



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**METANOL VE ETANOLÜN BUJİ ATEŞLEMELİ BİR
MOTORA UYGULANMASINDA PERFORMANS VE
EMİSYON PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

MUSTAFA KEMAL BALKİ
(141201720050002)

DOKTORA TEZİ
Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Makine Eğitimi Programı

DANIŞMAN
Doç. Dr. Cenk SAYIN

İSTANBUL, 2013



**MARMARA UNIVERSITY
INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES
IN PURE AND APPLIED SCIENCES**



**INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE AND
EMISSION PARAMETERS OF AN SI ENGINE FUELLED
WITH METHANOL AND ETHANOL**

MUSTAFA KEMAL BALKI

Ph.D. THESIS

Department of Mechanical Education

ADVISOR

Assoc.Prof. Dr. Cenk SAYIN

ISTANBUL, 2013

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Öğrencisi Mustafa Kemal BALKİ'nin “**Metanol ve etanolün buji ateşlemeli bir motora uygulanmasında performans ve emisyon parametrelerinin incelenmesi**” başlıklı tez çalışması, 13 Haziran 2013 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Doç.Dr. Cenk SAYIN	(Danışman)	
Marmara Üniversitesi		
Doç.Dr. Metin GÜMÜŞ	(Üye)	
Marmara Üniversitesi		
Prof.Dr. Mustafa ÇANAKCI	(Üye)	
Kocaeli Üniversitesi		
Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK	(Üye)	
Karabük Üniversitesi		
Prof. Dr. Osman ISIKAN	(Üye)	
Marmara Üniversitesi		

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih vesayılı kararı ile Mustafa Kemal BALKİ'nin Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı Makine Eğitimi Programında Doktora derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Abdülkerim KAR

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca bana her türlü desteği sunan, kıymetli zamanını bana ayırmaktan çekinmeyen, bilimsel bakış açımın gelişmesinde bilgilerinden ve tecrübelerinden sonsuz faydalandığım değerli hocam Doç.Dr. Cenk SAYIN'a, görüşleriyle çalışmama yön veren tez izleme komitesi üyeleri saygıdeğer Prof. Dr. Mustafa ÇANAKCI ve Doç. Dr. Metin GÜMÜŞ hocalarıma sonsuz şükranlarımı sunarım. Ayrıca, deneysel çalışmamı yapmam için atölyenin laboratuvar imkanlarından sınırsız faydalanmamı sağlayan ve bana her türlü konuda yardımcı olan hocalarım Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK, Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN, Doç. Dr. Abdürrezzak AKTAŞ, Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan DOĞAN ve Arş. Gör. Mustafa AYDIN'a minnettarım.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, sevgili eşime ve kızıma sonsuz teşekkür ederim.

Haziran, 2013

Mustafa Kemal BALKİ

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
YENİLİK BEYANI	vii
SEMBOLLER	viii
KISALTMALAR	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
1.2. Alkol Yakıtlar	3
1.2.1. Etanol üretimi	3
1.2.2. Metanol üretimi	5
1.2.3. Etanol ve metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri	7
1.3. Etanol ve Metanolün Buji Ateşlemeli Motorlarda Kullanımı	12
1.4. Motor Performansına Etki Eden İşletme ve Yapısal Parametreler	15
1.4.1. İşletme parametreleri	16
1.4.1.1. Ateşleme avansı	16
1.4.1.2. Hava/yakıt oranı	18
1.4.1.3. Supap zamanlaması	19
1.4.2. Yapısal parametreler	20
1.4.2.1. Sıkıştırma oranı	20
1.4.2.2. Oktan sayısı	23
1.5. Günümüze Kadar Yapılan Çalışmalar	24
2. MATERYAL VE YÖNTEM	35
2.1. Deneysel Donanımı	35
2.1.1. Deney motoru	36
2.1.2. Deney yakıtları	37

2.1.3. Dinamometre ve yük kontrol sistemleri	38
2.1.4. Hava ve yakıt tüketimi ölçüm sistemleri	38
2.1.5. Egzoz gaz analizörü	39
2.1.6. Silindir içi gaz basıncı ölçüm ünitesi	40
2.2. Deney Verilerinin Analizinde Kullanılan Hesaplama Yöntemleri	42
2.2.1. Ortalama efektif basınç	42
2.2.2. Özgül yakıt tüketimi	43
2.2.3. Efektif verim	44
2.2.4. Özgül enerji tüketimi	44
2.2.5. Hava tüketimi	44
2.2.6. Volumetrik verim	47
2.2.7. Hava fazlalık katsayısı	48
2.2.8. Yakıtların stokiyometrik yanma denklemleri	49
2.2.9. Yanma verimi	51
2.2.10. Yanma analizi	52
2.2.10.1. Silindir gaz basıncının analizi	52
2.2.10.2. Anlık silindir hacmi	53
2.2.10.3. Açığa çıkan ısı miktarı	55
2.3. Deneylerde Kullanılan Çalışma Parametreleri ve Yöntemler	57
2.3.1. Çalışma parametreleri	57
2.3.2. Deney yöntemi	58
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	61
3.1. Sıkıştırma Oranına Bağlı Değişimlerin İncelenmesi	61
3.1.1. Motor performanslarının karşılaştırılması	61
3.1.1.1. Ortalama efektif basınç	61
3.1.1.2. Özgül yakıt tüketimi	63
3.1.1.3. Efektif verim	64
3.1.1.4. Özgül enerji tüketimi	65
3.1.2. Yanma karakteristiklerinin karşılaştırılması	66
3.1.2.1. Silindir gaz basınçları	66
3.1.2.2. Açığa çıkan ısı miktarı	71
3.1.3. Egzoz emisyonlarının karşılaştırılması	75

3.1.3.1. Hidrokarbon emisyonu	75
3.1.3.2. Karbonmonoksit emisyonu	76
3.1.3.3. Karbondioksit emisyonu	78
3.1.3.4. Azotoksit emisyonu	79
3.1.3.5. Yanma verimi	80
3.2. Ateşleme Avansına Bağlı Değişimlerin İncelenmesi	81
3.2.1. Motor performanslarının karşılaştırılması	81
3.2.1.1. Ortalama efektif basınç	81
3.2.1.2. Özgül yakıt tüketimi	86
3.2.1.3. Efektif verim	90
3.2.1.4. Özgül enerji tüketimi	95
3.2.2. Yanma karakteristiklerinin karşılaştırılması	98
3.2.2.1. Silindir gaz basınçları	98
3.2.2.2. Açığa çıkan ısı miktarı	106
3.2.3. Egzoz emisyonlarının karşılaştırılması	111
3.2.3.1. Hidrokarbon emisyonu	111
3.2.3.2. Karbonmonoksit emisyonu	115
3.2.3.3. Karbondioksit emisyonu	119
3.2.3.4. Azotoksit emisyonu	123
3.2.3.5. Yanma verimi	127
4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	133
4.1. Sonuçlar	133
4.2. Öneriler	135
KAYNAKLAR	137
EKLER	153
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

METANOL VE ETANOLÜN BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORA UYGULANMASINDA PERFORMANS VE EMİSYON PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Buji ateşlemeli motorlarda, gerek çevre gerekse yakıt maliyeti açısından benzine alternatif olabilecek yakıtların kullanılması günümüzde oldukça önem kazanmıştır. Bu bağlamda, geliştirilen yeni teknolojiler ile birçok kaynaktan üretilebilen alkol yakıtlar (etanol, metanol, bütanol, vb.) alternatif yakıt olarak gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, etanol ve metanolün saf olarak kullanımının benzine kıyasla performans kayıplarına yol açtığı görülmektedir. Bu yüzden, alkol yakıtların motorlarda daha verimli kullanılabilirliğini araştırmak için yapılan bu çalışmada, sıkıştırma oranı ve ateşleme avansı parametrelerinin, performans, yanma karakteristikleri ve egzoz emisyonları üzerine etkileri incelenmiştir. Deneylerde, tek silindirli, hava soğutmalı, 23° statik ateşleme avansına ve 8,5:1 sıkıştırma oranına sahip buji ateşlemeli bir motor kullanılmıştır. Deneylerde dört farklı sıkıştırma oranı (8,0:1, 8,5:1, 9,0:1 ve 9,5:1) ve her bir sıkıştırma oranında üç farklı ateşleme avansı (20°, 23° ve 26°) tercih edilmiştir. Yakıt olarak kurşunsuz benzin, etanol ve metanol saf olarak kullanılmış ve motor tam yük ve 2400 d/d çalışma şartlarında test edilmiştir. Deneyler esnasında her üç yakıt türü için hava fazlalık katsayısı 1,0 olacak şekilde ayarlanmıştır. Deneylerden elde edilen veriler ile motorun performans, egzoz emisyon ve yanma karakteristikleri çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçlar motorun orijinal çalışma parametrelerinde benzinden elde edilen verilerle kıyaslanmıştır. Buna göre; yüksek sıkıştırma oranlarında ve düşük ateşleme avanslarında etanol ve metanol kullanımının ortalama efektif basıncı, efektif verimi ve özgül yakıt tüketimini artırdığı, özgül enerji tüketimini ise azalttığı görülmüştür. Ayrıca, silindir gaz basınçlarının ve açığa çıkan ısı miktarlarının daha erken yükseldiği ve üst ölü noktaya yakınsadığı tespit edilmiştir.

Haziran, 2013

Mustafa Kemal BALKİ

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE AND EMISSION PARAMETERS OF AN SI ENGINE FUELLED WITH METHANOL AND ETHANOL

The using of fuels which can be alternative to gasoline in spark ignition (SI) engine gains fairly important with respect to environment and cost of the fuels. In this respect, alcohol fuels (ethanol, methanol, butanol, etc.) which can be produced from many sources with the new technologies developed gain gradually importance as alternative fuel. It is seen that using pure methanol and ethanol caused decreasing engine performance compare to gasoline when studies have been examined in literature. Therefore, in this study which has been done for investigate the more efficient usability of alcohol fuels has been examined the effect on engine performance, combustion characteristic, and exhaust emission of compression ratio and ignition timing. In the tests were used SI engine which was a single cylinder, air-cooled, static ignition timing (23°BTDC) and compression ratio of 8.5:1. In the experiments were preferred four different compression ratios (8.0:1, 8.5:1, 9.0:1 and 9.5:1) and three varied ignition timing (20° , 23° , and 26°) for each compression ratio. The engine experiments was applied at the wide open throttle, the constant engine speeds (2400 rpm), and stoichiometric mixture for the unleaded gasoline, ethanol and methanol. With the obtain results from the tests, it has been presented in engine performance, exhaust emission and combustion characteristic and is compared to obtained values from unleaded gasoline at original engine parameters. Accordingly, it is observed that the brake mean effective pressure, thermal efficiency and brake specific fuel consumption increased while decrease brake specific energy consumption of the use of pure ethanol and methanol at the high compression ratio and low ignition timing. Furthermore, the cylinder gas pressure and heat release rate were determined earlier rises and converges to top dead center when compared to gasoline.

June, 2013

Mustafa Kemal BALKI

YENİLİK BEYANI

METANOL VE ETANOLÜN BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORA UYGULANMASINDA PERFORMANS VE EMİSYON PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

İhracat gelirlerinin büyük bir kısmını petrol için kullanan ülkemizde, kesinlikle petrole alternatif olabilecek motor yakıtlarına önem verilmesi gereklidir. Üretiminin fosil kaynaklara bağlı olmadığı etanol ve metanol gibi yenilenebilir alternatif yakıtların içten yanmalı motorlarda saf ve elverişli olarak kullanılabilmesi önemlidir. Fakat günümüze kadar yapılan çalışmalarda da görüldüğü gibi etanol ve metanolün genellikle benzin ile karışım oluşturularak kullanıldığı görülmektedir. Bu durum kısmen de olsa petrol kökenli yakıtlara bağımlılığın devam etmesi anlamına gelmektedir. Ayrıca bu yakıtların kullanımı sırasında motor performansında bazı olumsuzluklar gözlemlenmiştir.

Bu tür olumsuzlukları en az düzeye indirebilmek için yapılan bu çalışmada, yakıt olarak stokiometrik oranlarda benzin, etanol ve metanol kullanılan bir benzin motoru farklı sıkıştırma oranı ve ateşleme avansında testlere tabi tutulmuştur.

Deneyler sonucu elde edilen veriler ile buji ateşlemeli motorlarda etanol ve metanolün saf olarak hangi koşullarda daha verimli kullanılacağı bu çalışmada rahatlıkla görülebilmektedir. Ayrıca tezde sunulan silindir içi gaz basıncı ve açığa çıkan ısı miktarını gösteren grafikler, motor tasarımı esnasında kullanılacak malzemenin seçimi, boyutlanması, elektronik kontrol mekanizmaları gibi unsurların belirlenmesinde, üretici firmalar için önemli bir veri olacaktır. Bunlara ek olarak, bu çalışma ile etanol ve metanolün aynı çalışma şartlarında motorlarda kullanımında ortaya çıkan farklılıklar rahatlıkla görülecektir.

