

**ALTERNATİF YAKIT OLARAK ETANOL KULLANILAN
BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA VURUNTU SINIRININ
DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ**

Mustafa Ceyhun ERKOCA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2010
ANKARA**

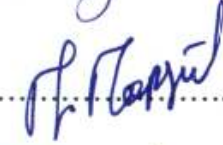
Mustafa Ceyhun ERKOCA tarafından hazırlanan ALTERNATİF YAKIT OLARAK ETANOL KULLANILAN BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA VURUNTU SINIRININ DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Tolga TOPGÜL
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi AD



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Metin GÜRÜ
Kimya AD, Gazi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Tolga TOPGÜL
Makine Eğitimi AD, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. H. Serdar YÜCESU
Makine Eğitimi AD, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. H. Güçlü YAVUZCAN
Endüstriyel Teknoloji Eğitimi AD, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Can ÇINAR
Makine Eğitimi AD, Gazi Üniversitesi




Tarih : 21 / 01 / 2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Mustafa Ceyhun ERKOCA

**ALTERNATİF YAKIT OLARAK ETANOL KULLANILAN
BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA VURUNTU SINIRININ
DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Mustafa Ceyhun ERKOCA

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2010**

ÖZET

İçten yanmalı motorlardan kaynaklanan egzoz emisyonları her geçen gün çevre için daha tehlikeli bir hale gelmektedir. Her gün milyonlarca aracın egzozundan çevreye salınan gazlardan biri olan karbondioksit, küresel ısınma sorununun başlıca kaynağıdır. Bununla birlikte günümüzde kullanılan fosil kaynaklı yakıtların yakın bir gelecekte tükenecek olması da araştırmacıları alternatif yakıt arayışlarına yönlendirmektedir.

Bu çalışmada buji ile ateşlemeli bir motorda kurşunsuz benzin (E0) ve kurşunsuz benzin-etanol karışımı (E85) kullanımının vuruntu olayına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca motor momenti ve özgül yakıt tüketimi gibi motor performans değerleri ile egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir.

Deneyler dört zamanlı, tek silindirli, değişken sıkıştırma oranlı, enjeksiyonlu, buji ile ateşlemeli Hydra marka motorda; 1500 d/d ve 2000 d/d olmak üzere 2 farklı motor devri, 10/1 ve 11/1 olmak üzere 2 farklı sıkıştırma oranında ateşleme avansı ve HFK değiştirilerek yapılmıştır.

Deneyisel çalışma sonucunda E85 yakıtının vuruntu dayanımının E0 yakıtına oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 10/1 sıkıştırma oranında E85 yakıtının E0 yakıtına oranla daha yüksek motor momenti sağladığı görülürken; 11/1 sıkıştırma oranında ise E85 yakıtı E0 yakıtına çok yakın motor momenti sağlamıştır. Etanolün ısı değeri düşük olması nedeniyle fren özgül yakıt tüketimi bir miktar yüksek çıksa da, egzoz emisyonlarının daha düşük olduğu görülmüştür. Tüm bu sonuçlar E85 yakıtının buji ile ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Bilim Kodu : 708.3.026

Anahtar Kelimeler : Benzin - etanol karışımları, alternatif yakıt, buji ile ateşlemeli motor, vuruntu

Sayfa Adedi : 88

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Tolga TOPGÜL

**THE EXPERIMENTAL STUDY OF THE DETERMINATION OF
KNOCKING LIMITS IN A SPARK IGNITION ENGINE USING ETHANOL
AS AN ALTERNATIVE FUEL
(M.Sc. Thesis)**

Mustafa Ceyhun ERKOCA

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
January 2010**

ABSTRACT

Exhaust emissions cause of from internal combustion engine is getting more dangerous for environment with each passing day. Carbon dioxide, one of the gases every day released from exhaust of millions of vehicles to the environment, is the main reason of global warming. However, in recent time running out of fossil based fuels used in the present, guides researchers to search renewable energy.

In this study, the effects of using unleaded gasoline (E0) and blend of unleaded gasoline-ethanol (E85) on knock were investigated experimentally. Also engine performance values such as engine torque and specific fuel consumption and exhaust emissions were researched.

Experiments were performed in four-stroke, single cylinder, variable compression ratio, fuel injection with a spark ignition Hydra brand engine; at two different engine speeds as 1500 rpm and 2000 rpm, and at two different compression ratio in for 10/1 and 11/1, by changing ignition timing and excess air coefficient.

The result of experimental study it is determined that knock strength of E85 fuel is higher relatively E0 fuel. When E85 fuel supply a higher engine torque relatively E0 fuel at 10/1 compression ratio; E85 fuel supply very near engine torque value of E0 fuel at 11/1 compression ratio. Brake specific fuel consumption is a bit higher because of being low calorific value of ethanol; its seen that exhaust emissions are lower. All these results show that E85 fuel will be able to be used at spark ignition engines as an alternative fuel.

Science Code : 708.3.026

Key Words : Gasoline - ethanol blends, alternative fuel, spark ignition engine, knock

Page Number : 88

Adviser : Assist. Prof. Dr. Tolga TOPGÜL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd. Doç. Dr. Tolga TOPGÜL'e, kıymetli fikirlerinden yararlandığım hocam Prof. Dr. H. Serdar YÜCESU'ya, deney setinin hazırlanmasında yardımcı olan hocam Yrd. Doç. Dr. Melih OKUR'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ KAYNAKLARI VE ALTERNATİF BİR ENERJİ KAYNAĞI OLARAK ETANOLÜN DEĞERLENDİRİLMESİ	4
2.1. Enerji Türleri ve Dağılımı.....	4
2.2. Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Egzoz Emisyonları ve Çevreye Etkisi.....	7
2.3. Alternatif Yakıt Olarak Etanol	11
2.3.1. Alkollerin genel yapısı	11
2.3.2. İçten yanmalı motorlarda etanol kullanımı	13
2.3.3. Biyoetanol üretimi.....	19
2.4. Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Vuruntu	21
2.4.1. Vuruntuya etki eden faktörler	26
2.4.2. Vuruntunun zararları	27
2.4.3. Vuruntu oluşumuna karşı alınacak önlemler.....	28
3. LİTERATÜR ÖZETLERİ	29

Sayfa

4. MATERYAL METOT	41
4.1. Deneyin Gerçekleştirildiği Ortam	41
4.2. Deney Motoru	41
4.3. Dinamometre	42
4.4. Kontrol Paneli	43
4.5. Hava Akış Metresi	44
4.6. Terazı ve Kronometre	45
4.7. Egzoz Emisyon Cihazı	46
4.8. Sıcaklık Ölçüm Cihazı	47
4.9. Deneylerde Kullanılan Yakıtlar	48
4.10. Deney	48
4.11. Deneysel Ölçüm ve Hesaplamalar	48
4.11.1. Motor momenti	48
4.11.2. Efektif güç	49
4.11.3. Fren özgül yakıt tüketimi	50
4.11.4. Hava tüketimi ve hava/yakıt oranı	50
5. DENEYSEL BULGULAR	52
5.1. Motor Momenti	52
5.2. Fren Özgül Yakıt Tüketimi	55
5.3. Egzoz Emisyon Değerleri	58
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR	72

	Sayfa
EKLER.....	75
EK-1 Deney sonuçları	76
ÖZGEÇMİŞ	88

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Egzoz gazı bileşenleri ve çevre üzerindeki etkileri	8
Çizelge 2.2. Bazı alkollerin fiziksel özellikleri	12
Çizelge 2.3. Benzin ve etanolün çeşitli özellikleri	15
Çizelge 2.4. Alkollü yakıt kullanımının kronolojik gelişimi.....	16
Çizelge 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri.....	42
Çizelge 4.2. Dinamometrenin teknik özellikleri	43
Çizelge 4.3. Egzoz gaz analizörünün özellikleri	47

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. 2004 sonu dünya birincil enerji tüketimi	4
Şekil 2.2. 2008 sonu ispatlanmış petrol rezervleri	5
Şekil 2.3. 2008 sonu ispatlanmış dünya petrol rezervi oranları	6
Şekil 2.4. Türkiye’de enerji kullanım oranları	7
Şekil 2.5. Ülkelerin yaydığı CO ₂ emisyonları (2002)	10
Şekil 2.6. Türkiye’de yıllar itibariyle CO ₂ miktarı değişimi	11
Şekil 2.7. Alkol-benzin-su sistemi çözünürlük diyagramı	18
Şekil 2.8. AB ülkelerinde biyoetanol üretiminin yıllara göre değişimi	19
Şekil 2.9. Son gaz bölgesinde alev nüvesinin oluşumu	22
Şekil 2.10. Vuruntulu çalışan benzin ve dizel motorunun basınç grafiği	23
Şekil 2.11. P-V diyagramı	24
Şekil 2.12. SO artışının vuruntuya etkisi (CFR motoru, 900 min ⁻¹ , 32° AA)	25
Şekil 2.13. Vuruntusuz ve vuruntulu yanmada alevin görünümü	25
Şekil 5.1. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak motor momenti değişimi (SO:10/1, Motor devri: 1500 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	52
Şekil 5.2. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak motor momenti değişimi (SO:10/1, Motor devri: 2000 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	53
Şekil 5.3. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak motor momenti değişimi (SO:11/1, Motor devri: 1500 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	54
Şekil 5.4. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak motor momenti değişimi (SO:11/1, Motor devri: 2000 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	55
Şekil 5.5. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak FÖYT değişimi (SO:10/1, Motor devri: 1500 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	56
Şekil 5.6. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak FÖYT değişimi (SO:10/1, Motor devri: 2000 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	56

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak FÖYT değişimi (SO:11/1, Motor devri: 1500 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	57
Şekil 5.8. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak FÖYT değişimi (SO:11/1, Motor devri: 2000 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	58
Şekil 5.9. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak HC emisyonlarının değişimi (SO:10/1, Motor devri: 1500 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	59
Şekil 5.10. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak HC emisyonlarının değişimi (SO:10/1, Motor devri: 2000 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	59
Şekil 5.11. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak HC emisyonlarının değişimi (SO:11/1, Motor devri: 1500 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	60
Şekil 5.12. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak HC emisyonlarının değişimi (SO:11/1, Motor devri: 2000 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	61
Şekil 5.13. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO emisyonlarının değişimi (SO:10/1, Motor devri: 1500 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	62
Şekil 5.14. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO emisyonlarının değişimi (SO:10/1, Motor devri: 2000 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	62
Şekil 5.15. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO emisyonlarının değişimi (SO:11/1, Motor devri: 1500 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	63
Şekil 5.16. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO emisyonlarının değişimi (SO:11/1, Motor devri: 2000 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	63
Şekil 5.17. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO ₂ emisyonlarının değişimi (SO:10/1, Motor devri: 1500 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	64
Şekil 5.18. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO ₂ emisyonlarının değişimi (SO:10/1, Motor devri: 2000 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	65
Şekil 5.19. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO ₂ emisyonlarının değişimi (SO:11/1, Motor devri: 1500 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	65
Şekil 5.20. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO ₂ emisyonlarının değişimi (SO:11/1, Motor devri: 2000 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	66
Şekil 5.21. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak NO emisyonlarının değişimi (SO:10/1, Motor devri: 1500 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	67

Şekil	Sayfa
Şekil 5.22. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak NO emisyonlarının değişimi (SO:10/1, Motor devri: 2000 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	67
Şekil 5.23. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak NO emisyonlarının değişimi (SO:11/1, Motor devri: 1500 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	68
Şekil 5.24. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak NO emisyonlarının değişimi (SO:11/1, Motor devri: 2000 min ⁻¹ , Yakıt türü: E0 ve E85)	68

RESİMLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Resim 4.1. Deney motoru	41
Resim 4.2. Dinamometre	42
Resim 4.3. Kontrol paneli	43
Resim 4.4. Hava akış metresi	44
Resim 4.5. Dijital terazi	45
Resim 4.6. Kronometre	46
Resim 4.7. Sun MGA 1500 egzoz gaz analizörü ve bilgisayar.....	46
Resim 4.8. Elimko 6000 marka sıcaklık ölçüm cihazı.....	47

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
D	Silindir çapı (m)
H_u	Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)
K_d	Düzeltilme faktörü
L	Kurs (m)
$\dot{m}_h$	Hava debisi (g/h)
$\dot{m}_y$	Yakıt debisi (g/h)
M	Motor momenti (Nm)
n	Devir (min^{-1})
P	Basınç (kPa)
P_e	Efektif güç (kW)
Q_d	Düzeltilmiş hava debisi (l/d)
T	Sıcaklık (K)
V	Hacim (m^3)
V_c	Yanma odası hacmi (m^3)
V_h	Kurs hacmi (m^3)
λ	Hava fazlalık katsayısı
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)

Kısaltmalar	Açıklama
AA	Ateşleme avansı
AÖN	Alt Ölü Nokta
CNG	Sıkıştırılmış Doğalgaz
CO	Karbonmonoksit

Kısaltmalar**Açıklama****CO₂**

Karbondiyoksit

E

Etanol

FÖYT

Fren özgül yakıt tüketimi

GKA

Gaz Kelebeği Açıklığı

H

Hava

HC

Hidrokarbon

HFK

Hava Fazlalık Katsayısı

KMA

Krank Mili Açısı

LPG

Likit Petrol Gazı

NO

Azotoksit

PM

Partikül madde

SO

Sıkıştırma Oranı

ÖYT

Özgül Yakıt Tüketimi

ÜÖN

Üst Ölü Nokta

Y

Yakıt

1. GİRİŞ

Her alanda olduğu gibi otomotiv sektörü de gün geçtikçe ilerlemektedir. Araçları daha performanslı, daha konforlu ve daha fazla çevreye duyarlı hale getirmek için yapılan çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Bununla birlikte trafikte seyreden araçların sayısında da artış olmaktadır. Bu durum araç egzozlarından kaynaklanan emisyonların çevreye salımını artırmaktadır. Günümüzde küresel ısınmaya neden olan CO₂ gazının salımında taşıtların payı küçümsenecek boyutta değildir. Bu nedenle tüm dünyada hükümetler taşıt motorlarından kaynaklanan egzoz emisyonlarına belirli sınırlandırmalar getirmekte ve bu değerleri sağlayamayan üreticilere üretim izni vermemektedir. Bunların dışında fosil kaynaklı yakıtların yakın bir gelecekte bitecek olması araştırmacıları alternatif yakıt arayışlarına itmektedir.

Dünya üzerindeki fosil yakıt rezervlerinin azalması ve sınırlı olması nedeniyle alternatif yakıtların geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılmasına ihtiyaç vardır. Petrol ve doğalgaz, tükenir özellikteki hidrokarbon kaynaklardır. Bugün bilinen üretilebilir petrol rezervleri 1,2 trilyon varildir. Mevcut üretim değeri olan günde 80 milyon varil dikkate alındığında, petrol rezervlerinin ömrü yaklaşık 41 yıldır. Dünya üretilebilir doğal gaz rezervleri 180 trilyon metre küptür. Mevcut üretim değeri olan yılda 2,7 trilyon metreküp dikkate alındığında, bu rezervin ömrü 67 yıldır [1].

Günümüzde benzin ve dizel yakıtı dışında en çok kullanılan alternatif yakıtlardan biri LPG olmakla beraber tam bir alternatif yakıt özelliği taşımamaktadır. LPG, ham petrolün rafineride işlenmesi sürecinde ortaya çıkan bir üründür. Bu nedenle LPG rezervleri petrol rezervlerine bağlıdır. Bunun dışında her ne kadar maliyet ve düşük emisyon gibi avantajları olsa da performansı bir miktar düşürmesi gibi bir dezavantajı da vardır.

Diğer bir alternatif yakıt olan doğalgaz ise temiz bir enerji kaynağıdır ve sınırlı bir rezerve sahiptir. Doğalgazla çalışan motorlar, tüm içten yanmalı motorlar arasında en düşük emisyon seviyesine ulaşabilirler. Fakat doğalgaz dolum istasyonlarının

sayılarının yetersiz olması ve geniş hacim kaplayan yakıt depoları doğalgazın dezavantajları arasındadır [2].

Bitkisel yağlar da dikkate alınabilecek bir başka alternatif yakıttır. Motorlarda ayçiçek yağı, pamuk yağı, soya yağı gibi ham yağların yanı sıra, bunlardan elde edilen ayçiçek yağı metil esterleri, pamuk yağı metil esterleri ve soya yağı metil esterleri kullanılabilir. Dizel motorlarda ham yağlar kullanıldığında viskozitesinin daha yüksek olmasından dolayı püskürtülen zerrelerin daha büyük olması nedeni ile buharlaşma ve yanma süresinin uzayarak yanmanın daha çok genişleme periyodunda olması motor momenti, güç ve verimin düşük olmasına neden olmaktadır. Isıl değerlerinin düşük olması da buna etki etmektedir. Yağ asidi metil esterleri kullanıldığında bu değerlerde iyileşme olmakta ve dizel yakıtına daha yakın değerler elde edilmektedir. Bununla beraber ham yağ kullanımında NO_x emisyonlarında düşüş görülürken yağ asidi metil esterlerinde daha yüksek NO_x değerleri elde edilmiştir [3].

Temiz olması nedeniyle tercih edilen hidrojen; suyun hidrolizi, doğal gaz ya da kızgın kok kömüründen elde edilebilir. Yüksek alev hızına ve iyi tutuşma özelliklerine sahiptir. Bu özelliğinden dolayı aşırı fakir karışımlarda bile motoru çalıştırabilir. Hiç karbon içermediği için yanmamış hidrokarbon ve CO emisyonu oluşturmaz. Fakir çalışma ve yanma sonu sıcaklığının düşük olmasından dolayı NO_x emisyonları oldukça azdır. Buna rağmen hidrojenin depolama sorunu tam olarak çözülebilmüş değildir ve diğer yakıtlardan pahalı olması gibi dezavantajları vardır [3, 4].

Şekerpancarı, şekerkamışı, patates, arpa, buğday, mısır gibi şeker ve nişasta içerikli tarım ürünlerinden ve odundan fermantasyon yoluyla elde edilebilen etil alkol yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak araştırmacıların üzerinde durdukları bir başka alternatif yakıttır. Buji ile ateşlemeli motorlarda saf olarak veya çeşitli oranlarda benzin ile karıştırılarak kullanılabilir. Brezilya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerde alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır. Etil alkol kullanımında elde

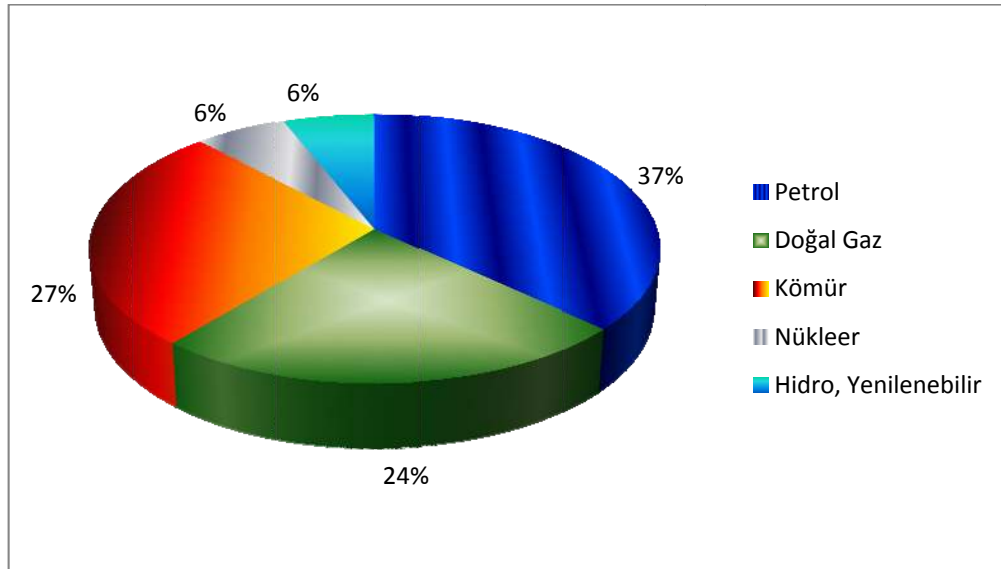
edilen güç, moment ve verim değerleri sadece benzin kullanılan motorlara çok yakındır. Bunun yanı sıra egzoz emisyonları daha düşüktür.

Bu çalışmada yakıt olarak kurşunsuz benzin (E0) ve kurşunsuz benzin–etanol karışımı (E85) kullanılan buji ile ateşlemeli bir motorda vuruntu sınırının deneysel olarak belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Vuruntu oluşumunda sıkıştırma oranı, hava/yakıt oranı ve ateşleme zamanının etkisi incelenmiş, motor performans ve egzoz emisyon değerleri de dikkate alınmıştır.

2. ENERJİ KAYNAKLARI VE ALTERNATİF BİR ENERJİ KAYNAĞI OLARAK ETANOLÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

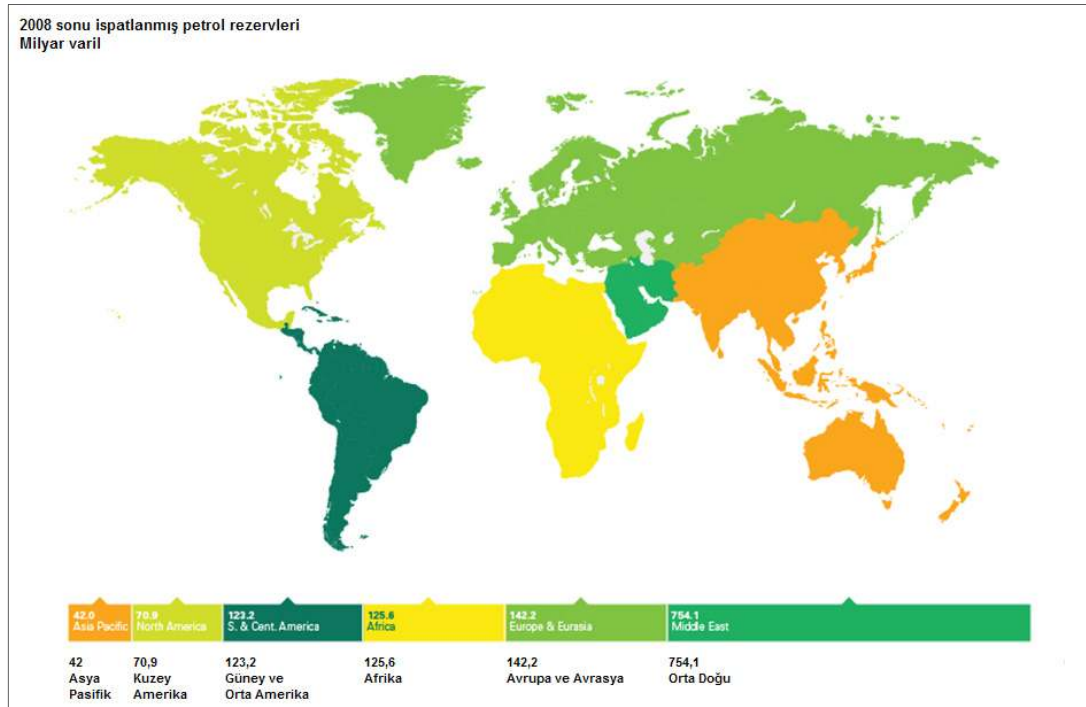
2.1. Enerji Türleri ve Dağılımı

Enerji üretiminde, endüstriyel devrimden bu yana, her dönem belli bir enerji hammaddesi önem kazanmış ve toplumsal gelişime damgasını vurmuştur. Kömürün neredeyse rakipsiz olduğu dönemi, petrolün egemen olduğu dönem takip etmiştir. Nükleer enerji, 1973-1974 petrol krizlerinin hemen sonrasındaki döneme damgasını vururken, görülen kimi sakıncaları nedeniyle birçok ülkede sınırlandırılmıştır. Gelişen çevre bilincine paralel olarak, doğal gaz da giderek artan biçimde petrol ve kömürün yanında devreye girmeye başlamıştır. Önümüzdeki dönemde, temiz ve alternatif enerji kaynakları daha önemli ölçekte devreye girecektir. Ne var ki, bugün için fosil kaynaklar dediğimiz kömür, petrol ve doğal gaz; dünya birincil enerji tüketimi içindeki toplam % 88'lik payları ile ağırlık taşımaktadırlar. Birinci sırayı alan petrolün payı % 37, kömürün % 27 ve ağırlığını son yıllarda hızla artırma eğiliminde olan doğal gazın payı ise % 24'dür. Fosil kaynakların Türkiye için toplam payı ise, halen % 87'dir [1].



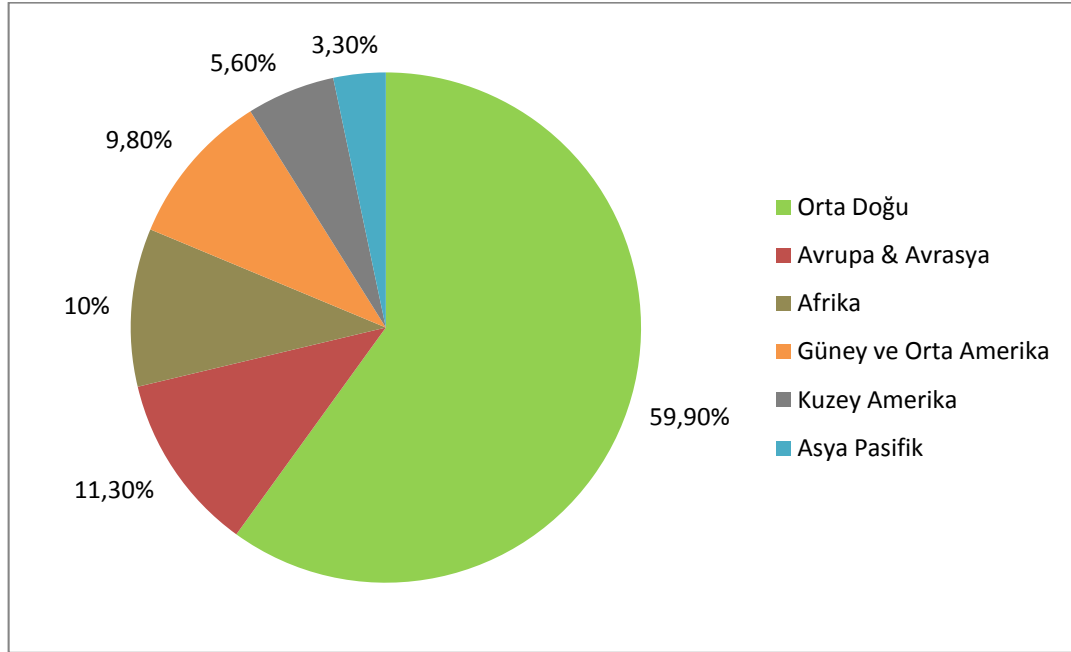
Şekil 2.1. 2004 sonu dünya birincil enerji tüketimi [1]

Her ne kadar, fosil kaynakların enerjiye dönüşüm sürecinde yaydıkları karbon emisyonları, çevre kirliliği açısından değişen oranlarda zararlı ise de; gerek enerji üretiminin yanı sıra sanayi hammaddesi olarak da yaşamsal önem arz etmeleri ve gerekse alternatif kaynakların bu kaynakları ikame etme olanaklarının çok kısa sürede mümkün görünmemesi gibi nedenlerle, önümüzdeki on yıllarda da fosil kaynaklar, dünya enerji tüketiminde belirleyici olacaktır [1].



Şekil 2.2. 2008 sonu ispatlanmış petrol rezervleri [5]

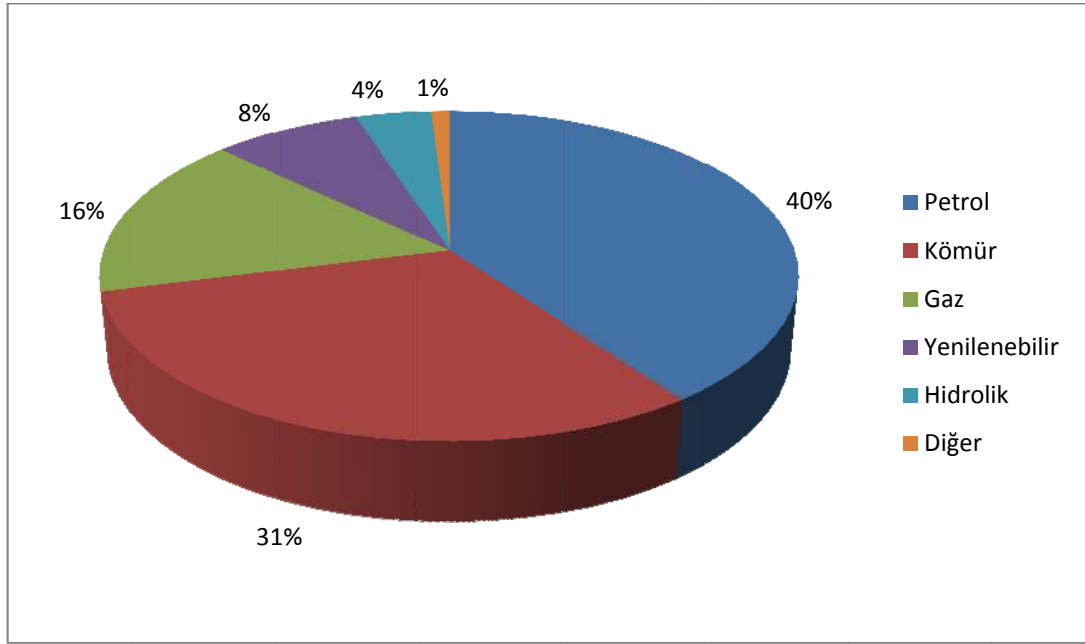
Şekil 2.2’den de görüleceği üzere petrol rezervlerinin büyük bir çoğunluğu Orta Doğu’da yer almaktadır. Bu durum Orta Doğu’nun günümüzde olduğu gibi gelecek dönemde de önemini koruyacağını göstermektedir. Şekil 2.3’de 2008 sonu itibarıyla dünya petrol rezervlerinin dağılım oranı görülmektedir.



Şekil 2.3. 2008 sonu itibariyle ispatlanmış dünya petrol rezervi oranları (toplam 1258 milyar varil) [5]

Nükleer kaynaklar, dünya birincil enerji tüketiminde 2004 yılı itibarıyla, %6,1'lik bir ağırlık oluşturmaktadır. 2004 yılında dünyada 624 milyon ton petrol eşdeğeri nükleer enerji tüketilirken, bunun % 30'unu Amerika, %16'sını Fransa, % 10,4'ünü Japonya ve %5,2'sini Rusya tüketmiştir. Özellikle atık sorununun çözülmemesi, yatırım ve atık yönetimine yönelik çok yüksek maliyetler ve insan sağlığına yönelik kaygılar, mevcut nükleer teknolojileri ile kurulan santrallere talebi azaltmıştır. Mart 2005 itibarıyla dünya üzerinde 441 nükleer santral bulunmaktadır. Birkaç yıl önceki analizlerde, atık sorunlarının hâlâ çözülememiş olması, çevreci grupların nükleer karşıtı gösterilerinin hükümetler üzerinde giderek artan bir baskı oluşturmaları ve mevcut santrallerin ömürlerini doldurmuş olması sebebiyle sökülecek olmaları gibi nedenlere dayalı olarak, nükleer enerji kullanımında gerileme olacağı tahmin edilmekteydi. Ancak, fosil yakıtlarda son zamanlarda görülen ciddi fiyat artışları ve de Kyoto Protokolü'nün hükümleri dolayısıyla, nükleer enerji kullanımında artış beklenmektedir [1].

Şekil 2.4’de ülkemizde kullanılan enerji kaynakları ve kullanım oranları görülmektedir. Tüm Dünya’da olduğu gibi petrol kökenli enerji kaynakları ülkemizde de enerji ihtiyacının karşılanmasında büyük paya sahiptir.



