	95	69	72	95
Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı (°C)	50	53	55	58	60	60	47	48	49	53	55	49	52	55	58	60	44	45	48	51	55	44	45	55
Motor Yağı Sıcaklığı (°C)	8,33	8,4	8,13	7,45	7,28	7,28	8,2	7,73	6,77	7,12	7,45	7,99	7,85	7,36	7,11	7,19	8,9	8,36	9,85	7,64	7,76	8,9	8,36	7,76
O ₂ (%)	1,09	1,44	1,03	0,76	0,63	0,63	1,06	1,32	1,01	0,81	0,59	0,92	1,13	0,85	0,72	0,58	0,85	0,94	0,79	0,44	0,27	0,85	0,94	0,27
CO Emisyon Değerleri (%)	187	179	153	147	180	180	188	177	150	146	184	170	165	143	134	172	159	156	126	127	155	159	156	155
HC Emisyon Değerleri (ppm)	5,11	5,5	5,89	6,08	6,05	6,05	6,12	7	7,1	6,96	6,8	6,7	7,15	7,47	8,12	8,17	6,12	7,18	7,2	7,49	8,13	6,12	7,18	8,13
CO ₂ Emisyon Değerleri (%)	105	123	128	205	87	87	104	126	136	205	93	139	139	185	233	112	173	175	227	294	139	173	175	139
NO _x Emisyon Değerleri (ppm)	97	114	121	196	81	81	97	117	125	190	81	132	132	173	224	103	160	161	219	281	130	160	161	130
NO Emisyon Değerleri (ppm)	1,485	1,348	1,413	1,227	1,251	1,251	1,462	1,213	1,254	1,235	1,426	1,4	1,352	1,273	1,267	1,465	1,556	1,412	1,363	1,237	1,62	1,556	1,412	1,62
Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)	10	12	14,5	18,5	20,5	20,5	10,5	12,5	15	19,5	21	10,5	13	14,5	16,5	20,5	11,5	13	15	18	21,5	11,5	13	21,5
Eğik Monometre Sapması (mmSS)																								

EK 7. +3 avans değerinde ve 15 Nm sabit yükte elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	ED						E5						E10						E15					
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Tork (Nm)	15	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400
Devir Sayısı (d/d)	1000	1200	1400	1600	1800	2000	1000	1200	1400	1600	1800	2000	1000	1200	1400	1600	1800	2000	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Efektif Güç (kW)	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141
Yakıt Tüketimi (gr/120 s)	29	32	34	36	38	40	30	33	36	39	42	45	30	33	36	39	42	45	30	33	36	39	42	45
Özgül Yakıt Tüketimi (gr/kWh)	553	509	463	417	371	325	573	525	479	433	387	341	611	541	471	401	331	261	191	121	53	532	525	518
Emme Manifoldu Sıcaklığı (°C)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Egzoz Manifoldu Sıcaklığı (°C)	195	214	230	246	262	278	211	223	235	247	259	271	215	227	239	251	263	275	287	299	311	323	335	347
Ortam Sıcaklığı (°C)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı (°C)	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı (°C)	67	73	75	77	79	81	71	76	81	86	91	96	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108
Motor Yağı Sıcaklığı (°C)	45	49	51	53	55	57	52	54	56	58	60	62	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
O ₂ (%)	12,1	11,5	10,44	9,13	7,82	6,51	11,7	11,28	10,86	10,44	10,02	9,6	11,32	10,9	10,48	10,06	9,64	9,22	8,8	8,38	7,96	7,54	7,12	6,7
CO Emisyon Değerleri (%)	0,64	0,76	0,62	0,37	0,4	0,43	0,61	0,73	0,54	0,25	0,38	0,43	0,43	0,35	0,27	0,16	0,36	0,17	0,21	0,18	0,13	0,13	0,12	0,12
HC Emisyon Değerleri (ppm)	159	143	125	100	102	102	157	140	122	98	101	140	140	127	116	83	95	132	114	107	70	70	67	67
CO ₂ Emisyon Değerleri (%)	2,1	3,4	3,7	6,8	6,7	6,7	4,3	5,3	4,4	5,9	6,3	5,9	5,9	7,2	8,1	8,9	9,3	9,6	9,9	10,4	11,7	11,3	11,3	11,3
NO _x Emisyon Değerleri (ppm)	293	338	392	453	263	263	306	346	385	457	295	349	349	361	437	475	327	374	389	465	552	368	368	368
NO Emisyon Değerleri (ppm)	290	327	387	445	253	253	289	332	371	444	283	335	335	348	421	459	312	361	380	450	537	356	356	356
Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)	1,855	1,756	1,816	1,753	1,655	1,655	1,788	1,711	1,709	1,548	1,535	1,826	1,826	1,845	1,84	1,784	1,877	1,845	1,863	1,819	1,778	1,8	1,8	1,8
Eğik Monometre Sapması (mmSS)	10,5	12	15	17	19	19	10,5	11,5	16	19	20	11	11,5	14,5	18	20	20	11	12	15	17	19	19	19