Haziran, 2013

Doç.Dr. Cenk SAYIN

Mustafa Kemal BALKİ

SEMBOLLER

C	: Karbon
C_d	: Deşarj katsayısı
C_v	: Sabit hacimde özgül ısınma ısısı (kJ/kgK)
CO	: Karbonmonoksit (%)
CO_2	: Karbondioksit (%)
d	: Orifis plaka çapı (m)
F	: Dinamometre gövdesi yük değeri (kg)
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s ²)
h	: Özgül nem (g H ₂ O/kg-kuru hava)
HC	: Hidrokarbon (ppm)
H_{CO}	: Karbonmonoksit oluşum entalpisi (kJ/kg)
H_{NO}	: Azot monoksitin oluşum entalpisi (kJ/kg)
H_u	: Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)
H_2	: Hidrojen
k	: Özgül ısı oranı
L_{kol}	: Moment kol uzunluğu (m)
M_e	: Efektif motor momenti (Nm)
$m_{yakıt}$	: Yakıt kütlesi (kg)
$\dot{m}_y$	: Kütleli yakıt debisi (kg/m ³)
n	: Motor hızı (d/d)
N_e	: Efektif güç (kW)
n_{max}	: Maksimum motor hızı (d/d)
NO_x	: Azot oksit (ppm)
P	: Basınç (bar)
P_{atm}	: Atmosfer basıncı (bar)
P_{mut}	: Mutlak basınç (bar)
$P_{gös}$	: Gösterge basıncı (bar)
R	: İdeal gaz sabiti (kJ/kgK)
SO_2	: Kükürt dioksit

T	: Sıcaklık (K)
V_c	: Yanma odası hacmi (m^3)
V_h	: Silindir kurs hacmi (m^3)
V_θ	: Anlık silindir hacmi (m^3)
Q_{max}	: Maksimum hacimsel hava tüketimi (m^3/s)
ω	: Açısal hız (rad/s)
X_{nem}	: Nem faktörü
ρ_{hava}	: Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_{sivi}	: Eğik manometre sıvı yoğunluğu (kg/m^3)
λ	: Hava fazlalık katsayısı
Δ_l	: Eğik manometre sıvı yükselme miktarı (mmH_2O)
Δ_t	: Yakıt tüketilme süresi (h)
η_v	: Volumetrik verim (%)
Φ	: Eşdeğerlik oranı

KISALTMALAR

AA	: Ateşleme Avansı
AÇI	: Açığa Çıkan Isı Miktarı (J/KA)
AOS	: Araştırma Oktan Sayısı
AÖN	: Alt Ölü Nokta
BAM	: Buji Ateşlemeli Motor
BMBN	: Benzin Maksimum Basınç Noktası
BMİN	: Benzin Maksimum Açığa Çıkan Isı Noktası
C/H	: Karbon/Hidrojen oranı
EFV	: Efektif verim (%)
FFV	: Flexible Fuel Vehicle-Esnek yakıtlı araçlar
H/Y	: Hava/Yakıt oranı
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
İYM	: İçten Yanmalı Motorlar
KA	: Krank Açısı (°)
MOS	: Motor Oktan Sayısı
NAP	: National Alcohol Program- Birezilya ulusal alkol programı
OÇP	: Orijinal Çalışma Parametreleri (8,5:1 SO ve 23° AA)
OEB	: Ortalama Efektif Basınç (kPa)
ÖET	: Özgül Enerji Tüketimi (kJ/kWh · 10 ³)
PM	: Partikül Madde
OS	: Oktan Sayısı
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)
SGB	: Silindir Gaz Basıncı (kPa)
SO	: Sıkıştırma Oranı
SPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
ÜÖNÖ	: Üst Ölü Noktadan Önce
ÜÖNS	: Üst Ölü Noktadan Sonra
Y/H	: Yakıt/Hava oranı
YV	: Yanma Verimi (%)

ŞEKİL LİSTESİ

	SAYFA
Şekil 1.1. Biyokütleyi biyoetanole dönüştürmede kullanılan genel akış şeması	4
Şekil 1.2. Biyoetanol üretim süreci	5
Şekil 1.3. Biyokütleden metanol üretim prosesinin şematik görünümü	6
Şekil 1.4. Volumetrik verim örneği	10
Şekil 1.5. Tam gaz kelebek açıklığında motor momentinin motor devrine bağlı olarak değişimi	13
Şekil 1.6. Tam yükte motor momentinin devir sayısına bağlı olarak değişimi	14
Şekil 1.7. AA'nın silindir basıncına etkisi (n=1200 d/d, Tam yük, CFR motoru)	17
Şekil 1.8. Farklı yakıtlarda AA'nın kapalı P-V diyagramına etkisi	18
Şekil 1.9. Değişik motor hızlarında ve $\frac{3}{4}$ gaz kelebeği açıklığında, motor gücünün HFK'ya bağlı olarak değişimi	19
Şekil 1.10. SO'nun motor gücüne etkisi	21
Şekil 1.11. Çeşitli eşdeğerlik oranlarında çevrim veriminin SO'ya bağlı değişimi	22
Şekil 1.12. OS'ye bağlı olarak vuruntu sınırının değişimi	24
Şekil 2.1. Deney donanımının şematik görünümü	35
Şekil 2.2. Deney donanımının genel görünümü	36
Şekil 2.3. Deney motoru	36
Şekil 2.4. Dinamometre ve yük kontrol sistemi	38
Şekil 2.5. Hava tüketim ölçüm sistemi	38
Şekil 2.6. Yakıt tüketimi ölçümünde kullanılan dijital terazi	39
Şekil 2.7. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı	40
Şekil 2.8. Sensörlerin genel görünümleri	41
Şekil 2.9. Sensörlerin montaj görünümleri	41
Şekil 2.10. Hava tüketimi ölçüm sisteminin şematik görünümü	44
Şekil 2.11. Krank-biyel mekanizmasının şematik görünümü	53
Şekil 3.1. Farklı SO'lardaki OEB değişimleri	62
Şekil 3.2. Farklı SO'lardaki ÖYT değişimleri	63
Şekil 3.3. Farklı SO'lardaki EFV değişimleri	65
Şekil 3.4. Farklı SO'lardaki ÖET değişimleri	66

Şekil 3.5. 8,0:1 SO'daki SGB'nin değişimi	68
Şekil 3.6. 8,5:1 SO'daki SGB'nin değişimi	68
Şekil 3.7. 9,0:1 SO'daki SGB'nin değişimi	69
Şekil 3.8. 9,5:1 SO'daki SGB'nin değişimi	69
Şekil 3.9. Dört farklı SO'da oluşan maksimum SGB değişimi	70
Şekil 3.10. Dört farklı SO'da oluşan maksimum SGB'nin oluştuğu KA değişimi (ÜÖNS)	70
Şekil 3.11. 8,0:1 SO'daki AÇI'nın değişimi	72
Şekil 3.12. 8,5:1 SO'daki AÇI'nın değişimi	73
Şekil 3.13. 9,0:1 SO'daki AÇI'nın değişimi	73
Şekil 3.14. 9,5:1 SO'daki AÇI'nın değişimi	74
Şekil 3.15. Farklı SO'lardaki HC emisyonu değişimleri	75
Şekil 3.16. Farklı SO'lardaki CO emisyonu değişimleri	77
Şekil 3.17. Farklı SO'lardaki CO ₂ emisyonu değişimleri	78
Şekil 3.18. Farklı SO'lardaki NO _x emisyonu değişimleri	79
Şekil 3.19. Farklı SO'lardaki YV'nin değişimleri	80
Şekil 3.20. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki OEB'nin değişimleri	82
Şekil 3.21. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki OEB'nin değişimleri	82
Şekil 3.22. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki OEB'nin değişimleri	83
Şekil 3.23. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki OEB'nin değişimleri	83
Şekil 3.24. Farklı SO ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen OEB değişimleri	84
Şekil 3.25. Farklı SO ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen OEB değişimleri	85
Şekil 3.26. Farklı SO ve AA'da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen OEB değişimleri	85
Şekil 3.27. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki ÖYT'nin değişimleri	87
Şekil 3.28. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki ÖYT'nin değişimleri	87
Şekil 3.29. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki ÖYT'nin değişimleri	88
Şekil 3.30. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki ÖYT'nin değişimleri	88
Şekil 3.31. Farklı SO ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen ÖYT değişimleri	89
Şekil 3.32. Farklı SO ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen ÖYT değişimleri	89
Şekil 3.33. Farklı SO ve AA'da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen ÖYT değişimleri	90
Şekil 3.34. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki EFV'nin değişimleri	91
Şekil 3.35. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki EFV'nin değişimleri	91

Şekil 3.36. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki EFV'nin değişimleri	92
Şekil 3.37. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki EFV'nin değişimleri	92
Şekil 3.38. Farklı SO ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen EFV değişimleri	93
Şekil 3.39. Farklı SO ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen EFV değişimleri	93
Şekil 3.40. Farklı SO ve AA'da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen EFV değişimleri	94
Şekil 3.41. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki ÖET'nin değişimleri	95
Şekil 3.42. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki ÖET'nin değişimleri	95
Şekil 3.43. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki ÖET'nin değişimleri	96
Şekil 3.44. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki ÖET'nin değişimleri	96
Şekil 3.45. Farklı SO ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen ÖET değişimleri	97
Şekil 3.46. Farklı SO ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen ÖET değişimleri	97
Şekil 3.47. Farklı SO ve AA'da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen ÖET değişimleri	98
Şekil 3.48. 8,0:1-8,5:1 SO'da ve 20°AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen SGB değişimleri	99
Şekil 3.49. 9,0:1-9,5:1 SO'da ve 20°AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen SGB değişimleri	99
Şekil 3.50. 8,0:1-8,5:1 SO'da ve 23°AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen SGB değişimleri	100
Şekil 3.51. 9,0:1-9,5:1 SO'da ve 23°AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen SGB değişimleri	101
Şekil 3.52. 8,0:1-8,5:1 SO'da ve 26°AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen SGB değişimleri	102
Şekil 3.53. 9,0:1-9,5:1 SO'da ve 26°AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen SGB değişimleri	102
Şekil 3.54. Farklı SO'da ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmalardan elde edilen SGB değişimleri	103
Şekil 3.55. Farklı SO'da ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen SGB değişimleri	103
Şekil 3.56. Farklı SO'da ve AA'da, metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen SGB değişimleri	104
Şekil 3.57. Farklı SO'da ve AA'da benzin yakıtlı çalışmadan elde edilen maksimum SGB'nin olduğu KA değişimi	105

Şekil 3.58. Farklı SO'da ve AA'da etanol yakıtlı çalışmadan elde edilen maksimum SGB'nin oluştuğu KA değişimi	105
Şekil 3.59. Farklı SO'da ve AA'da metanol yakıtlı çalışmadan elde edilen maksimum SGB'nin oluştuğu KA değişimi	106
Şekil 3.60. 8,0:1-8,5:1 SO'da ve 20°AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri	107
Şekil 3.61. 9,0:1-9,5:1 SO'da ve 20°AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri	107
Şekil 3.62. 8,0:1-8,5:1 SO'da ve 23°AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri	108
Şekil 3.63. 9,0:1-9,5:1 SO'da ve 23°AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri	108
Şekil 3.64. 8,0:1-8,5:1 SO'da ve 26°AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri	109
Şekil 3.65. 9,0:1-9,5:1 SO'da ve 26°AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri	109
Şekil 3.66. Farklı SO ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri	110
Şekil 3.67. Farklı SO ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri	110
Şekil 3.68. Farklı SO ve AA'da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri	111
Şekil 3.69. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki HC'nin değişimi	112
Şekil 3.70. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki HC'nin değişimi	112
Şekil 3.71. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki HC'nin değişimi	113
Şekil 3.72. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki HC'nin değişimi	113
Şekil 3.73. Farklı SO ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen HC değişimleri	114
Şekil 3.74. Farklı SO ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen HC değişimleri	114
Şekil 3.75. Farklı SO ve AA'da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen HC değişimleri	115
Şekil 3.76. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki CO'nun değişimi	116
Şekil 3.77. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki CO'nun değişimi	116
Şekil 3.78. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki CO'nun değişimi	117
Şekil 3.79. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki CO'nun değişimi	117
Şekil 3.80. Farklı SO ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen CO değişimleri	118
Şekil 3.81. Farklı SO ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen CO değişimleri	118

Şekil 3.82. Farklı SO ve AA'da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen CO değişimleri	119
Şekil 3.83. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki CO ₂ 'nin değişimi	120
Şekil 3.84. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki CO ₂ 'nin değişimi	120
Şekil 3.85. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki CO ₂ 'nin değişimi	121
Şekil 3.86. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki CO ₂ 'nin değişimi	121
Şekil 3.87. Farklı SO ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen CO ₂ değişimleri	122
Şekil 3.88. Farklı SO ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen CO ₂ değişimleri	122
Şekil 3.89. Farklı SO ve AA'da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen CO ₂ değişimleri	123
Şekil 3.90. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki NO _x 'in değişimi	124
Şekil 3.91. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki NO _x 'in değişimi	124
Şekil 3.92. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki NO _x 'in değişimi	125
Şekil 3.93. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki NO _x 'in değişimi	125
Şekil 3.94. Farklı SO ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen NO _x değişimleri	126
Şekil 3.95. Farklı SO ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen NO _x değişimleri	126
Şekil 3.96. Farklı SO ve AA'da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen NO _x değişimleri	127
Şekil 3.97. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki YV'nin değişimi	128
Şekil 3.98. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki YV'nin değişimi	128
Şekil 3.99. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki YV'nin değişimi	129
Şekil 3.100. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki YV'nin değişimi	129
Şekil 3.101. Farklı SO ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen YV değişimleri	130
Şekil 3.102. Farklı SO ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen YV değişimleri	130
Şekil 3.103. Farklı SO ve AA'da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen YV değişimleri	131

TABLO LİSTESİ

	SAYFA
Tablo 1.1. Benzin, etanol ve metanolün bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	8
Tablo 2.1. Deney motoruna ait teknik özellikler	37
Tablo 2.2. Deney yakıtların bazı fiziki ve kimyasal özellikleri	37
Tablo 2.3. Egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri	39
Tablo 2.4. Basınç sensörünün bazı özellikleri	40

1. GİRİŞ

Yaşam standardını yükseltmek isteyen ve hayatını kolaylaştırıcı materyallerden faydalanma arzusunda olan insanoğlunun, bu isteklerini karşılayabilmek için her geçen gün yeni araç ve gereçler üretilmektedir. Rahatlığımız için üretilen bu hizmet unsurları bizlere fayda sağlamalarının yanında, içerisinde yaşadığımız çevreyi de olumsuz etkileyebilmektedir. Aynı zamanda, bunların çalışması için gerekli olan enerji, günden güne pahalılaşmakta, stoklar ise azalmaktadır. Günümüz taşıtlarının tahrikinde eskiden de olduğu gibi içten yanmalı motorlar (İYM)'den faydalanılmaktadır. İYM başta araçlarda kullanıldığı gibi, jeneratör, konveyör, bahçe bakım ve eğlence amaçlı araçlar vb. makinelerin tahrikinde de yoğunlukla kullanılmaktadır. İYM'de enerji kaynağı olarak benzin veya dizel gibi fosil kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Buji ateşlemeli motorlar (BAM)'da ekonomiklik ve çevre açısından günümüzde benzine alternatif olarak sıvılaştırılmış petrol gazı da (SPG) tercih edilmektedir. Fakat SPG de sonuçta fosil kaynaklı bir yakıt türüdür.