Şekil 2.4. Türkiye’de enerji kullanım oranları [6]

2.2. Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Egzoz Emisyonları ve Çevreye Etkisi

Egzoz gazı salımları kimyasal bir işlem sonucunda ortaya çıkan ve havaya karıştığında havanın doğal bileşimini değiştiren katı, sıvı ya da gaz haldeki maddeler ya da kirletici maddelerdir. Motorlu araçlardan kaynaklanan egzoz gazları bileşenleri havada dağılarak çözünürler. Bu durumun bitkiler, hayvanlar ve insanlar üzerinde çok büyük olumsuz etkileri vardır. Bu etkiler Çizelge 2.1’de belirtilmektedir.

Çizelge 2.1. Egzoz gazı bileşenleri ve çevre üzerindeki etkileri

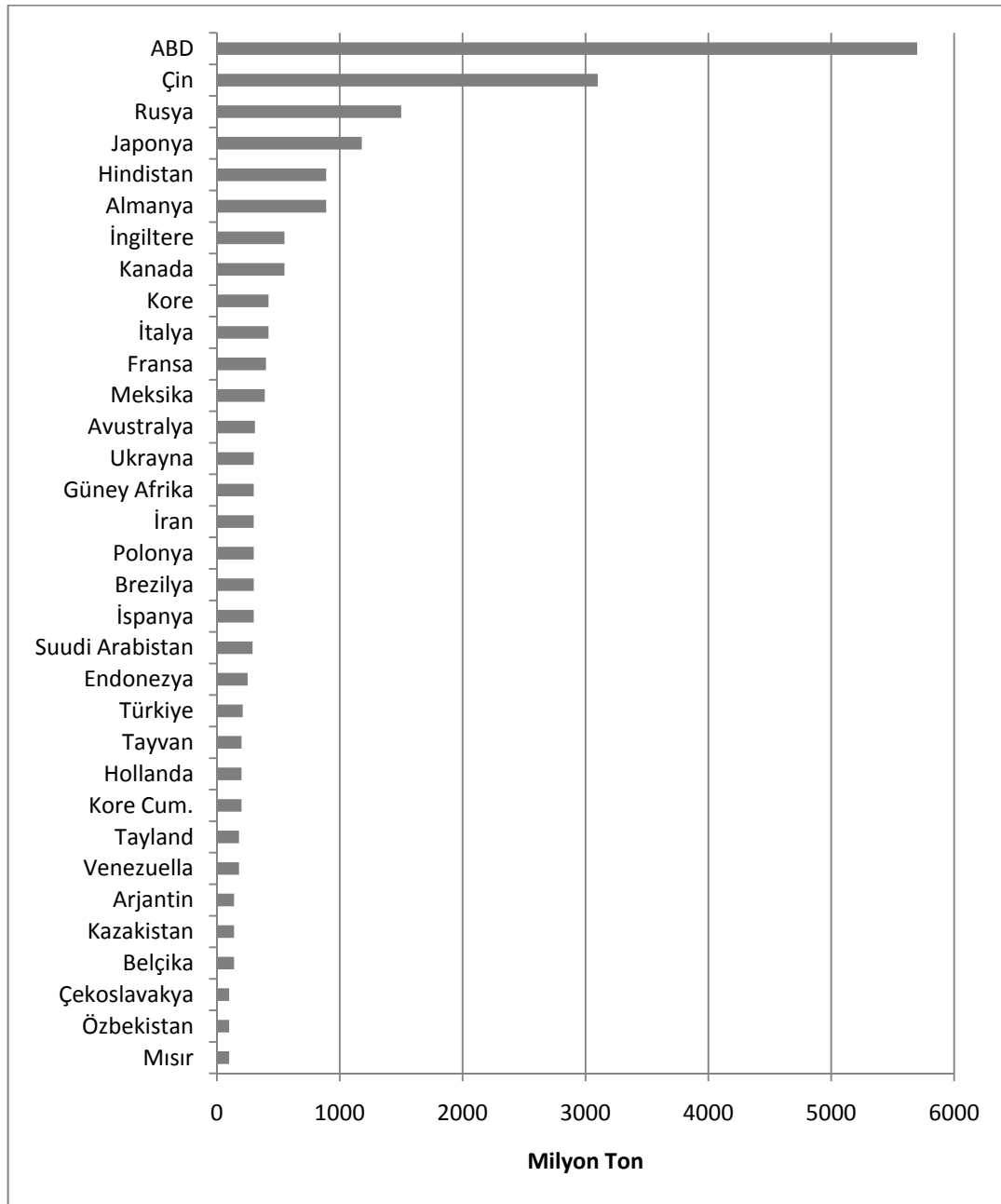
Bileşen	Sembol	Kaynağı	Etkileri
Karbon monoksit	CO	Yakıttaki karbon ile havadaki oksijenin tamamlanmamış kimyasal bileşimi	Çok zehirlidir, alyuvar hücrelerinde birikir
Karbon dioksit	CO ₂	Yakıttaki karbon ile havadaki oksijenin kimyasal bileşimi	Kısa vadede zararsızdır ancak atmosferde birikerek sera etkisine neden olur
Hidro karbonlar	HC	Yanmamış yakıt	Sağlığa zararlıdır, NO _x ile birlikte dumanlı sis ve ozon oluşumunda etkilidir
Azot oksitler	NO _x	Havadaki azot ile oksijenin yüksek sıcaklıkta meydana gelen kimyasal bileşimi	Sağlığa zararlıdır, paslanmaya ve HC ile birlikte dumanlı sis ve ozon oluşumunda etkilidir
Kükürt dioksit	SO ₂	Kükürt (çoğunlukla dizel yakıtta) ile havadaki oksijenin kimyasal bileşimi	Zararsızdır, ancak yanma işlemi esnasında oluşan suyla tepkimeye girerse sülfürik asit oluşur ve asit yağmuru halini aldığı anda hayvanlar ve bitki örtüsü için zararlıdır
Kurşun	Pb	Yakıtta eklenen vuruntu önleyici katkılarda bulunur.	Zehirlidir, kemikte birikerek insan sağlığına zarar verir
Partikül maddeler	PM	Egzoz gazındaki (özellikle dizel motorlar) madde parçacıkları ve kurum	Hidrokarbonlar kuruma yapıştıklarında sağlığa zararlıdır
Oksijen	O ₂	Havadaki oksijenin kimyasal bileşik oluşturmamış hali	Yok
Azot	N ₂	Havadaki azotun kimyasal bileşik oluşturmamış hali	Yok
Su	H ₂ O	Yakıttaki hidrojen ile havadaki oksijenin kimyasal bileşimi	Yok

Motorlu taşıtlar sadece yanma sonucu egzoz borusundan çıkan gazlarla havayı kirletmezler. Yakıt sistemi buharlaşması ile de önemli miktarda yanmamış hidrokarbon çevreye yayılır. Bunun dışında piston segmanlarından kaçan ve karterdeki yağ buharı ile karışarak çevreye yayılan hidrokarbonlarda vardır.

Dünyamızı çevreleyen ve nefes almamızı sağlayan hava her geçen gün kirlenmektedir. Bunun dışında asit yağmurları, sera etkisi, ozon tabakasındaki delik ve küresel ısınma gibi konular her geçen gün daha önemli hale gelmektedir. Asit

yağmurları içme sularını tehdit etmektedir. Ozon tabakasındaki delik güneşten gelen kızıl ötesi ışınların atmosferden geçerek direk üzerimize gelmesine sebep olmaktadır. Küresel ısınma ise dünyanın sıcaklığının artmasına ve okyanusların ısınmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda okyanuslardaki su buharlaşmakta, bununla birlikte bu durum toprağın nemini de çekmektedir. Bu dünyanın bazı bölgelerinde kuraklığa neden olurken bazı bölgelerde ise sağanak yağışlara ve sel baskınlarına neden olmaktadır. Dünya genelinde yıllık sıcaklık ortalaması yaklaşık olarak 14,4 °C'dir. Bu değerde 2,77 °C'lik bir artış olması, ekvatorda sadece 0,55 °C'lik bir artışa neden olurken, kutuplarda 6,66 °C'den fazla artış olmasına neden olacaktır. Bu durum dünyadaki rüzgâr ve okyanus hareketliliğinin değişmesine sebep olacaktır. Bunun dışında dünyadaki sıcaklık dağılımının farklılaşması hayvanlar üzerinde de olumsuz etkiler yapmaktadır. Küresel ısınmaya neden olan CO₂ gazının salımını kontrol altında tutmak isteyen dünya devletleri “Kyoto Protokolü” nü imzalamışlardır. Bu protokol CO₂ salımı konusunda ciddi sınırlamalar getirmiştir.

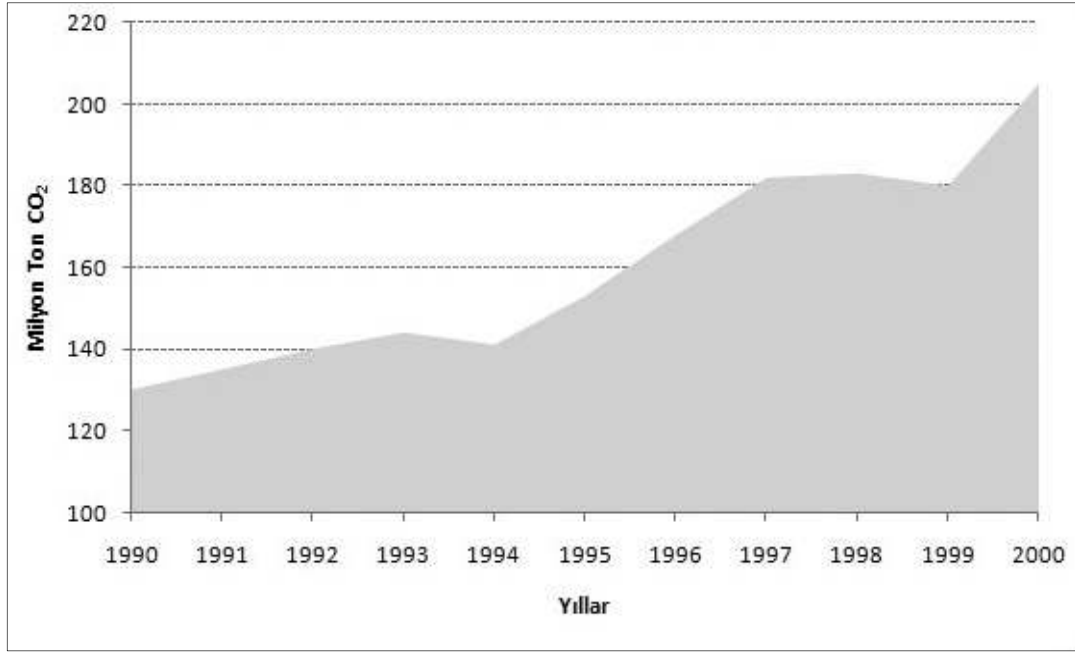
İçten yanmalı motorlar her yıl milyonlarca ton CO₂'i atmosfere göndermektedir. Bunun sonucu olarak atmosferdeki serbest oksijen miktarı azalmaktadır. Örneğin bir otomobil, 1 litre benzin tükettiğinde atmosfere 2,63 kg., 1 litre dizel yakıtı tükettiğinde ise atmosfere 1,55 kg. CO₂ bırakmaktadır [6]. Bu rakamlar ortalama değerlerdir. Buna yol şartları, motorun, yakıt ve ateşleme sisteminin durumu ve sürücü kullanım şartları eklendiğinde bu değerler daha da artabilmektedir. Sonuç olarak bu çevre felaketinin önlenmesi için fosil yakıt kullanımının azaltılması ve daha çevreci alternatif yakıtlara geçilmesi kaçınılmazdır. Şekil 2.5'de ülkelerin atmosfere bıraktığı CO₂ değerleri yer almaktadır.



Şekil 2.5. Ülkelerin yaydığı CO₂ emisyonları (2002) [6]

Alternatif yakıtlar yaygın bir hale gelene kadar egzoz gazlarının çevre üzerindeki bu olumsuz etkilerini önlemek için egzoz gazı salımlarına sınırlamalar getirilmektedir. Yeni araçlar egzoz gazı dönüştürücüleri ile donatılmaktadır. Vuruntuyu önlemek için yeni katkı maddeleri bulunmuş ve kurşunsuz benzin kullanımına geçilmiş, kurşun ihtiva eden benzin pek çok ülkede yasaklanmıştır. Havayı çok büyük miktarda

kirleten kömür santrallerine baca gazı arıtma tesisi yapmaları zorunlu hale gelmiştir. Şekil 2.6’da Türkiye’de yıllar itibariyle CO₂ salımındaki artış görülmektedir.



Şekil 2.6. Türkiye’de yıllar itibariyle CO₂ miktarı değişimi [6]

2.3. Alternatif Yakıt Olarak Etanol

2.3.1. Alkollerin genel yapısı

Alkoller hidrokarbon molekülündeki H atomları yerine OH gruplarının girmesiyle türeyen bileşiklerdir. Diğer bir deyişle OH içeren alkanlardır. Alkoller $C_nH_{2n+1}OH$ genel formülü ile veya kısaca R-OH olarak ifade edilirler. Alkoller adlandırılırken alkolün türediği alkanın sonuna “-ol” eki getirilir veya oksijen grubuna bağlı alkil adı söylenir, sonuna “alkol” kelimesi getirilir. CH_3OH – Metil alkol veya metanol, C_2H_5OH – Etil alkol veya etanol, C_3H_7OH – Propil alkol veya propanol olarak adlandırılır [8, 9].

Alkoller polar bileşiklerdir. C-O bağı polar özellik gösterir. Ayrıca alkol molekülleri birbirleriyle hidrojen bağı yaparlar. Bundan dolayı alkollerin kaynama ve erime

noktaları kendilerine tekabül eden hidrokarbonlarından daha yüksektir. Karbon sayısı arttıkça kaynama noktası yükselir. Dallanma arttıkça kaynama noktası düşer. Alkoller suda iyonlaşmadıklarından elektrolit değildirler ve baz özelliği de göstermezler. Yoğunlukları sudan azdır fakat hidroksi sayısı arttıkça alkollerin yoğunlukları sudan fazla olur. 10 karbona kadar olan alkoller sıvı, 10'dan fazla karbona sahip olanlar katı halde bulunur. Düşük molekül kütleli alkoller (metanol, etanol, vb.) suda her oranda çözünürler. Alkollerin moleküller arası hidrojen bağı oluşturma yeteneği, sadece kaynama noktalarının yükselmesini etkilemekle kalmaz; bunların sudaki çözünürlüğünü de artırır. Su ve alkol karıştırıldığında, saf alkol ve saf sudaki alkol-alkol ve su-su hidrojen bağları yerine, alkol ve su moleküllerinin oluşturduğu bir hidrojen bağı ağı meydana gelir. Daha büyük molekülü alkoller, daha fazla hidrokarbona benzer ve sudaki çözünürlükleri azalır. Polar bağlardan birisi, karbon ile hidroksi grubu arasındaki (C–OH); diğeri ise, hidroksi grubundaki oksijen ile hidrojen arasındaki (CO–H) bağıdır. Bu oksijen-hidrojen polarizasyondan dolayı, alkoller zayıf asidik özellik gösterirler. Alkoller; alkil halojenürlerin hidroliziyle, alkenlerin hidrasyonu, aldehyt ve ketonların indirgenmeleriyle ve grignard reaksiyonlarıyla elde edilirler [8, 9, 10]. Çizelge 2.2'de bazı alkollerin fiziksel özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 2.2. Bazı alkollerin fiziksel özellikleri [8]

İsim	Formülü	Erime Noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)
Metanol	CH ₃ OH	-97,7	64,7	791
Etanol	CH ₃ CH ₂ OH	-114	78,3	789
Propanol	CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH	-126,2	97,2	804
Bütanol	CH ₃ (CH ₂) ₂ CH ₂ OH	-88,6	117,7	809
Pentanol	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₂ OH	-78,9	137,8	815
Heksanol	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH ₂ OH	-51,6	157,5	819
Heptanol	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH ₂ OH	-34,6	175,8	822
Oktanol	CH ₃ (CH ₂) ₆ CH ₂ OH	-15	195,2	826
Nonanol	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH ₂ OH	-5,5	213,1	827
Dekanol	CH ₃ (CH ₂) ₈ CH ₂ OH	6,9	230,2	830

Metanol ve etanol endüstri bakımından önemli alkollerdir ve büyük miktarlarda üretilirler. Amerika Birleşik Devletleri'nde bir yılda 540 milyon ton etanol üretilmektedir. Etanol, endüstriyel ölçekte etilene asit katalizli su katılarak elde edilir. Sulu çözeltiden defalarca damıtılarak ayrılan etanol, su ile azeotropik bir karışım verdiğinden derişimi en çok %96 olur. Saf etanol elde etmek için, %96'lık etanole benzen karıştırılarak damıtılır. Benzen, su ve etanol belirli bir oranda, üçlü bir azeotropik karışım verir ki bunun kaynama noktası etanolunkinden daha düşüktür ve damıtılırken su buharlaşır. Geriye benzen ve etanol kalır, bu karışımında belirli oranda azeotropik bir karışım verir. Bu ikili azeotropun kaynama noktası, üçlü azeotroptan daha yüksek ama etanolün kaynama noktasından daha düşüktür. Bu da damıtılırsa benzen buharlaşır ve geriye sadece etanol kalır. Bu kalan etanole saf etanol ya da mutlak etanol denilir [8, 10].

Alkoller benzine göre daha yüksek oktan sayısına sahiptirler. Bundan dolayı buji ile ateşlemeli motorlarda daha yüksek sıkıştırma oranlarında kullanılabilirler. Sıkıştırma oranının artması termik verimin artmasına sebep olur. Yanma daha düşük alev sıcaklığında gerçekleştiğinden dolayı ısı kayıpları ve NO_x emisyonları daha düşüktür. Alkollerin buharlaşma ısıları da yüksektir böylece yanma odasına giren dolgunun sıcaklığının düşürülmesine yardımcı olur ve bu sayede volumetrik verimi artırır. Volumetrik verimin artması ve yanmanın iyileşmesi momenti ve dolayısıyla efektif gücü artırır [4, 7].

2.3.2. İçten yanmalı motorlarda etanol kullanımı

Etanol motorlarda tek başına ya da benzine karıştırılarak kullanılabilir. Oksijen içermesi nedeniyle çevre için daha temiz bir yakıt türüdür. Etanolün buharlaşma ısısının, oktan sayısının ve kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olması buji ile ateşlemeli motorlarda motor performansını olumlu yönde etkilemekte ve sıkıştırma oranını artırmaya olanak sağlamaktadır. Düşük Reid buhar basıncı, depolama ve taşıma esnasındaki güvenliği artırmaktadır. Bu olumlu özelliklerinin yanı sıra etanolün benzine göre ısı değeri daha düşüktür. Bu nedenle etanol kullanımında aynı miktar enerji için daha fazla yakıtın motora verilmesi gerekir. Bu özellik hacimsel

yakıt ekonomisinin düşük olmasına sebep olur. Düşük buharlaşma basıncı ve yüksek buharlaşma ısısı, soğukta ilk hareket ve ısınma süresindeki performansı olumsuz etkiler [11].

Benzinli motorlarda hacimsel olarak %7-10 arasında etanol ile benzinin karıştırılması Kuzey Amerika'da yaygın olarak uygulanmaktadır. 1970'den beri üretilen araçlarda yakıt karışımının %10 etanollu (E10) olması yakıt sisteminde herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılmasına imkân vermektedir. Bütün üreticiler E10 karışımının kullanılmasını onaylamakta ve taşıtlarına bu yakıt için garanti vermektedirler [12].

Etanol, özel olarak üretilmiş araçlarda %85 etanol - %15 benzin karışım oranına kadar, yüksek karışım oranlarında kullanılabilir. Bu araçlar %100 etanol veya %85 sınırına kadar her oranda etanol-benzin karışımı olarak çalıştırılabilmektedir. Bu nedenle bu taşıtlar esnek yakıtlı taşıtlar olarak adlandırılır [12].

Etanol düşük oranlarda dizel motorlarda da kullanılabilir. Etanolün dizel yakıtı içersindeki çözünürlüğü sıcaklığa, dizel yakıtın hidrokarbon kompozisyonuna ve karışımındaki su miktarına bağlıdır. Yaklaşık olarak 10 °C'nin altındaki sıcaklıklarda iki yakıt ayrılmaktadır. Bu değer karışımındaki etanol miktarına göre değişmektedir. Ayrıca yüksek seviyelerde etanol içeren yakıtlar dizel motorların çalışmasında özel teknik zorluklar gösterir. Örneğin yüksek seviyede etanol karışımı kullanımı, yakıt karışımının kendi kendine tutuşmasını zorlaştırmaktadır. Dizel motorlarda yüksek seviyede etanol karışımı kullanabilmek için ya alkolün tutuşma kabiliyetini artıran (setan sayısını artırıcı) katkı maddesi kullanılmalı ya da motor üzerinde değişiklik yapılmalıdır [12].

Benzin ve etanolün çeşitli özellikleri Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Benzin ve etanolün çeşitli özellikleri [13,14]

Yakıt Özelliği	Benzin	Etanol
Kimyasal Formülü	$C_4 - C_{12}$	C_2H_5OH
Moleküler ağırlığı	100 – 105	46,07
Yoğunluk (15 °C, kg/m ³)	690 – 790	789
Donma noktası (°C)	-40	-114
Kaynama noktası (°C)	27-225	78,3
Buhar basıncı (38 °C, kPa)	48-103	15.9
Özgül ısı (kJ/kgK)	2	2,4
Viskozite (20 °C, mPa s)	0,37-0,44	1,19
Alt ısı değeri (kJ/kg)	~44000	27000
Parlama noktası (°C)	-43	13
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	257	423
Stokiyometrik hava/yakıt oranı (ağırlık)	14,7	9
Araştırma oktan sayısı	88-100	108,6
Motor oktan sayısı	80-90	89,7
Buharlaşma ısısı (kJ/kg)	856	349
Karbon bileşimi (% ağırlık)	85-88	52,2
Oksijen bileşimi (% ağırlık)	0-4	34,8
Hidrojen bileşimi (% ağırlık)	12-15	13
Tutuşma sınırı (% hacimsel olarak)		
Alt	1,4	4,3
Üst	7,6	19

Etanolün yakıt olarak kullanılması aslında yeni bir gelişme değildir. 19. yüzyılda Nikolaus Otto ve Henry Ford yaptıkları motorlarda benzin-etanol karışımını kullanmıştır. Ancak yüksek maliyet nedeniyle kullanım alanı bulamamıştır. Alternatif yakıt kullanımında alkollerin konvansiyonel yakıtlarla harmanlanarak kullanımı günümüzde oldukça geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Çizelge 2.4’de alkol kullanımının ilk zamanlardan günümüze kadarki gelişimi yer almaktadır [15].

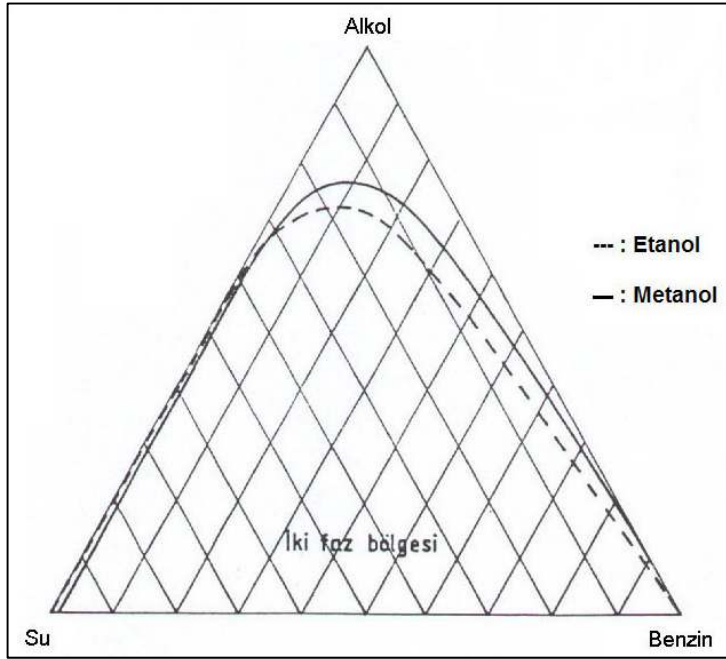
Çizelge 2.4. Alkollü yakıt kullanımının kronolojik gelişimi [15]

1830	Metanol aydınlatmak amacıyla kullanılan balık yağlarının yerini aldı.
1850’li yıllar	Odundan elde edilen metanol Paris’te ısıtma, aydınlatma ve pişirme amacıyla kullanılmaya başlandı.
1890	Etanol ilk defa motor yakıtı olarak kullanıldı.
1914 - 1918	Almanya’da etanol üretimi için fermante edilebilir şeker elde edilmesine imkan veren odunun hidrolizi işlemi gerçekleştirildi.
1915	Amerika’da odun talaşının hidroliz ve fermentasyonu ile ilk defa ticari etanol elde edildi.
1920’li yıllar	Brezilya’da şeker kamışının fermentasyonundan elde edilen etanol 4 silindirli motorlarda denendi.
1923	Etanol Rio de Janerio’da yarış otomobili yakıtı olarak kullanıldı.
1930’lu yıllar	Amerika’da etanol hemen hemen tamamen tahıl fermentasyonu ile elde edildi. Ayrıca Chrysler firması Yeni Zelanda’ya %100 etanol ile çalışan otomobil ihraç etti. Kuzey Brezilya’da %75 şeker kamışı etanolü, %25 eter karışımı olan yakıt otomobillerde kullanıldı. İngiltere’de etanol yakıt olarak bütün vergi ve sınırlamalardan muaf tutuldu. %25 etanol, %75 benzin karışımı içeren yakıtla çalışan otomobiller Arjantin, Avustralya, Brezilya, Çin, Filipinler, Güney Afrika, Japonya ve Yeni Zelanda’da kullanılmaya başlandı.
1931	Brezilya’da %5 etanol, %95 ithal petrol karışımı yakıt kullanımını mecbur kılan kanun yürürlüğe girdi.
1939	Avrupa’da alkol yakıt kullanımı yılda yarım milyon tona ulaştı.
1939-1945	Almanya’da karayolu vasıtaları patatesten fermante edilen etanol ile çalıştırıldı. Batı Avrupa’da odun artıklarının hidrolizi için yirmiyi aşkın fabrika kuruldu. Amerika’da ordu için etanolün fermentasyon ve distilasyonu gerçekleştirildi. Üretim 6 yılda 6 kat arttı.
1956	Brezilya’da harmanlanmış yakıt oranını %10 etanol, %90 ithal petrol olarak değiştiren yeni bir kanun yürürlüğe girdi.
1962	Amerika’da etanol üretiminin %22’si çoğu zarar görmüş veya ihtiyaç fazlası hububat fermentasyonu ile elde edildi.
1971	Amerika’nın Nebraska eyaletinde hububattan alkol üretimi ile ilgili sanayinin kurulması için bir program geliştirildi ve %10 etanol, %90 kurşunsuz benzin karışımı “gazol” denilen yakıt üretildi.
1975	Brezilya ithal petrol faturasını azaltabilmek için Milli alkol Programını yürürlüğe koydu. Şeker kamışı ve nişasta üretim çiftlikleri ve 200’ü aşkın damıtma tesisi kuruldu.
1978	İlk nişasta alkolü fabrikası Brezilya’da üretime geçti.
1980	Batı Almanya’da %15 metanol, %85 petrol karışımı yakıtla çalışan otomobiller kullanılmaya başlandı.
1995	Amerika’da 1 000 000 metanollü otomobil piyasaya sürüldü.

Alkollü benzinlerin motor yakıtı olarak değerlendirilebilmesi için yakıtların hazırlanması, depolama ve taşıma şartları belirlenerek, yakıt analizleri yapıp, motor testleri gerçekleştirilmelidir. Saf etanol ortam sıcaklığında benzinle kolayca karışabilmektedir. Ancak alkollerin higroskopik özelliklerinden dolayı alkol-benzin karışımları benzin, alkol ve sudan oluşan üçlü bir sistem şeklinde bulunur ve belirli koşullarda faz ayrımı oluşur. Bu nedenle alkollerin su içeriği ve yakıt depolarında bulunabilecek su miktarı çok önemlidir. Homojen bir karışım için, karışım sudan izole edilmeli, ortam neminden ise nem tutucu malzemelerle korunmalıdır [16].

Motor yakıtı olarak alkol-benzin karışımlarının değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmaların sonuçları arasında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılığın en büyük nedenleri çalışmalarda kullanılan benzin bileşimlerinin aynı olmaması ve benzer koşullarda motor ve yol testlerinin yapılmamasıdır [16].

Benzin-alkol-su sisteminde karışımı oluşturan bileşenlerin oranlarına bağlı olarak normal bir sıcaklıkta homojen bir fazın dayanıklı olduğu bölgenin sınırları kesin olarak bellidir. Şekil 2.7’de alkol-benzin-su sistemine ait çözünürlük diyagramı gösterilmektedir. Metanollü ve etanollü benzinlerde her bir eğrinin içinde kalan bölgede heterojen faz, eğrilerin dışında kalan bölgedeki bileşimlere sahip sistemde ise homojen faz bulunmaktadır. Etanol ve metanolün çözünürlük eğrileri karşılaştırıldığında, aynı benzin miktarı için metanolün çözünürlüğünün daha fazla, aynı alkol miktarında ise etanolün daha fazla su ile karışabildiği görülmektedir. Alkollerin benzinde çözünürlüğü, benzinin kimyasal yapısı ve fiziksel özelliklerine, sıcaklık ile su miktarına bağlıdır. Etanol hidrokarbonlarda, hidrokarbonun türüne bağlı olmaksızın iyi bir çözünürlük göstermektedir [16].

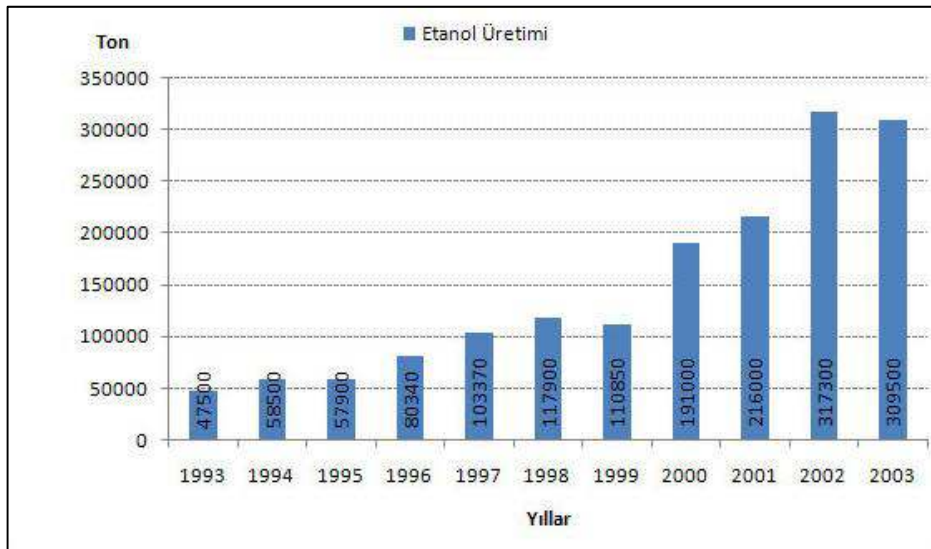


Şekil 2.7. Alkol-benzin-su sistemi çözünürlük diyagramı [16]

Benzin-alkol karışımlarında, sistemin çözünürlük davranışının doğal bir sonucu olarak, karışımdaki alkol, su miktarı, ortam sıcaklığı ve karışımı oluşturan benzinin kimyasal yapısına bağlı olarak faz ayrımı oluşur. İki ayrı sıvı faz oluştuğunda, hacimsel olarak daha fazla ve suya göre daha düşük yoğunlukta olan alt faz alkol, üst faz ise benzince zengindir. Benzini oluşturan bileşiklerden ise parafinik yapıli olanlar üst fazda, aromatik bileşikler ise alt fazda bulunmaktadır. Faz ayrışması yapmış karışım motorda kullanıldığında, teklemeler, sarsıntılar, ilk hareket zorlukları ve motorun durmasına neden olacak kadar önemli problemler oluşur. Bu nedenle alkollü benzinlerde öncelikle faz ayrışma problemi çözömlenmelidir. Literatürde alkollü benzinlerde faz ayrışma probleminin çözümü için genel öneri katkı maddesi kullanımıdır. Katkı maddesi olarak çeşitli aromatik bileşikler ve yüksek alifatik alkollerin kullanımı üzerine çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda katkı maddesi olarak genellikle izopropanol, tersiyer bütanol, siklohegzanol ve izobütanol kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre en çok üzerinde durulan katkı maddeleri bütöl alkolün izomerleridir [16].