EK 8. +3 avans değerinde ve 30 Nm sabit yükte elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	E15						E10						E5						E1					
	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Tork (Nm)	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600
Devir Sayısı (d/d)	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513
Efektif Güç (kW)	39	43	48	56	67	40	44	48	58	69	41	45	50	59	70	41	48	51	62	74	41	48	51	62
Yakıt Tüketimi (gr/120 s)	372	342	327	334	355	382	350	327	346	366	391	358	341	352	371	391	381	348	370	392	391	381	348	370
Özgül Yakıt Tüketimi (gr/kWh)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Emme Manifoldu Sıcaklığı (°C)	215	224	243	277	183	217	226	245	274	268	216	228	255	287	291	225	239	257	294	298	225	239	257	294
Egzoz Manifoldu Sıcaklığı (°C)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Ortam Sıcaklığı (°C)	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı (°C)	75	78	84	89	91	68	73	86	89	93	72	76	82	89	90	84	88	92	94	95	84	88	92	94
Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı (°C)	55	55	58	60	62	48	52	55	59	62	47	53	55	61	63	52	56	57	59	65	52	56	57	59
Motor Yağı Sıcaklığı (°C)	11,54	11,13	8,12	6,16	6,83	11,15	11,07	9,12	9,04	9,76	12,15	11,96	11,59	10,89	11,23	12,65	12,13	11,89	11,96	11,83	12,65	12,13	11,89	11,96
O ₂ (%)	0,63	0,57	0,6	0,35	0,33	0,56	0,58	0,53	0,32	0,33	0,38	0,39	0,32	0,16	0,27	0,19	0,22	0,13	0,11	0,06	0,19	0,22	0,13	0,11
CO Emisyon Değerleri (%)	151	138	120	95	95	150	133	117	94	90	136	126	108	77	90	122	115	102	65	68	122	115	102	65
HC Emisyon Değerleri (ppm)	4,9	5,2	5,9	6,3	6,8	5,3	5,7	6,5	6,8	6,7	5,7	5,6	8,1	8,7	7,9	7	7,3	8,1	9,4	9,1	7	7,3	8,1	9,4
CO ₂ Emisyon Değerleri (%)	313	320	374	438	218	314	324	379	445	226	335	365	429	483	285	371	406	477	498	335	371	406	477	498
NO _x Emisyon Değerleri (ppm)	305	311	365	426	202	307	312	361	433	220	314	348	409	475	277	359	392	460	473	319	359	392	460	473
NO Emisyon Değerleri (ppm)	1,214	1,287	1,265	1,25	1,413	1,262	1,295	1,288	1,262	1,405	1,353	1,328	1,245	1,411	1,389	1,316	1,357	1,35	1,386	1,421	1,316	1,357	1,35	1,386
Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)	9,5	11	14	18	20	10,5	12	15,5	18	21	10	11,5	14	17,5	20	11	12,5	15,5	17	21	11	12,5	15,5	17
Eğik Monometre Sapması (mmSS)																								

EK 9. +6 avans değerinde ve 15 Nm sabit yükte elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	ED						E5						E10						E15					
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Tork (Nm)	15	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400
Devir Sayısı (d/d)	1000	1200	1400	1600	1800	2000	1000	1200	1400	1600	1800	2000	1000	1200	1400	1600	1800	2000	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Efektif Güç (kW)	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	3,141
Yakıt Tüketimi (gr/120 s)	32	36	38	40	42	44	33	36	38	40	42	44	33	36	38	40	42	44	33	36	38	40	42	44
Özgül Yakıt Tüketimi (gr/kWh)	611	573	518	463	408	353	630	573	518	463	408	353	630	573	518	463	408	353	630	573	518	463	408	353
Emme Manifoldu Sıcaklığı (°C)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Egzoz Manifoldu Sıcaklığı (°C)	215	227	249	271	293	315	223	237	258	279	298	317	226	243	267	290	305	322	239	264	289	312	335	358
Ortam Sıcaklığı (°C)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı (°C)	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı (°C)	72	73	76	83	87	90	70	75	80	85	90	94	74	79	82	86	90	93	78	83	87	91	95	99
Motor Yağı Sıcaklığı (°C)	42	48	50	54	58	62	51	54	57	60	63	66	51	52	54	56	58	60	55	56	58	60	62	64
O ₂ (%)	11,15	10,44	10,13	9,82	9,51	9,20	11,29	11,34	11,39	11,44	11,49	11,54	11,02	10,94	10,86	10,78	10,70	10,62	8,83	8,41	8,00	7,58	7,16	6,74
CO Emisyon Değerleri (%)	0,6	0,61	0,64	0,67	0,70	0,73	0,56	0,59	0,62	0,65	0,68	0,71	0,41	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45	0,25	0,15	0,04	0,01	0,01	0,01
HC Emisyon Değerleri (ppm)	148	139	118	96	78	60	145	138	117	97	79	61	130	121	104	89	76	64	112	95	64	41	21	11
CO ₂ Emisyon Değerleri (%)	2,8	3,6	4,4	5,2	6,0	6,8	5,1	5,4	5,7	6,2	6,3	6,5	6,5	7,2	8,4	9,5	10,6	11,7	9,9	10,5	11,6	12,7	13,8	14,9
NO _x Emisyon Değerleri (ppm)	378	424	467	515	563	611	370	421	472	519	566	613	392	453	523	593	663	733	491	551	599	647	695	743
NO Emisyon Değerleri (ppm)	364	415	457	503	550	596	363	411	457	510	545	589	386	465	500	536	571	606	476	535	583	632	680	728
Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)	1,873	1,856	1,819	1,855	1,763	1,739	1,739	1,73	1,715	1,603	1,647	1,889	1,889	1,794	1,812	1,746	1,781	1,815	1,834	1,827	1,775	1,715	1,653	1,591
Eğik Monometre Sapması (mmSS)	10	12	13,5	17	20	23	10,5	12	15	17	19,5	22	11	12,5	14	16,5	20	23	13	14,5	16,5	18,5	21	24