Artan dünya nüfusuna paralel olarak sanayinin ve kullanılan araç ve gereçlerin artması, enerjiye olan talebin artmasına neden olmaktadır. Fosil kökenli yakıtların sınırlı kaynaklardan üretildiği bilinmektedir. Ayrıca, bu yakıtların üretiminden kullanımına kadar geçen sürede, çevreye verdiği olumsuz etki ihmal edilemeyecek kadar önemlidir. Bu iki etken araştırmacıları yenilenebilir ve temiz enerji kaynakları üzerine yoğunlaştırmıştır. Alternatif yakıtlara olan bu ilgi, içerisinde bulunduğumuz küresel ekonomik kriz düşünüldüğünde katbekat artmaktadır. Özellikle ülkemiz gibi enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğunu ithal eden ülkeler için bu durum oldukça önem kazanmaktadır.

Araştırmacılar tarafından motorlar üzerine yapılan çalışmalarda, yüksek verimli ve çevreci motorların geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Fosil kökenli yakıtların yakıt özelliklerinden kaynaklanan motor performansını sınırlayıcı etkenler, yenilenebilir alternatif yakıtların araştırılmasını zorunlu hale getirmiştir. Temellerinin 1976'lı yıllara dayanan etanol ve metanol gibi alkol kökenli alternatif yakıtların İYM'de kullanılması ile ilgili çalışmalar yoğunlaşarak devam etmektedir.

Alkol yakıtlar bitkisel kökenli olup, bazı fiziki ve kimyasal işlemler sonucu üretilmektedir. Tarımsal ürünlerin işlenmesi ve hazır gıda haline getirilmesi

kapsamında faaliyet gösteren işletmelerde etanol yan ürün olarak üretilabilmektedir. Ülkemizdeki tarımsal alanlar göz önünde bulundurulduğunda bitkisel kökenli yakıt üretimi önem kazanmaktadır. Şu anda kimyasal amaçlı etanol ve metanol üretimi ülkemizde de yapılmaktadır.

İYM’de kullanılabilecek yakıtların ekonomik olması, üretim kaynaklarının çeşitli ve bol olması, ısı değerlerinin yüksek olması, kolayca depolanması ve taşınması, yüksek sıkıştırma oranlarında (SO) çalışmaya olanak vermesi ve en düşük düzeyde egzoz emisyonu üretmesi istenir [1]. Alkol yakıtlardan etanol; şeker kamışı, buğday ve ağaç gibi bitkisel ürünlerin fermantasyonu ile üretilir. Metanol ise bitkisel kaynaklardan sentez gazı yöntemi ile veya kömür, doğalgaz ve karbondioksit (CO₂) gibi unsurlardan üretilabilmektedir. Alkol yakıtlar BAM’da yakıt olarak kullanıldıklarında benzine kıyasla bazı avantajlar sağlar. Hem etanol hem de metanol’ün vuruntu direnci benzinden daha yüksektir. SO’nun artırılmasıyla efektif verim (EFV) iyileştirebilir [2-5]. Etanol ve metanol BAM’da saf olarak ya da benzin ile harmanlanarak kullanılabilmektedir. Saf olarak kullanıldığında motor ve yakıt sistemi üzerinde bazı değişiklikler yapmak gerekirken, karışım olarak kullanıldığında herhangi bir değişiklik yapılmaksızın kullanılabilir. Her iki kullanım yöntemiyle de performans ve emisyonlarda iyileşmeler görülmektedir [6-9].

1.1. Çalışmanın Amacı

İhracat gelirlerinin büyük bir kısmı petrol için kullanılan ülkemizde, kesinlikle petrole alternatif olabilecek motor yakıtlarına önem verilmesi gereklidir. Bir tarım ülkesi olan ülkemizde, metanol ve etanol, yenilebilir enerji kaynaklarından elde edilebilmesi nedeniyle önem kazanmaktadır. Bu nedenle, motor üzerinde çok önemli değişiklikler yapmadan yenilebilir alternatif yakıtların kullanılmasının, performans ve egzoz emisyonlar üzerindeki etkisinin incelenmesi fikri, bu çalışmanın esas hedefini teşkil etmektedir.

Diğer taraftan, İYM’de, performans ve emisyonlara etki eden işletme parametreleri ve yapısal parametreler üzerine araştırmalar yoğun bir şekilde sürmektedir. İşletme parametreleri motorun ayarlanabilen özellikleridir. Bunlar; ateşleme avansı (AA), püskürtme avansı, püskürtme basıncı, hava/yakıt (H/Y) oranı ve supap zamanlamasıdır. Yapısal parametreler ise motorun imalatı sırasında belirlenen biçimsel özelliklerle

yakıtın kimyasal özellikleridir. Bunlar; SO, yanma odası şekli ve yakıtın oktan sayısıdır (OS).

Kullanılabilecek alternatif yakıtların farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olması, işletme ve yapısal parametrelerin önemini artırmaktadır. Bu bağlamda, literatürde alkol yakıtlar üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, işletme ya da yapısal parametrelerin yaygın olarak bir tanesinin performans ve emisyonlar üzerindeki etkisinin araştırıldığı görülmektedir. Ancak, motorlarda performans ve emisyonların belirlenmesinde temel etken olan işletme ve yapısal parametrelerin (AA, SO ve OS) bir bütün halinde incelenmesi gereklidir. Bu çalışma ile, farklı çalışma parametreleri ve saf etanol ve metanol kullanımında optimum çalışma koşulları belirlenebileceği gibi, alkol yakıtların yakıt özelliğinden (alt ısı değer düşük olması gibi) kaynaklanan performans düşüklüğünün de önlenebileceği amaçlanmıştır. Bu yeni çalışma koşullarına göre, motor malzemesi, ateşleme sistemleri (elektronik kontrol ünitesi, buji sayısı ve kapasitesi vb.) ve yakıt sistemleri geliştirilmesi sağlanabilir. Böylece, farklı yakıt kullanmak için sonradan dönüştürülen motorlarda meydana gelen problemler engellenmiş olur.

Bu çalışmada, farklı çalışma parametrelerinde benzin, etanol ve metanol yakıtların kullanılması durumunda yanma karakteristikleri, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

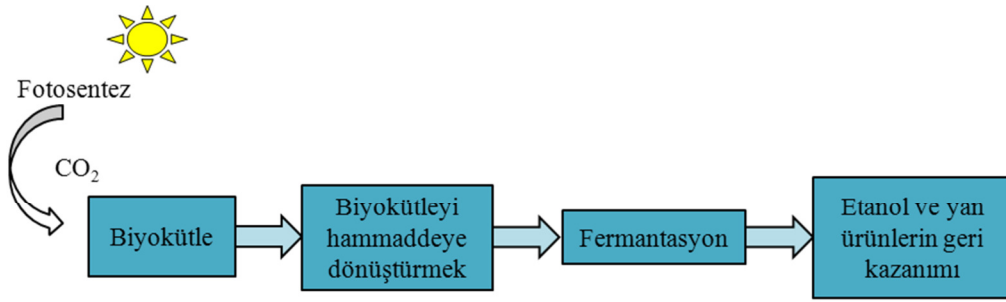
1.2. Alkol Yakıtlar

İYM’lerde alternatif yakıt olarak kullanılabilen alkol yakıtlardan en önemlileri etanol ve metanoldür. Yenilenebilir kaynaklardan üretilen bu yakıtların üretim süreçleri, fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkındaki genel bilgiler aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

1.2.1. Etanol üretimi

Etanol; karbon (C), hidrojen (H₂) ve oksijenden oluşan sıvı bir alkoldür. Nişasta gibi şekere dönüştürülebilen (karbonhidratlar) veya şeker ihtiva eden (tahıl tohumu gibi) her türlü biyolojik kaynaktan üretilbildiği gibi mısır tanesi ve tahıl gibi tohumların damıtılmasıyla (destilasyonla) da üretilmektedir [10].

Etanol üretimi 1950'li yıllarda başlamıştır. Üretim için dört farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; konsantre asit hidrolizi, seyreltik asit hidrolizi, enzimatik asit hidrolizi, biyokütle gazlaştırma ve mayalamadır. İlk üç yöntem biyokütleden şeker üretme ve sonra fermantasyon ile şeker etanole dönüştürme ilkesine dayanmaktadır. Dördüncü yöntem ise çok farklı bir yaklaşım olup, biyokütlenin termal işlemi ile sentez gazlarından olan H_2 ve CO_2 'ye dönüştürülmesi ve sonra etanol üretimi için fermente edilmesine dayanmaktadır [11]. Biyokütleyi biyoetanole dönüştürmede kullanılan yöntemlerin genel akış şeması Şekil 1.1'de görülmektedir.

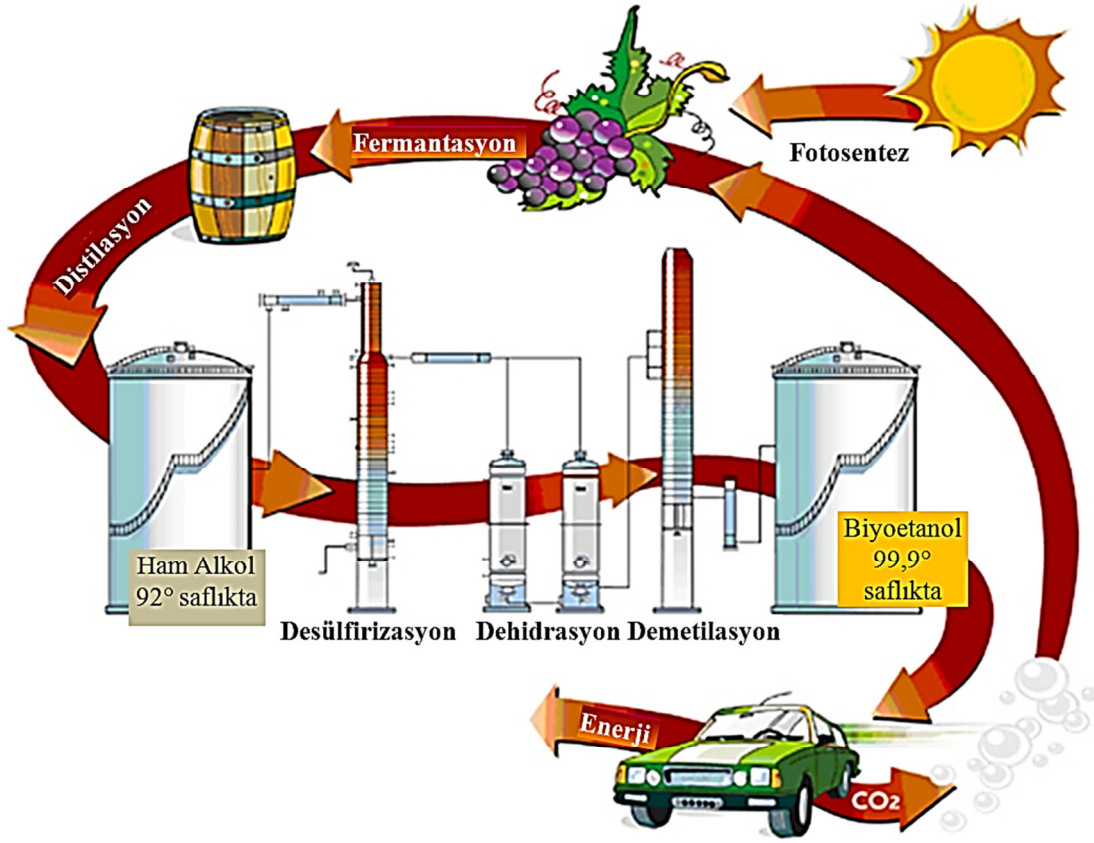


Şekil 1.1. Biyokütleyi biyoetanole dönüştürmede kullanılan genel akış şeması [12]

Etanol üretimi dört temel adımda meydana gelir. Bunlar;

- Güneş enerjisinin fotosentez yoluyla kimyasal enerjiye dönüştürülerek depolanması sonucu biyokütle üretmek.
- Bu biyokütleyi farklı proses teknolojilerinde kullanılabilecek bir hammaddeye dönüştürmek.
- Biyoetanol üretmek için biyokatalizörler kullanarak biyokütleyi fermente etmek.
- Kimyasal, ısı ve diğer yakıtları üretmek için kullanılabilen fermantasyon ürünleri, biyoetanolu ve yan ürünleri geri kazanmak [11, 12]

Şekil 1.2'de örnek bir biyoetanol üretim tesisinin işlem basamakları verilmiştir. Bitki büyürken güneş enerjisi etkisiyle fotosentez yaparak atmosferdeki CO_2 kullanmaktadır.