2.3.3. Biyoetanol üretimi

2002 ortalarında Kanada’da beş tesiste yakıt olarak kullanılmak üzere etanol üretimi yapılmaya başlanmıştır. Yıllık toplam etanol yakıt üretim kapasitesi yaklaşık 175 milyon litredir. 2004 yılında etanol-benzin karışımı satan firmaların yaklaşık 1000 adet şubesi vardır ve bunlar yıllık toplam 240 milyon litre etanol-benzin karışımı satmıştır. Günümüzde biyoetanolün dünyadaki toplam üretimi yılda 21 milyar m³ civarındadır. Brezilya etanol üretiminde başı çekmekte ve lider ülke konumundadır. 1850’lerde aydınlanmada kullanılan etanol, petrolün karşısında yaygın kullanım alanlarını kaybetmiş, 1. Dünya Savaşındaki petrol kıtlığı ve 1970’lerdeki petrol krizi sırasında kullanımı bir miktar artmışsa da, yaygınlık kazanamamıştır. Brezilya’nın o zamanki askeri yöneticileri etanolün kullanımını teşvik etmek ve Brezilya’nın petrol konusunda yabancı ülkelere olan bağılılığını ortadan kaldırmak istiyorlardı. Bu sayede ülkedeki şeker kamışı üretimini artıracak ve üretim artacaktı. Böylece ülkedeki etanol kullanımı yaygınlaştırıldı. Ancak kriz ortadan kalkıp petrol fiyatları düştüğünde yeniden eskiye rağbet edildi ve benzin kullanımı artmaya başladı. 1990’ların başlarından bu yana, çevreci kaygıların da eşliğinde ve de teşvik edici vergi düzenlemelerinin desteğiyle, etanol kullanımı yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır [1, 12].



Şekil 2.8. AB ülkelerinde biyoetanol üretiminin yıllara göre değişimi [12]

Biyoetanol Avrupa’da buğday veya pancardan, Amerika’da mısırdan, Brezilya’da ise şeker kamışından üretilmektedir. Türkiye’de biyoetanol üretimi için uygun ülkelerden biridir. Ülkemizde şekerpancarı bol miktarda üretilmektedir. Geçmiş yıllarda bol miktarda üretilerek şeker fabrikalarında işlenip kaliteli şeker olarak sofralarımıza gelmekteydi. Ancak bazı dış devletlerin tarım politikalarımıza müdahale etmesi ve hükümetlerin buna karşı koymamaları yüzünden ülkemizde şekerpancarı üretimi son derece kötü bir noktaya gelmiştir. Bugün şekerpancarı üretimine kota konulmuştur. Bu tarımla uğraşan çiftçileri etkilemiş ve sonucunda büyük kentlere göçler artmıştır. Buna paralel olarak büyük kentlerde suç oranlarında da artış görülmektedir.

Türkiye’de şekerpancarı tarımı, ülkemiz tarımının önemli bir parçası olup, yılda yaklaşık 500 000 çiftçi ailesi geçimini şekerpancarından temin etmektedir. Yaklaşık 250 000 tarım işçisi, 30 000 sanayi işçisi bu işkolunda çalışmaktadır. Etkilediği diğer yan işkollarında çalışanlar ve bunların aileleri dikkate alındığında nüfusumuzun önemli bir bölümünü ilgilendirmektedir [17].

Şekerpancarı, diğer bitkilere oranla çıkardığı oksijen nedeniyle çevre dostu bir bitkidir. Yetiştirildiği alanlarda diğer ürünlere göre 4 kat daha fazla katma değer sağlamaktadır. Münavebeli tarıma imkân vermesi nedeniyle ülkemizde tarım tekniklerinin geliştirilmesinde etkili olmaktadır. Bol ve ucuz hayvan yemi sağladığı için de besiciliği teşvik edici rol oynamaktadır [17].

Diğer yandan, şekerpancarı tarımı, çiftçi ailesinin tüm fertlerine çalışma ve istihdam imkânı sağladığı için, işsizlik sorununun azaltılmasında rol oynamaktadır. Nüfusun kırsal kesimde tutulmasında ve büyük şehirlere olan göçü önlemede etkili olmaktadır. Ayrıca, ekim zamanından işlenmesine kadar geçen sürede birçok sektörü etkilemekte, tarımsal gübre ve ilaç sanayi, ziraî alet ve makine sanayi, taşıma sektörü, gıda ve hayvancılık sektörleri gibi sektörleri harekete geçirerek, ülkede büyük bir ekonomik canlılık sağlamaktadır [17].

Örneğin, Brezilya’da her 3 araçtan 1’inde saf etanol kullanılmakta, diğer 2’sinde ise etanol benzin karışımı yakıt kullanılmaktadır. Avrupa Birliği üye ülkelerinde de biyoetanol üretimi yapılmaktadır ve Avrupa Birliği, çeşitli teşvik tedbirleriyle, biyoetanol üretimini artırarak, yaygınlaştırmayı amaçlamaktadır. Ülkemizde yıllık benzin ihtiyacımız, yaklaşık 4 000 000 ton civarındadır; ancak, üretim yapılan tek bir tesis dışında, ülkemizde, biyoetanol üretimi yapılan tesis bulunmamaktadır [17].

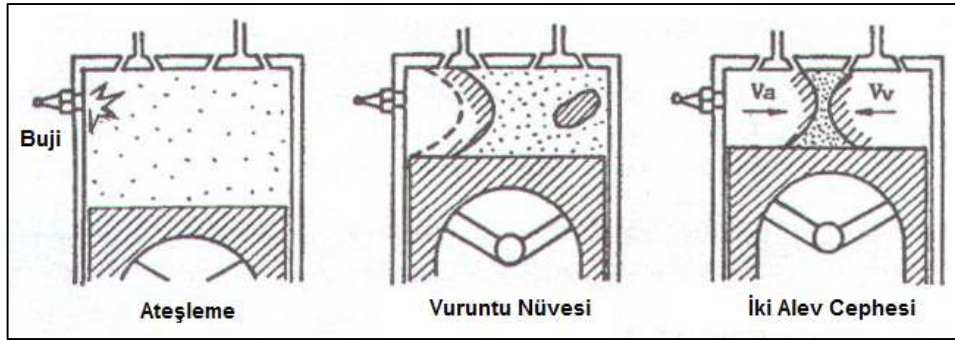
Türkiye’de, halen alkol üretimi yapılan ve Türkiye Şeker Fabrikaları Anonim Şirketi bünyesinde olan Erzurum, Eskişehir, Turhal ve Malatya Şeker Fabrikalarındaki alkol tesislerinin, ilave teknolojik tesislerle, biyoetanol üretimi yapılabilir hale gelmesi mümkündür. Ülkemizin yıllık akaryakıt ihtiyacının yaklaşık yüzde 6’lık kısmının, ülkemizde yetişen tarım ürünlerinden elde edilen biyoyakıtla karşılanması, ülkemiz için büyük bir fırsattır [17].

Son yıllarda şeker pancarı kotalarının azaltılması nedeniyle yaşanan sıkıntıların giderilmesi, çiftçilerimizin sosyal ve ekonomik refahının sağlanması, ülkede ekonomik hareketliliğin devamlı hale getirilmesi, işsizlik sorununun çözümü, hava kirliliğinin azaltılması gibi nedenlerle pancar üretiminin yaygınlaştırılması, artırılması ülkemiz için büyük önem taşımaktadır [17].

2.4. Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Vuruntu

Buji ile ateşlemeli motorlarda ateşleme buji tarafından kontrol edilir ve oluşması gereken alev cephesi buji tarafından oluşturulur. Silindir içerisinden vuruntu meydana geldiğinde ikinci bir tutuşma oluşur ve bu alevin kapladığı bölge dışında meydana gelir. Buji ile ateşlemeli motorlarda buji tarafından oluşturulan alev nüvesinin dışında kalan ve alev cephesi ilerledikçe basınç ve sıcaklığı yükselen taze karışımın bulunduğu bölgeye son gaz bölgesi denir. İşte bu son gaz bölgesinde oluşan ve çok hızlı basınç yükselmesi sonucu duyulabilir bir ses oluşturan kendiliğinden tutuşma olayına vuruntu adı verilir [15].

Buji ile ateşlemeli motorlarda dolgu sıkıştırılıp buji tarafından ateşlendikten sonra bir yandan pistonun hala sıkıştırma işlemine devam etmesi, bir yandan da ilerleyen alev cephesinin taradığı bölgelerdeki yanmış gazların genişleyip yanmamış bölgeyi sıkıştırmaları sonucu yanmamış dolgu kısmının ısınmasına ve oradaki ön reaksiyonların hızlanmasına yol açar. Eğer normal alev cephesi ulaşmadan yanmamış kısım kendi kendine tutuşursa ikinci bir alev cephesi oluşur [15].

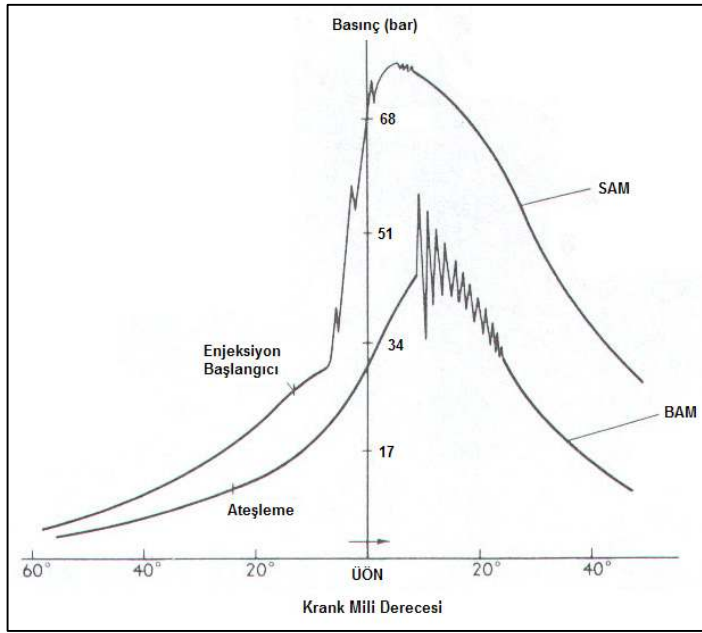


Şekil 2.9. Son gaz bölgesinde alev nüvesinin oluşumu [15]

Vuruntu sonrası oluşan nüve çok hızlı hareket etmektedir. Normalde alev hızı 25-40 m/s civarındadır. Oysa vuruntu anında alev hızı 500-700 m/s hıza ulaşır. Bu nedenle vuruntu oluşumunda enerji çok büyük bir hızla açığa çıkmakta ve basınç aniden yükselmektedir. Böylece silindir cidarları ve diğer parçalar titreşime maruz kalmaktadır [15].

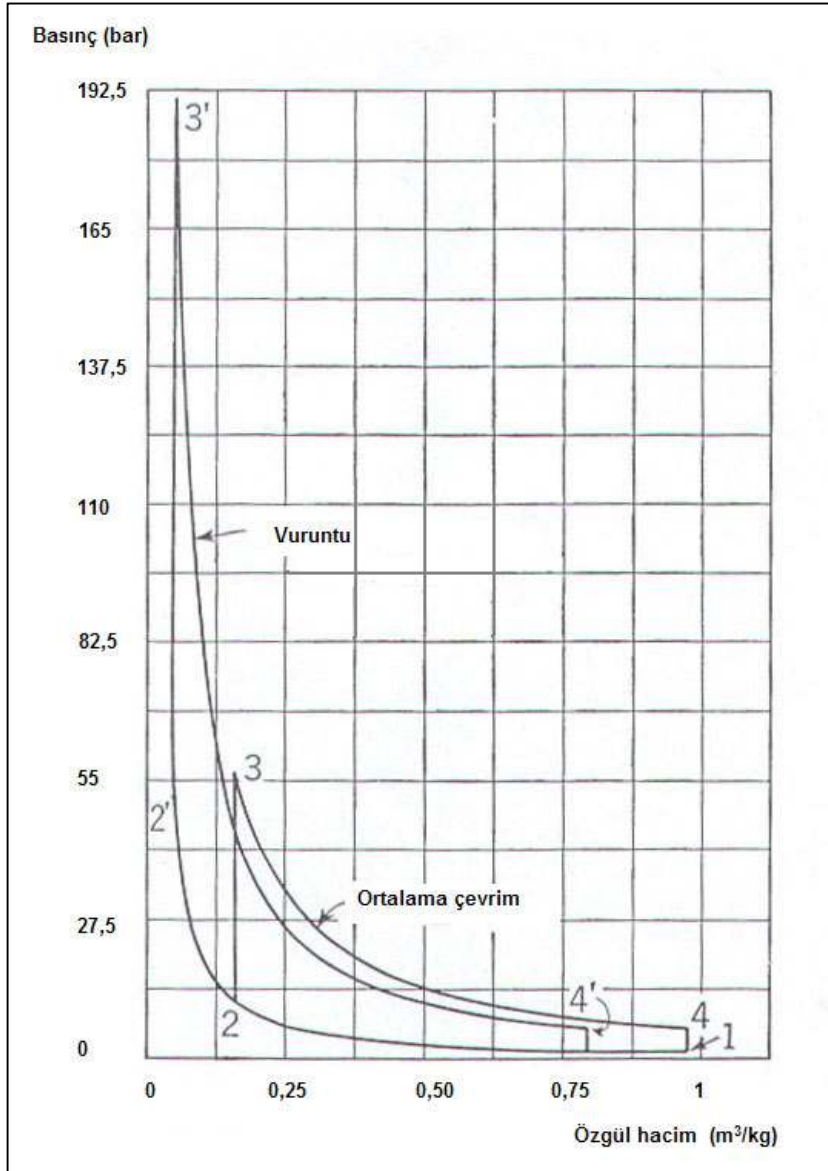
Silindir içerisinde oluşan şiddetli basınç dalgası silindir kapağı ve piston yüzeyine çarparak buji ile ateşlemeli motorlarda çınlama sesi olarak sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda ise darbe sesi olarak kendini gösterir. Vuruntu gürültüsü, silindirdeki şiddetli basınç dalgasının silindir kapağı ve piston yüzüne çarpması ve orada çekiç darbesine benzer bir etki oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Vuruntulu yanmada, özellikle piston termik ve mekanik olarak aşırı yüklenir. Sürekli vuruntu pistonun tahrip olmasına neden olur. Isının aşırı derecede açığa çıkması ile piston hızla genişler ve silindir duvarlarında oluşan yağ filminin bozulmasına neden olur. Bunun sonucunda kuru sürtünme başlar ve daha fazla açığa çıkan ısı, ortam sıcaklığını hızla arttırarak piston yüzeyinde ergimelere ve silindir duvarına kaynaklanmalara neden

olur. Yer yer oluşan kaynak bağlantıları pistonun hareketi sonucu tekrar koparak şiddetli aşınmalara ve sıcaklığın devamlı yükselmesine sebep olur. Bu zincirleme olay kısa sürede pistonun silindir iç yüzüne tamamen kaynaklanarak tahrip olması ile sonuçlanır. Vuruntu esnasında piston tahrip olmasa bile sürtünme yükü şiddetle artarak motorun efektif gücünün düşmesine neden olur.



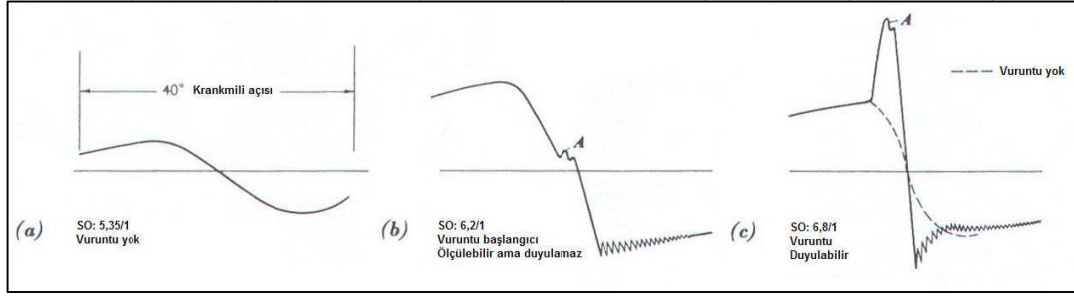
Şekil 2.10. Vuruntulu çalışan benzin ve dizel motorunun basınç grafiği [19]

Şekil 2.10'da vuruntulu çalışan benzin ve dizel motorunun basıncının zamana göre değişim grafiği yer almaktadır. Vuruntu yokken basınç eğrisi azami noktayı yumuşak bir şekilde dönerken vuruntu esnasında çok şiddetli basınç titreşimleri görülmektedir. Ayrıca ulaşılan azami basınç değeri çok daha yüksektir. Şekil 2.11'de buji ile ateşlemeli bir motora ait P-V diyagramı yer almaktadır. Şekilden de görüleceği üzere vuruntu esnasında basınç oldukça yüksek değerlere çıkmıştır [15].



Şekil 2.11. P-V diyagramı [20]

Vuruntu, kendiliğinden tutuşmaya maruz kalan son gaz miktarına ve kendiliğinden tutuşma olayının oluştuğu reaksiyon hızına bağlıdır. Belirli bir reaksiyon hızında vuruntu ne kadar erken başlarsa o kadar çok son gaz olaya karışır ve vuruntunun şiddeti de o kadar fazla olur [15].



Şekil 2.12. SO artışının vuruntuya etkisi (CFR motoru, 900 min⁻¹, 32° AA) [19]

Vuruntu, meydana getirdiği fiziksel değişimlerin herhangi bir şekilde algılanması ile anlaşılabilir. Bunlar vuruntu sesi, normalden daha yüksek azami basınç, çok şiddetli basınç yükselme hızı ve yüksek frekanslı basınç dalgalanmasıdır. Vuruntu sesi daha şiddetli bir ses veya gürültü kaynağı olmadığı müddetçe rahatlıkla duyulabilir. Dolayısıyla ses, kesin olarak güvenilir olmamakla birlikte en basit ve pratik işarettir. Şekil 2.12 c’de duyulabilir bir vuruntu diyagramı görülmektedir. A ile gösterilen nokta vuruntu tepe noktasıdır. Bunun dışında silindir içerisindeki basınç değişimini veren ve buji benzeri bir muhafaza içinde silindire monte edilen piezo benzeri cihazlarla osiloskop ekranından takip edilebilir. Şekil 2.13’de vuruntu olmadan ve vuruntu anındaki yanma odasının özel fotoğraf makineleri ile çekilmiş fotoğrafları yer almaktadır [15].



Şekil 2.13. Vuruntusuz ve vuruntulu yanmada alevin görünümü [21]

2.4.1. Vuruntuya etki eden faktörler

Buji ile ateşlemeli motorlarda motorun yapısı, işletme koşulları ve yakıtın cinsi vuruntuya etki eden temel faktörlerdir. Bu faktörler aşağıda belirtilmiştir [18].

Sıkıştırma oranı: Sıkıştırma oranı vuruntulu yanmayı doğrudan etkileyen en önemli faktördür. Sıkıştırma oranı arttıkça sıkıştırma zamanı sonunda daha yüksek silindir basıncı elde edilir. Dolayısıyla motorun vuruntu yapma olasılığı artar. Motorun verimini artırmak için sıkıştırma oranını artırmak gerekir. Ancak her motorun vuruntusuz çalışabileceği azami bir sıkıştırma oranı vardır. Eğer daha yüksek sıkıştırma oranı isteniyorsa motorun tasarımı değiştirilmeli ya da yakıtın oktan sayısı artırılmalıdır [15, 18].

Giriş basıncı: Giriş basıncı arttıkça motorun azami çevrim basıncıda artar ve böylece tutuşma gecikmesi azalır fakat motorda vuruntu oluşma olasılığı da artar. Diğer yandan artan giriş basıncı alev hızını da artırır. Bu durum vuruntuyu azaltıcı yönde etki yapar fakat tutuşma gecikmesinde azalma daha etkilidir ve bunun sonucunda artan giriş basıncı ile motor daha çok vuruntu yapar [15].

Ateşleme avansı: Ateşleme avansı arttıkça silindir içerisindeki basınç daha erken artmaya başlar. Böylece ateşleme sonrası silindir basıncı ve sıcaklığı daha yüksek olur. Bu durumda vuruntu oluşma olasılığı artar. Ateşleme sistemi değişik motor devirlerinde hep aynı noktada azami basınç oluşturacak şekilde programlanmalıdır [15, 18].

Motor devri: Motor devrinin vuruntu oluşmasına direk etkisi yoktur fakat motor devrindeki değişim gaz sıcaklığını, basıncını ve sıkıştırma süresini etkiler. Bunlar da vuruntuya etki eden temel faktörlerdir [15, 18].

Emme havası sıcaklığı: Emme havası sıcaklığının artması alev hızını azaltıp, reaksiyon süresini kısaltır. Bu durum vuruntu eğilimini artırır [18].

Hava fazlalık katsayısı (λ): Hava fazlalık katsayısındaki değışmeler, alevin yayılma hızının, çeper sıcaklıklarının ve yanmamış karışım reaksiyon süresinin değışmesine neden olabilir. Asgari reaksiyon süresine karşı gelen sıkıştırma oranında, vuruntulu yanma olasılığına eğilim fazladır [18].

Egzoz basıncı: Egzoz basıncının artması, sıkıştırma sıcaklığını artırdığından dolayı vuruntu eğilimi artar. Bununla birlikte artık gaz miktarındaki artış ve azami silindir basıncındaki düşme vuruntu eğilimini azaltan faktörlerdir [15].

Yanma odası hacmi: Yanma odası küçüldükçe çeper yüzey alanının hacme oranı artar ve böylece daha iyi bir soğutma sağlanır. Bu durumda vuruntu eğilimi azalır. Silindir çapı büyüdüğü vuruntu olasılığı artar [15].

Yakıt cinsi ve kalitesi: Yakıtlar birçok değışik fiziksel ve kimyasal özellikteki hidrokarbonların birleşiminden oluştuğu için, bazılarının vuruntulu yanmaya eğilimi fazla bazılarının azdır. Oktan sayısının artması ile vuruntu eğilimi azalır. Bu nedenle daha yüksek oktan sayılı yakıt kullanılarak sıkıştırma oranı artırılabilir [15, 18].

2.4.2. Vuruntunun zararları

Vuruntu sesi: Vuruntunun başladığı noktadan itibaren silindir içerisinde değışik yönlerde hareket eden basınç dalgaları sürücü tarafından duyulabilen bir ses oluşturur. Sesin şiddeti, ses hızındaki dalgaların içerisinde yayıldığı yanma odasının büyüklük ve şekline bağlıdır [15].

Motor parçalarındaki tahribat: Son gaz bölgesindeki dolgunun aniden yanması ani bir basınç artışına sebep olur. Piston üzerinde aniden oluşan basınç kuvveti yüksek gerilmelere ve hasara sebep olur. Uzun süren vuruntulu çalışma halinde pistonlar, segmanlar ve supaplar hasar görebilir. Daha ileri durumlarda piston eriyip delinebilir ve motor çalışmaz hale gelebilir [15].

Bölgesel ısı transferi: Vuruntunun olduğu son gaz bölgesinde basınç ve gaz yoğunluğu çok yüksektir. Bu sebeple söz konusu bölgede sıcak gazlar basıncın etkisiyle segmanlardan sızabilir. Bu durum piston ve segmanlara önemli ölçüde ısı geçişine sebep olabilir. Uzun süren vuruntu durumu bu parçaların erimesine sebep olabilir. Ayrıca basınç dalgalarının hareketi sırasında buji üzerinde önemli bir miktar ısı birikimi olur. Bu durumda bujinin elektriksel ve termik karakteri bozulur ve iş görmez hale gelebilir. Diğer bir sorunda bujinin akkor hale gelerek erken tutuşmaya yol açan bir kaynak konumuna gelmesidir [15].

Erken tutuşma: Yanma odasındaki dolgunun buji ateşlemeden önce kızgın bir nokta tutuşturulması erken tutuşma olarak adlandırılır. Erken tutuşma aşırı bir erken ateşleme gibidir ve güç ve verim kaybıyla sonuçlanır [15].

Egzozda karbon bulunması: Vuruntulu yanma sonucunda egzoz gazlarında gün ışığında gri egzoz gazı kümeleri, gece ise parlak yeşil ışımadır. Normal yanma sonucu gece aynı ışıma parlak mavi renkli olur. Bu durum vuruntu esnasında yanma kimyasında bir farklılık olduğunu göstermektedir [15].

2.4.3. Vuruntu oluşumuna karşı alınacak önlemler

Vuruntu oluşumunu engellemek için vuruntuya neden olan etkenler belirlenip gereken düzeltmeler yapılmalıdır. Ateşleme avansının düşürülmesi ile silindir basıncı düşeceğinden karışımın kendi kendine tutuşma olasılığı dolayısıyla vuruntu ihtimali düşer. Sıkıştırma oranının düşürülmesi de vuruntu eğilimini azaltan faktörlerden biridir. Yanmanın silindir içerisinde sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğru ilerlemesi halinde vuruntu olasılığı azalır. Bu nedenle buji daha sıcak olan egzoz supabı yakınlarına yerleştirilmelidir. Yanma odası vuruntuya neden olmayacak şekilde şekillendirilmelidir. Soğutma sisteminin de etkili çalışması vuruntu üzerinde etkilidir. Vuruntudan zarar görebilecek parçalar iyi soğutulmaları halinde çok fazla zarar görmezler.

3. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Bayraktar (1997) tarafından yapılan çalışmada benzin-etanol karışımlarının buji ile ateşlemeli motorlardaki yanma olayı ve motor çevrimi karakteristikleri üzerindeki etkileri teorik olarak incelenmiştir. Bu amaçla, termodinamiğin birinci kanuna dayanan ve sanki-boyutlu bir matematik yanma modelini içeren bir buji ile ateşlemeli motor çevrim modeli geliştirilmiştir. Benzin, etanol ve çeşitli benzin-etanol karışımlarının yakıt olarak kullanıldığı tek silindirli bir deney motoru ve dört silindirli bir otomobil benzin motorunun yanma ve çevrim parametreleri teorik olarak incelenmiştir. Belirli oranlarda etanol içeren benzin-etanol karışımlarının motor performansını iyileştirdiği belirlenmiştir. Efektif güçte en fazla artış; tek silindirli deney motorunda 9:1 sıkıştırma oranında ve 1500 min^{-1} motor devrinde %25 etanol içeren karışımla %5,03 olarak, taşıt motorunda ise 9,2:1 sıkıştırma oranında ve 5800 min^{-1} motor devrinde %25 etanol içeren karışımla %11,52 olarak bulunmuştur. Deney motorunun özgül yakıt tüketiminde en fazla azalma 9:1 sıkıştırma oranında ve 1500 min^{-1} motor devrinde %8 etanol içeren karışımla %0,912 olarak, taşıt motorunda ise 9,2:1 sıkıştırma oranında ve 5800 min^{-1} motor devrinde %25 etanol içeren karışımla %5,52 olarak belirlenmiştir. Her iki motor için bütün çalışma koşullarında, artan etanol oranı ile birlikte efektif verim artmakta, CO oranları ise azalmaktadır. Her iki motor için de en iyi motor performansı hacimsel olarak %25 etanol içeren karışımla elde edilmiştir [4].

Topgöl ve ark. (2004), tarafından yapılan çalışmada etanol-benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli bir motorda farklı sıkıştırma oranlarında motor performansına etkisi araştırılmıştır. Deneyler, tek silindirli, buji ile ateşlemeli, yakıt enjeksiyon sistemine sahip Hydra marka araştırma motorunda yapılmıştır. Motor devrine bağlı olarak azami motor momentini veren ateşleme zamanında, tam gaz kelebek açıklığında, 2000, 3500 ve 5000 min^{-1} motor devirlerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma parametrelerinden hava/yakıt oranı (0,9, 1 ve 1,1 HFK) ve sıkıştırma oranı (8:1, 9:1, 10:1 ve 11:1) değiştirilerek, yalnızca kurşunsuz benzin (E0) ve kurşunsuz benzin-etanol karışımlarının (E10 ve E20) motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Karışımlarda hacimsel olarak %10 ve %20

etanol olacak şekilde etanol benzin karışımları oluşturulmuştur. Karışımlarda faz ayrışması oluşmaması için %99,5 saflıkta etanol kullanılmıştır [11].

Deney sonuçlarına göre, 9:1 sıkıştırma oranında, moment E10 yakıtında yalnızca benzine göre ortalama %1,38, 11:1 sıkıştırma oranında ortalama %0,59 artmıştır. Momentteki bu değişime karşın yakıt tüketiminde daha yüksek bir artış (9:1'de %5 ve 11:1'de %3,7) kaydedilmiştir. E20 yakıtında da benzer bir artış (ortalama olarak 9:1'de moment %0,38, FÖYT %8,8 ve 11:1'de moment %0,43, FÖYT %7,1) elde edilmiştir. Yakıt enjeksiyonlu ve emme supabının arkasına püskürtmenin yapıldığı araştırma motorunda dolgu sıcaklığını azaltmada etanolün buharlaşma ısısının yüksek olması avantajından yeterince yararlanılamamış olmasına rağmen motor momenti benzine eşit veya biraz daha yüksek elde edilebilmiştir. Etanolün alt ısı değerinin ve hava/yakıt oranının benzinden az olması hacimsel yakıt tüketiminin etanol-benzin karışımlarında da yüksek olmasına sebep olmaktadır [11].

Sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinde maksimum artış 2000 min^{-1} motor devrinde E10 yakıtında %0,5 (11:1), E20 yakıtında %1,3 (10:1) ve FÖYT'de ortalama olarak E10 için %5,5, E20 için %8,8 artış elde edilmiştir. 3500 min^{-1} motor devrinde motor momenti E10 yakıtında maksimum %1,3 (8/1), E20 yakıtında %1,7 (8:1) ve FÖYT ortalama E10 yakıtında %4,4, E20 için %8,4 artış göstermiştir. Motor momenti 5000 min^{-1} motor devrinde E10 yakıtında en fazla %0,3 (9:1), E20 yakıtında %1,7 (10:1) ve FÖYT2de ise; ortalama E10 için %3,6, E20 için %8,7 artış elde edilmiştir. Sıkıştırma oranına bağlı olarak 2000 min^{-1} motor devrinde CO emisyonu ortalama olarak E10 yakıtında %7,9 ve E20 yakıtında %2 azalma elde edilmiştir. HC emisyonundaki en yüksek azalma ise; 5000 min^{-1} motor devrinde E10 yakıtında ortalama %29,2 (11:1), E20 yakıtında %13,3 (9:1) elde edilmiştir [11].