EK 10. + 6 avans değerinde ve 30 Nm sabit yükte elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	ED						E5						E10						E15					
	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Tork (Nm)																								
Devir Sayısı (d/d)	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600	1800	1000	1200	1400	1600
Efektif Güç (kW)	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513	2,827	1,57	1,885	2,199	2,513
Yakıt Tüketimi (gr/120 s)	41	46	51	57	72	44	47	52	58	73	45	48	53	61	75	47	51	57	66	78	47	51	57	66
Özgül Yakıt Tüketimi (gr/kWh)	391	366	347	340	381	420	374	355	346	387	430	382	361	364	398	449	406	389	394	414	449	406	389	394
Emme Manifoldu Sıcaklığı (°C)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Egzoz Manifoldu Sıcaklığı (°C)	232	246	263	281	183	235	239	267	292	295	245	254	273	312	318	251	265	277	319	318	251	265	277	319
Ortam Sıcaklığı (°C)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı (°C)	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı (°C)	82	85	88	89	91	84	87	89	91	93	78	83	85	89	92	89	91	93	95	95	89	91	93	95
Motor Yağı Sıcaklığı (°C)	58	59	61	61	63	57	59	60	62	65	58	62	64	65	66	55	58	61	62	65	55	58	61	62
O ₂ (%)	10,97	10,84	8,05	6,07	6,52	10,32	10,27	8,98	8,71	8,79	10,17	10,03	9,89	9,98	10,21	9,69	9,44	8,92	8,85	8,97	9,69	9,44	8,92	8,85
CO Emisyon Değerleri (%)	0,73	0,78	0,79	0,35	0,45	0,75	0,69	0,76	0,32	0,38	0,52	0,58	0,32	0,11	0,23	0,41	0,27	0,23	0,05	0,11	0,41	0,27	0,23	0,05
HC Emisyon Değerleri (ppm)	144	130	112	85	87	143	127	110	81	82	132	118	96	70	71	116	103	89	61	58	116	103	89	61
CO ₂ Emisyon Değerleri (%)	5,3	5,4	5,8	6,5	6,8	5,5	5,8	6,9	7,3	7,4	6,1	6,5	8,3	8,9	8,4	7,6	7,9	8,4	9,8	9,6	7,6	7,9	8,4	9,8
NO _x Emisyon Değerleri (ppm)	443	481	522	595	421	442	487	537	602	429	463	512	562	647	445	507	564	612	695	489	507	564	612	695
NO Emisyon Değerleri (ppm)	421	465	513	579	415	421	475	526	588	417	442	503	551	632	436	496	549	603	678	480	496	549	603	678
Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)	1,115	1,213	1,246	1,301	1,385	1,165	1,283	1,185	1,283	1,354	1,258	1,278	1,251	1,318	1,377	1,268	1,337	1,312	1,254	1,329	1,268	1,337	1,312	1,254
Eğik Monometre Sapması (mmSS)	11	11,5	15	18	20	10,5	12,5	15	18	20	11	12,5	14	17,5	20,5	11	13	15	16,5	20	11	13	15	16,5

ÖZGEÇMİŞ

Kadir USLU 1975 yılında Kütahya'nın Tavşanlı ilçesinde doğdu. İlkokul ve ortaokul öğrenimini Tavşanlı'da tamamladı. 1992 yılında Tavşanlı Endüstri Meslek Lisesi Motor Bölümünden birincilikle mezun oldu. 1996 yılında, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Ana Bilim Dalında lisans öğrenimini tamamladı. 1999 yılında Sakarya Fatih Endüstri Meslek Lisesinde motor bölümünde öğretmenliğe başladı. Halen aynı okulda görev yapmaktadır.