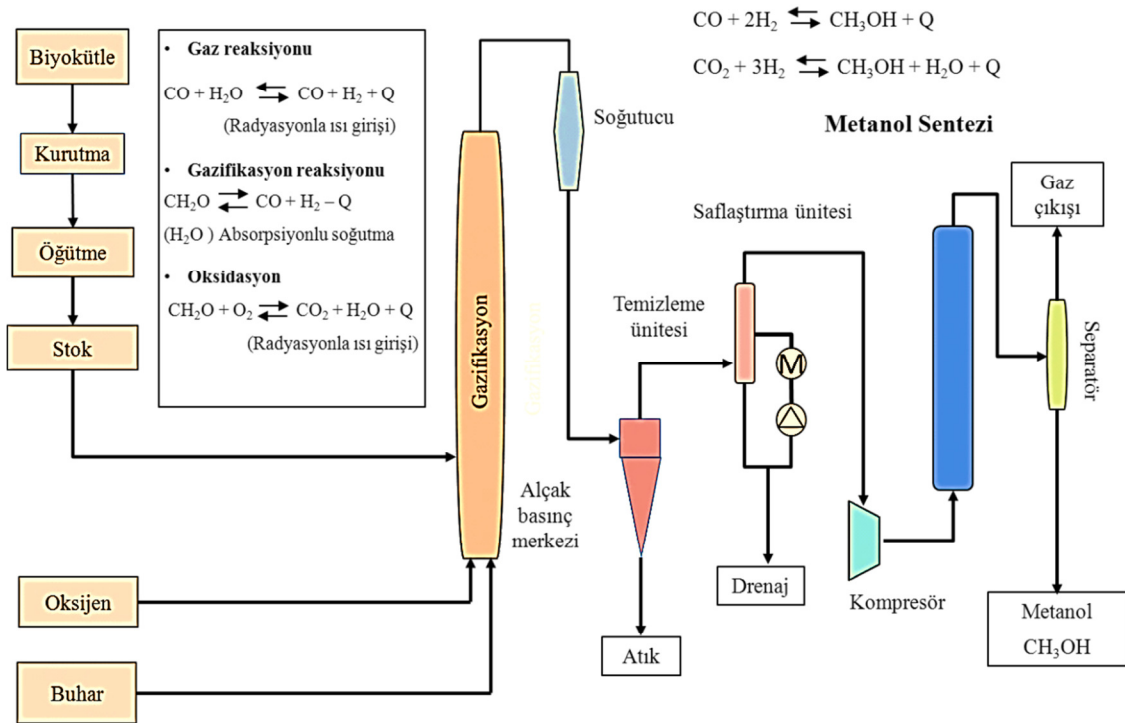
Şekil 1.2. Biyoetanol üretim süreci [13]

İçerisinde şeker ihtiva eden bitkiler, fermantasyon işlemi ile glikoz, etanol ve CO_2 'ye dönüştürülmektedir. Fermantasyon işlemi ile elde edilen suda çözülmüş etanol, distilasyon (damıtma) işleminden sonra içerisindeki suyun büyük bir kısmı alınarak 92° saflıkta ham alkol elde edilmektedir. Oksidasyon özelliği fazla olan bu ham alkol; yakıt olarak kullanılabilmesi, saflık derecesinin artırılması ve içerisindeki kükürdün alınması için birkaç işlemden daha geçirilmektedir. Desülfirizasyon işlemi ile alkoldeki kükürt ayrıştırılmaktadır. Son olarak dehidrasyon ve demetilasyon ünitesinde kimyasal tepkimeler ile etanol içerisindeki suyun azaltılması sonucu %99,9° saflıkta etanol üretimi gerçekleştirilmektedir.

1.2.2. Metanol üretimi

Saf metanol ilk olarak 1661 yılında Robert Boyle tarafından şimşirin distilasyonu ile üretilmiştir. Metanolün kimyasal bileşimi ise 1834'de Fransız kimyagerler Dumas ve Peligot tarafından belirlenmiştir. 1922'de BASF kimya şirketi, sentez gazı (karbonmonoksit (CO) ve H_2) ile metanol üretimi yöntemi geliştirmiştir [14]. Metanol;

petrol, doğalgaz, ağıryağlar ve kömür gibi fosil kökenli yakıtlardan üretilebildiği gibi içerisinde şeker ihtiva eden biyolojik kaynaklardan da üretilebilmektedir. Metanol, sentez gazı olarak isimlendirilen $\text{CO} + \text{H}_2$ karışımından yüksek basınçlarda katalitik olarak üretilmektedir. Dünyada metanol üretiminde yaygın olarak kömür kullanılmaktadır. Ayrıca biyoteknolojik yöntemlerle metanol üretimi de gittikçe önem kazanmaktadır [11, 15]. Odun, orman atığı, evsel ve hayvansal katı atıklar, kanalizasyon ve hatta atmosferdeki karbondioksitten de metanol üretilebilmektedir. Bütün biyokütleler metanol üretimi için gazlaştırılabilirler. Ancak, üretim sürecinin verimi hammadde stokunun kalitesine ve doğallığına bağlıdır. Odun ve yan ürünleri, otsu bitkiler ve ekin kalıntıları gibi düşük nemli malzemeler metanol üretimi için daha elverişli olduğu belirtilmiştir [15].



Şekil 1.3. Biyokütleden metanol üretim prosesinin şematik görünümü [16]

Yukarıda biyokütleden biyometanol üretmek için geliştirilmiş bir ünitenin şematik şekli verilmiştir (Şekil 1.3). Geliştirilen bu teknolojiye yüksek kalorili gazlaştırma ve kısmi oksidasyon yöntemi kullanılmaktadır. Biyokütleler kurutulduktan sonra çapı 1 mm olacak kadar öğütülerek tozlaştırılmaktadır. Toz haline getirilmiş biyokütle hammaddesi oksijen ve buhar yardımıyla 900-1000 °C sıcaklıklarda gazlaştırılarak içerisindeki karbonhidratlar, H_2 , CO , CO_2 ve su buharına (H_2O)'ya dönüştürülmektedir.

Dönüştürülmüş olan gaz karışımları bakır/çinko (Cu/Zn) malzemeli katalizör ile termokimyasal reaksiyona tabi tutulup 40-80 atm basınç altında biyometanol elde edilmektedir [16].

1.2.3. Etanol ve metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Alternatif yakıtların İYM’de kullanılabilirliğinin göstergesi olan fiziksel ve kimyasal özelliklerin irdelenmesi, motor performansı ve egzoz emisyonlara etkisinin nasıl olacağının bilinmesi önemlidir. Benzin, etanol ve metanol yakıtlarına ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 1.1’ de verilmiştir.

Isıl değer, yakıtın birim kütlesinin içerdiği enerji miktarıdır [17]. Yakıtın tam olarak yanabilmesi için gerekli olan teorik H/Y oranı benzin, etanol ve metanol için sırasıyla 14,6/1, 9,0/1 ve 6,46/1 dir. BAM’da önemli olan yanma odasında yanan karışımın ısıl değeridir. Karışımın ısıl değeri, yakıtın alt ısıl değerinin stokiyometrik H/Y oranına bölünmesiyle hesaplanmaktadır [18]. Etanol ve metanolün H/Y oranının düşük olması yakıtın kimyasal bileşiminde olan oksijenden kaynaklanmaktadır. Yakıt kimyası içerisindeki oksijen oranına bakıldığında etanol yakıtında %34,73, metanol yakıtında ise %49,94 dür. Yakıtların alt ısıl değerleri kıyaslandığında benzinin alt ısıl değerinin etanol ve metanole göre sırasıyla 1,647 ve 2,204 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda birim güç başına benzine göre daha fazla yakıt harcamasına sebep olmaktadır. Karışımın ısıl değerine bakıldığında ise üç yakıt türü arasında aşırı bir farklılık görülmemektedir. 3111,45 kJ/kg-karışım değeri ile metanol yakıtının en yüksek değerde olduğu ve bunu sırasıyla benzin ve etanol yakıtının takip ettiği görülmektedir. Metanol yakıtı en düşük alt ısıl değere sahipken, stokiyometrik H/Y oranı düşük olması, karışımın ısıl değerini yükseltmiştir. Bundan dolayı, etanol ve metanol yakıtının BAM’larda kullanılmasıyla teorik olarak, ısıl değer bakımından bir kayıp görülmemektedir. Fakat birim güç başına tüketilen yakıt miktarının benzine göre oldukça fazla olması kaçınılmazdır.

Tablo 1.1. Benzin, etanol ve metanolün bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri [19]

Yakıt özellikleri	Benzin	Etanol	Metanol
Kimyasal formülü	C _{6,97} H _{14,02}	C ₂ H ₅ OH	CH ₃ OH
Moleküler kütle (g/mol)	98,03	46,07 ^[20]	32,04 ^[20]
Oksijen ağırlığı (%)	-	34,73	49,94
Karbon/Hidrojen (C/H) oranı (%)	0,444	0,333	0,25
Yoğunluk (g/cm ³ , 20° C)	0,740	0,790 ^[20]	0,792 ^[20]
Alt ısı değeri (kJ/kg)	42600	26900	20100
Stokiyometrik H/Y oranı	14,6	9	6,46
Stokiyometrik karışımın ısı değeri (kJ/kg-karışım)	3034,25	2998,89	3111,45
Araştırma oktan sayısı (AOS)	95	108,6	108,7
Motor oktan sayısı (MOS)	85	89,7	88,6
Oktan sayısı ((AOS+MOS)/2)	90	99,15	98,65
Yakıt duyarlılığı (AOS-MOS)	10	18,9	20,1
Tutuşma sıcaklığı (°C)	257	363 ^[20]	455 ^[20]
Alevlenme noktası (°C)	25	12 ^[20]	11 ^[20]
Buhar basıncı (kPa, 20° C)	45-90	5,9 ^[20]	12,8 ^[20]
Buharlaşma gizli ısı (kJ/kg)	349	838	1100
Kaynama noktası (°C, 101,3 kPa)	27-225	78,3 ^[20]	64,5 ^[20]
Tutuşma sınırları (% hacim)	1,4-7,6	3,5-15 ^[20]	5,5-36,5 ^[20]
Laminer yanma hızı (cm/s, HFK:1,0, NŞA)	28	40	42
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	2002	1920	1870

OS yakıtın kendi kendine tutuşmaya karşı göstermiş olduğu direncin ölçüsüdür. Bu ölçü motorların dizaynındaki en önemli parametrelerden biridir ve aracın performansına doğrudan etkiler [17]. Etanol ve metanol yakıtlarına bakıldığında hem AOS'un hem de MOS'un benzine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. OS'nin yüksek olması vurutuya karşı direnci artırmaktadır. Yakıt duyarlılığı AOS ile MOS'un farkıdır. Yakıt duyarlılığı motorlarda çalışma şartlarının sınırını belirleyen bir etkidir. Duyarlılığın fazla olması zor şartlarda, vuruş meylinin fazla olabileceğinin bir göstergesidir [17]. Yani farklı iklim ve çevre koşullarında ve çalışma şartlarında motorlarda kullanılan yakıt türlerinin iklim şartlarına ne ölçüde uyum göstereceğinin bir göstergesidir. Bu bakımdan alkol yakıtlar daha duyarlı gözükmemektedir. Fakat yine de etanol ve metanolün OS'si, benzine göre daha yüksektir. Benzin, etanol ve metanolün OS'sine bakıldığında sırasıyla 90, 99,15 ve 98,65 olduğu görülmektedir. Alkol yakıtların OS'lerinin yüksek olması daha yüksek SO'larda motorun çalıştırılmasına olanak sağlamaktadır.

Tutuşma sıcaklığı yakıtın dışardan bir ısı kaynağı ile kendi kendine yanmasına neden olan minimum sıcaklık değeridir. BAM'da bu değer vurutulu çalışmaya etki eden bir

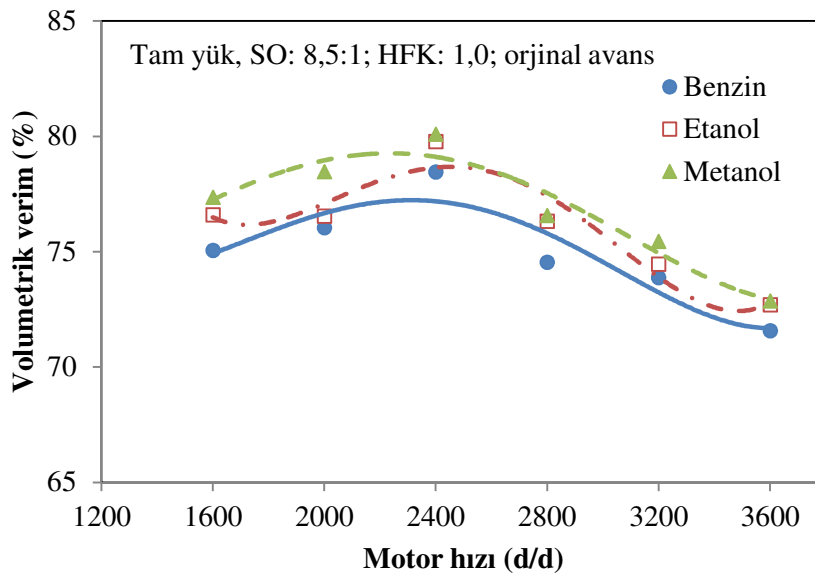
parametredir [17]. Yanma odası içerisindeki olası karbon birikintileri ve kızmış supap başlarının yakıtın tutuşma sıcaklığına ulaşması sonucu vuruntu oluşabilmektedir. Tutuşma sıcaklığının yüksek olması bu bakımdan önemlidir. Alkol yakıtlar kıyaslandığında metanolün tutuşma sıcaklığının daha yüksek olduğu görülmektedir. Metanolün tutuşma sıcaklığı 455 °C iken, etanolün 365 °C dir. Benzinde ise çok farklı hidrokarbonlardan oluştuğu için tutuşma sıcaklıkları sabit değildir.