Yüksel ve Yüksel (2004), karbüratörlü yakıt sistemine sahip, buji ile ateşlemeli bir motorda yakıt olarak etanol-benzin karışımı kullanılmasının performans ve emisyonlar üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneyler Opel Record L marka, 4 silindirli, 8:1 sıkıştırma oranına sahip, su soğutmalı buji ile ateşlemeli bir motorda yapılmıştır. Alkol-benzin karışımlarının motorlarda yakıt olarak kullanımında, yakıt

karışımını kararlı bir şekilde ve homojen olarak sıvı fazda tutmak en önemli sorundur, bu nedenle motorun etanol-benzin karışımı ile çalışabilir hale gelebilmesi için karbüratör yeniden dizayn edilmiştir. Bu yeni karbüratörün kullanılmasıyla sadece faz sorunu çözülmemiş aynı zamanda toplam yakıttaki alkol oranı da artmıştır. İki şamandıra devresine sahip bu karbüratörde, etanol ve benzin yakıt tankları ayrı ayrı bu şamandıra devrelerine bağlanmıştır. %60 etanol ve % 40 benzin karışımı kullanılarak performans, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları testi yapılmıştır. Bununla birlikte motor devri arttıkça, etanol-benzin karışımındaki etanol miktarı da artmaktadır. Çalışmanın sonunda etanol-benzin karışımı kullanıldığında özgül yakıt tüketiminin arttığı, motor torku ve efektif gücün azaldığı görülmüştür. Egzoz emisyonlarında ise yanma performansının artmasından dolayı önemli iyileşmeler görülmüştür. Etanol-benzin karışımı kullanıldığında CO ve HC emisyonlarında yaklaşık olarak sırayla %80 ve %50 azalma görülmüştür. CO₂ emisyonu ise motor koşullarına bağlı olarak %20 artmıştır [13].

Hsieh ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada farklı karışım oranlarındaki (%0, %5, %10, %20, %30) etanol-benzin karışımlı yakıtlar kullanan ticari bir buji ile ateşlemeli motorun, motor performansı ve emisyon değerini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmada, çok noktadan enjeksiyonlu, üstten çift kamlı ve 9,5:1 sıkıştırma oranına sahip New Sentra GA16DE marka motor kullanılmıştır. Etanol-benzin karışımlı yakıt özellikleri ilk olarak standart ASTM metotları kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar, etanol miktarının artırılması neticesinde yakıt karışımının oktan sayısı arttıkça, karışımın ısınma değerinin düştüğünü göstermiştir. Ayrıca, başlangıçta etanol miktarının artmasıyla karışımın Reid buhar basıncı artmış %10'luk etanol ilavesinde maksimuma yükselmiş sonrasında ise düşmüştür. Etanol-benzin karışımı kullanıldığında motor test sonuçları tork çıkışı ve yakıt tüketiminin bir miktar yükseldiğini, etanol miktarının artması sonucu CO ve HC emisyonlarının çarpıcı biçimde düştüğünü ve yanmadaki iyileşme sonucu CO₂ emisyonunun arttığını göstermiştir. NO_x emisyonlarının ise etanol miktarından ziyade motorun çalışma koşullarına bağlı olduğu belirlenmiştir [22].

Topgöl ve ark. (2006) yaptıkları diğer bir çalışmada kurşunsuz benzin (E0) ve kurşunsuz benzin-etanol karışımları (E10, E20, E40 ve E60) kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisini deneysel olarak incelenmişlerdir. Araştırma tek silindirli, 4 zamanlı, buji ile ateşlemeli Hydra marka motor üzerinde yapılmıştır. Deney değişik sıkıştırma oranları (8:1, 9:1 ve 10:1) ve ateşleme zamanında 2000 min^{-1} sabit motor devrinde tam gaz keleşbeği açıklığında yapılmıştır. Deney sonuçları kurşunsuz benzin ile etanol karışımlarının fren torkunu biraz artırdığını ve CO ve HC emisyonlarını azalttığını göstermiştir. Ayrıca etanol karışımları vuruntu yapmadan sıkıştırma oranının artırılmasına izin vermektedir [23].

Bayraktar (2005) tarafından yapılan çalışmada benzine etanol ilavesinin buji ile ateşlemeli motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. Teorik çalışmada, bir sanki boyutlu buji ile ateşlemeli motor çevrim modeli ile önce benzin yakıtı buji ile ateşlemeli motorda kullanılmıştır daha sonra buji ile ateşlemeli motor benzin-etanol karışımı çalışacak şekilde uyarlanmıştır. Deneysel uygulamada karışım hacimsel olarak % 1,5, 3, 4,5, 6, 7,5, 9, 10,5 ve 12 etanol içermektedir. Sayısal uygulamada ise hacimsel olarak %21 etanol oranı kullanılmıştır. Her bir karışım değeri için motor çalışması 1500 min^{-1} , sıkıştırma oranı 7,75 ve 8,25 tam gaz keleşbeğ açıklığına ayarlanmıştır. Her iki teorik ve deneysel çalışma sonuçları grafik olarak karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları değişik karışımlar arasında motor performansı ve CO emisyonları açısından en uygun olan karışımın %7,5 etanol içeren karışım olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte teorik karşılaştırma buji ile ateşlemeli motorlar için en uygun olan oranın % 16,5 etanol içeren karışım olduğunu göstermiştir [24].

Bayraktar (2007) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise buji ile ateşlemeli motorlarda türbölanslı alev yayım işlemi teorik olarak araştırılmıştır. Çalışmada benzin, etanol ve farklı benzin-etanol karışımları içeren yakıt dikkate alınmıştır. Araştırmacı öncelikle çevrim esnasındaki silindir şarjının termodinamik şartlarını kullanarak sanki boyutlu buji ile ateşlemeli motor çevrimi modeli geliştirmiştir. Alevin merkezdeki bujiden küresel biçimde yayıldığı farz edilmiştir. Ölçümler buji ile ateşlemeli otomobil motorunun disk biçimindeki küresel yanma odasında 9.2

sıkıştırma oranı ve 5800 min^{-1} nominal hızda yapılmıştır. Alev geometrik özellikleri (alev yarıçapı, alev ön alanı ve yanma hacmi), yanma karakteristiği (yanmış kütle kesri ve yanma süresi) ve silindir basınç ve sıcaklığı krank açısının fonksiyonu olarak tahmin edilmiştir. -10 derece, üst ölü nokta ve +10 derece olmak üzere 3 farklı pozisyondaki krank açısında çalışılmıştır. Sonuç olarak benzine hacimsel olarak %25 etanol ilavesi alev yayım sürecini hızlandırmıştır. Sonuçlar teorik olarak elde edildiğinden dolayı etanolün uçuculuk ve faz ayrımı gibi problem oluşturabilecek bazı kusurları dikkate alınmamıştır [25].

Jia ve ark. (2005) hacimce %10 etanol-benzin karışımlı yakıt (E10) kullanan 4 zamanlı motosiklet motorunun şasi dinamometrelerinde farklı sürüş özelliklerinde emisyon karakteristiklerini araştırmışlardır. Sonuçlar E10 yakıtının CO ve HC emisyonlarının kurşunsuz benzine oranla daha düşük olduğunu gösterirken etanolün NOx emisyonları üzerine önemli etkisi olmadığını ortaya çıkarmıştır. Bundan başka her iki yanmamış hidrokarbon türlerinin analizi yapılmış ve bu analiz aromatik bileşikler (benzen, toluen, ksilen izomerleri (o-ksilen, m-ksilen ve p-ksilen), etiltoluen izomerleri (o-etiltoluen, m-etiltoluen ve p-etiltoluen) ve trimetilbenzen izomerleri (1,2,3 trimetilbenzen, 1,2,4 trimetilbenzen ve 1,3,5 trimetilbenzen) ve yağlı grupların (etilen, metan, asetaldehit, etanol, bütan, pentan ve hekzan) motosikletin egzoz emisyonunda başlıca bileşikler olduğunu göstermiştir. E10 yakıtlı motosikletin etilen, asetaldehit ve etanol emisyonlarının kurşunsuz benzinin ürettiğinden daha çok ürettiğini de ortaya çıkarmıştır. Etanol-benzin karışımlarında aromatiklerde kayda değer bir azalma görülmemekle birlikte etanol-benzin karışımlarındaki geri kalan emisyon türleri için oldukça iyileşme sağlanabileceği belirtilmiştir [26].

Wu ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada etanol-benzin karışımı yakıt, geleneksel bir motorda çeşitli hava-yakıt oranları altında, performans ve emisyon değerleri için test edilmiştir. Yakıt püskürtme miktarı CONSULT kontrolörü kullanan açık-devre kontrol sistemi tarafından manuel olarak ayarlanmıştır. Gaz açıklığını ve püskürtme miktarını değiştirmeksizin etanol içeriğinin artması verimsizliği artırabileceği belirlenmiştir. Motor performans testi sonuçları etanol-

benzin yakıtı kullanıldığında emme supabının az açıldığında tork eğrisinin hafifçe arttığını göstermektedir. Bu, oksijen zenginleştirilmesiyle doğan karışımli yakıttaki etanol içeriğinin artması ile CO ve HC emisyon değerlerinin azaldığını göstermektedir. Hava-yakıt oranının biraz artması küçük miktarlardaki CO ve HC ve büyük miktardaki CO₂ artışı ile sonuçlanmıştır. Karışımli yakıt için, beygir gücü başına CO₂ emisyonu, benzininkine benzer veya daha az çıkmıştır. Deneysel verilerden motor performansı ve hava kirliliğine nazaran hava-yakıt oranı ile benzindeki optimal etanol miktarı çıkarılmıştır [27].

Topgül (2006) tarafından yapılan çalışmada kurşunsuz benzin (E0) ve kurşunsuz benzin-etanol karışımlarının (E10, E20, E40 ve E60) motor performansına, egzoz emisyonlarına, ısı kayıplarına ve silindir basınçlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler dört zamanlı, tek silindirli, değişken sıkıştırma oranlı, buji ile ateşlemeli ve enjeksiyonlu Hydra marka motorda gerçekleştirilmiştir. Deneyler, farklı motor devri ve yüklerinde sıkıştırma oranı ateşleme zamanı, HFK ve giriş hava sıcaklığı değiştirilerek yapılmıştır. Düşük sıkıştırma oranlarında en yüksek motor momentini veren ateşleme zamanı, yakıtlar arasında önemli bir farklılık göstermemiştir. Özellikle yüksek sıkıştırma oranlarında ve düşük motor devirlerinde motor performansı karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak artmıştır. En yüksek motor momentini veren ateşleme zamanında hava/yakıt oranı ve giriş hava sıcaklığının motor performansı ve egzoz emisyonlarının değişimine etkileri tüm yakıtlarda benzerdir. Isı kayıpları, etanol-benzin karışımları kullanıldığında kurşunsuz benzinle karşılaştırıldığında azalmıştır. Kullanılan yakıtlar arasında en iyi vuruntu dayanımına sahip olan E60 yakıtında daha yüksek silindir basıncı elde edilmiştir. Motor performansının tahmininde ise yapay sinir ağı kullanılmıştır [7].

Ceviz ve Yüksel (2005) yaptıkları çalışmada etanol-kurşunsuz benzin karışımı kullanımının buji ile ateşlemeli motorlardaki çevrimsel değişkenlik ve emisyon değerleri üzerine etkisini araştırmıştır. Buji ile ateşlemeli motorlarda önemli bir tasarım hedefi de çevrimsel değişkenliği minimize etmektir. Çevrimsel değişkenlik düşük miktarlardaki (yavaş yanmalar) istenmeyen motor titreşimlerine neden olabilir. Diğer yanda çevrimsel değişkenlik daha büyük miktarda (tamamlanmayan yanmalar)

hidrokarbon tüketiminin ve emisyonların artmasına neden olur. Çalışma sonuçlarına göre, etanol-kurşunsuz benzin karışımının yakıt olarak kullanımının yakıt karışımındaki etanolün hacimce %10'una kadar CO₂ konsantrasyonu artarken indike ortalama efektif basınç değişim katsayısını, CO ve HC emisyon konsantrasyonların azaldığını göstermektedir. Diğer tarafta bu yakıt karışım seviyesinden sonra adı geçen parametreler üzerine ters etki gözlenmiştir. En iyi sonuçları hacimce %10 etanol oranında almışlardır [28].

Yücesu ve ark. (2006) etanol-benzin karışımlarının farklı sıkıştırma oranlarında motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisini araştırmıştır. Yapılan çalışmada tek silindirli, 4 zamanlı, değişken sıkıştırma oranlı, buji ile ateşlemeli Hydra marka motorda tam yük ve en iyi tork için minimum ateşleme avansında, stokiyometrik H/Y oranında, sıkıştırma oranının, motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisi test edilmiştir. Deney sonunda 2000 min⁻¹'de motor momenti ve özgül yakıt tüketiminde sıkıştırma oranı arttıkça iyileşme görülmüştür. 3500 min⁻¹'de ise iyileşme miktarı daha da artmaktadır. Bununla birlikte tüm devir ve sıkıştırma oranlarında CO ve HC emisyonlarında azalma görülmüştür. Özellikle E40 ve E60 yakıtlarında egzoz emisyonlarında önemli azalmalar olmuştur. E60 yakıtı kullanıldığında 5000 min⁻¹ motor devrinde HC emisyonlarında %16,45 azalma görülmüştür [29].

Yücesu ve ark. (2007) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise etanol-benzin karışımı kullanımının buji ile ateşlemeli motordaki performansının deneysel analizi ve matematik modeli yapılmıştır. Bu çalışmanın birinci aşamasında etanol-kurşunsuz benzin karışımları (E10, E20, E40 ve E60) tek silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, buji ile ateşlemeli ve yakıt enjeksiyonlu Hydra marka motorda test edilmiştir. Testler 2000 min⁻¹ sabit devirde ve tam gaz keleşbeği açıklığında, değişik ateşleme zamanlarında, bağıl H/Y oranı ve sıkıştırma oranında yapılmıştır. Etanol-kurşunsuz benzin karışımlarının motor momenti ve ÖYT üzerindeki etkisi değişken testlerle deneysel olarak incelenmiştir. Motor momentinde karışimli yakıtlarda artış görülmüştür. En fazla artış E40 ve E60 yakıtlarında olmuştur [30].

Matematik model analizinde ise 2000 min^{-1} sabit devir ve tam gaz kelebeği açıklığında, farklı yakıt yoğunluklarında temel ateşleme zamanı, bağıl H/Y oranı ve sıkıştırma oranı kullanılarak yapılan deneysel sonuçlardan hesaplanan motor torku ve ÖYT değerleri yapay sinir ağı (YSA) kullanılarak optimize edilmiştir. Ağ kullanılarak 2 farklı değişken ve mantıksal sigmoid aktarma fonksiyonundan elde edilen algoritma yeniden üretilmiştir. Deneysel ölçüm sınırlarını, sinir ağlarına öğretmek için test verileri kullanılmıştır. Tüm deneysel sıralamalardaki deneysel hataları iyileştirmek için mümkün olan motor torku ve ÖYT değerleri 5 sinirli gizli tabaka kullanılarak LM algoritmaları ile en iyi veri elde edilene kadar ayarlanmıştır. Öğretmeden sonra sırası ile motor torku ve ÖYT R2 değeri 0,999996 ve 0,999991 arasında bulunmuştur. Aynı şekilde bu değerler test verileri için sırası ile 0,999977 ve 0,999915 dir. Matematik modelin sonuçlarına bakıldığında hesaplanan motor torku ve ÖYT değerleri kabul edilebilir sınırlar içersindedir [30].

Al-Hasan (2003) tarafından yapılan çalışmada buji ile ateşlemeli motorlarda kurşunsuz benzin-etanol karışımları kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi araştırılmıştır. Deneylerde 4 zamanlı, 4 silindirli, 9:1 sıkıştırma oranına sahip, buji ile ateşlemeli, Toyota Tercel-3A marka motor kullanılmıştır. Deneyler kurşunsuz benzin-etanol karışımları farklı yüzdelerde kullanılmıştır. Bunun için on farklı kurşunsuz benzin-etanol karışımı hazırlanmıştır. Her karışımda etanol miktarı %2,5 oranında artırılmış ve karışımlarda %0-25 aralığında %99 saflıkta etanol kullanılmıştır. Motor testleri 3/4 gaz kelebeği açıklığında ve 1000 ile 4000 min^{-1} arasında değişik motor devirlerinde yapılmış, H/Y oranı, yakıt tüketimi, volumetrik verim, termik verim, güç, motor torku ve özgül yakıt tüketimi gibi performans testleri ile CO, CO₂ ve yanmamış HC yönünden egzoz emisyonları incelenmiştir. Kurşunsuz benzin-etanol ile karıştırıldığında güç, tork, volumetrik verim ve termik verimin arttığı, yakıt tüketimi ile özgül yakıt tüketimi ve H/Y oranının azaldığı görülmüştür. Egzozdaki HC ve CO emisyonları azalırken, CO₂ konsantrasyonu artmıştır. Tüm motor hızlarında ölçülen tüm parametrelerde en iyi sonuç %20 etanol karışimli yakıttan elde edilmiştir [31].

He ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada elektronik yakıt enjeksiyon sistemine sahip, buji ile ateşlemeli motorda etanol karışımlı benzin yakıtlarının emisyonlara ve katalitik konvertör verimine etkisini araştırmışlardır. Egzoz gazları, katalitik konvertörün giriş ve çıkışından ölçülmüştür. Deneylerde kurşunsuz benzin (E0) ve hacimsel olarak %10 ve %30 etanol içeren benzin-etanol karışımları kullanılmıştır [32].

Hacimsel olarak %30 etanol içeren yakıt her durumda motor çıkışındaki toplam HC, CO ve NO_x emisyonlarını düşürmüştür fakat yanmamış etanol ve asetaldehit emisyonları artmıştır. Katalitik konvertör verimi, motor çıkışındaki emisyonlar ve egzoz çıkışındaki emisyonlardan hesaplanmıştır. 3 yollu katalizörün asetaldehit emisyonlarını düşürmede etkisi vardır fakat yanmamış etanol dönüşümü azdır. Bundan başka karışimli yakıt fren özgül enerji tüketimini azaltmıştır [32].

Al-Baghdadi (2003) yaptığı çalışmada 4 zamanlı, buji ile ateşlemeli bir motorda hidrojen ve etanol karışımı kullanımının performans ve kirletici emisyonlara etkisini araştırmıştır. Testlerde kütleli olarak % 2, 4, 6, 8, 10 ve 12 hidrojen-etanol karışımı kullanılarak performansa etkileri incelenmiştir. Test motoru olarak Recardo E6/US marka, tek silindirli, 4 zamanlı, buji ile ateşlemeli, karbüratörlü yakıt sistemine sahip, sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir araştırma motoru kullanılmıştır. Çalışmada benzine hidrojen-etanol karışımı ilave edildiğinde, yalnız benzinle çalışma durumuna göre temelde ne gibi farklar olduğu karşılaştırılmıştır. Farklı oranlardaki hidrojen-etanol karışımlarının motor gücü, özgül yakıt tüketimi, CO ve NO_x emisyonları üzerindeki etkisi incelenmiştir [33].

Deneyler hidrojen-etanol karışımlarının motorun en iyi tork değerini verdiği 1500 min⁻¹'de, stokiyometrik H/Y oranında, optimum ateşleme zamanında, 7:1 ile 12:1 arasındaki sıkıştırma oranlarında yapılmıştır. Etanolün ısı değeri daha düşük olduğu için ÖYT daha yüksek çıkmıştır. Aynı sıkıştırma oranında etanolün yakıt tüketimi benzine göre %40 daha fazla bulunmuştur. Artan sıkıştırma oranı yakıt tüketimini azaltmıştır. Fakat 12:1 sıkıştırma oranındaki etanolün yakıt tüketimi, 7:1 sıkıştırma oranındaki benzinin yakıt tüketiminden %25-%28 daha fazla çıkmıştır. Hidrojenin

yüzde artışına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi azalmıştır. Hidrojen-etanol karışımli yakıtın 7:1 sıkıştırma oranında optimum ateşleme zamanında ve 1500 min⁻¹'de yapılan testinde eşdeğerlik oranı ve hidrojenin kütleli oranına bağlı olarak benzine göre daha yüksek ve daha düşük NO_x emisyonları ölçülmüştür. Hidrojen oranındaki kütleli artışa bağlı olarak NO_x emisyonlarının arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak etanol-hava karışımına hidrojen ilave edildiğinde yanma işleminin iyileştiği ve bundan dolayı yanma veriminin arttığı, etanol yakıtının genişleme ve tutuşabilirlik alanının geliştiği görülmüştür. Ayrıca motor gücü artarken, belirli şartlarda NO_x değerleri ve ÖYT azalmıştır [33].

Sekmen ve ark. (2005) tarafından buji ile ateşlemeli bir motorda sıkıştırma oranı değişiminin performans parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, buji ile ateşlemeli motorlarda güç, moment, özgül yakıt tüketimi, silindir basıncı, egzoz gaz sıcaklığı, yanma odası yüzey hacim oranı, termal verim ve ateşleme avansı gibi motor performans parametrelerinin sıkıştırma oranı ile ilişkileri incelenmiş ve yakıt ekonomisi için değişken sıkıştırma oranlı motorların kullanılması önerilmiştir. Buji ile ateşlemeli motorlarda, geometrik sıkıştırma oranının silindirdeki dolgu miktarına göre değiştirilmesi ile motor performansında artış sağlanabilir. Bu motorlarda, gerçek sıkıştırma oranı silindire alınan dolgu miktarına göre değişkenlik gösterdiğinden, geometrik olarak tasarlanan sıkıştırma oranı ancak tam gaz ve tam yük şartlarında gerçek sıkıştırma oranı olarak elde edilmektedir. Bu durum buji ile ateşlemeli motorlarda performansın ve yakıt ekonomisinin iyileştirilmesi için silindir dolgu miktarına göre değişken sıkıştırma oranını gerekli kılmaktadır. Kısmi yüklerde yanma veriminin, yakıt ekonomisinin ve emisyonların iyileştirilmesi için sıkıştırma oranının artırılması, motorun yüksek yük ve düşük hız koşullarında ise olası vuruntu ve sert çalışmayı önlemek için sıkıştırma oranının bir miktar azaltılması gerekmektedir. Teorik maksimum fren termal verimi 16:1 sıkıştırma oranında oluşmakta, bu durum vuruntuya dayanıklı yüksek oktanlı yakıt kullanımını gerektirmektedir. Ayrıca sıkıştırma oranının artışı ile maksimum basıncının yeri ÜÖN'ya yaklaşmakta, basınç yükselme hızı ise aynı sıkıştırma oranı aralığı üzerinde artmaktadır. Fakat yanma ve basınç yükselme hızı, yanma odasında vuruntunun

oluşması için belirleyici parametreler olup sıkıştırma oranının artışı sınırlamaktadır [34].

Vuruntu kontrolünde en çok kullanılan parametrelerden biri de ateşleme avansıdır. Buji ile ateşlemeli motorlarda ateşleme sistemi, değişik motor hızlarında aynı maksimum basınç-piston konumunu sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Sıkıştırma oranının artışı ile oluşacak vuruntu, belirli bir noktaya kadar ateşleme avansı değişimiyle kontrol edilebilir. Artan sıkıştırma oranlarında maksimum verimi elde etmek için ateşleme avansının bir miktar azaltılması gerekir [34].

Sekmen ve ark. (2007) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise buji ile ateşlemeli, dört zamanlı, tek silindirli bir motorun sıkıştırma oranı değişken hale dönüştürülmüş ve sıkıştırma oranı değişiminin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Sıkıştırma oranı değişimi silindir aşağı-yukarı hareket ettirilerek sağlanmıştır. Sıkıştırma oranının artırılmasıyla (7:1 - 11:1) motor gücünde artma ve özgül yakıt tüketiminde iyileşme elde edilmiştir. Aynı sıkıştırma oranı aralığında karbon monoksit (CO) emisyonlarında azalma elde edilirken, sıkıştırma oranı artışı yanma odası yüzey/hacim oranını artırdığından hidrokarbon (HC) emisyonlarında artış belirlenmiştir [35].

Buji ateşlemeli bir motorun sıkıştırma oranı değeri tespitinde vuruntuya en çok yatkın olan düşük hız maksimum yük çalışmasındaki koşullar dikkate alınmış ve motorun vuruntusuz çalışması sağlanmıştır. Kısmi yüklerde ise, motorun volumetrik verimi düşük olduğundan gerçek sıkıştırma oranı da düşük değerdedir. Sabit sıkıştırma oranlı bir motorda özellikle kısmi yüklerde sıkıştırma oranının gücü ve verimi artırıcı etkisinden yeterince yararlanılamamaktadır. Yanma veriminin, yakıt ekonomisinin ve emisyonların iyileştirilmesi için kısmi kelebek açıklıklarında sıkıştırma oranının artırılması, motorun yüksek yük ve düşük hız çalışmasında oluşabilecek vuruntu ve sert çalışmayı önlemek için de sıkıştırma oranının azaltılması gereklidir [35].

Başlangıçta yakıt muayenesi ve özellikle vuruntu ölçülmesi için kullanılan değişken sıkıştırma oranlı ilk motorlardan birisi Ricardo tarafından yapılmıştır. Sıkıştırma oranının değiştirilmesi (3,7:1-8:1) silindirin krank miline göre yükseltip alçaltılmasıyla sağlanmıştır. Sıkıştırma oranı aralığı artırılan ve geliştirilen bu motorlar, CFR motoru (Cooperative Fuel Research Committee) adıyla tanınmış ve yakıtların vuruntu ölçümleri için standart donanım haline getirilmiştir. Daha sonra, bu alandaki çalışmalar giderek yakıt ekonomisi ve performansı artırmaya yönelik olmuştur [35].

Sıkıştırma oranı 11:1 için düşük motor hızlarında yüksek olan özgül yakıt tüketimi yüksek hızlarda azalmaktadır. Bu durum, düşük motor hızlarında volumetrik verim ve vurutulu çalışma ihtimalinin yüksek olması, yüksek hızlarda yüksek türbülans, kısa ısı transfer süresi ve düşük volumetrik verimden dolayı vuruntu ihtimalinin ortadan kalkmasından kaynaklanmaktadır. Gaz kelebek açıklığının artması silindire alınan dolgu miktarını artırdığından ve sıkıştırma oranının artması ile de sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığı arttığından yanma verimi iyileşmekte özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Yüksek motor yükleri ve yüksek sıkıştırma oranlarında vurutulu yanmadan dolayı özgül yakıt tüketimi artma eğilimi göstermektedir. Motor sabit yük ve yüksek hızlarda çalışırken türbülans ve yanma hızı artmakta dolayısıyla vuruntu eğilimi azalmaktadır. Böylece yüksek motor yükleri ve yüksek hızlarda vuruntu olmadan sıkıştırma oranı düşük motor hızlarına göre daha çok artırılabilir. Kısmi yüklerde silindire alınan dolgu miktarı az olmasından dolayı düşük sıkıştırma oranlarında basınç ve sıcaklıklar düşük, yanma hızı yavaş olduğundan özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Kısmi yüklerde yüksek sıkıştırma oranlı çalışmada artan basınç ve sıcaklıkla birlikte yanma hızı artmakta özgül yakıt tüketimi azalmaktadır [35].

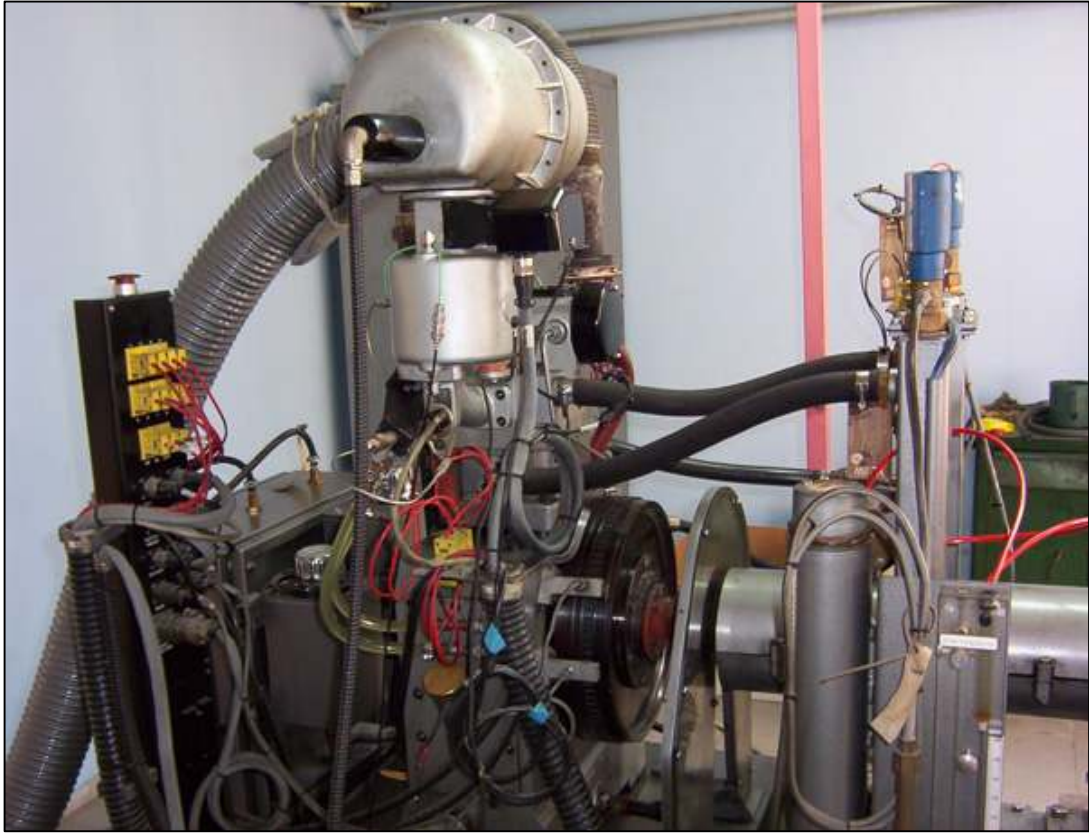
4. MATERYAL METOT

4.1. Deneyin Gerçekleştirildiği Ortam

Yapılan deneysel çalışma Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

4.2. Deney Motoru

Deneysel çalışmada Resim 4.1’de görülen buji ile ateşlemeli motor kullanılmıştır. Tek silindirli, yakıt enjeksiyonlu ve değişken sıkıştırma oranlı olan bu motorun diğer teknik özellikleri Çizelge 4.1’de belirtilmiştir.



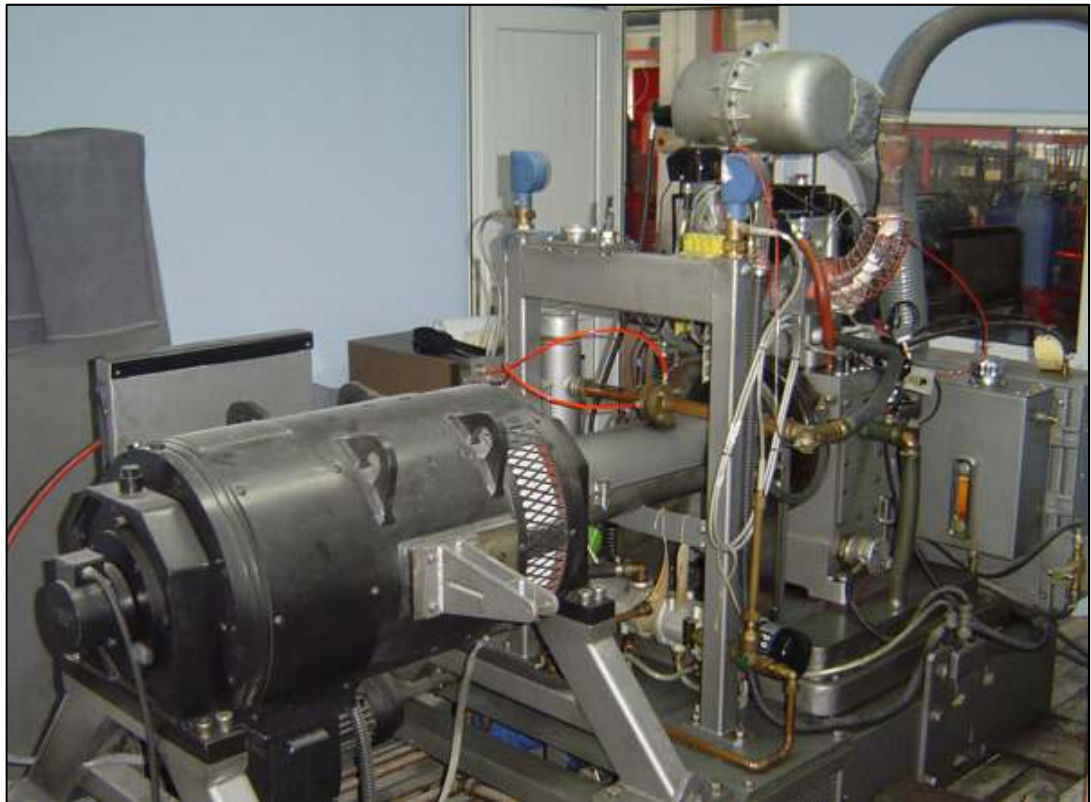
Resim 4.1. Deney motoru

Çizelge 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri

Markası	Hydra
Silindir sayısı	1
Silindir çapı (mm)	80,26
Kurs (mm)	88,9
Azami devir	5400 min ⁻¹
Azami güç	15 kW
Sıkıştırma oranı	8:1 – 13:1

4.3. Dinamometre

Deney motorunun yüklenmesinde McClure marka DC bir dinamometre kullanılmıştır. Dinamometrenin teknik özellikleri Çizelge 4.2’de yer almaktadır.



Resim 4.2. Dinamometre

Çizelge 4.2. Dinamometrenin teknik özellikleri

Üretici	McClure
Tip	Ayrı uyarımlı şönt sargılı doğru akım makinesi
Ölçüm aralığı	30 – 37 kW
Azami devir	6500 min ⁻¹
Endüvi / rotor	400 V 65 A
Topraklama	370 V
Soğutma	Elektrikli fan

4.4. Kontrol Paneli

Deneyle esnasında çeşitli motor parametrelerinin kontrolünde Resim 4.3’de görülen kontrol paneli kullanılmıştır. Kontrol paneli ile ateşleme avansı, hava-yakıt oranı, giriş hava sıcaklığı, motor devri, motor yükü, soğutma suyu ve yağlama yağı sıcaklıkları kontrol edilebilmektedir.



Resim 4.3. Kontrol paneli

Deneyleerin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle sistemde yer alan deney ekipmanlarının self testlerini yaparak ölçüme hazır hale gelmeleri beklenmiştir. Motor çalıştırılarak çalışma sıcaklığına ulaşması sağlanmış ve kontrol paneli üzerinde yer alan arıza tespit düzeneğinde herhangi bir hatanın olmadığı görülünce deneylere başlanmıştır. Panelde yer alan düğmeler vasıtasıyla motor devri, motor yükü, ateşleme zamanı ve enjektör açık kalma miktarı ayarlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Motor devri, motor momenti, ateşleme zamanı, soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları, yağlama yağı sıcaklığı, emme havası sıcaklığı, egzoz sıcaklığı ve yakıt sıcaklığı kumanda paneli üzerinde yer alan göstergeler üzerinden okunabilmektedir. Ateşleme zamanı ayrıca Bosch marka avans tabancası ile volan üzerinde yer alan işaretlerden de kontrol edilmiştir.

4.5. Hava Akış Metresi

Deneyleerde motorun hava tüketiminin ölçülmesinde Resim 4.4'te görülen Meriam marka laminar akış sistemi kullanılmıştır.



Resim 4.4. Hava akış metresi

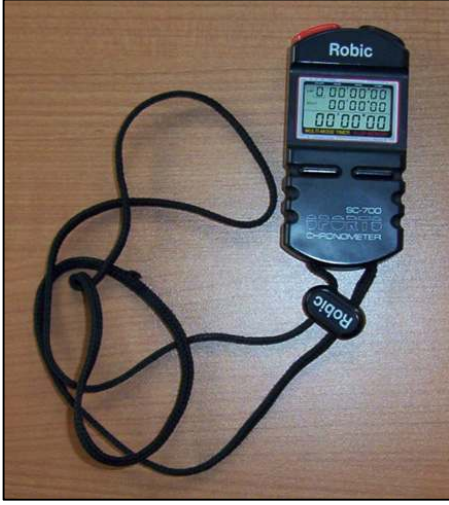
Çok sayıda ince ve uzun hava kanalları bulunan laminar akış elemanında yer alan bu kanallar sayesinde akış laminar olmaktadır. Bu akış elemanında meydana gelen basınç farkı havanın debisi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Sistemde yer alan akış bilgisayarı, laminar akış elemanında meydana gelen basınç farkını, atmosferik basıncı, sıcaklığı ve nemi dikkate alarak gerçek hava akışını hesaplanmaktadır [36].

4.6. Terazi ve Kronometre

Yakıt tüketimi kütleli olarak ölçülmüştür. Yakıt tüketimini ölçmek için Ohaus GT 8000 marka elektronik terazi kullanılmıştır. Terazi 0,1 gr hassasiyete ve azami 8 kg ölçme kapasitesine sahiptir. Yakıt ölçümünde ayrıca 1 salise hassasiyetinde Robic SC 700 marka kronometre kullanılmıştır.



Resim 4.5. Dijital terazi



Resim 4.6. Kronometre

4.7. Egzoz Emisyon Cihazı

Egzoz emisyon değerlerini almak için Resim 4.7’de yer alan Sun MGA 1500 marka egzoz gaz analizörü kullanılmıştır. Cihazın ölçüm değerleri Çizelge 4.3’te gösterilmektedir. Emisyon ölçüm sonuçları cihaz üzerindeki RS-232 portu üzerinden bilgisayara aktarılmıştır.



Resim 4.7. Sun MGA 1500 egzoz gaz analizörü ve bilgisayar

Çizelge 4.3. Egzoz gaz analizörünün özellikleri

	Ölçüm aralığı	Ölçüm hassasiyeti
Hava fazlalık katsayısı (λ)	0 – 4	0,001
O ₂ (% hacimsel)	0 – 25	0,01
CO ₂ (% hacimsel)	0 – 18	0,01
CO (% hacimsel)	0 – 14	0,001
HC (ppm)	0 – 9999	1
NO (ppm)	0 – 5000	1

4.8. Sıcaklık Ölçüm Cihazı

Motor testlerinin yapıldığı ortamın sıcaklığı Elimko 6000 marka sıcaklık ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Nikel-krom ve nikel uçlardan oluşan K tipi termokupul bağlanan cihaz 12 kanallı olup bu cihaz ile 1 °C aralıkta sıcaklık ölçümü yapılabilmektedir.



Resim 4.8. Elimko 6000 marka sıcaklık ölçüm cihazı

4.9. Deneylerde Kullanılan Yakıtlar

Yapılan deneyler esnasında 95 oktan kurşunsuz benzin (E0) ve hacimsel olarak %15 kurşunsuz benzin, %85 etanol içeren kurşunsuz benzin-etanol karışımı (E85) kullanılmıştır. Karışımın faz ayrışmasını önleyebilmek için %99,5 saflıkta etanol kullanılmıştır.

4.10. Deney

Deneye başlamadan önce motor yağı ve yağ filtresi değiştirilmiş, kullanılacak olan ölçüm cihazlarının kalibrasyonu yapılmış ve deney düzeneği kullanıma hazır hale getirilmiştir. Yapılan tüm deneylerde motor çalıştırdıktan sonra çalışma sıcaklığına gelene kadar beklenmiş ve daha sonra ölçüm işlemine geçilmiştir. Deneyler 10:1 ve 11:1 sıkıştırma oranlarında, 1500 min^{-1} ve 2000 min^{-1} motor devrinde gerçekleştirilmiştir. Ateşleme avansı 10° KMA ile 30° KMA arasında 8 farklı değerde değiştirilmiştir. Bununla birlikte vuruntu olduğu noktada bir sonraki aşamaya geçilmiş ve avans daha fazla artırılmayarak motorun vuruntulu çalışmada uzun süre çalışması engellenerek motor korunmuştur. Hava fazlalık katsayısı 0,8 ile 1,2 arasında 8 farklı değerde incelenmiştir. Bu değerler dışındaki motor parametreleri sabit tutulmuştur. Tüm deney süreçlerinde motor momenti, silindir içerisindeki basınç, ortam basıncı ve sıcaklığı, harcanan yakıt miktarı, egzoz sıcaklığı ve egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür.

4.11. Deneysel Ölçüm ve Hesaplamalar

4.11.1. Motor momenti

Motor momenti, kontrol panelinde yer alan göstergelerden direk olarak alınmıştır. Alınan değer TS 1231'e göre ortam basıncı ve sıcaklığı dikkate alınarak düzeltilmiştir. Buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılan düzeltme faktörü K_d , Eş. 4.1'de yer almaktadır.

$$K_d = \left(\frac{99}{P}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0,6} \quad (4.1)$$

Eşitlikte yer alan P, atmosferik basınç (kPa) ve T, atmosferik sıcaklıktır (K).
Düzeltilme faktörü kullanılarak hesaplanan moment ise;

$$M = K_d \cdot M_0 \quad (4.2)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Örnek hesaplama:

P=91,6 kPa, T=308 K, $M_0=26,97$ ise;

$$K_d = \left(\frac{99}{91,6}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{308}{298}\right)^{0,6} = 1,1197$$

$M = 1,1197 \cdot 26,97 = 30,198$ Nm olarak hesaplanır.

4.11.2. Efektif güç

Motor gücü Eş. 4.3'den yararlanılarak hesaplanabilir.

$$P_e = \frac{2 \cdot \pi \cdot M \cdot n}{60 \cdot 1000} \quad (4.3)$$

Örnek hesaplama:

M=30,198 Nm, $n=2000 \text{ min}^{-1}$ ise;

$$P_e = \frac{2 \cdot \pi \cdot 30,198 \cdot 2000}{60 \cdot 1000} = 6,32 \text{ kW olarak hesaplanır.}$$

4.11.3. Fren özgül yakıt tüketimi

Fren özgül yakıt tüketimi, Eş. 4.4'de görüldüğü gibi birim zamanda tüketilen yakıt miktarının efektif güce oranıdır.

$$FÖYT = \frac{\dot{m}_y}{P_e} \quad (4.4)$$

Örnek hesaplama:

40 gramlık yakıt 62,81 saniyede tüketiliyor ve $P_e=6,32$ kW ise;

$$\dot{m}_y = \frac{40 \cdot 3600}{62,81} = 2292,63 \text{ g/h}$$

$$FÖYT = \frac{2292,63}{6,32} = 362,76 \text{ g/kWh olarak bulunur.}$$

4.11.4. Hava tüketimi ve hava/yakıt oranı

Laminer akış elemanlı hava akış metresiyle havanın debisi akış elemanında meydana gelen basınç farkından yararlanılarak doğrudan ölçülebilmektedir. Havanın debisi deneyin yapıldığı ortam basıncı ve sıcaklığına göre Eş. 4.5'de görüldüğü gibi düzeltilmektedir [37].

$$Q_d = Q_{\ddot{o}} \cdot \frac{P_{ref}}{P_{\ddot{o}}} \cdot \frac{T_{\ddot{o}}}{T_{ref}} \quad (4.5)$$

Eşitlikte yer alan ifadeler;

Q_d : Düzeltilmiş hava debisi (l/d)

Q_0 : Ölçülen hava debisi (l/d)

P_{ref} : Referans basıncı (101,325 kPa)

P_0 : Deneyin gerçekleştirildiği atmosfer basıncı (kPa)

T_{ref} : Referans sıcaklık (294,26 K)

T_0 : Deneyin gerçekleştirildiği ortam sıcaklığı (K)' dır.

Kütlesel hava/yakıt oranı Eş. 4.6'daki gibi hesaplanabilir.

$$Hava/yakıt\ oranı = \frac{\dot{m}_{Hava}}{\dot{m}_{Yakıt}} \quad (4.6)$$

$\dot{m}_{Hava}$: Kütlesel hava debisi (g/h)

$\dot{m}_{Yakıt}$: Kütlesel yakıt debisi (g/h)

Eşitlikte yer alan $\dot{m}_{Hava}$ ifadesi deneysel çalışmada elde edilen düzeltilmiş havanın debisi (Q_d) kullanılarak bulunabilir.

$$\dot{m}_{Hava} = 60 \cdot \rho_{Hava} \cdot Q_d \quad (4.7)$$

ρ_{Hava} : Havanın yoğunluğu (kg/m³)

Örnek hesaplama:

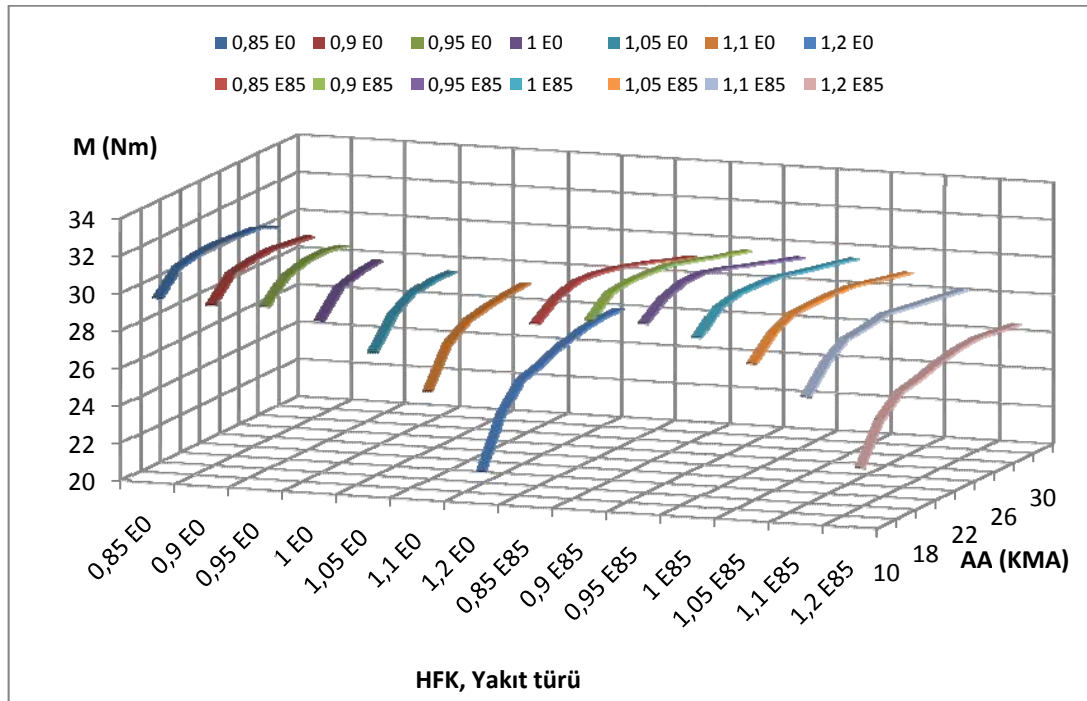
$Q_0=349$ l/d, $P_0= 91,6$ kPa ve $T_0= 309$ K ise;

$$Q_d = 349 \cdot \frac{101,325}{91,6} \cdot \frac{309}{294,26} = 405,39 \text{ l/d olarak bulunur.}$$

5. DENEYSEL BULGULAR

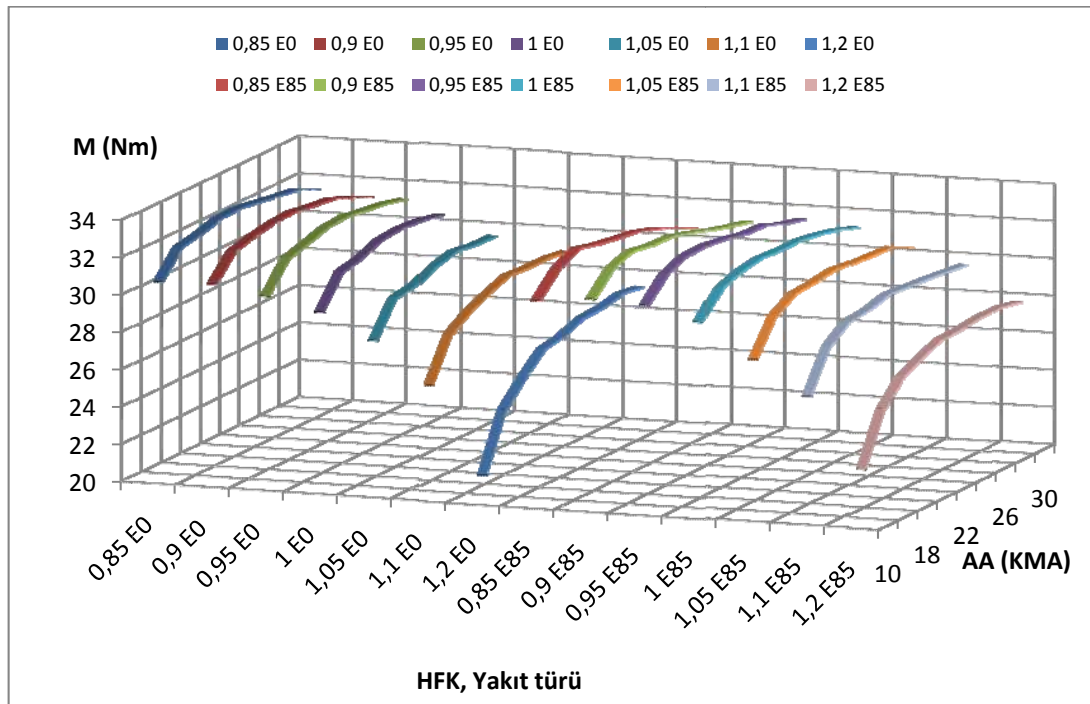
5.1. Motor Momenti

En yüksek motor momenti her iki yakıt türünde de 0,95 HFK değerinde elde edilmiştir. Bu HFK değerindeki azami motor momenti E85 yakıtında E0 yakıtına göre %0,39 daha fazladır. HFK değeri arttıkça azami motor momenti daha yüksek ateşleme avansı değerlerinde elde edilmektedir. 10:1 sıkıştırma oranı ve 1500 min^{-1} motor devrinde yapılan deneylerde E0 yakıtı 0,85 HFK değerinde 26 dereceden itibaren motorda vuruntu oluşmasına neden olmuş ve HFK değeri arttıkça vuruntu olayı daha erken meydana gelmiştir. HFK değeri 1 iken 20 derece ateşleme avansında vuruntu meydana gelmiş ve 1,2 HFK değerine kadar vuruntu oluşumu tekrar gecikmiş, 1,2 HFK değerinde 28 derecede vuruntu meydana gelmiştir. E85 yakıtı tüm HFK ve AA değerlerinde motorda vuruntu oluşturmamıştır.



Şekil 5.1. Hava fazlalık katsayısı ve ateşleme avansına bağlı olarak motor momenti değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 1500 min^{-1} , Yakıt Türü: E0 ve E85)

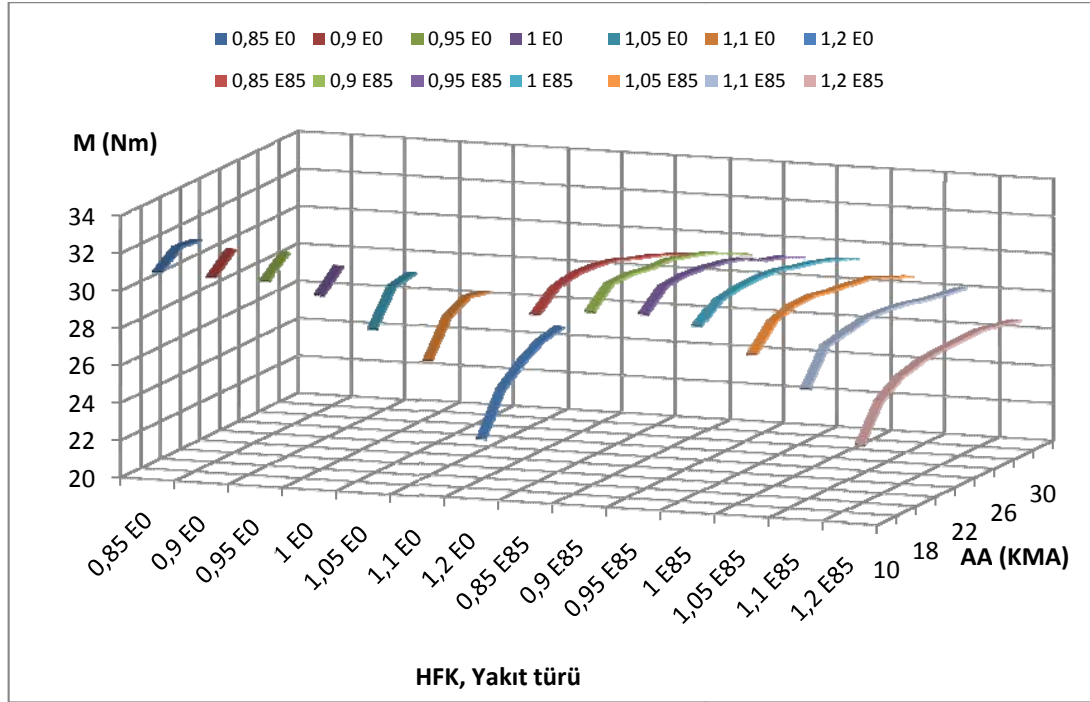
10:1 sıkıştırma oranı ve 2000 min^{-1} motor devrinde yapılan deneylerde azami motor momenti E0 yakıtında 0,85 HFK değerinde, E85 yakıtında ise 0,9 HFK değerinde oluşmuştur. E85 yakıtının azami motor momenti E0 yakıtından %0,46 daha fazladır. E85 yakıtı tüm deney koşullarında vuruntu oluşumuna izin vermemiştir. E0 yakıtı kullanımında ise artan motor devri vuruntu oluşumunu geciktirmiş ve 0,85 HFK değerinde 28 dereceye kadar ateşleme avansının arttırılmasına rağmen vuruntu oluşumuna rastlanmamıştır. 0,85 HFK'de 30 derecede görülen vuruntu, 1 ve 1,05 HFK değerinde 26 derecede meydana gelmiştir. 1,2 HFK değerinde 30 derece ateşleme avansına kadar vuruntu meydana gelmemiştir.



Şekil 5.2. Hava fazlalık katsayısı ve ateşleme avansına bağlı olarak motor momenti değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 2000 min^{-1} , Yakıt Türü: E0 ve E85)

1500 min^{-1} motor devrinde sıkıştırma oranı 11:1 değerine yükseltildiğinde E0 yakıtı çok daha erken vuruntu oluşumuna sebep olmuş ve 0,85 HFK değerinde 18 derece ateşleme avansında vuruntu meydana gelmiştir. 1 HFK değerinde 15 derecede başlayan vuruntu 1,2 HFK değerinde 22 derecede meydana gelmiştir. E85 yakıtı kullanımında 30 derece ateşleme avansına kadar vuruntu oluşumu görülmemiştir. En

yüksek motor momenti değeri E0 yakıtında 0,9 HFK değerinde, E85 yakıtında ise 0,95 HFK değerinde elde edilmiştir.

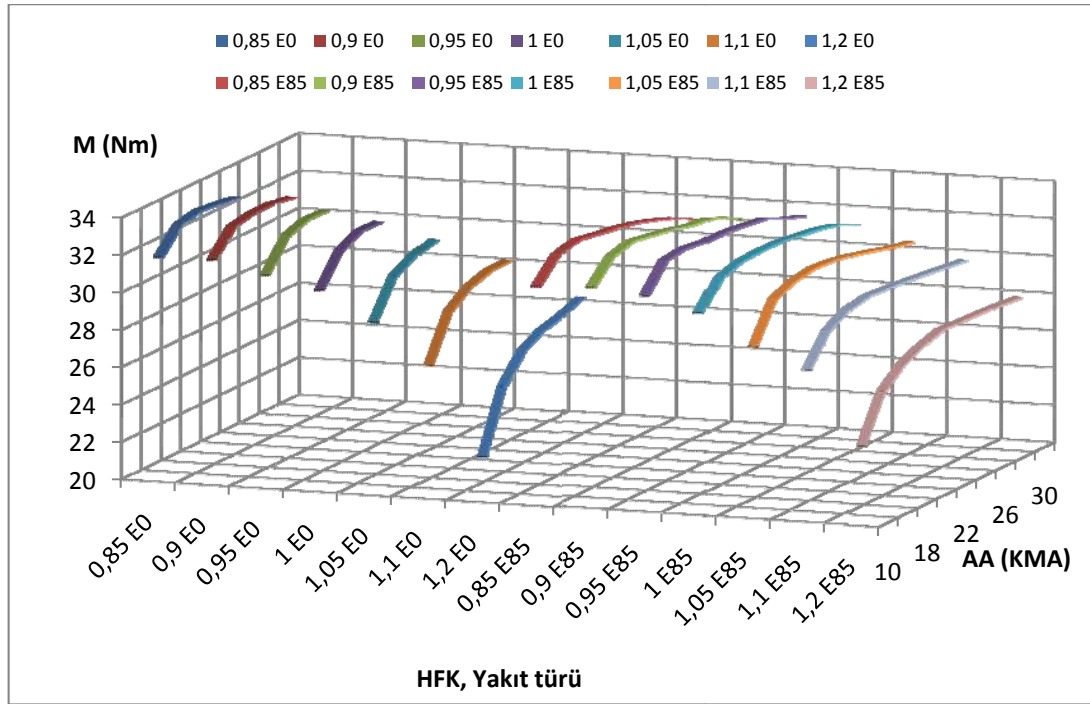


Şekil 5.3. Hava fazlalık katsayısı ve ateşleme avansına bağlı olarak motor momenti değişimi (SO: 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)

11:1 sıkıştırma oranında 2000 min⁻¹ motor devrinde E0 yakıtında vuruntu oluşumunun bir miktar geciktiği görülmüştür. Genel olarak 18 ile 22 derecelik ateşleme avanslarından itibaren vuruntu oluşumuna rastlanmıştır. E85 yakıtı yine tüm deney koşullarında 30 derece ateşleme avansına kadar vuruntuya dayanım göstermiştir. Bu şartlardaki her iki yakıt türü de azami momentlerini 0,9 HFK değerinde göstermişlerdir.

10:1 ve 11:1 sıkıştırma oranlarında her iki yakıtla gerçekleştirilen deneylerde E0 yakıtı kullanımında özellikle ateşleme avansının arttırılmasıyla vuruntunun meydana geldiği görülmüştür. Vuruntu sıkıştırma oranının arttırılmasıyla daha erken ateşleme avanslarında meydana gelmiştir. Stokiyometrik hava/yakıt karışımına göre daha fakir

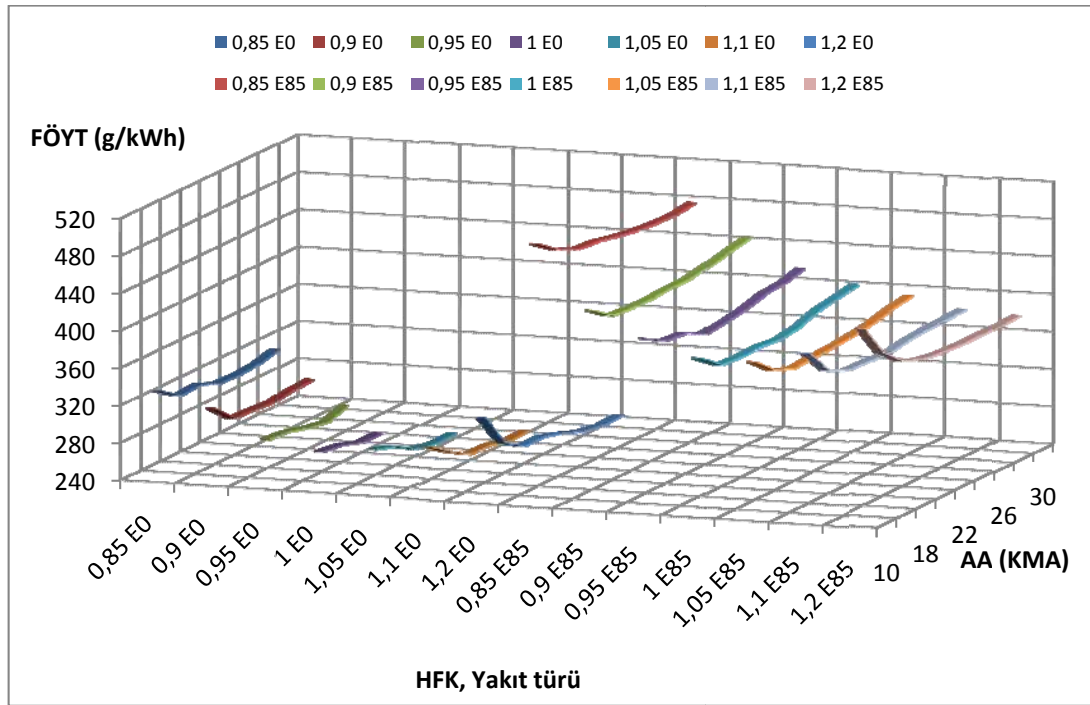
ve daha zengin karışım oranlarında vuruntu daha yüksek ateşleme avanslarında meydana gelmiştir.



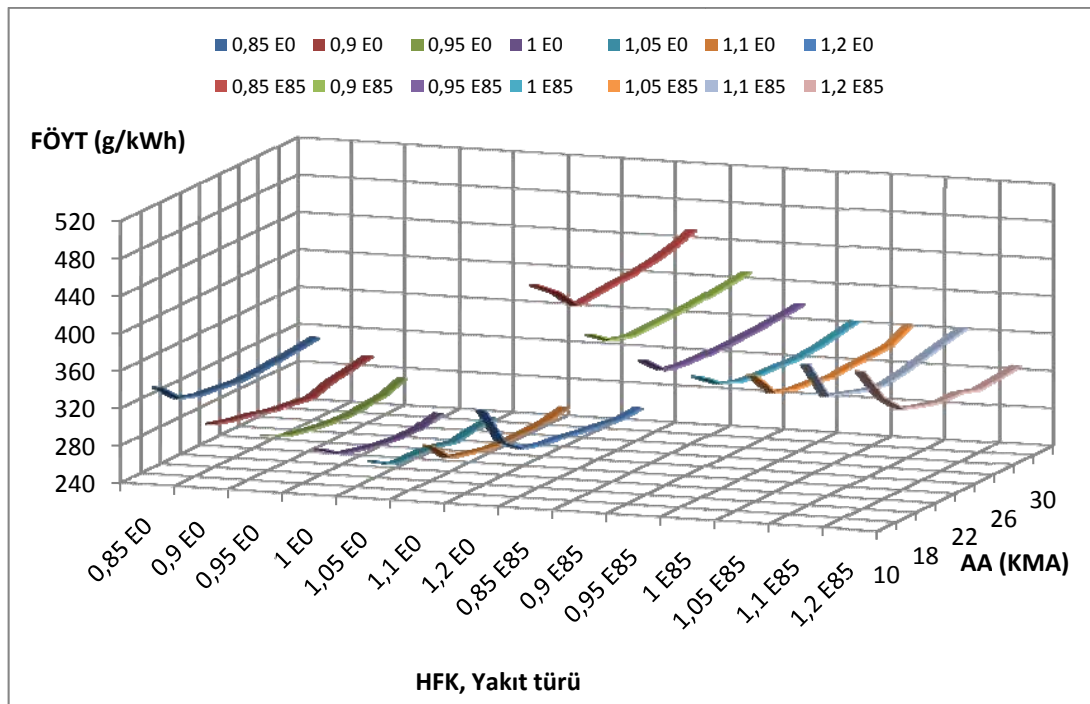
Şekil 5.4. Hava fazlalık katsayısı ve ateşleme avansına bağlı olarak motor momenti değişimi (SO: 11/1, Motor devri: 2000 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)

5.2. Fren Özgöl Yakıt Tüketimi

Fren özgül yakıt tüketimi açısından yakıtları karşılaştırdığımızda E85 yakıtının E0 yakıtına göre tüketiminin fazla olduğu dikkat çekmektedir. Etanolun benzine göre ısıl değerinin düşük olması nedeniyle motora daha fazla yakıt verilmesi gerektiğinden yakıt tüketimi E0 yakıtına göre daha fazladır. Aynı ölçüm noktasında değer alınabilen (vuruntu oluşmaksızın) veriler karşılaştırıldığında 10:1 sıkıştırma oranında 1500 min⁻¹ motor devrinde fren özgül yakıt tüketimi E85 yakıtında ortalama %45, 2000 min⁻¹ motor devrinde ise ortalama %27 artmıştır.