Alevlenme noktası, yakıt buharının açık alev ile temas ettiğinde bir an için alev aldığı sıcaklıktır. Alevlenme noktası bir yandan sıcaklıkla, diğer yandan da yakıt-hava karışımının tutuşma sınırları ile ilgili olduğu gibi yakıtın buharlaşma miktarına, dolayısıyla buharlaşma basıncına da bağlıdır. Bu değer, yakıtın depolanması ve taşınması ile ilgili standart ve emniyet tedbirlerinin belirlenmesinde kullanılır [18]. Her üç yakıtın buhar basıncı ve tutuşma limitlerine bakıldığında alkol yakıtların (etanol, metanol) buhar basıncının daha düşük olduğu, yanma limitlerinin ise benzine göre daha geniş aralıkta olduğu görülmektedir. Bundan dolayı, etanol ve metanolün alevlenme noktası benzine göre oldukça düşüktür. Alevlenme noktası etanol ve metanolda sırasıyla 12°C ve 11°C iken benzinde 25°C olduğu görülmektedir. Bu durum etanol ve metanolün depolanması ve taşınmasında dikkatli olunması gerektiğini göstermektedir.

Buhar basıncı alevlenme noktasına etki ettiği gibi yakıtın uçuculuğunu, depolamadaki hidrokarbon kayıplarını ve motorun ilk çalışmasını belirleyen bir değerdir. Buhar basıncının düşük olması yakıtın iyi uçucu olmadığını ve soğuk havada ilk çalışmanın kolay olmayacağını gösterir. Buhar basıncı atmosfer basıncına eşit olduğu zaman buhar tıkaçları oluşmaktadır [17]. Etanol ve metanolün buhar basıncı benzine göre oldukça düşüktür. Bu, alkol yakıtların soğukta ilk harekete geçmesini zorlaştıran bir özelliktir.

Buharlaşma ısısı, yakıtların kaynama noktasından itibaren buharlaşması için gerekli olan ısıya denir. Yakıt-hava karışımı, yakıtın buharlaşması için gerekli olan ısıyı çevresinde bulunan motor elemanlarından alır [21]. Benzin, etanol ve metanol yakıtlarının buharlaşma ısıları sırasıyla 349, 838 ve 1100 kJ/kg'dır. Alkol yakıtlar benzine göre oldukça yüksek buharlaşma gizli ısısına sahiptir. Bu durum alkol yakıt kullanan doğal emişli motorlarda bazı avantaj ve dezavantajlar oluşturur. Özellikle karbüratörlü motorlarda silindirler içerisine alınan havanın soğumasına ve kütlece daha fazla havanın içeri alınmasına sebep olur. Motorun volumetrik verimini artırıcı bir

özellik gösterir. Aynı zamanda, motorun ilk çalışma hareketine geçişte zorlayıcı bir etki oluşturur. Ayrıca, sıcaklığın bir fonksiyonu olan azot oksit (NO_x) emisyonunun da azalmasına sebep olmaktadır. Benzin, etanol ve metanolün yakıt olarak kullanıldığı, doğal emişli tek silindirli bir motorda elde edilen örnek bir volumetrik verim değişimi Şekil 1.4’de görülmektedir. Tam yükte ve farklı motor hızlarında her üç yakıt türünden elde edilen volumetrik verim değerlerine bakıldığında etanol ve metanolün benzinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Motor metanol yakıtı ile %80 volumetrik verime ulaşmış ve bunu 2400 d/d motor hızında gerçekleştirmiştir.



Şekil 1.4. Volumetrik verim örneği

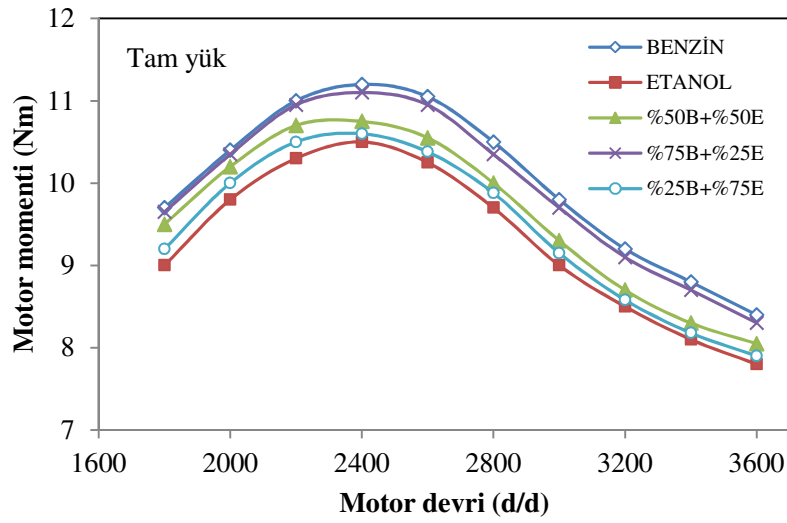
Bir yanma olayında çevreye ısı kaybı, kinetik ve potansiyel enerjilerde değişim ve iş mevcut değilse sistemin reaksiyon sonunda ulaştığı sıcaklığa adyabatik alev sıcaklığı denir [21]. Adyabatik alev sıcaklığı özellikle NO_x emisyonunun oluşumunu etkileyen önemli bir faktördür. Ayrıca motorlardan çevreye olan ısı transfer miktarını sınırlayan bu sıcaklık değeri motorun EFV'sini etkilemektedir. Alkol yakıtların adyabatik alev sıcaklığı benzine göre bir miktar düşüktür. Bu düşüşün nedeni olarak alkollerin benzine göre daha düşük C/H oranına sahip olması gösterilmektedir [22]. Bu durum motorlarda EFV'nin bir miktar artmasına, NO_x emisyonunun ise azalmasına sebep olmaktadır. En düşük adyabatik alev sıcaklığı 1867 °C ile metanol yakıtına aittir. Bunu etanol ve benzin takip etmektedir.

Etanol ve metanol benzine göre çok geniş yanma limitlerine sahiptir. Özellikle metanol yakıtı diğer yakıtlara göre daha geniş yanma limitine sahiptir. Bu sebeple depoda veya taşıma tankındaki doymuş buhar, çevre sıcaklıklarında patlayıcı olabilmektedirler. Örneğin 20°C’de doymuş havada metanol %13 oranında patlayıcı bölgededir. Bu nedenle taşıma ve depolamada tedbir alınmalıdır [17].

Etanol ve metanolün insan sağlığı ve çevre üzerine etkisini, farklı boyutlarla incelemek mümkündür. Taşıtlarda etanol kullanımının CO₂ emisyonu üzerine etkisi bakış açısına göre değişmektedir. Tüm etanol üretim süreci dikkate alındığında CO₂ emisyonu önemli ölçüde azalmaktadır. Örneğin E10 (%10Etanol+%90Benzin) karışım yakıtının kullanılmasıyla üretilen CO₂ emisyonundaki azalma %1-5 aralığındayken, E85 yakıtı kullanımıyla bu oran %19-70 aralığına ulaşmaktadır. Tüm etanol üretim süreci dikkate alınmadan egzoz çıkışı emisyon değerleri göz önüne alındığında ise CO₂ emisyon değerinin etanol ve benzin için hemen hemen aynı seviyelerinde olduğu belirtilmektedir. Etanol üretim süreci, hammaddenin büyümesi, işlenmesi, etanol üretimi, taşınması ve kullanılmasına kadar geçen bütün süreçtir. Etanol kullanmanın çevre ve insan sağlığı açısından en önemli özelliklerinin birisi de CO emisyonlarını azaltmasıdır. Örneğin E10 karışım yakıtı kullanımı CO emisyonunu %25’den fazla azaltmaktadır. Ayrıca etanol kullanımının kükürdioksit (SO₂) ve NO_x emisyonlarını da azalttığı belirtilmiştir. Bunun yanında, kanserojen bir madde olan asetaldehit, formaldehit ve peroksiasetilen nitrat gibi insan sağlığına olumsuz etkileyebilen zararlı emisyonlar etanol kullanımıyla artmaktadır [11]. Metanol ise yakıt bileşiminde bulunan formaldehit ve formik asit nedeniyle oldukça zehirli (toksik) bir bileşiktir. Bu sebepten dolayı, insan sağlığına bazı olumsuz etkileri mevcuttur. Vücudun metanolla teması durumunda, deriden çok çabuk emilmekte ve belirli konsantrasyona ulaştığında ise beyin hücrelerinin ölümüne, ani körlüğe, karaciğer yetmezliğine ve ölüme neden olabilmektedir. Hem metanol, hem de etanol su ile her oranda karışabilmesi ve biyolojik olarak mikroorganizmalar tarafından çok çabuk indirgenebilen bir yapıya sahip olması nedeniyle çevre kirliliğine sebep olmamaktadır [23]. İYM’lerde metanol kullanımının başta CO emisyonu olmak üzere NO_x ve SO₂ emisyonlarını azaltmaktadır. CO₂ emisyonu ise üretimi biokütlelerden olan metanol yakıtı için etanole benzer sonuçlar vermektedir. Ancak, metanolün en büyük dezavantajı zehirli ve kanserojen madde olan formaldehit emisyonunu artırmasıdır [23].

1.3. Etanol ve Metanolün Buji Ateşlemeli Motorlarda Kullanımı

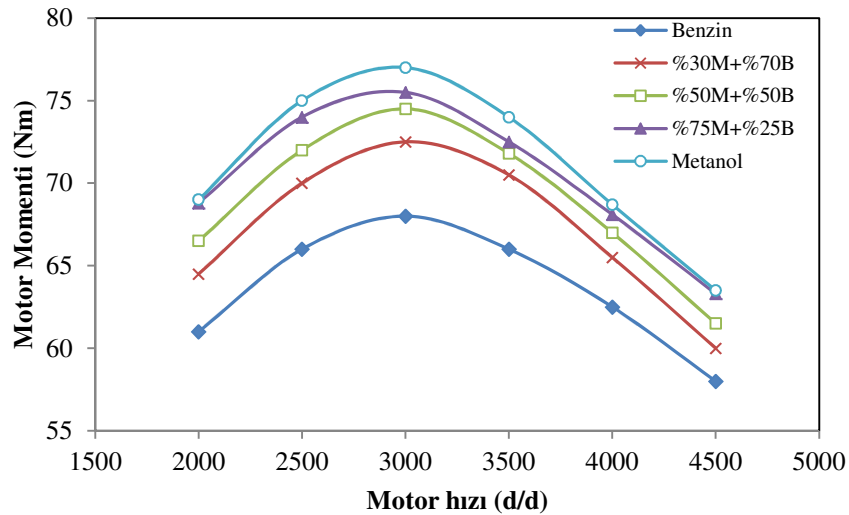
Bilinen en basit dört alkol, etanol, bütanol, metanol ve propanol'dür. Daha karmaşık yapıya sahip alkoller olmasına karşın bu dört alkol ticari amaçlar için daha uygundur. Alkol yakıtların İYM'de yakıt olarak kullanılması çok eski tarihlere dayanmaktadır. Motor yakıtı olarak alkol (etanol ve metanol) kullanımı İYM'nin icadı kadar eskidir. Alkol bazlı yakıtlar 1800'lü yıllarda önem kazanmış ve 1894'ün başlarında Fransa ve Almanya'da İYM'de etanol kullanılmıştır. İlk olarak Henry Ford 1880'de etanolü yakıt olarak kullanabilen prototip bir otomobil geliştirmiştir. 19.yy sonlarında Nikolaus August Otto tarafından geliştirilen İYM'den bazıları alkolle çalışacak şekilde dizayn edilmiştir. Yıllar boyunca ve dünya çapında alkol bazlı yakıtlara ülkelerin ilgisi ekonomik durum ve stratejilere bağlı olarak kısa vadeli artışlar göstermiştir. Örneğin 1970'deki petrol krizi zamanında ABD yakıt olarak etanol kullanımında çareyi aramıştır. Alkol yakıtları geniş ölçekli gelişimi Brezilya'da 1975'te ulusal alkol programı (NAP) ile başlatılan kalkınma projesi ile başlamıştır. Bu projede motor yakıtı olarak %24 oranında etanol içeren benzin-etanol karışımı kullanılmış ve proje başarıya ulaşmıştır. Etanol ve metanol gibi bazı alkol yakıtların kullanılabilmesi için piyasaya alkol-benzin karışımı olarak sürülmüştür. Aynı zamanda, alternatif enerji platformlarında (nükleer vb.) ve yakıt hücrelerinde kullanımı üzerine yapılan araştırmalar devam etmektedir [14, 15]. Yakıt olarak etanol-benzin karışımları kullanılan bir motorda motor momentinin devir sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 1.5'de gösterilmiştir. Tam yükte ve sabit motor hızlarında yapılan deneyler sonucu etanolü çalışmanın en düşük motor momentini elde ettiği ve karışımdaki benzin oranı arttıkça momentin arttığı görülmektedir. Hava fazlalık katsayısının (HFK) sabit olmaması ve etanolün düşük alt ısı değere sahip olması motor momentinin benzine göre daha düşük olmasına sebep olduğu görülmektedir.