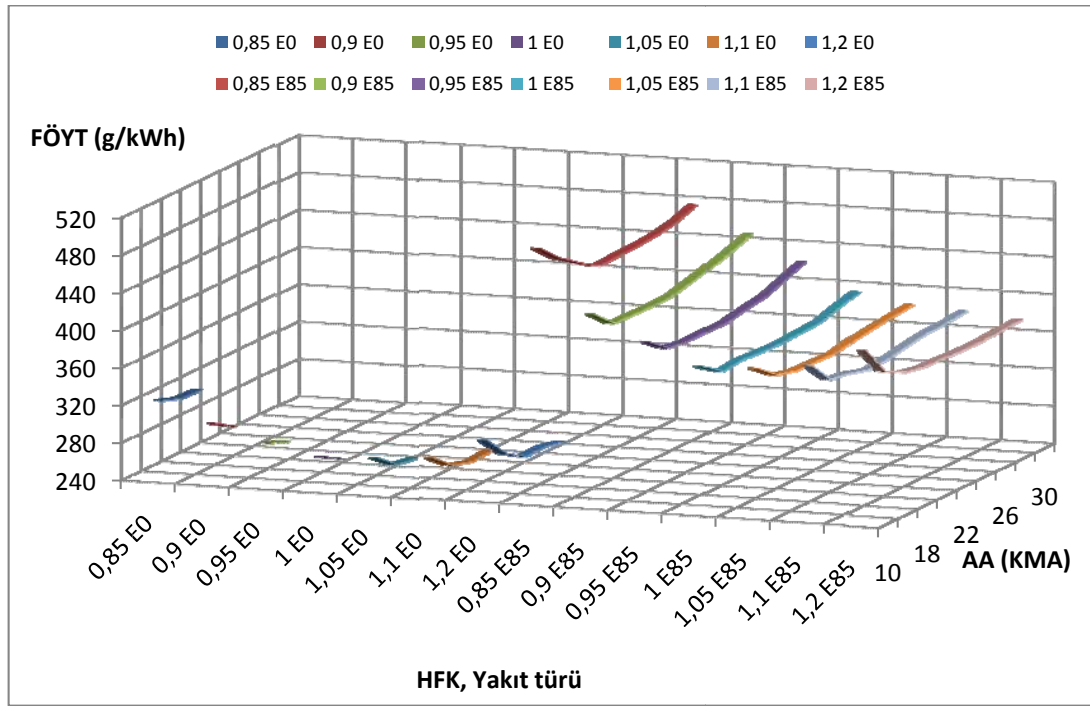


Şekil 5.5. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak fren özgül yakıt tüketiminin değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 1500 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)



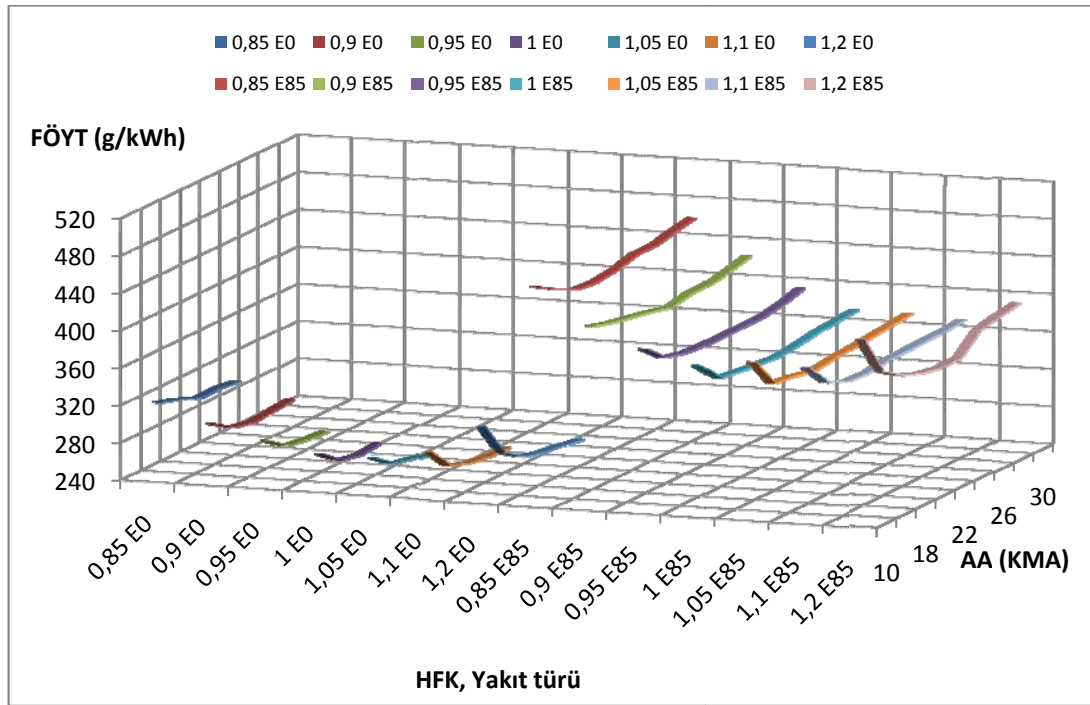
Şekil 5.6. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak fren özgül yakıt tüketiminin değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 2000 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)

11:1 sıkıştırma oranında E0 yakıtı kullanılırken vuruntu daha erken oluştuğundan uzun süreli veri alma imkanı olmamıştır. Ancak bu sıkıştırma oranında da fren özgül yakıt tüketimi 10:1 sıkıştırma oranındakine benzer bir değişim göstermektedir.



Şekil 5.7. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak fren özgül yakıt tüketiminin değişimi (SO: 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)

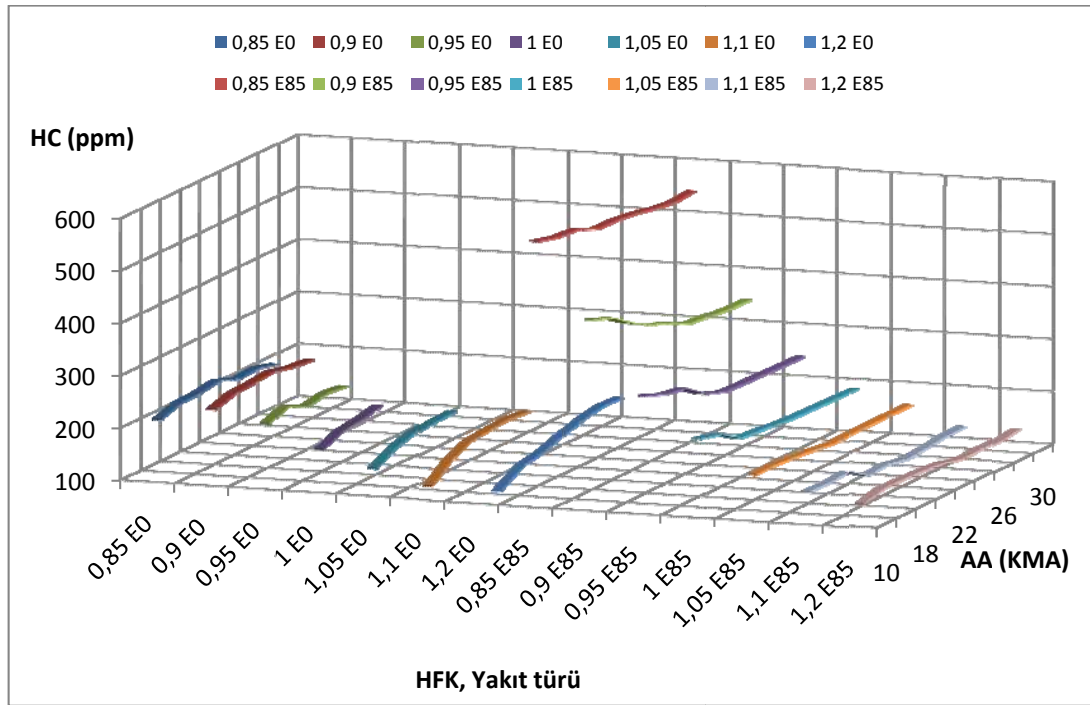
Fren özgül yakıt tüketimi, her iki sıkıştırma oranı ve motor devrinde motor momentinin artışına bağlı olarak azalırken, özellikle yanma veriminin arttığı stokiyometrik hava/yakıt oranından daha fakir karışımlarda en düşük değerine ulaşmaktadır.



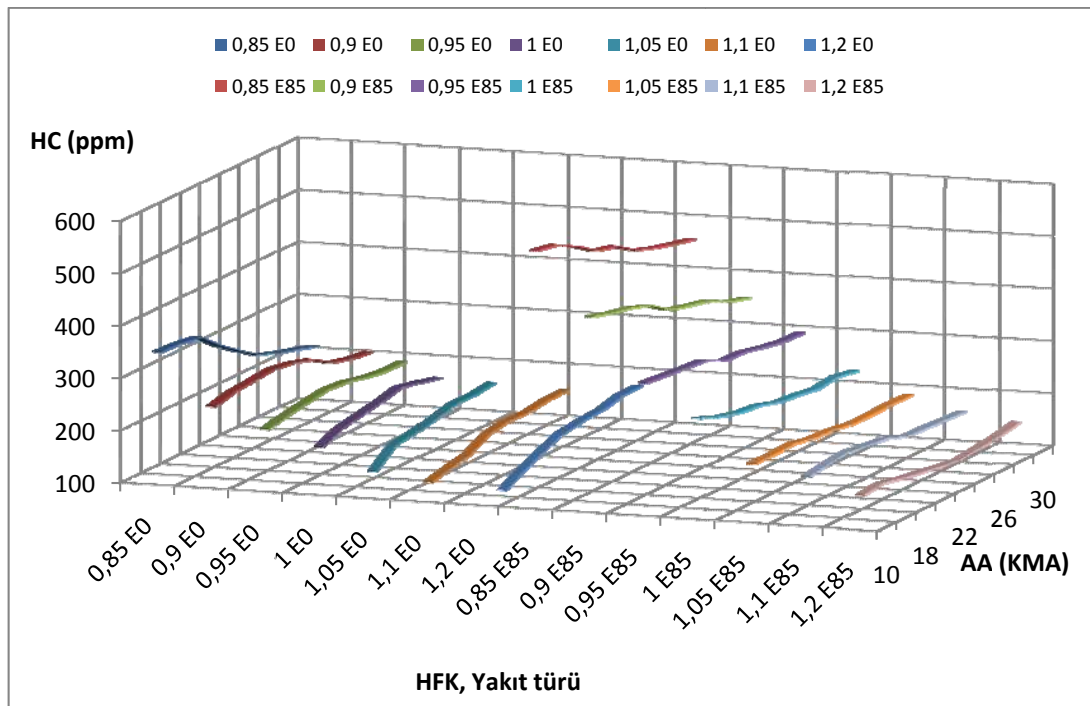
Şekil 5.8. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak fren özgül yakıt tüketiminin değişimi (SO: 11/1, Motor devri: 2000 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)

5.3. Egzoz Emisyon Değerleri

Egzoz emisyon değerleri incelenirken HC, CO, CO₂ ve NO emisyonları dikkate alınmıştır. HC emisyonu sıkıştırma oranı, ateşleme avansı ve HFK değerine bağlı olarak oldukça farklılık göstermiştir. HC emisyonu genel olarak sıkıştırma oranı ve ateşleme avansının artışına bağlı olarak artış göstermiştir. 0,85 HFK değerinden itibaren aynı sıkıştırma oranı ve ateşleme avansında hava/yakıt oranı fakirleştikçe azalmaktadır.

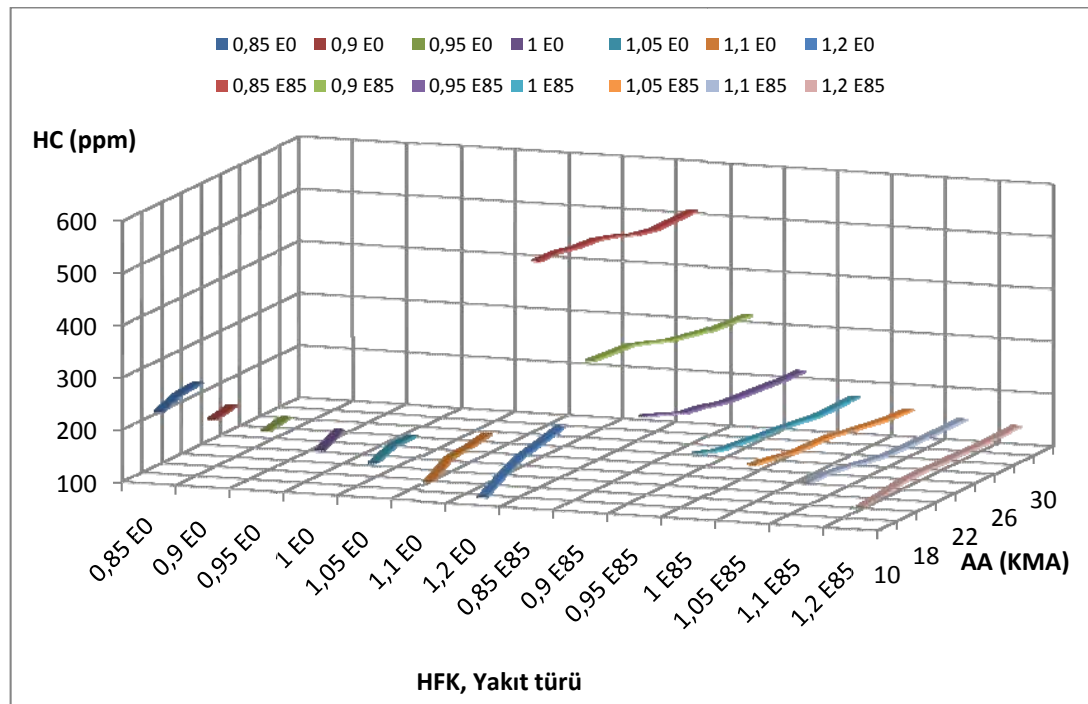


Şekil 5.9. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak HC emisyonlarının değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 1500 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)

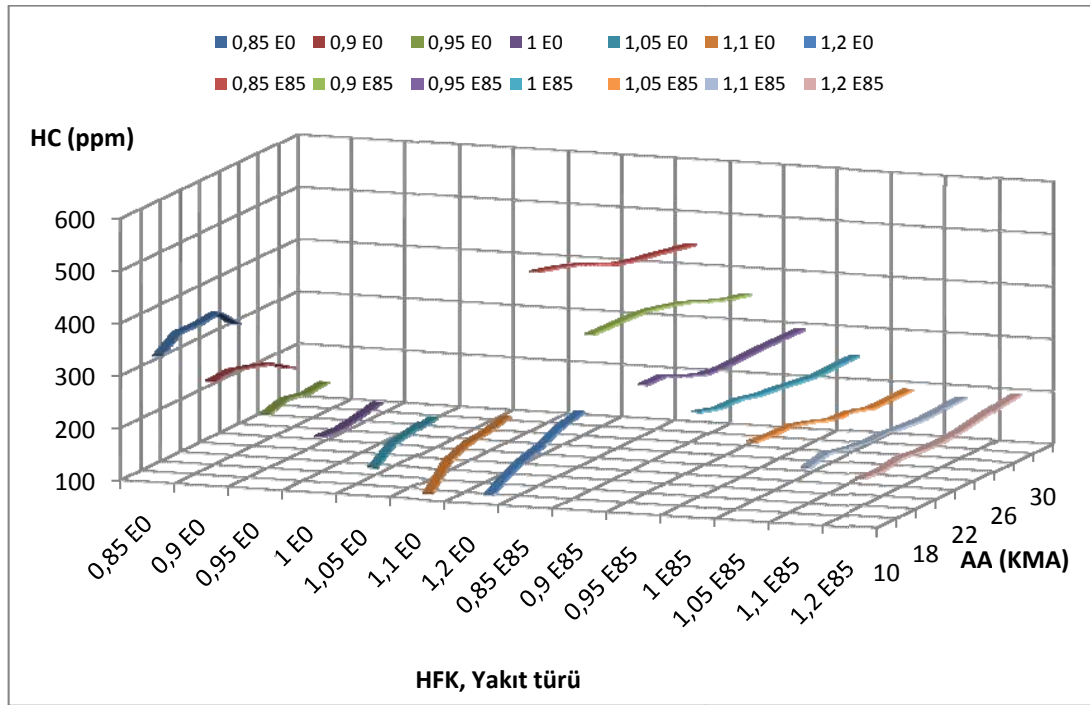


Şekil 5.10. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak HC emisyonlarının değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 2000 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)

HC emisyonu yanma odasındaki oksijen miktarına ve son gaz bölgesindeki reaksiyonlara bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu nedenle hava/yakıt oranı fakirleştirilmesiyle ortamdaki yeterli oksijenle yanma daha fazla tamamlanabilmekte ve HC emisyonu azalmaktadır. Yapılan deneylerde gerek sıkıştırma oranının gerek ateşleme avansının artırılmasıyla birlikte egzoz manifoldu üzerinden alınan egzoz gaz sıcaklık değerlerinin düştüğü görülmüştür. Bu azalma son gaz bölgesindeki kimyasal reaksiyonlarda yavaşlamaya neden olarak HC artışına neden olabileceği düşünülmüştür. E85 yakıtı kullanımında egzoz gaz sıcaklık değerleri E0'dan daha düşük elde edilmiş ve buna bağlı olarak HC emisyonları da yalnızca kurşunsuz benzine göre bir miktar artış göstermektedir. Çalışma E0 ve E85 yakıtları için stokiyometrik hava/yakıt oranlarına bağlı olarak aynı HFK değerlerinde gerçekleştirildiğinden etanolü yakıt kullanımda etanolün fakirleştirici etkisinden ve bu etkinin HC emisyonlarını azaltma eğiliminden yararlanılamamıştır.

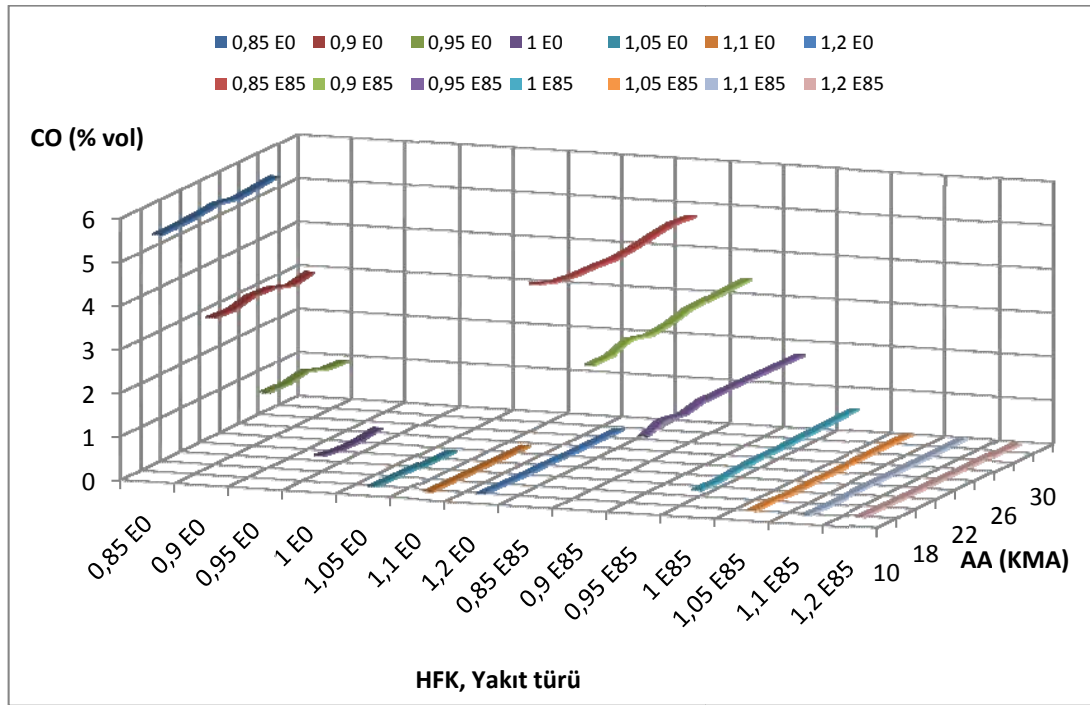


Şekil 5.11. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak HC emisyonlarının değişimi (SO: 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)

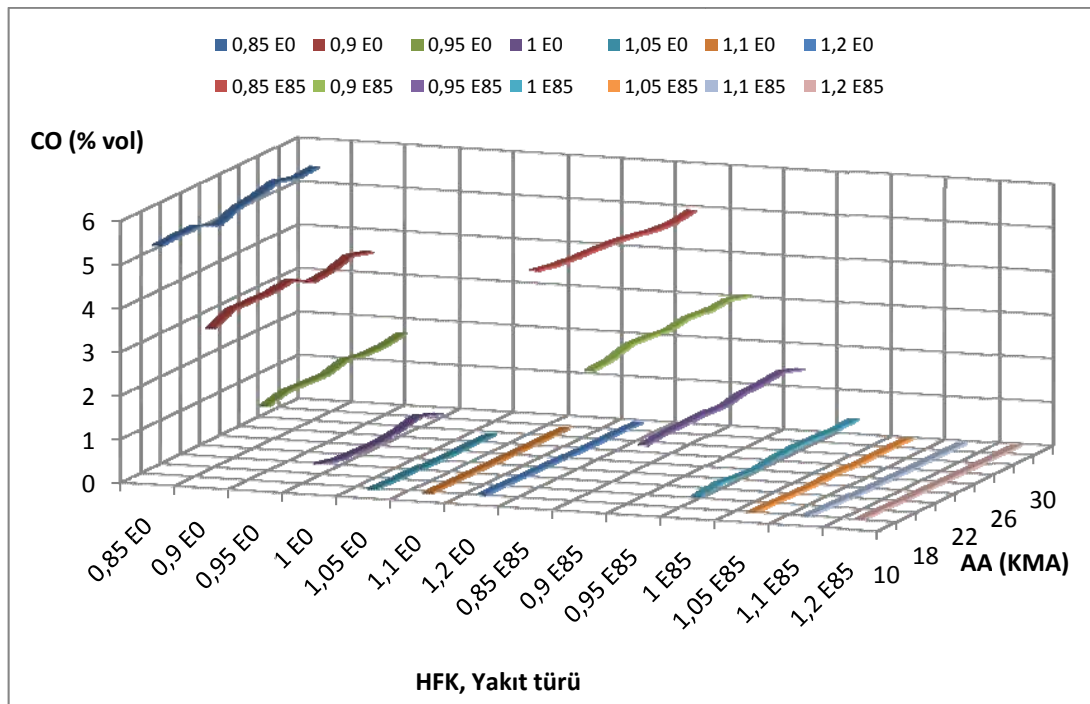


Şekil 5.12. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak HC emisyonlarının değişimi (SO: 11/1, Motor devri: 2000 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)

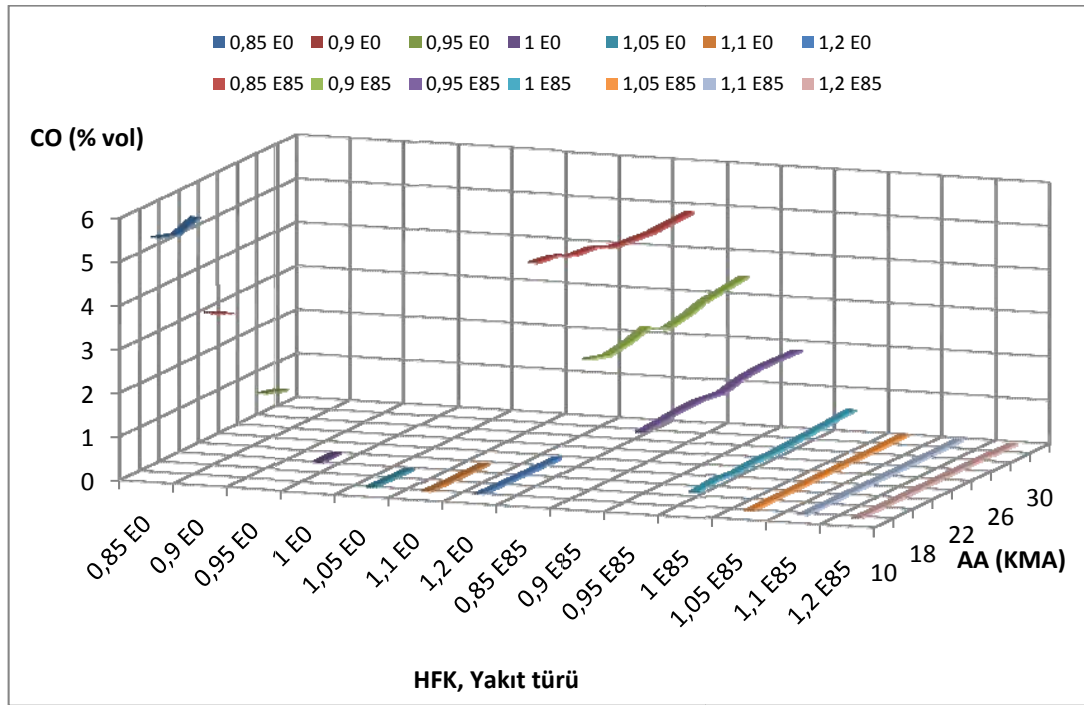
Diğer bir emisyon değeri olan CO değeri hacimsel yüzde olarak ölçülmüştür. CO emisyonu incelenen parametrelerden özellikle HFK'ye bağlı olarak değişim göstermiştir. 0,85 HFK değerinden itibaren HFK arttıkça CO emisyonu değeri iki yakıt türü için de tüm sıkıştırma oranı ve motor devirlerinde 1,05 HFK'ye kadar önemli miktarda azalmış ve 1,1 HFK'de en düşük değerini almıştır. Yanma odasındaki oksijen miktarı ve sıcaklık CO emisyonu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğundan hava/yakıt oranının fakirleştirilmesi CO emisyonunu azalmaktadır. Ancak fakirleştirmenin çok arttırılması durumunda yanma hızının düşmesi nedeniyle reaksiyon hızlarının azaldığı ve CO emisyonunun daha fazla azalmasının mümkün olmadığı dikkat çekmektedir. E0 ve E85 yakıt türleri karşılaştırıldığında her ikisinde de benzer değişimlerin olduğu ve E85 yakıtında CO emisyonunun daha düşük değerler aldığı göze çarpmaktadır.



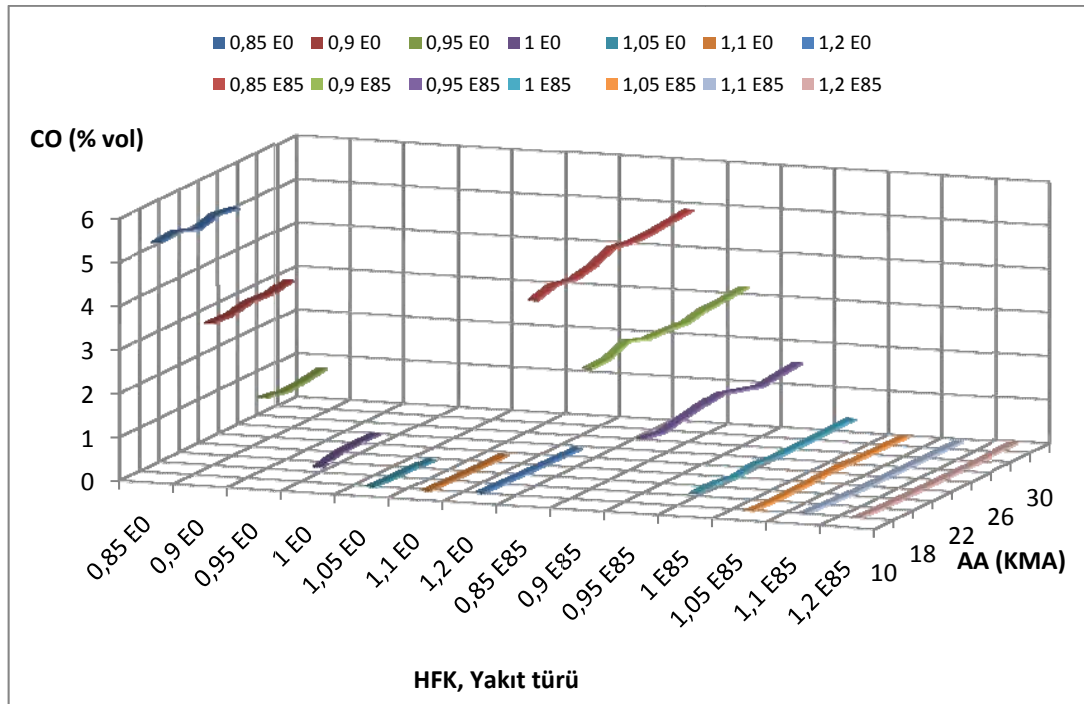
Şekil 5.13. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO emisyonlarının değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 1500 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)



Şekil 5.14. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO emisyonlarının değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 2000 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)

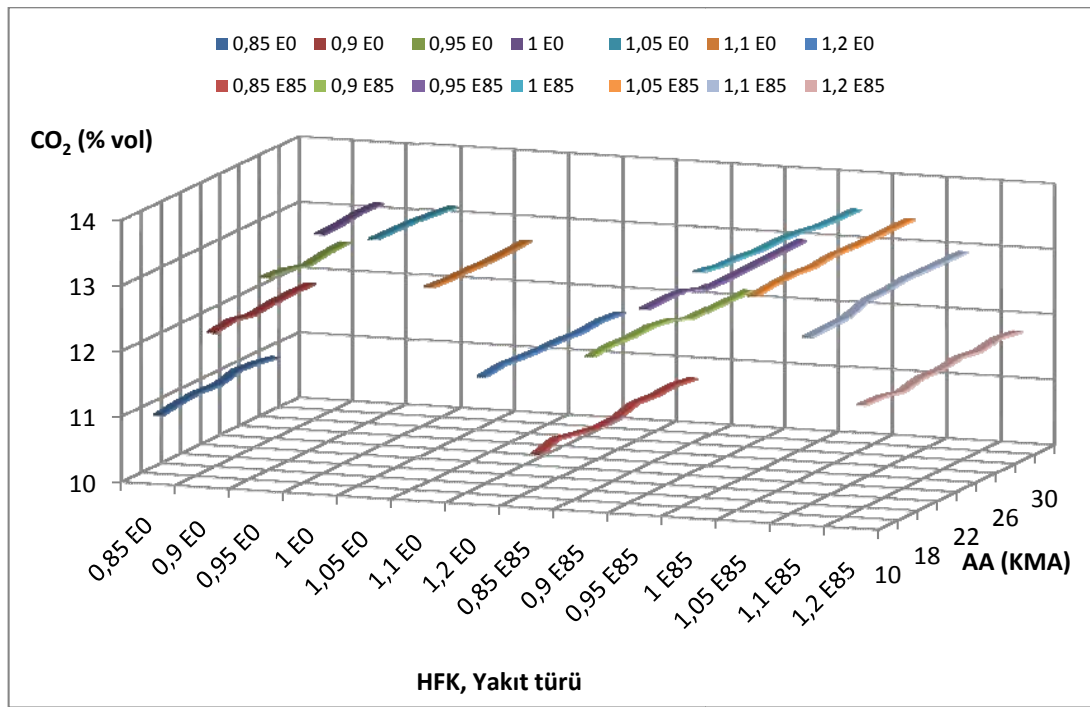


Şekil 5.15. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO emisyonlarının değişimi (SO: 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)

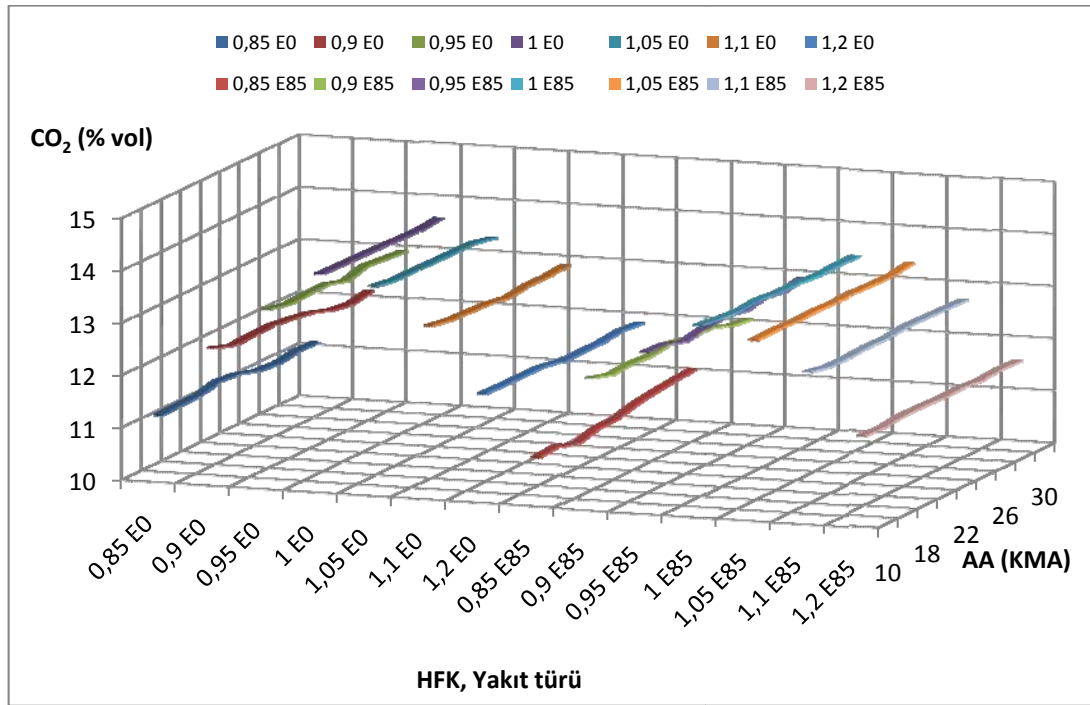


Şekil 5.16. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO emisyonlarının değişimi (SO: 11/1, Motor devri: 2000 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)

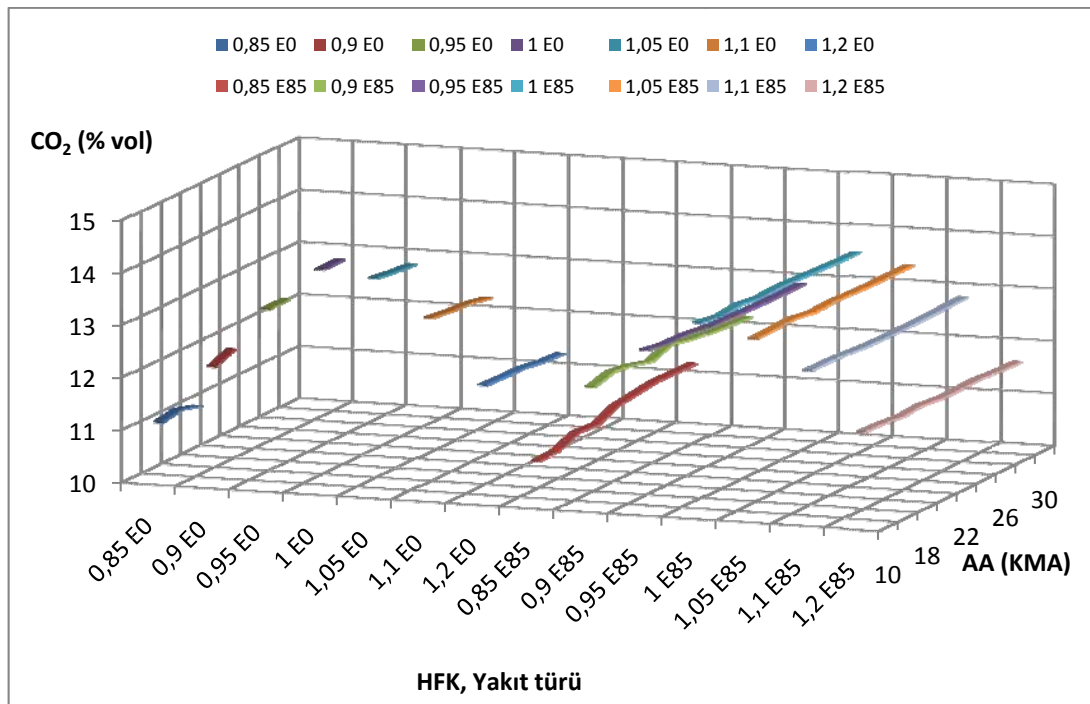
CO₂ emisyonları incelendiğinde her iki yakıtta da stokiyometrik hava/yakıt oranında CO₂'nin en yüksek değerine ulaştığı ve E85 yakıtında E0'a göre daha düşük olduğu görülmüştür. Stokiyometrik hava/yakıt oranındaki ve 10:1 ile 11:1 sıkıştırma oranındaki değerler karşılaştırıldığında 1500 min⁻¹ motor devrinde E85 yakıtında kurşunsuz benzine göre ortalama %3, 2000 min⁻¹ motor devrinde %3,9 azalma olduğu görülmüştür. Etanolün kimyasal bileşiminde karbon yüzdesinin benzine göre daha düşük olması etanolü yakıtla daha düşük CO₂ elde edilmesini sağlamaktadır.



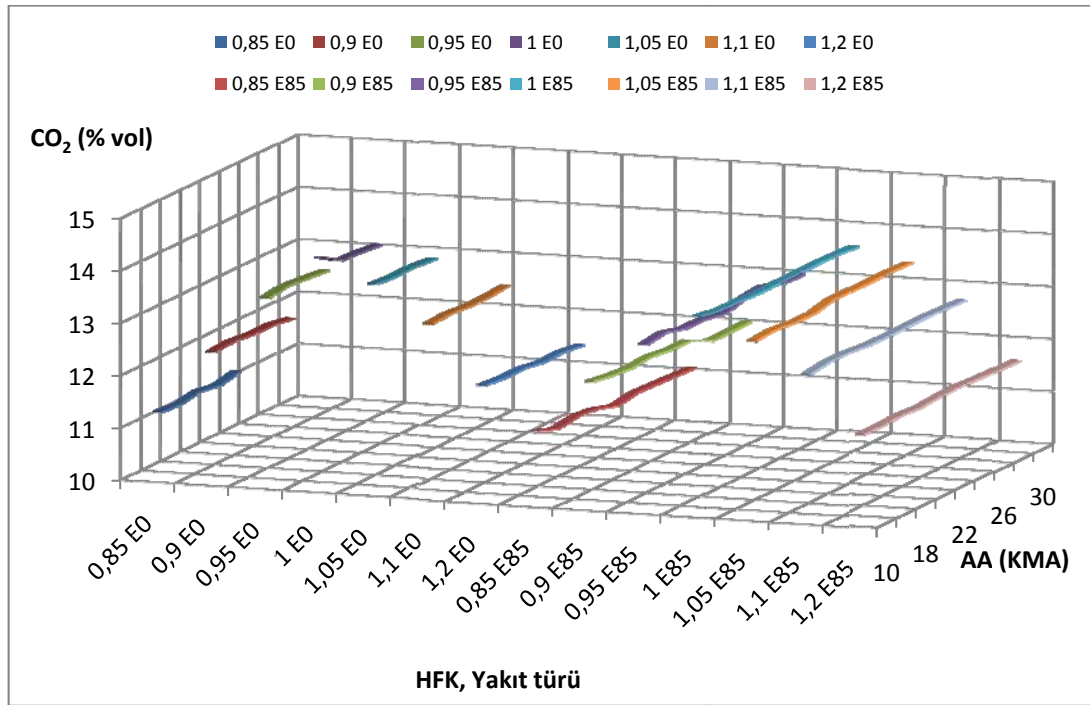
Şekil 5.17. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO₂ emisyonlarının değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 1500 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)



Şekil 5.18. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO₂ emisyonlarının değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 2000 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)

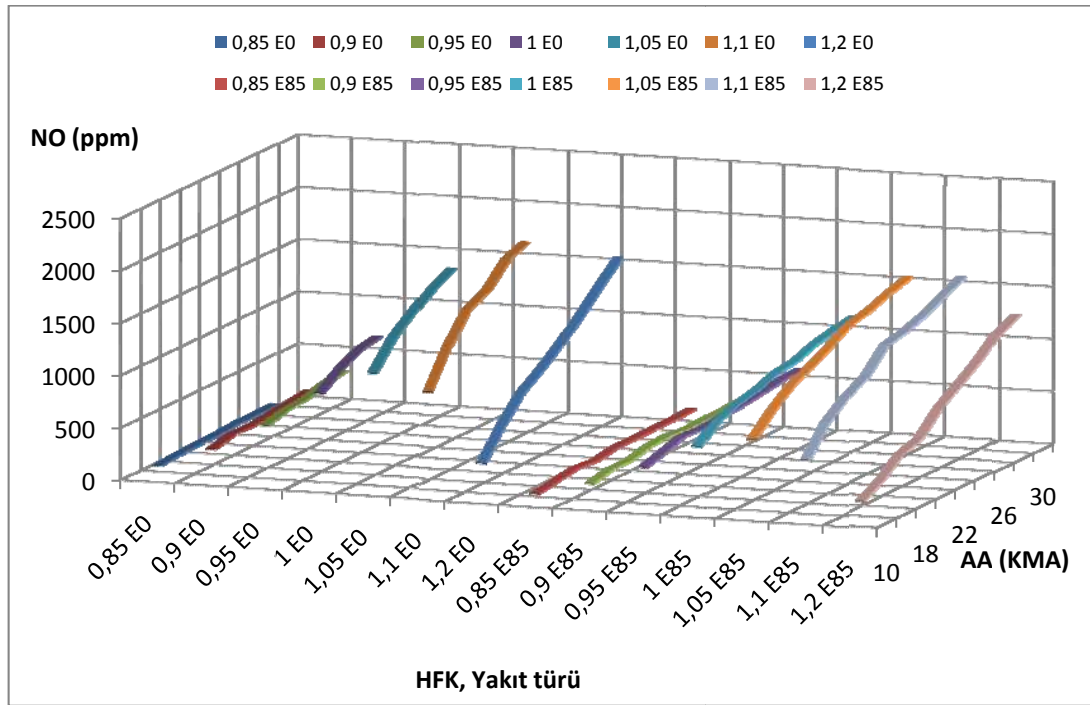


Şekil 5.19. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO₂ emisyonlarının değişimi (SO: 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)

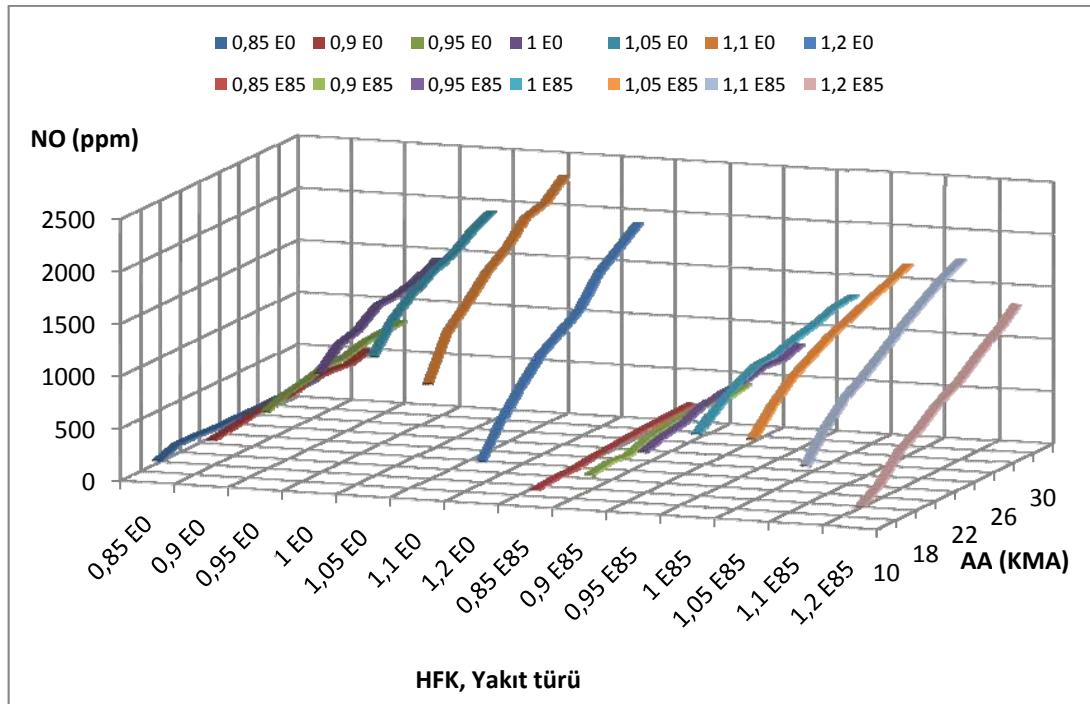


Şekil 5.20. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO₂ emisyonlarının değişimi (SO: 11/1, Motor devri: 2000 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)

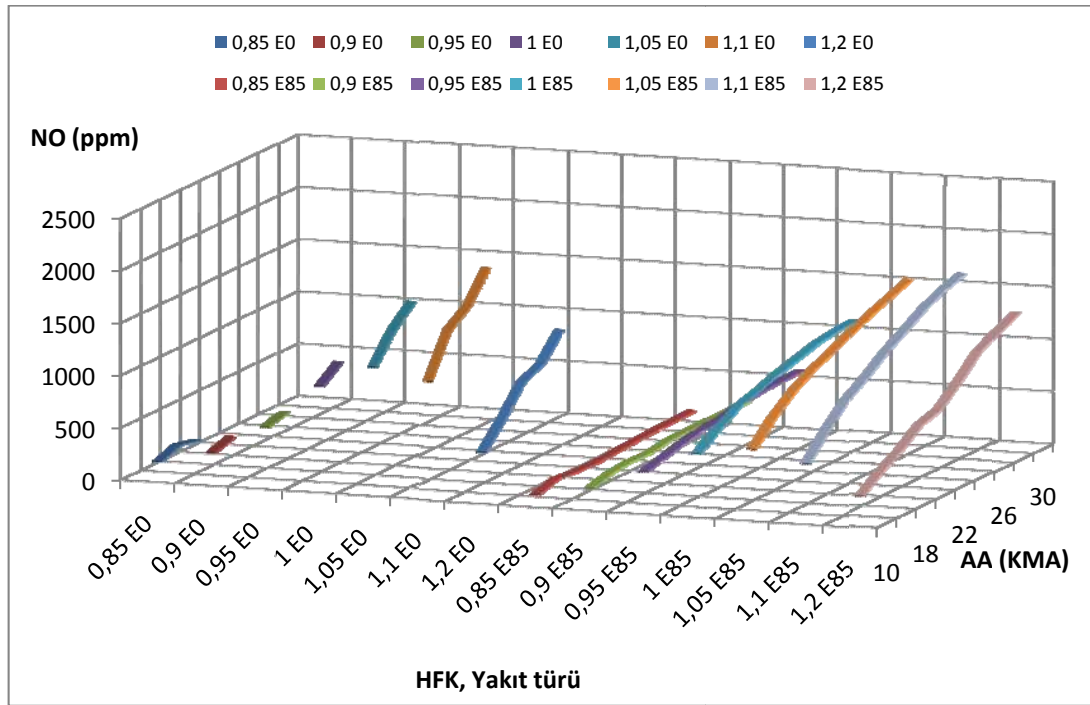
NO emisyonu yanma odasındaki oksijen miktarına ve sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir. NO emisyonlarının değişimi incelendiğinde HFK'nin stokiyometrik hava/yakıt oranından biraz daha fakir olduğu bölgede (özellikle 1,05) NO emisyonu en yüksek elde edilmiştir. Ayrıca her iki yakıtta da ateşleme avansındaki artışla birlikte NO emisyonunda da yükseliş olduğu görülmüştür. Deney yakıtları karşılaştırıldığında E85 ile daha düşük NO değerlerinin elde edildiği görülmüştür. 1500 min⁻¹ motor devrinde 10:1 sıkıştırma oranında veri alınan tüm değerler karşılaştırıldığında E0'a göre E85 ile ortalama % 28,7, 11:1 sıkıştırma oranında ise ortalama % 39,7 azalma olduğu anlaşılmıştır. 2000 min⁻¹ motor devrinde de benzer bir değişim görülmüştür. 10:1 sıkıştırma oranında ortalama % 26,9 ve 11:1 sıkıştırma oranında ortalama % 33,5 azalma etanollü yakıtla elde edilmiştir.



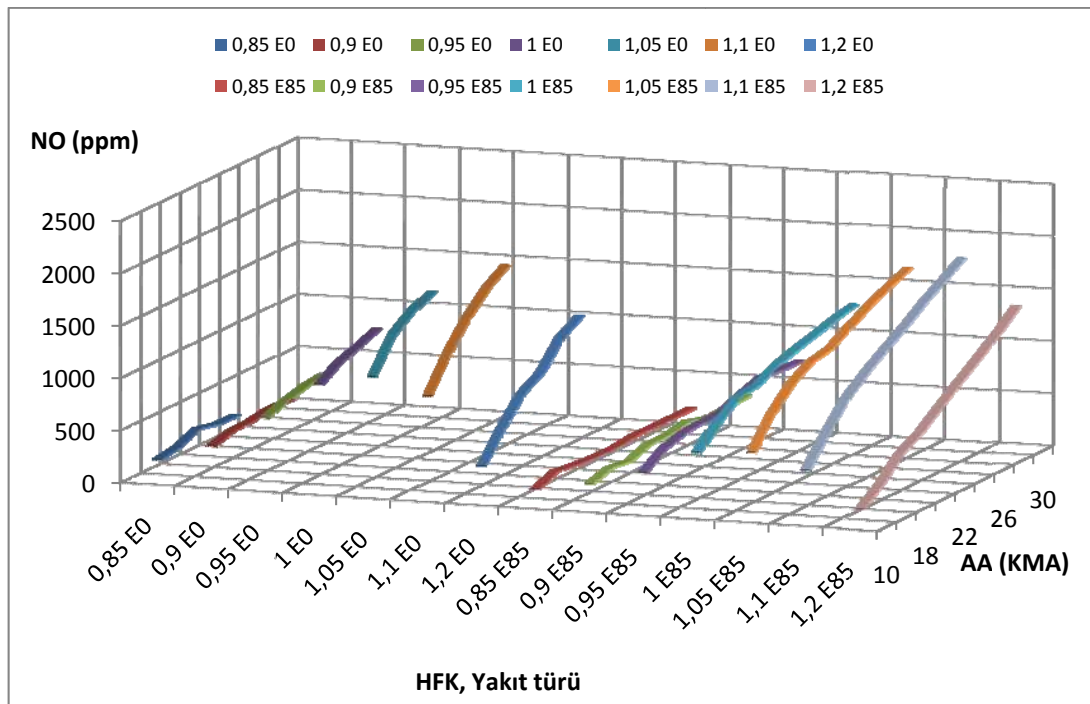
Şekil 5.21. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak NO emisyonlarının değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 1500 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)



Şekil 5.22. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak NO emisyonlarının değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 2000 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)



Şekil 5.23. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak NO emisyonlarının değişimi (SO: 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)



Şekil 5.24. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak NO emisyonlarının değişimi (SO: 11/1, Motor devri: 2000 min⁻¹, Yakıt Türü: E0 ve E85)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan ve kimyasal yapısında karbon oranı benzine kıyasla daha düşük olan etanol bu çalışmada alternatif yakıt olarak buji ile ateşlemeli bir motorda kullanılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde soğukta ilk harekette zorluk göstermesi nedeniyle buji ile ateşlemeli motorlarda etanol, benzin ile çeşitli oranlarda karıştırılarak kullanılmaktadır. Bu nedenle yapılan deneysel çalışmada, test düzeneği ve literatür dikkate alınarak E85 ve E0 yakıtları kullanılmış ve vuruşu oluşumu, motor momenti, fren özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyon değerleri bakımından birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır.

Deneyler 1500 min^{-1} ve 2000 min^{-1} motor devirlerinde, 10/1 ve 11/1 sıkıştırma oranlarında, 0,85 ile 1,2 arasındaki HFK değerlerinde ve 10 derece ile 30 derece ateşleme avansı aralığında yapılmıştır. Bu koşullar altında hem E0 yakıtının hem de E85 yakıtının değerleri ayrı ayrı ölçülmüştür.

Motor performansı yönünden iki yakıt karşılaştırıldığında vuruşu olmaksızın elde edilen motor momenti değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmüştür. E0 yakıtı kullanımında vuruşunun meydana gelmesiyle birlikte daha yüksek ateşleme avansı noktalarında motor çalıştırılamamıştır. E0 kullanımında genel olarak stokiyometrik hava/yakıt oranından daha zengin ve özellikle daha fakir olduğu hava/yakıt oranlarında vuruşunun daha geç oluştuğu görülmüştür. E85 yakıtının tüm koşullar altında vuruşuya dayanım gösterdiği belirlenmiştir. Bu nedenle E85 yakıtı ile daha fazla veri alma imkânı olmuştur.

Etanolun ısı değeri düşük olması E85 yakıtının fren özgül yakıt tüketiminde yüksek değerler elde edilmesine sebep olmuştur. Her iki yakıtla elde edilen motor momentinin birbirine yakın olmasına karşılık yaklaşık aynı motor gücü için silindir içine daha fazla E85 sürülmesi gerekmekte ve fren özgül yakıt tüketimi %36-45 artmaktadır.

Yapılan çalışmada egzoz emisyonlarından HC, CO, CO₂ ve NO emisyonları incelenmiştir. Her iki yakıtın kullanımında da HC emisyonunun sıkıştırma oranı ve ateşleme avansının artışına bağlı olarak artma eğilimi gösterdiği görülmüştür. 0,85 HFK değerinden itibaren aynı sıkıştırma oranı ve ateşleme avansı değerleri için hava/yakıt oranı arttıkça HC emisyonunda azalma elde edilmiştir. E85 yakıtı kullanımında HC emisyonları E0'a göre bir miktar artış göstermektedir.

CO emisyonu incelenen parametrelerden özellikle HFK'ye bağlı olarak değişim göstermiştir. Her iki yakıt türü için de 0,85 HFK değerinden itibaren HFK arttıkça CO emisyonu değeri tüm sıkıştırma oranı ve motor devirlerinde 1,05 HFK'ye kadar önemli miktarda azalmış ve 1,1 HFK'de en düşük değerini almıştır. CO emisyonunun oluşumu yanma odasındaki oksijen yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle hava fazlalığının olduğu fakir hava/yakıt oranlarında CO emisyonu azalmaktadır. E0 ve E85 yakıt türleri karşılaştırıldığında her ikisinde de benzer değişimlerin olduğu ve E85 yakıtında CO emisyonunun daha düşük olduğu görülmüştür.

CO₂ emisyonları incelendiğinde her iki yakıtta da CO₂'nin en yüksek olduğu noktanın stokiyometrik hava/yakıt oranında olduğu anlaşılmıştır. E85 yakıtında E0'a göre %3-4 daha düşük CO₂ emisyonu elde edilmiştir. Etanolün kimyasal bileşiminde karbon yüzdesinin benzine göre daha düşük olması etanollu yakıtla daha düşük CO₂ elde edilmesini sağlamaktadır.

NO emisyonunun değişimi incelendiğinde HFK'nin stokiyometrik hava/yakıt oranından biraz daha yüksek olduğu bölgede (özellikle 1,05) NO emisyonunun maksimum olduğu görülmüştür. Bununla birlikte her iki yakıtta da ateşleme avansındaki artışla birlikte NO emisyonunda yükseliş olduğu belirlenmiştir. NO emisyonu, yanma odasındaki oksijen miktarına ve sıcaklığa bağlı olarak değişim gösterdiğinden yanma sürecinin erkene alınması ve yanma odasında hava fazlalığını sağlayacak HFK'de motorun çalıştırılması NO oluşumunu hızlandırmaktadır. Deney yakıtları karşılaştırıldığında E85 ile %27-40 daha düşük NO değerlerinin elde

edildiği görülmüştür. Etanolun buharlaşma ısısının benzine göre yüksek olması silindir içi sıcaklıkları azaltarak NO oluşumunu yavaşlatmaktadır.

Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında kurşunsuz benzinin etanol ile karışımından elde edilen E85 yakıtı performans bakımından sadece kurşunsuz benzin kullanılan motorlarla eşdeğer bir performans sunduğu görülmektedir. Bununla birlikte egzoz emisyonlarının özellikle NO emisyonunun daha düşük seviyelerde olması E85 için önemli bir avantaj olmakta ve daha çevreci bir yakıt olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca etanol, bitkisel kaynaklı olması nedeniyle tarım alanlarının değerlendirilmesinde önem taşımakta ve yeni tarım alanları açarak işsizliğe karşı alternatif bir önlem olarak ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Pamir, N., “Enerji Güvenliği”, *ASAM*, Ankara, 5-7, 9, 12, 14 (2006).
2. Yücesu, H.S., “Doğal gazın benzin motorlarında kullanımı, amaca uygun gaz karıştırıcının tasarımı ve imalatı”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5, 70 (1991).
3. Yücesu, H.S., Altın, R., Çetinkaya, S., “Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel incelenmesi”, *Türk J. Engin Environ Sci.*, 25: 39-49 (2001).
4. Bayraktar, H., “Benzin etanol karışımlarının benzin motorlarında yanma ve motor çevrimi üzerindeki etkilerinin teorik olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 3-6, 127-130 (1997).
5. British Petroleum, *BP Statistical Review of World Energy*, London, 7 (2009).
6. Öğüt, H., Oğuz, H., “Üçüncü Milenyum Yakıtı Biyodizel”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 4,5,10 (2006).
7. Topgül, T., “Buji ile ateşlemeli motorlarda etil alkol-benzin karışımı kullanımında optimum çalışma parametrelerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4, 14, 18 (2006).
8. Tüzün, C., “Organik Kimya”, *Palme Yayın Dağıtım*, Ankara, 135-142 (1996).
9. Okay, G., “Organik Kimya”, *Seldem Ofset*, Ankara, 305-309 (1985).
10. Atkins, R.C., Carey, F.A., “Organic Chemistry: A Brief Course”, Okay, G., Yıldırım, Y., *McGraw-Hill Inc. – Bilim Kitabevi*, İstanbul, 70, 74 (1999).
11. Topgül, T., Yücesu, H.S., Çınar, C., “Etanol-benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli bir motorda farklı sıkıştırma oranlarında motor performansına etkisinin deneysel olarak belirlenmesi”, *8. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, Ankara, 345-355 (2004).
12. Acaroğlu, M., Oğuz, H., Ünal, M., “Türkiye için alternatif bir yakıt:biyoetanol, yakıt olarak kullanımı ve emisyon değerleri”, *Biyoenerji Sempozyumu*, İzmir, 202, 203 (2004).
13. Yüksel, F., Yüksel, B., “The use of ethanol-gasoline blend as a fuel in an SI engine”, *Renewable Energy*, 29: 1181-1191 (2004).

14. Xing-cai, L., Jian-guang, Y., Wu-gao, Z., Zhen, H., “Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol-gasoline blend fuel”, *Fuel*, 83: 2013-2020 (2004).
15. Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., “İçten Yanmalı Motorlar, Cilt 1”, *Uludağ Üniversitesi Vakfı Yayınları*, İstanbul, Ankara, Bursa, 79, 226, 227, 234, 249, 250, 259, 262-267 (2000).
16. Karaosmanoğlu, F., “Alkollü benzinlerin alternatif motor yakıtı olarak değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 14-17 (1990).
17. Akbulut, M.N., “Tarım ürünlerinden akaryakıt elde edilmesi”, *TBMM Genel Kurul Tutanağı 22. Dönem 4. Yasama Yılı 13. Birleşim, Ankara*, 4-5 (2005).
18. Safgönül, B., “Pistonlu Motorlar”, *İTÜ Makine Fakültesi Ofset Atölyesi*, İstanbul, 133 (1989).
19. Obert, E.F., “Internal Combustion Engines and Air Pollution”, *Harper & Row Publishers*, New York, 293, 294 (1973).
20. Rogowski, A.R., “Elements of Internal Combustion Engines”, *McGraw-Hill Book Company*, New York, 101 (1953).
21. Taylor, C.F., “The Internal Combustion Engine in Theory and Practice, Volume 2”, *The MIT Press*, London, 37 (1985).
22. Hsieh, W., Chen, R., Wu, T., Lin, T., “Engine performans and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels”, *Atmospheric Environment*, 36: 403-410 (2002).
23. Topgül, T., Yücesu, H.S., Çınar, C., Koca, A., “The effects of ethanol-unleaded gasoline blends and ignition timing on engine performance and exhaust emissions”, *Renewable Energy*, 31: 2534-2542 (2006).
24. Bayraktar, H., “Experimental and theoretical investigation of using gasoline-ethanol blends in spark-ignition engines”, *Renewable Energy*, 30: 1733-1747 (2005).
25. Bayraktar, H., “Theoretical investigation of flame propagation process in an SI engine running on gasoline-ethanol blends”, *Renewable Energy*, 32:758-771 (2007).
26. Jia, L., Shen, M., Wang, J., Lin, M., “Influence of ethanol-gasoline blended fuel on emission characteristics from a four-stroke motorcycle engine”, *Journal of Hazardous Materials*, A123: 29-34 (2005).

27. Wu, C., Chen, R., Pu, J., Lin, T., “The influence of air-fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels”, *Atmospheric Environment*, 38: 7093-7100 (2004).
28. Ceviz, M.A., Yüksel, F., “Effects of ethanol-unleaded gasoline blends on cyclic variability and emissions in an SI engine”, *Applied Thermal Engineering*, 25: 917-925 (2005).
29. Yücesu, H.S., Topgül, T., Çınar, C., Okur, M., “Effect of ethanol-gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in different compression ratios”, *Applied Thermal Engineering*, 26: 2272-2278 (2006).
30. Yücesu, H.S., Sözen, A., Topgül, T., Arcaklıoğlu, E., “Comparative study of mathematical and experimental analysis of spark ignition engine performances used ethanol-gasoline blend fuel”, *Applied Thermal Engineering*, 27: 358-368 (2007).
31. Al-Hasan, M., “Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performances and exhaust emission”, *Energy Conversion and Management*, 44: 1547-1561 (2003).
32. He, B., Wang, J., Hao, J., Yan, X., Xiao, J., “A study on emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels”, *Atmospheric Environment*, 37: 949-957 (2003).
33. Al-Baghdadi, M.A.S., “Hydrogen-ethanol blending as an alternative fuel of spark ignition engines”, *Renewable Energy*, 28: 1471-1478 (2003).
34. Sekmen, Y., Erduranlı, P., Gölcü, M., Salman, M.S., “Buji ile ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranı değişiminin performans parametrelerine etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11: 23-30 (2005).
35. Sekmen, Y., Sekmen, P., Salman, M.S., “Buji ateşlemeli bir motorda sıkıştırma oranının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (4): 745-751 (2007).
36. Ferguson, C.R., “Internal Combustion Engines (Applied Thermosciences)”, *John Wiley & Sons*, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 197, 198 (1985).
37. Meriam Instruments, “Series 1900 Flow Computer”, *Meriam Instruments*, Ohio, 17 (2002).