Şekil 1.5. Tam gaz kelebek açıklığında motor momentinin motor devrine bağlı olarak değişimi [24]

Hem yenilenebilir kaynaklardan hem de petrol kökenli ürünlerden üretilebilen metanol çok esnek bir alternatif yakıttır. Metanolün motor yakıtı olarak kullanılmasına 1970’li yıllardaki petrol krizinde düşük maliyeti nedeniyle başlanmıştır [15, 25]. ABD’de yer alan Massachusetts teknoloji enstitüsündeki araştırmacı Thomas Reed yakıt olarak metanol kullanımını savunan ilk kişilerden biridir. 1973’te bilim dergisinde metanolün bazı avantajlarını konu alan yayınları mevcuttur. Benzine %10 metanol ilavesinin motor performansını iyileştirdiği, daha yüksek menzil mesafesine ulaştırdığı ve zararlı egzoz gaz emisyonlarını azalttığı belirtilmiştir. Benzer sonuçlara Almanya’da yapılan araştırmalarda da ulaşılmıştır. Hükümetin 1975’te desteklediği Volkswagen firması tarafından yapılan testlerde yakıt olarak M15 (%15 Metanol+%85 Benzin) karışım yakıtı kullanılmış ve testler 45 araç üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda, metanol-benzin karışımı kullanımının motor performansını iyileştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca metanolün bir oktan artırıcı olduğu ve metanol-benzin karışımının saf benzinden daha fazla güç ürettiği belirtilmiştir. Aynı firma beş araçta ise saf metanol (M100) kullanımı denemiştir. Deneylerde metanolün düşük uçuculuğundan kaynaklanan soğukta ilk çalışma gibi olumsuz etkiler bütan ve pentan gibi katkı maddeleri ile engellenmiştir. 1980’lerin sonlarında ise güncellenmiş yeni egzoz emisyon standartlarını karşılayabilmek için alternatif yakıtlar üzerine otomobil şirketleri tarafından yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır. General motor, Ford, Chrysler, Volvo, Mercedes ve diğer otomobil firmaları birkaç yüz dolar ek maliyet harcayarak araba

modellerini, metanolle çalışabilecek hale getirmişlerdir. Ford firması tarafından yapılan araştırmalarda metanol kullanan araçlarda 0-100 km/s hız aralığındaki ivmelenmenin benzinden iki kat daha hızlı olduğu sonucuna varmışlardır. Metanol satan şirketlerin az olmasından dolayı hem M85 (%85 Metanol+ %15 Benzin) yakıtı ile çalışan hem de benzin ile çalışan flexible motorlar tasarlanmıştır. 1990'lı yıllarda geliştirilen katalitik konvertör, enjeksiyonlu yakıt sistemleri ve benzinin kimyasal bileşiminde yapılan değişimler ile metanol yakıtı ile elde edilen egzoz emisyonlarındaki iyileşmeler benzinli motorlarda da yakalanmıştır. Bundan dolayı otomobil firmalarının alternatif yakıtlara olan ilgisi azalmıştır. Ancak artan petrol fiyatları ve iklim şartlarının değişiminden kaynaklanan endişelerden dolayı metanole olan ilgi tekrar artmıştır. Uzun vadede metanolün saf olarak kullanılabileceği ve metanollü yakıt hücrelerinin artacağı düşünülmektedir. Petrol rezervlerinin azalması ve ülkelerin ekonomik durumlarından dolayı metanole olan ilginin ilerleyen dönemlerde fazlasıyla artacağı kaçınılmazdır. Son zamanlarda alkol yakıtlara olan ilgi petrol fiyatlarının artması ve alkollerin hidrokarbon yakıtları ile karışım oluşturarak kullanılması, esnek yakıtlı araçların (FFV) üretilmesiyle iyice artmıştır [15]. Metanol BAM'larda daha çok benzine karıştırılarak kullanılmaktadır. Şekil 1.6'da yakıt olarak benzin-metanol karışımı kullanan bir motorun, motor momentindeki değişimler motor hızına bağlı olarak görülmektedir.



Şekil 1.6. Tam yükte motor momentinin devir sayısına bağlı olarak değişimi [26]

Şekil 1.6'da görüldüğü gibi karışım içerisindeki metanol miktarı arttıkça motor momentinin arttığı görülmektedir. Tam yükte ve yakıtların iki farklı karbüratör

boğazından verildiği deneylerde en fazla moment artışının saf metanol ile elde edildiği görülmektedir [26].

Alkol yakıtların Türkiye’deki kullanım süreci incelendiğinde, ilk olarak 1931 yılında Ankara’da gerçekleştirilen Birinci Ziraat Kongresi’nde ele alındığı görülmektedir. Ana amacı, “An’anevi Ziraattan Rasyonel Ziraata” olan söz konusu kongrede, ülkemizin tarımsal üretiminin nitelik ve nicelik olarak artırılması, dünya piyasalarında rekabet gücünün iyileştirilerek tarımsal ihracatımızın yükseltilmesi en önemli hedef olarak belirlenmiştir. Yaklaşık 50 alt bölümden oluşan kongreye ait ihtisas raporlarında alt başlıklardan biri olan, “Ziraat Aletleri” bölümünde, tarım ürünleri üretiminin artırılmasında tarımsal alet ve makinelerin önemine değinilmiş, söz konusu makineleri ve bu makinelerde kullanılan yakıtı ithal etmek yerine yerel kaynaklarla üretilmesinin faydalarından bahsedilmiştir. Tüm bunlar göstermektedir ki, o zamanki adı biyoyakıt olmasa da ülkemizde ilk defa Birinci Ziraat Kongresi’nde, yerel kaynaklar kullanılarak elde edilecek yakıtın milli ekonomimiz açısından çok faydalı olduğu vurgulanmış ve biyoyakıt üretiminin önemi çeşitli boyutlarıyla birlikte ele alınmıştır [27].

1.4. Motor Performansına Etki Eden İşletme ve Yapısal Parametreler

Bilim ve teknolojiye gelişmelerle motorların yapısal ve işletme parametrelerinin iyileştirilmesine ve yakıtın en verimli biçimde yakılmasına çalışılmaktadır. Hızla gelişen otomotiv teknolojisinin en önemli hedefleri; yakıt tüketimini mümkün olan en alt seviyeye indirmek, motorun her devrinde maksimum güce ve maksimum momente ulaşmasını sağlamak ve emisyon değerlerini minimum bir değerde tutmaktır. 1970’lerden günümüze yakıt ekonomisi üzerine yapılan çalışmalar sonucunda 100 km’deki yakıt tüketimi 3,40 l’ye kadar indirilmiştir. Motorlu taşıtlarda petrol kökenli yakıt kullanımının bir sonucu olarak ortaya çıkan bir sorun da hava kirliliğidir. Taşıt egzozundan çıkan kirleticilerin (CO, HC ve NO_x) hava kirliliğini önemli ölçüde artırdığı bilinmektedir. Yanma esnasında ve yanmadan sonra alınan tedbirlerle egzoz emisyon seviyelerinin azaltılması sağlanmaktadır [28].

Motordan maksimum gücü, en ekonomik ve çevreyi kirletmeden alabilmek için yapılan çalışmalar günümüzde hız kazanmış, özellikle bazı motor parametreleri üzerindeki araştırmalar yoğunlaşmıştır. Motorun bütün çalışma şartlarında volumetrik verim ve EFV’nin artırılması, güç kayıplarının en aza indirilmesi, araştırmaların ana hedefini

oluşturmaktadır. Emme zamanındaki kayıpları azaltmak ve motorun volumetrik verimini artırmak için motor devrine bağlı olarak emme supabı açılma ve kapanma zamanları değiştirilmektedir. Ayrıca emme supabının silindir dolgusuna bağlı, gecikmeli olarak kapatılması ve emme supabı kalkma miktarının azaltılması ile motor yükü kontrol edilerek motor gücünün artırılması ve pompalama kayıplarının azaltılması sağlanmaktadır [28,29].

İYM’de güç, motor silindirinde yakıtın uygun orandaki hava ile karıştırılarak yakılması sonucu elde edilmektedir. Performansın iyileşmesi, yanma olayının çok kısa bir zaman içinde verimli şekilde gerçekleştirilmesine bağlıdır. Yanma, çeşitli koşullar altında farklı şekillerde meydana gelmektedir. Dolayısıyla yanma veriminin (YV), motorun bütün çalışma şartlarında maksimum seviyede tutulması gerekmektedir.

1.4.1. İşletme parametreleri

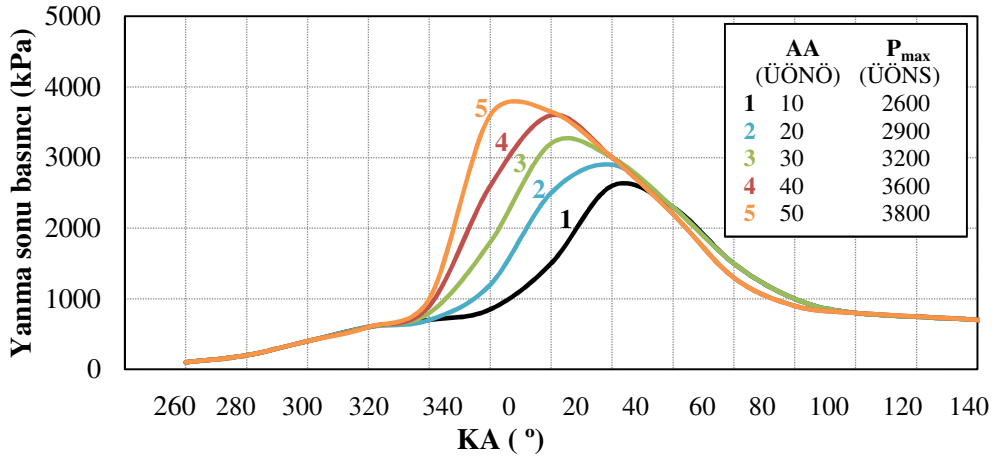
Motorlarda işletme parametrelerini AA, H/Y oranı, supap zamanlaması, karter yağı sıcaklığı ve soğutma suyu sıcaklığı olarak sıralamak mümkündür. Günümüz taşıtlarında, bu parametrelerden bazıları gelişen teknolojilerle motorun çalışırken en iyi performansı verecek şekilde otomatik olarak ayarlanmaktadır.

1.4.1.1. Ateşleme avansı

Benzinli motorlarda yanmanın termodinamik açıdan en uygun zamanda bitirilmesi için sıkıştırma zamanı sonlarında piston üst ölü noktaya (ÜÖN) gelmeden birkaç derece önce buji kıvılcımının çakıp yanmanın başlatılmasına AA denir. Benzin motorlarında ateşleme noktası motor gücü ve yakıt tüketimine önemli ölçüde etki etmektedir. Ateşleme noktası, rölanti devrinde, motor tipine bağlı olarak, piston ÜÖN’ye gelmeden 0°-10° krank açısı (KA) öncedir. Motorun devri arttıkça bu noktada, ÜÖN’den 30°-50° KA önceye kayar. İmalatçı firmalar AA’yı genelde en düşük yakıt tüketimi elde edilecek şekilde verirler. AA’nın artırılması sonucu motor gücü ve egzoz emisyonları artmaktadır. AA’nın azaltılması ile motor gücü ve NO_x emisyonunda azalma, özgül yakıt tüketiminde (ÖYT) ise artış gözlenmektedir [30].

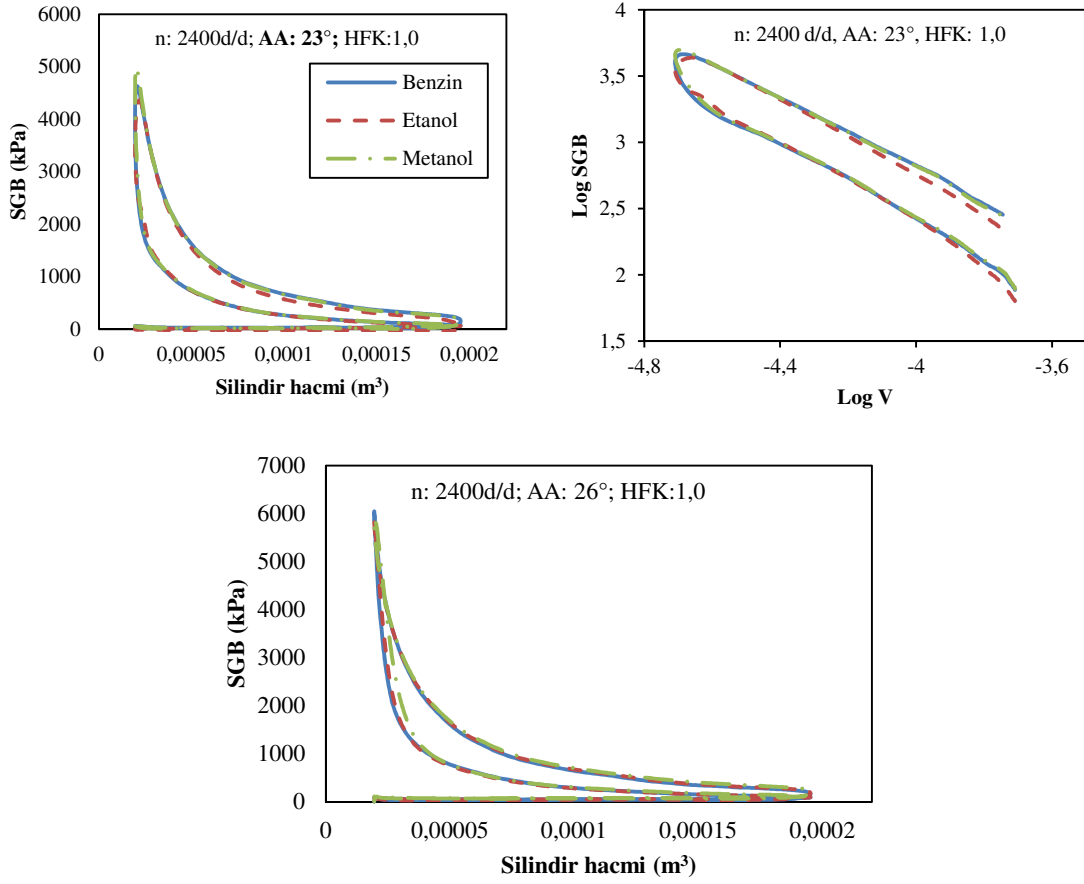
Sabit motor hızında AA artırılırsa maksimum basınçlar ÜÖN’ye doğru kaymakta ve basınç ile sıcaklık değerleri yükselmektedir. Bu sırada yanma hızı ve basınç yükselme

hızı artarak ön reaksiyonlar için kalan süre kısalmaktadır. Ancak, artan sıcaklıkların etkisi daha önemli olduğundan AA'nın artması sıcaklığı artıracağından vuruntu temayülü artmaktadır [28]. Tam yükte 1200 d/d'de CFR motoru ile yapılan bir çalışmada artan AA'nın motorunun maksimum basıncını ve vuruntu meylini artırdığı belirlenmiştir, Şekil 1.7 [28].