EKLER

EK-1 Deney sonuçları

Çizelge 1.1. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak motor momenti değişimi
(SO: 10/1 - 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹ - 2000 min⁻¹, Yakıt türü: E0)

E0		Motor Momenti (Nm)						
	HFK	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,2
	AA (°KMA ÜÖNÖ)							
SO:10/1 1500 min ⁻¹	10	29,59	29,41	29,49	28,91	27,43	25,53	21,42
	15	30,73	30,59	30,6	30,19	28,9	27,56	24
	18	30,94	30,76	30,93	30,5	29,61	28,31	25,32
	20	31	30,85	30,97	30,63	29,8	28,55	25,65
	22	30,9	30,73	30,74		29,74	28,69	26,12
	24	30,81	30,56				28,78	26,44
	26	30,38						26,61
	28							26,59
	30							
SO:10/1 2000 min ⁻¹	10	30,54	30,57	30,12	29,43	28,1	25,93	21,3
	15	31,89	31,87	31,66	31,11	29,87	28,16	24,27
	18	32,11	32,16	31,98	31,35	30,05	28,88	25,47
	20	32,44	32,37	32,33	31,8	30,61	29,37	26,51
	22	32,5	32,45	32,4	31,92	30,89	29,79	26,72
	24	32,33	32,27	32,23	31,84	30,72	29,7	27,24
	26	32,14	32,15	32,08	31,63	30,69	29,71	27,27
	28	31,98	31,73	31,81			29,55	27,53
	30	31,46	31,24					27,37
SO:11/1 1500 min ⁻¹	10	30,83	30,72	30,73	30,11	28,49	26,96	22,93
	15	31,66	31,71	31,69	31,17	30,26	28,82	25,11
	18	31,53				30,47	29,4	26,03
	20						29,14	26,69
	22							26,94
	24							
	26							
	28							
	30							
SO:11/1 2000 min ⁻¹	10	31,7	31,76	31,12	30,47	28,97	26,84	22,13
	15	32,97	33,06	32,72	32,13	30,89	29,25	25,37
	18	33,22	33,27	33,1	32,67	31,52	30,05	26,8
	20	33,1	33,28	33,04	32,63	31,87	30,4	27,41
	22	32,94	33,07				30,45	27,7
	24							28,13
	26							
	28							
	30							

EK-1 (Devam) Deney sonuçları

Çizelge 1.2. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak motor momenti değişimi
(SO: 10/1 - 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹ - 2000 min⁻¹, Yakıt türü: E85)

E85		Motor Momenti (Nm)						
	HFK	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,2
	AA (°KMA ÜÖNÖ)							
SO:10/1 1500 min ⁻¹	10	29,51	29,88	29,88	29,31	28,11	26,52	22,88
	15	30,33	30,83	30,72	30,42	29,19	27,83	24,96
	18	30,74	30,96	31,08	30,66	29,75	28,6	25,93
	20	30,68	30,91	31,09	30,63	29,79	28,71	26,18
	22	30,46	30,81	30,83	30,56	29,79	28,93	26,53
	24	30,16	30,49	30,45	30,28	29,71	28,73	26,75
	26	29,82	30,18	30,11	30,02	29,47	28,56	26,83
	28	29,42	29,88	29,74	29,78	29,2	28,38	26,69
	30	29,08	29,58	29,41	29,52	28,95	28,19	26,57
SO:10/1 2000 min ⁻¹	10	30,81	31,09	30,93	30,22	28,37	26,58	22,9
	15	31,98	32,25	32,1	31,53	30,21	28,75	25,61
	18	32,62	32,65	32,56	31,93	30,9	29,6	26,86
	20	32,34	32,46	32,62	32,12	30,99	29,75	27,41
	22	32,16	32,41	32,49	32,05	31,18	30,06	27,84
	24	32,01	32,13	32,25	32,07	31,05	29,97	27,89
	26	31,67	31,77	32,21	31,9	30,98	29,88	28,02
	28	31,2	31,47	31,79	31,65	30,91	29,76	28,03
	30	30,7	31,21	31,53	31,27	30,37	29,64	27,8
SO:11/1 1500 min ⁻¹	10	29,8	30,12	30,17	29,73	28,4	26,73	23,93
	15	30,72	31,12	31,15	30,61	29,64	28,54	25,82
	18	31	31,14	31,25	30,79	29,98	28,76	26,57
	20	30,92	30,94	31,15	30,83	30,02	29,04	26,86
	22	30,71	30,9	30,99	30,72	29,79	28,95	26,97
	24	30,3	30,6	30,66	30,41	29,66	28,79	26,99
	26	29,96	30,27	30,06	30,16	29,51	28,5	27,02
	28	29,51	29,74	29,75	29,8	29,01	28,3	26,82
	30	29,05	29,2	29,2	29,33	28,57	28,12	26,6
SO:11/1 2000 min ⁻¹	10	31,43	31,53	31,26	30,53	28,9	27,84	23,98
	15	32,61	32,7	32,67	31,93	30,95	29,46	26,38
	18	32,91	33	32,81	32,29	31,43	30,08	27,31
	20	32,71	32,81	32,66	32,36	31,62	30,33	27,83
	22	32,55	32,63	32,68	32,34	31,53	30,24	28,19
	24	32,31	32,34	32,54	32,19	31,32	30,13	28,13
	26	31,97	32,22	32,4	32,03	31,05	30	28,08
	28	31,56	31,75	31,9	31,75	30,73	29,85	28,01
	30	31	31,15	31,53	31,25	30,51	29,72	27,92

EK-1 (Devam) Deney sonuçları

Çizelge 1.3. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak FÖYT değişimi
(SO: 10/1 - 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹ - 2000 min⁻¹, Yakıt türü: E0)

E0		Fren Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)						
	HFK	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,2
	AA (°KMA ÜÖNÖ)							
SO:10/1 1500 min ⁻¹	10	331,7	316,84	287,27	278,1	284,1	290,98	325,6
	15	317,02	296,52	285,79	275,18	277,51	276,03	288,9
	18	318,74	295,22	279,88	267,78	264,77	263,59	275,88
	20	310,34	293,61	275,98	267,68	261,76	263,18	275,6
	22	309,28	296,62	283,45		262,32	258,01	269,4
	24	310,95	297,86				258,51	261,6
	26	316,58						257,75
	28							258,68
	30							
SO:10/1 2000 min ⁻¹	10	338,3	303,32	294,54	283,42	274,12	294,86	335,9
	15	317,32	297,21	284,66	268,8	261,4	271,95	291,93
	18	310,48	293,34	280,08	263,39	260,96	266,66	275,75
	20	307,77	287,4	276,38	258,57	260,19	261,62	269,93
	22	304,84	284,51	274,33	255,6	254,83	260,23	267,22
	24	305,2	281,1	275,55	255,61	258,6	259,89	263,43
	26	307,01	288,37	277,5	261,63	260,21	261,06	260,53
	28	309,03	291,57	285,32			265,56	256,88
	30	311,69	295,31					258,23
SO:11/1 1500 min ⁻¹	10	322,04	301,04	284,04	273,24	275,67	277,99	300,75
	15	314,45	288,12	275,91	261,06	258,58	260,37	276,25
	18	313,41				255,04	253,98	263,37
	20						255,43	263,84
	22							259,04
	24							
	26							
	28							
	30							
SO:11/1 2000 min ⁻¹	10	319,8	300,53	286,18	275,56	274,86	285,2	316,24
	15	313,11	286,79	270,85	259	259,12	261,83	278,54
	18	304,4	282,23	267,54	254,63	254,65	254,15	264,59
	20	304,86	284,05	265,51	256,86	249,57	250,79	259,16
	22	302,17	286,37				250,25	256,17
	24							252,77
	26							
	28							
	30							

EK-1 (Devam) Deney sonuçları

Çizelge 1.4. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak FÖYT değişimi
(SO: 10/1 - 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹ - 2000 min⁻¹, Yakıt türü: E85)

E85		Fren Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)						
	HFK	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,2
	AA (°KMA ÜÖNÖ)							
SO:10/1 1500 min ⁻¹	10	514,52	447,42	421,11	404,07	403,64	416,37	446,48
	15	498,88	432,14	408,94	386,94	384,93	388,14	410,21
	18	489,45	430,36	407,12	385,4	376,92	378,27	391,59
	20	487,65	429,75	396,19	386,35	378,48	377,45	383,57
	22	482,78	431,34	398,95	383,67	379,16	375,1	380,18
	24	478,98	431,74	402,45	386,86	381,46	379,02	378,8
	26	476,8	435,76	408,65	394,57	384,78	381,12	378,9
	28	475,6	441,04	410,23	398,04	390,34	382	378,36
	30	478,7	445,28	415,89	402,2	393,79	383,1	380,04
SO:10/1 2000 min ⁻¹	10	473,6	424,6	400,64	387,1	392,02	407,48	403,53
	15	456,65	409	380,7	370,05	363,93	363,64	366,32
	18	432,46	402,85	376,61	361,79	357,13	356,88	343,84
	20	434,3	403,37	375,63	358,96	355,01	349,89	336,65
	22	436,31	403,97	375,58	357,96	349,81	346,87	330,57
	24	437,27	404,75	376,33	356,16	352,1	350,21	330,44
	26	440,16	406,54	377,21	357,76	353,01	355,55	323,81
	28	445,03	408,89	378,89	361,32	353,95	360,3	325,78
	30	452,68	411,42	380,8	365,63	364,95	365,19	328,58
SO:11/1 1500 min ⁻¹	10	509,99	443,1	417,3	394,58	396,26	402,79	423,65
	15	489,76	423,43	400,76	379,47	379,26	377,97	390,89
	18	474,47	422,7	397,68	381,97	373,82	374,92	379,64
	20	461,51	421,99	398,16	380,27	373,03	369,14	375,26
	22	462,56	422,86	398,72	379,45	372,03	371,29	374,53
	24	463	428,28	403,09	380,85	376,9	375,5	373
	26	464,87	434,66	406,2	382,04	380,03	378,46	372,77
	28	468,98	441,67	414,55	388,82	382,24	379,14	374,45
	30	476,74	449,33	422,67	394,53	384,55	381,28	375,76
SO:11/1 2000 min ⁻¹	10	468,95	430,62	409,97	396,1	403,6	401,23	435,06
	15	456,62	424,51	391,31	373,3	371,03	375,78	390,37
	18	446,58	420,15	385,69	370,17	368,43	366,46	376,27
	20	444,63	415,89	384,08	367,91	363,43	364,98	368,36
	22	447,36	410,29	384,73	365,55	366,32	368,18	364,21
	24	453,62	414,79	384,79	368,08	367,96	368,87	364,83
	26	453,34	415,55	384,86	371,76	370,3	369,76	384,66
	28	458,63	420,22	388,81	372,99	372,45	370,04	389,88
	30	462,25	425,38	394,78	375,06	375	371,97	393,64

EK-1 (Devam) Deney sonuçları

Çizelge 1.5. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak HC emisyonları değişimi
(SO: 10/1 - 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹ - 2000 min⁻¹, Yakıt türü: E0)

E0		HC (ppm)						
	HFK	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,2
	AA (°KMA ÜÖNÖ)							
SO:10/1 1500 min ⁻¹	10	210,2	235	214,4	172	142	117	76,6
	15	224	248	230,2	189	164	148	105,4
	18	225	250	212,6	194	176	166	128
	20	231	254	220	202,6	180	170	134,6
	22	216	245,2	215		181,6	173	148,4
	24	219	241				168,4	161
	26	208						168
	28							166
	30							
SO:10/1 2000 min ⁻¹	10	344	246	208,8	181,8	142	128	77
	15	341,8	256	219	200	174	137,4	98
	18	336	259	225	207	179,3	145,4	121
	20	303	263	231	214	189,6	167,2	139
	22	275	258,2	228	224	199,6	173,2	156
	24	249	246,4	219	216	199	171,6	162
	26	234,8	222,8	213,2	207	204	177,2	165
	28	224,2	212,6	213			178,6	175
	30	212	207,2					175,4
SO:11/1 1500 min ⁻¹	10	229	221	205	175	157	129	105,8
	15	244,8	229	212,8	195	172,6	155,6	130
	18	248,2				173	159	148,8
	20						166	158
	22							168
	24							
	26							
	28							
	30							
SO:11/1 2000 min ⁻¹	10	331	290	232	197	144	103,4	89
	15	358	292,8	245	194	173	147,4	116,4
	18	356,4	282	236,2	199,6	180	163	135
	20	360	269,2	240,4	208	186	167,4	146
	22	321	244				177	164,6
	24							175,4
	26							
	28							
	30							

EK-1 (Devam) Deney sonuçları

Çizelge 1.6. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak HC emisyonları değişimi
(SO: 10/1 - 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹ - 2000 min⁻¹, Yakıt türü: E85)

E85		HC (ppm)						
	HFK	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,2
	AA (°KMA ÜÖNÖ)							
SO:10/1 1500 min ⁻¹	10	595,8	452,8	315	240	178	152	133,2
	15	585,2	438	300	230	178	150	144
	18	582,6	410,8	293	205	175	153	143
	20	565,2	390	265	202	170	126,8	141
	22	564,4	375	251,4	197	165	130	138
	24	559,34	356,6	249,73	194	166	122	127,6
	26	550,6	353,08	248,8	193	166	125	129
	28	545,2	348,75	247	191,5	166	130	128,6
	30	548,2	347,6	246,2	190	166	131	134
SO:10/1 2000 min ⁻¹	10	584,2	464	344	283	203	184	156
	15	577	453	340	268	203	190	161
	18	556	445	336	258	205	195	152
	20	530,2	431,6	333	254	197	190,6	146
	22	521	406	315,4	241,8	195	186	139
	24	495,6	395,8	314	238	189	171	134
	26	482	387	305	232	190	170	138
	28	472	368	298	237	191	167	143
	30	463	357,2	297	229,8	190	165	151
SO:11/1 1500 min ⁻¹	10	561	378,8	280	216	201,2	173,2	133
	15	559,6	375	265,6	204	195	172	137
	18	552	372	250	199	187	167	144
	20	548,4	359,2	244	194	185,6	159	145
	22	537,4	345	235	190	184	152,2	143
	24	522,3	337	231	185	176	151	143
	26	514	329	228	179	170	150	141
	28	514	326	224	179	164	150	142
	30	514	323	223	180	161,8	150	144,2
SO:11/1 2000 min ⁻¹	10	538,4	425	336	291	241	198	182
	15	528	423	334,8	280	237	207	178,2
	18	515,4	422	316,2	279	236	197,4	185
	20	499	418	302	269	224,6	190	180
	22	481	408	298,8	264	210,6	190	178
	24	470	397	299	258	207,5	186	181
	26	463,4	381	300	252	195	183	188
	28	455	367	299	253	195	185	194
	30	447	358	298	253	195	186	200

EK-1 (Devam) Deney sonuçları

Çizelge 1.7. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO emisyonları değişimi
(SO: 10/1 - 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹ - 2000 min⁻¹, Yakıt türü: E0)

E0		CO (% hacimsel)						
	HFK	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,2
	AA (°KMA ÜÖNÖ)							
SO:10/1 1500 min ⁻¹	10	5,556	3,734	2,1	0,732	0,1	0,08	0,12
	15	5,56	3,696	2,082	0,654	0,09	0,07	0,1
	18	5,582	3,802	2,162	0,642	0,08	0,06	0,08
	20	5,63	3,768	1,994	0,71	0,074	0,06	0,08
	22	5,532	3,62	1,958		0,07	0,05	0,07
	24	5,568	3,704				0,05	0,07
	26	5,61						0,07
	28							0,07
	30							
SO:10/1 2000 min ⁻¹	10	5,366	3,55	1,846	0,606	0,1	0,09	0,12
	15	5,398	3,768	1,974	0,496	0,08	0,09	0,12
	18	5,39	3,749	1,943	0,473	0,08	0,08	0,1
	20	5,19	3,73	1,912	0,454	0,07	0,07	0,09
	22	5,38	3,812	2,038	0,502	0,06	0,07	0,08
	24	5,442	3,542	1,95	0,618	0,07	0,06	0,07
	26	5,558	3,578	1,94	0,458	0,06	0,06	0,07
	28	5,43	3,718	2,008			0,06	0,07
	30	5,464	3,584					0,06
SO:11/1 1500 min ⁻¹	10	5,492	3,844	2,078	0,596	0,11	0,09	0,11
	15	5,35	3,62	1,96	0,604	0,1	0,07	0,09
	18	5,526				0,088	0,07	0,08
	20						0,06	0,07
	22							0,07
	24							
	26							
	28							
	30							
SO:11/1 2000 min ⁻¹	10	5,37	3,612	1,994	0,478	0,11	0,1	0,12
	15	5,414	3,59	1,916	0,59	0,09	0,08	0,11
	18	5,246	3,68	1,946	0,6	0,09	0,07	0,09
	20	5,38	3,64	2,016	0,61	0,08	0,06	0,08
	22	5,3	3,744				0,06	0,07
	24							0,07
	26							
	28							
	30							

EK-1 (Devam) Deney sonuçları

Çizelge 1.8. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO emisyonları değişimi
(SO: 10/1 - 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹ - 2000 min⁻¹, Yakıt türü: E85)

E85		CO (% hacimsel)						
	HFK	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,2
	AA (°KMA ÜÖNÖ)							
SO:10/1 1500 min ⁻¹	10	4,976	3,208	1,656	0,508	0,118	0,1	0,1
	15	4,81	3,196	1,82	0,516	0,13	0,07	0,092
	18	4,758	3,364	1,724	0,556	0,086	0,07	0,08
	20	4,738	3,234	1,832	0,582	0,108	0,08	0,08
	22	4,7	3,27	1,84	0,566	0,1	0,07	0,08
	24	4,73	3,398	1,829	0,578	0,106	0,07	0,07
	26	4,81	3,414	1,817	0,592	0,107	0,07	0,08
	28	4,86	3,432	1,805	0,603	0,108	0,08	0,07
	30	4,806	3,444	1,788	0,614	0,11	0,08	0,07
SO:10/1 2000 min ⁻¹	10	5,356	3,138	1,502	0,396	0,12	0,11	0,13
	15	5,26	3,162	1,548	0,49	0,11	0,09	0,13
	18	5,22	3,3	1,55	0,432	0,09	0,08	0,1
	20	5,196	3,266	1,564	0,396	0,08	0,07	0,1
	22	5,164	3,2	1,538	0,458	0,098	0,07	0,09
	24	5,082	3,27	1,626	0,482	0,09	0,06	0,08
	26	4,988	3,218	1,636	0,462	0,09	0,06	0,076
	28	4,95	3,256	1,68	0,426	0,098	0,06	0,07
	30	5,012	3,134	1,526	0,458	0,09	0,06	0,07
SO:11/1 1500 min ⁻¹	10	5,454	3,346	1,756	0,462	0,1	0,08	0,08
	15	5,386	3,212	1,794	0,514	0,1	0,07	0,07
	18	5,218	3,286	1,838	0,46	0,1	0,07	0,07
	20	5,178	3,426	1,844	0,498	0,1	0,07	0,07
	22	4,972	3,178	1,77	0,492	0,106	0,06	0,07
	24	4,923	3,256	1,88	0,511	0,107	0,06	0,07
	26	4,876	3,4	1,93	0,538	0,108	0,06	0,06
	28	4,899	3,455	1,912	0,567	0,113	0,06	0,06
	30	4,914	3,506	1,888	0,6	0,114	0,07	0,06
SO:11/1 2000 min ⁻¹	10	4,62	3,112	1,604	0,416	0,106	0,12	0,12
	15	4,754	3,128	1,52	0,454	0,08	0,09	0,09
	18	4,656	3,32	1,61	0,372	0,088	0,07	0,08
	20	4,752	3,154	1,702	0,446	0,092	0,07	0,08
	22	4,952	3,14	1,766	0,39	0,12	0,07	0,07
	24	4,866	3,094	1,638	0,389	0,12	0,07	0,07
	26	4,872	3,196	1,504	0,386	0,118	0,06	0,06
	28	4,913	3,225	1,557	0,402	0,111	0,06	0,07
	30	4,956	3,268	1,604	0,412	0,106	0,06	0,07

EK-1 (Devam) Deney sonuçları

Çizelge 1.9. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO₂ emisyonları değişimi
(SO: 10/1 - 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹ - 2000 min⁻¹, Yakıt türü: E0)

E0		CO ₂ (% hacimsel)						
	HFK	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,2
	AA (°KMA ÜÖNÖ)							
SO:10/1 1500 min ⁻¹	10	10,972	12,29	13,19	13,9	13,88	13,196	11,88
	15	11,016	12,34	13,17	13,914	13,87	13,168	11,92
	18	11,04	12,27	13,08	13,95	13,86	13,17	11,89
	20	11,01	12,308	13,13	13,94	13,83	13,15	11,87
	22	11,088	12,33	13,15		13,79	13,166	11,87
	24	11,06	12,322				13,176	11,85
	26	11						11,876
	28							11,848
	30							
SO:10/1 2000 min ⁻¹	10	11,178	12,53	13,332	14,082	13,91	13,214	11,984
	15	11,194	12,4	13,25	14,07	13,848	13,144	11,97
	18	11,204	12,414	13,27	14,06	13,847	13,12	11,968
	20	11,292	12,428	13,28	14,052	13,846	13,1	11,962
	22	11,25	12,386	13,162	14,03	13,84	13,036	11,886
	24	11,13	12,316	13,274	14,02	13,836	13,09	11,9
	26	11,094	12,182	13,232	14,064	13,746	13,08	11,9
	28	11,16	12,122	13,194			13,118	11,94
	30	11,14	12,192					11,904
SO:11/1 1500 min ⁻¹	10	11,096	12,218	13,384	14,21	14,118	13,424	12,2
	15	11,164	12,38	13,4	14,224	14,06	13,37	12,18
	18	11,05				14,026	13,35	12,176
	20						13,27	12,116
	22							12,09
	24							
	26							
	28							
	30							
SO:11/1 2000 min ⁻¹	10	11,244	12,456	13,548	14,396	13,95	13,256	12,156
	15	11,212	12,486	13,616	14,16	13,916	13,28	12,114
	18	11,28	12,438	13,58	14,14	13,926	13,24	12,12
	20	11,214	12,44	13,54	14,1	13,9	13,248	12,056
	22	11,3	12,384				13,276	12,07
	24							12,024
	26							
	28							
	30							

EK-1 (Devam) Deney sonuçları

Çizelge 1.10. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak CO₂ emisyonları değişimi
(SO: 10/1 - 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹ - 2000 min⁻¹, Yakıt türü: E85)

E85		CO ₂ (% hacimsel)						
	HFK	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,2
	AA (°KMA ÜÖNÖ)							
SO:10/1 1500 min ⁻¹	10	10,744	12,292	13,064	13,686	13,37	12,79	11,806
	15	10,84	12,318	13,08	13,634	13,404	12,804	11,79
	18	10,774	12,3	13,06	13,62	13,414	12,808	11,718
	20	10,71	12,316	12,944	13,58	13,38	12,93	11,792
	22	10,72	12,268	12,936	13,59	13,414	12,936	11,77
	24	10,81	12,148	12,944	13,57	13,396	12,97	11,818
	26	10,78	12,148	12,955	13,51	13,39	12,956	11,77
	28	10,8	12,148	12,961	13,49	13,39	12,951	11,83
	30	10,75	12,148	12,968	13,488	13,39	12,944	11,78
SO:10/1 2000 min ⁻¹	10	10,83	12,426	12,97	13,55	13,34	12,8	11,63
	15	10,86	12,31	12,95	13,514	13,35	12,716	11,61
	18	10,76	11,744	12,824	13,48	13,326	12,712	11,656
	20	10,86	12,31	12,892	13,514	13,344	12,74	11,656
	22	10,87	12,37	12,96	13,47	13,32	12,73	11,634
	24	10,97	12,286	12,872	13,47	13,344	12,774	11,652
	26	11,02	12,308	12,944	13,43	13,328	12,761	11,612
	28	11,06	12,16	12,88	13,446	13,318	12,748	11,642
	30	11,09	12,11	12,958	13,452	13,38	12,736	11,628
SO:11/1 1500 min ⁻¹	10	10,81	12,3	13,07	13,656	13,42	12,868	11,77
	15	10,834	12,412	13,006	13,614	13,438	12,87	11,754
	18	11,012	12,356	13	13,66	13,454	12,846	11,71
	20	10,98	12,246	12,948	13,602	13,39	12,814	11,74
	22	11,156	12,402	12,94	13,63	13,414	12,804	11,694
	24	11,209	12,313	12,92	13,61	13,392	12,807	11,702
	26	11,262	12,27	12,91	13,59	13,378	12,81	11,71
	28	11,254	12,24	12,91	13,57	13,38	12,824	11,672
	30	11,246	12,21	12,91	13,56	13,382	12,838	11,66
SO:11/1 2000 min ⁻¹	10	11,35	12,358	13,124	13,72	13,32	12,746	11,66
	15	11,212	12,296	13,18	13,67	13,354	12,804	11,656
	18	11,282	12,262	13,072	13,66	13,31	12,8	11,68
	20	11,234	12,298	13,07	13,64	13,304	12,764	11,65
	22	11,114	12,244	13,008	13,65	13,394	12,754	11,68
	24	11,18	12,242	13,11	13,656	13,396	12,762	11,69
	26	11,162	12,052	13,16	13,664	13,4	12,77	11,664
	28	11,141	12,058	13,04	13,648	13,4	12,751	11,653
	30	11,118	12,066	13,036	13,632	13,39	12,732	11,646

EK-1 (Devam) Deney sonuçları

Çizelge 1.11. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak NO emisyonları değişimi
(SO: 10/1 - 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹ - 2000 min⁻¹, Yakıt türü: E0)

E0		NO (ppm)						
	HFK	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,2
	AA (°KMA ÜÖNÖ)							
SO:10/1 1500 min ⁻¹	10	109,8	296,6	556,8	896,2	1121,8	977,6	334,2
	15	123	347,8	618	1030,8	1369,4	1323,6	603
	18	134	342	634,6	1132,8	1524	1587	825,4
	20	138,4	361,4	689,8	1171	1670	1679,8	956,4
	22	152	390,4	723,2		1765,2	1884,6	1112
	24	155,2	413,2				1956	1292
	26	159						1489,8
	28							1667,4
	30							
SO:10/1 2000 min ⁻¹	10	158	392	691,8	1088,2	1288	1058,8	351,6
	15	230,4	410,4	768,2	1280,6	1544,4	1470,6	645
	18	225,2	444,4	801,3	1335,5	1702,4	1652,7	885,3
	20	210,4	458,8	855,2	1480,4	1836,8	1858,4	1096,4
	22	209,6	467,4	854,2	1490,4	1907,2	1993,8	1220,6
	24	206	514	905,6	1541,8	2044,6	2203,4	1364,6
	26	210,8	514,2	923,4	1655,8	2139	2257,6	1625
	28	214,4	490,2	931,4			2424,6	1767,2
	30	222,2	537,8					1916,2
SO:11/1 1500 min ⁻¹	10	145,2	264,6	540,6	961,8	1179,2	1080,6	439,8
	15	217	326,6	599	1109,4	1450,4	1478,6	660,2
	18	170,8				1628	1617,2	918
	20						1892,4	1010,6
	22							1246,8
	24							
	26							
	28							
	30							
SO:11/1 2000 min ⁻¹	10	191,6	351,4	652,4	1010	1113,4	965	321,2
	15	223,2	407,4	732,6	1130,8	1424,2	1285,8	595,6
	18	307,4	416	783	1198,2	1568,8	1543	833,4
	20	261,6	444,8	807,4	1274,4	1661,2	1734,8	948,8
	22	257	438,4				1858	1194,6
	24							1319,6
	26							
	28							
	30							

EK-1 (Devam) Deney sonuçları

Çizelge 1.12. HFK ve ateşleme avansına bağlı olarak NO emisyonları değişimi
(SO: 10/1 - 11/1, Motor devri: 1500 min⁻¹ - 2000 min⁻¹, Yakıt türü: E85)

E85		NO (ppm)						
	HFK	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,2
	AA (°KMA ÜÖNÖ)							
SO:10/1 1500 min ⁻¹	10	75,4	205,6	395,6	622,6	726,4	557,2	186,2
	15	107,6	249,8	450,8	788,2	913,2	825,4	296,8
	18	142,4	247,2	516,2	856,8	1062,8	972,4	456,4
	20	122,6	294	493,6	898,8	1153,8	1082	519,8
	22	155,4	305,2	530,4	972,4	1260	1291,8	720,2
	24	156,2	281,4	545,7	998,5	1380	1333,6	850,6
	26	157,1	292,3	572,6	1071,3	1422,6	1402,2	991,8
	28	158	303	601,4	1112,4	1497,9	1497,7	1163,2
	30	167,4	312	614,8	1144,2	1556,6	1588,6	1258,8
SO:10/1 2000 min ⁻¹	10	115,2	287,8	540	743	726,2	503,4	153
	15	133,4	318,4	598	919,2	952,4	776	277,2
	18	141,8	300,8	628,2	1044,4	1126,8	972,8	498
	20	163,8	374,8	709,6	1137	1242,4	1110	616,2
	22	176,8	405,8	748,4	1150	1356,2	1254,8	774,6
	24	194	423,2	755,4	1217	1431,4	1404,6	877
	26	205,2	427,4	810	1260	1521,6	1539,7	1039,2
	28	211,2	399,6	793	1329,8	1592,6	1666,4	1182,4
	30	219,2	441,2	857,4	1352,6	1675	1756,6	1356,8
SO:11/1 1500 min ⁻¹	10	69	162,8	351,4	554,2	631,8	528,2	243
	15	126,4	215,6	400	716,2	835,8	756,8	387,4
	18	111,8	234,6	455,2	828,8	989,8	946,4	501,4
	20	105,4	227,2	489	885,8	1109,6	1078,6	653,6
	22	115,4	258,4	522	957,2	1190	1228,8	711,6
	24	127,2	261,3	561	1011,8	1288,8	1343,3	885,6
	26	138	265,6	589,8	1067,2	1376,8	1467,8	1080,4
	28	144	267,7	594,3	1092,4	1452,2	1557,7	1185,5
	30	150,6	269,4	599	1108,4	1528,2	1621,2	1279,4
SO:11/1 2000 min ⁻¹	10	135,8	221,8	362,4	584,8	617,8	485,2	152,2
	15	217,8	285,2	498,4	795,2	908,2	743,4	296
	18	196,8	258,6	557,8	938,6	1101,2	978,8	494
	20	180,6	332,4	575,2	967	1220,6	1148,6	600,8
	22	176	333	600	1074,4	1263	1279,4	754,8
	24	202,2	372,4	678,1	1134,6	1381,2	1404,7	900,2
	26	197	314	744	1187,4	1497,4	1548,4	1040,8
	28	198	333	723,8	1245,2	1582,4	1666,3	1190,4
	30	198	353	717,8	1283,4	1663,8	1789,4	1366,2

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERKOCA, Mustafa Ceyhun
 Uyuğu : TC
 Doğum tarihi ve yeri : 1979 Eskişehir
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (533) 623 50 23
 e-posta : cerkoca@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/Makine Eğitimi AD	2010
Lisans	Gazi Üniversitesi/Otomotiv AD	2004
Lise	Eskişehir Atatürk Teknik Lisesi	1997

İş Deneyimi

Yer	Görev
12.2008 – 06.2009	Borusan Oto
08.2008 – 12.2008	Volan Otomotiv
02.2007 – 07.2007	Gazi Üniversitesi
06.2006 – 07.2006	Tan Oto
06.2005 – 02.2006	Akota Otomotiv

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Otomobil teknolojilerini incelemek, otomobil tasarımı yapmak, kitap okumak