Şekil 1.7. AA'nın silindir basıncına etkisi (n=1200 d/d, Tam yük, CFR motoru) [28]

Benzin, etanol ve metanolün yakıt olarak kullanıldığı, tek silindirli bir motorun P-V diyagramının AA'ya göre değişimi Şekil 1.8'de görülmektedir. Tam yükte ve sabit motor hızında (2400 d/d) her üç yakıt türü ile yapılan deneylerden elde edilen P-V diyagramına bakıldığında, etanol ve metanolün 26° AA'da benzinden daha az bir kapalı alan oluşturduğu görülmektedir. Bu durumun alkol yakıtlarda güç düşümüne sebep olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, Şekil 1.8'de deneysel çalışmadan elde edilmiş örnek bir log P-V diyagramı verilmiştir. Bu diyagram, İYM'lerde yapılan deneylerden elde edilen dataların doğruluğunu kontrol etmekte kullanılmaktadır. Log P-V diyagramının sıkıştırma ve genişleme zamanındaki eğrilerin birbirine paralel olması, deneysel olarak elde edilen SGB'nin geçerliliğini göstermektedir.



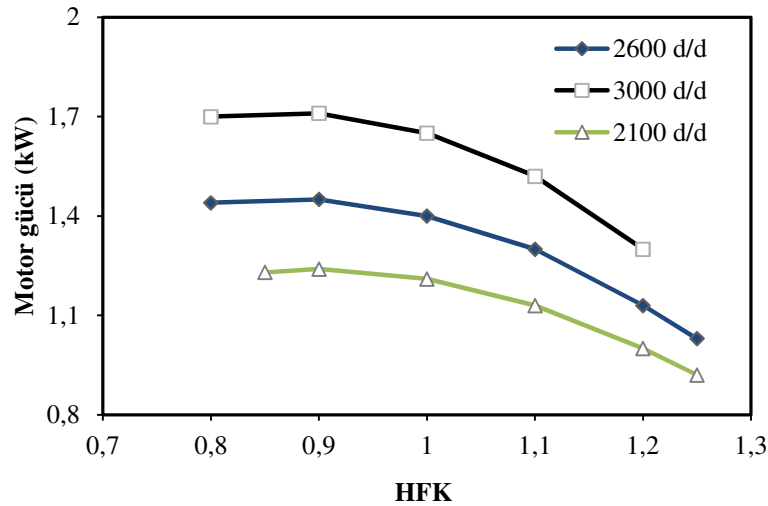
Şekil 1.8. Farklı yakıtlarda AA'nın kapalı P-V diyagramına etkisi

1.4.1.2. Hava/yakıt oranı

Yanma sürecinde hava kütlesinin yakıt kütlesine oranına H/Y oranı denir. Benzin motorları, standart ayarları ile çalışırken bile yüksek oranlarda CO, HC ve NO_x emisyonu yaymaktadır. Emisyon miktarına etkileyen en önemli değişken HFK'dır. H/Y oranındaki değişim, alev hızının, alev ve duvar sıcaklığının ve son gaz reaksiyon süresinin değişmesine neden olabileceğinden vurutuya da etki etmektedir. HFK ayrıca motorun performansını ve ÖYT'yi de etkilemektedir [28, 30].

H/Y oranı yanma oluşumunu belirlediğinden, motor gücünü ve yakıt ekonomisini etkilemektedir. 12/1–13/1 gibi zengin karışımlarda yanma hızı artmakta ve motor gücü de artmaktadır. 16/1–17/1 gibi fakir karışımlarda ise ÖYT en düşük düzeyde olmaktadır [31]. Yanmanın en hızlı olduğu HFK'da, efektif motor gücünün de maksimum olduğu görülmüştür. Şekil 1.9'da görüldüğü gibi, en kısa yanma süresini sağlayan karışım oranının, maksimum çevrim işinin elde edildiği konumda olması ilgi çekicidir. Deneyler

sırasında ölçülen silindir kapak sıcaklıkları, zengin karışımlarda en yüksek değerlerine çıkmıştır. Bu sonuçlar yanma hızının, dolayısıyla reaksiyonların hızlandığını göstermektedir. Yanma odasında oluşan yüksek sıcaklıklardaki aktif partiküllerin yanmamış bölgeye doğru olan difüzyonlarının hızlandığı ve onların da çok kısa sürede reaksiyona girdikleri anlaşılmaktadır [31].



Şekil 1.9. Değişik motor hızlarında ve $\frac{3}{4}$ gaz kelebeği açıklığında, motor gücünün HFK'ya bağlı olarak değişimi [31].

Yanma odasındaki karışımın konsantrasyonunun ve alev cephesi sıcaklığının düşmesi sonucunda yanma süresinin uzadığı ve reaksiyonların yavaşladığı düşünülmektedir. Fakir karışımlarda maksimum basınç pozisyonu ÜÖN'den uzaklaştığı için yanma yavaşlamaktadır. Bu nedenle motor efektif gücünde azalma meydana gelmiştir. Görüldüğü gibi karışımın fakirleştirilmesi motor gücünü önemli derecede etkilemektedir [31].

1.4.1.3. Supap zamanlaması

İYM'nin performansını artırmak için yapılan çalışmalarının birisi de, tüm çalışma şartlarında silindirlere alınan dolgu miktarını artırmaktır. Bu amaçla, İYM'de, karışımın silindirlere giriş ve çıkışını kontrol eden, aynı zamanda sızdırmazlık sağlayan emme ve egzoz supaplarının zamanlamasının incelenmesi gerekmektedir. Geleneksel supap zamanlaması, bir motor devri ve yükü için optimum şartları oluşturacak şekilde ayarlanır. Bu, yüksek hız ve tam gaz kelebeği çalışma şartlarıdır. Bu şartlarda çıkış

gücünü artırmak için supapların açık kalma periyodu uzatılır veya supap kalkma miktarı artırılırsa motorun rölanti çalışma koşulları bozulur, ayrıca emme supabı geç kapanacağından düşük hızlarda motor momentinin azalmasına neden olur. Diğer yandan, düşük hızda hem daha yüksek moment ve daha iyi bir rölanti kararlılığı sağlayacak şekilde imal edilebilir. Ancak bu durumda da yüksek hız çalışma şartları bozulur. Supap zamanlamasının motorun bütün yük ve devir aralıkları için optimize edilmesi ile başta volumetrik verim olmak üzere, motor momenti, çıkış gücü, egzoz emisyonları ve yakıt ekonomisi iyileştirilmiş, ayrıca motorun kullanılabilir devir aralığı artırılmıştır. Bunun için geliştirilen değişken supap zamanlaması sistemleri ile motorun her devir aralığında optimum dolgu oranlarını sağlamak için emme ve egzoz supaplarının açılma ve kapanma zamanının ayarlanmasını sağlanmaktadır [32].

1.4.2. Yapısal parametreler

Motorlarda yapısal parametreleri; SO, yanma odası şekli ve OS olarak sınıflandırmak mümkündür. Yapısal parametreler daha çok motor imalatı esnasında önceden belirlenen şartlara göre ayarlanmaktadır. Bu şartlar, üretilen motorda kullanılacak olan yakıtın özelliklerine göre yanma odası şeklinin ve SO'nun tasarlanmasıdır. Yapısal parametreler motorda kullanılacak yakıttan en iyi performansı alacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu parametrelerin belirlenmesi motor yapımında kullanılacak olan malzemeyi de etkileyeceği için oldukça önemlidir.

1.4.2.1. Sıkıştırma oranı

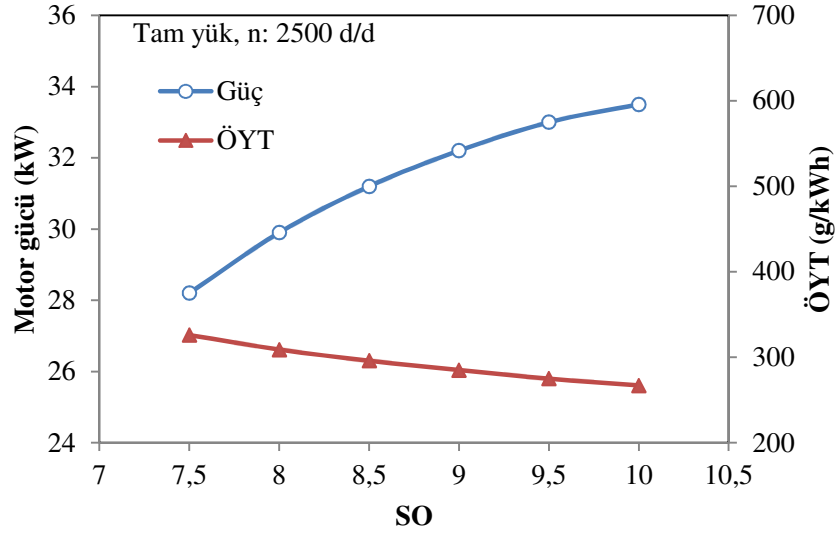
İdeal bir çevrimde, sıkıştırma başlangıcındaki silindir hacminin (V_1), sıkıştırma sonu hacmine (V_2) oranı şeklinde tanımlanan SO ;

$$SO = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c} \text{ ile hesaplanır} \quad (2.1)$$

Burada; V_h : silindir hacmini ve V_c : yanma odası hacmini ifade etmektedir. Gerçek bir çevrimde ise sıkıştırma alt ölü noktada (AÖN) değil, emme supabı kapandıktan sonra başlamaktadır. Bu nedenle motorun gerçek SO değeri (SO_g);

$$SO_g = \frac{(V_h - V_k) + V_c}{V_c} \text{ dir.} \quad (2.2)$$

Burada; “ V_k ” AÖN’den sonra (AÖNS) supapların kapanmasına kadar pistonun taradığı hacimdir [28].



Şekil 1.10. SO’nun motor gücüne etkisi [33]

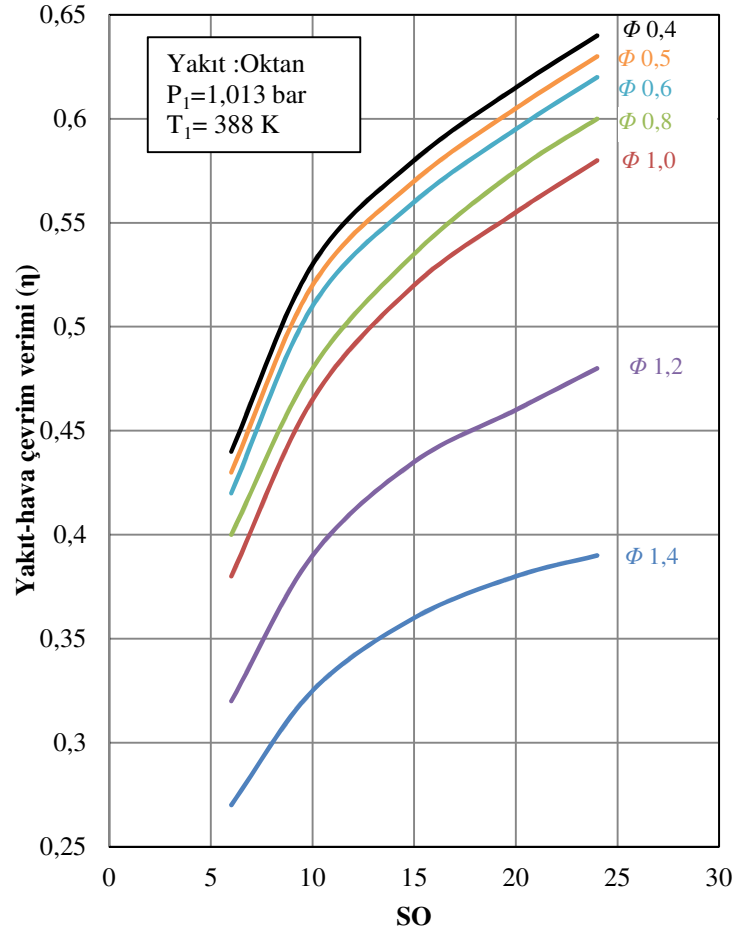
SO, motorun gücünü ve verimini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. SO’nun performansa etkisini incelemek için yapılan bir araştırmada, buji ile ateşlemeli, 2,2 litrelik bir motor tam gazda ve sabit devirde (2500 d/d) SO değiştirilerek test edilmiştir. Deneyler sonucunda, SO’nun artmasıyla motor gücünün arttığı, ÖYT’nin ise azaldığı tespit edilmiştir, Şekil 1.10 [33].

BAM’da oluşan işlemleri en iyi açıklayan model olan otto çevrimi, çevrim verimini SO ile arttığını gösterir [18].

$$\eta = 1 - \frac{1}{SO^{k-1}} \quad (2.3)$$

H/Y çevrimi, otto çevriminin geliştirilmiş halidir ve gazların gerçek termodinamik özellikler göstermesine izin verir. Bu çevrime göre SO’nun eşdeğerlik oranına (Φ) bağlı olarak çevrim verimine etkisi Şekil 1.11’de görülmektedir [34].

Şekil 1.11’den anlaşılacağı gibi karışım fakirleştikçe ($\Phi \rightarrow 0$), artan SO ile birlikte verim artar. Diğer bir deyişle, fakir karışımlardaki gazların karakteristikleri Otto çevrimi için kabullenilen karakteristiklere çok yakındır. Bu sebeple maksimum verime fakir karışımlarda ulaşılır [28, 33].



Şekil 1.11. Çeşitli eşdeğerlik oranlarında çevrim veriminin SO'ya bağlı değişimi [34]

Ancak, gerçekte verim Otto çevrimiyle belirlenen seviyede artırılmamaktadır. Bunun başlıca sebepleri, sıkıştırma ve genişleme zamanları esnasında mekanik sürtünme ve ısı kayıplarının olması, yanma işleminin ani olarak oluşmaması, egzoz supabının genişleme zamanı tamamlanmadan önce açılması ve kullanılan yakıtın Otto çevrimi için öngörülen mükemmel gaz özelliklerini göstermemesidir [28].

Yüksek SO'larda silindir kapağı ile piston arasındaki ezilme bölgesindeki kütle yüzdesinin artması, yanma süresini uzatmaktadır. Ayrıca, yanma odası yüzey/hacim oranının SO ile birlikte artması, yanma süresinin uzamasına katkıda bulunmaktadır. Artan SO ile yanma odası şeklinin değişmesi, dolayısıyla türbülansın az olması da yanma süresini artırabilmektedir. Yanma süresinin artması ile birlikte ısı alışverişi için geçen süre artmakta, piston ÜÖN'dan bir hayli uzaklaştıktan sonra bile yanma devam etmektedir. Bu durum motorlarda EFV'nin azalmasına neden olur [28, 29].

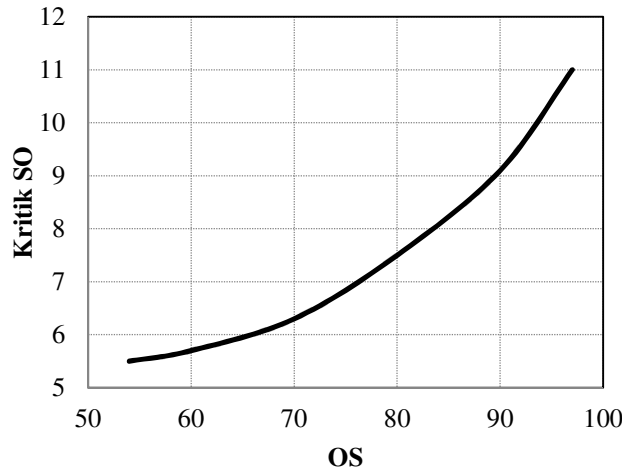
SO'nun yanmayı etkilemesi sonucu emisyon miktarları da değişmektedir. HC emisyonlarının en önemli kaynaklarından birisi yanma odası yüzey alanıdır. Yanma odası içindeki alev yüzeye yakın bölgelerde soğumakta ve sönmektedir. Bu yanmamış bir HC tabakası bırakır ve bu tabaka yanmamış gazlarla karışarak egzozla atılır. Yanma odası yüzey alanı SO ile birlikte artmaktadır. Dolayısıyla SO'nun artması HC emisyonunu da artırmaktadır. Aynı zamanda, SO'nun artmasıyla yanma sonu sıcaklıkları yükselmekte buna bağlı olarak da NO_x emisyonları artmaktadır [28, 33].

1.4.2.2. Oktan sayısı

Yakıtın kendi kendine tutuşmaya karşı gösterdiği direnç OS ile tanımlanır. OS yakıt kalitesini belirlediği için vuruntu ve erken ateşlemenin temel göstergesidir [30, 35]. Vuruntu; karışım buji tarafından ateşlendikten sonra alev yanma odasında ilerlerken diğer bölgede bulunan karışımın sıcaklık ve basıncın artmasından dolayı kendi kendine tutuşması neticesinde iki alev cephesinin karşılaşması ile arada kalan karışımın çok hızlı şekilde (patlama) yanması sonucunda meydana gelen olumsuz yanma şeklidir. Erken ateşleme; karışım buji tarafından ateşlenmeden önce silindir içerisindeki basınç ve sıcaklığın karışımı tutuşturabilecek seviyeye gelmesi sonucunda oluşan yanma şeklidir. Bu tip yanma meydana geldiğinde piston silindir içerisinde ÜÖN'ye doğru hareket ettiğinden piston hareketini engelleyici bir kuvvetle karşılaşacaktır. Bu da yanmanın kalitesini düşüreceğinden motordan elde edilecek verimin kötüleşmesine sebep olacaktır.

Benzin motorlarında sıkıştırılan yakıt-hava karışımının yüksek basınç ve sıcaklıkta buji ateşlemeden kendi kendine tutuşması (vuruntu) istenmez. Benzin-hava karışımlarında sıkıştırma sonu basıncı ile yanma odasındaki en yüksek sıcaklığın arttırılabilmesi yakıtın vuruntu mukavemetine bağlıdır. Yakıtın vuruntu mukavemeti kendi fiziko-kimyasal özellikleri yanında motorun yapısal ve işletme özelliklerine de bağlıdır. Motorun vuruntu şeklinde meydana gelen yanma ile çalıştırılması sonucunda yakıttan elde edilecek enerjinin boşa gitmesine ve motorun zarar görmesine sebep olur. Ortaya çıkan vuruntu motorda çekiçleme şeklindeki gürültülerle kendini belli eder. Vuruntu motorun gücünü düşürür, yakıt tüketimini arttırır ve uzun süre devam etmesi halinde yanma odası çeperlerinde hasara neden olur [21, 30, 34, 35]. Erken ateşleme meydana geldiğinde piston, ÜÖN'ye gelmeden önce silindirde maksimum basınç ortaya çıkar ve

bu basınç, pistonu aşağı itmek ister. Bunun sonucunda piston yakması, yatak hasarı ve güç kaybı meydana gelir. Yüksek OS'li yakıtların kullanılması, yüksek motor basınç oranlarına izin verir. Bu yakıtları kullanmak için tasarlanan yüksek SO'lu motorlar, yüksek verim ve güce sahip olurlar. Bu sebeplerden dolayı spor arabalarda yüksek OS'li benzin kullanılmaktadır. Yüksek OS'li benzin elde etmek için bazı katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Bu tip yakıtlara örnek olarak süper benzini verebiliriz. Burada sözü edilen OS'nin artışı, benzinin ısıl değerini arttırmamakta, fakat yakıtın yüksek sıcaklık ve basınçlar da kendi kendine tutuşma (vuruntu) olayı eğilimini azaltmaktadır. Yani süper benzin daha zor tutuşur. OS'nin artmasıyla birlikte benzin motorlarının SO arttırılabilmekte (Şekil 1.12) ve bu da motorun verimini iyileştirmekte, yakıt tüketimini düşürmektedir.



Şekil 1.12. OS'ye bağlı olarak vuruntu sınırının değişimi [18]

Vuruntulu yanma üzerine en önemli etkiyi yakıtın kimyasal ve fiziksel özellikleri yapmaktadır. Yakıtlar birçok değişik fiziksel ve kimyasal özellikteki hidrokarbonların birleşiminden oluştuğu için, bazılarının vuruntulu yanmaya meyilleri fazla, bazılarının ise azdır. Şekil 1.12'de görüldüğü gibi OS arttıkça vuruntu olmadan çalışılabilecek SO'ya ulaşmak mümkündür [18].

1.5. Günümüze Kadar Yapılan Çalışmalar

Literatürde alkol yakıtların BAM'larda saf olarak veya karışım olarak uygulanmasına yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Turner vd. yakıt püskürtmeli bir deney motorunda benzin ve benzin-etanol karışımlarını yakıt olarak kullanmışlardır. Bu

yakıtların kullanımı sırasında AA'nın yanma verimine (YV), motor verimine ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, karışımdaki etanol oranının artmasıyla yanma hızının, EFV'nin ve silindir gaz basıncın (SGB) arttığı, NO_x ve CO emisyonlarının ise azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca ateşleme zamanının geciktirilmesi ile etanol karışimli yakıtların motorun verimliliğini artırdığı tespit edilmiştir [36].

Yang vd. yaptıkları deneysel bir çalışmada, motorlu bisikletlerde yakıt olarak düşük oranlı etanol-benzin karışımı kullanımının egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Şasi dinamometresinde yapılan deneylerde benzinli çalışmaya göre E3 (%3 etanol+%97 benzin) karışım yakıt kullanımının CO emisyonunu ortalama %20 oranında azalttığı, HC, NO_x ve CO₂ emisyonlarında ise önemli bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir [37].

Yapılan diğer bir çalışmada, karbüratörlü ve enjeksiyonlu yakıt sistemine sahip iki motorlu bisiklette yakıt olarak E15 ve kurşunsuz benzin kullanımının egzoz emisyonları üzerine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Şasi dinamometresinde yapılan deney sonuçlarına göre, kurşunsuz benzine kıyasla E15 karışım yakıt kullanımının CO emisyonunu karbüratörlü ve enjeksiyonlu sistemlerde sırasıyla %32 ve %10 oranında azalttığı tespit edilmiştir. HC emisyonunda ise enjeksiyonlu sistemlerde %10'luk bir azalma olurken, karbüratörlü sistemlerde bir azalma görülmemiştir. Ayrıca karbüratörlü yakıt sisteminde E15 kullanımının NO_x emisyonunu azalttığı tespit edilmiştir [38].

Chen vd. yapmış oldukları deneysel çalışmada, çok noktalı direk püskürtmeli yakıt enjeksiyon sistemine sahip tek silindirli bir motorda, stokiyometrik oranlarda benzin ve etanol-benzin karışımı (E0, E10, E20, E50, E70, E85) kullanımının partikül maddeler (PM) üzerine etkisini incelemiştir. Farklı ortam sıcaklıklarında yapılan deneyler sonucunda karışım yakıtlarının püskürtme ve yanma sürelerini uzattığı ve yanma karakteristiğini değiştirdiği görülmüştür. Aynı zamanda, PM emisyonlarının da arttığı tespit edilmiştir [39].

Zhuang vd. etanol ve benzin yakıtları için ayrı ayrı dizayn edilmiş iki farklı yakıt enjeksiyon sistemine sahip, tek silindirli, buji ateşlemeli bir motorda yakıt olarak etanol-benzin karışımı (E0 ve E60) kullanımının motor performansı, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonları üzerine etkisini incelemiştir. Dört farklı motor hızı ve iki ayrı

motor yükünde yapılan deneyler sonucunda, karışım içerisindeki etanol oranının artmasıyla ortalama efektif basıncın (OEB), EFV'nin ve volumetrik verimin arttığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda, etanol oranı arttıkça maksimum SGB'nin yükseldiği, kütleli yanma oranının ise azaldığı görülmüştür. Ek olarak, NO_x emisyonu azalırken, CO ve HC emisyonlarının arttığı gözlemlenmiştir [40].

Nazzal vd. tek silindirli, 6:1 SO'ya sahip buji ateşlemeli bir deney motorunda yakıt olarak alkol-benzin karışımı kullanımının motor performansı üzerine etkisini incelemiştir. Alkol-benzin karışımı olarak E12 (%12 etanol+%88 benzin), M12 (%12 metanol+%88 benzin) ve E6M6 (%6 etanol+%6 metanol+%88 benzin) yakıtları kullanılmıştır. Tam yük ve değişik motor hızlarında yapılan deney sonuçlarına göre 2000 d/d motor hızında M12, E6M6 ve E12 karışım yakıtlarının benzinli çalışmaya kıyasla motor gücünü sırasıyla %27,3, %23,7 ve %21,6 oranlarında artırdığı tespit edilmiştir. ÖYT'yi ise sırasıyla %18,4, %14 ve %10 oranında azalttığı görülmüştür. Aynı zamanda, EFV'yi sırasıyla %31,5, %23,6 ve %17 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir [41].

Çelik vd. yapmış oldukları deneysel çalışmada, tek silindirli bir motorda saf metanol kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkisini incelemişlerdir. Tam gaz keleşi açıklığında ve farklı motor hızlarında yapılan deneylerde HFK 1,0 olarak ayarlanmış ve motor 6,0:1, 8,0:1 ve 10,0:1 SO'da çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, aynı SO'da (6,0:1) metanol kullanımının benzine kıyasla motor gücünü ve egzoz emisyonlarını (CO, CO₂ ve NO_x) azalttığı görülmüştür. Aynı zamanda, EFV ve HC emisyonunun da arttığı gözlemlenmiştir. Orijinal SO'da (6,0:1) benzin ile yapılan çalışmaya göre, metanol yakıtlı çalışmada SO'nun artmasıyla birlikte motor gücü ve EFV'nin arttığı, ÖYT'nin ise azaldığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan, CO emisyonunun azaldığı, CO₂, NO_x ve HC emisyonlarının ise arttığı görülmüştür [42].

Eyidoğan vd. kurşunsuz benzin, düşük oranlarda etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının motor performansı, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Şasi dinamometresinden elde edilen sonuçlara göre, karışım yakıt kullanımının ÖYT'yi artırdığı, SGB ve açığa çıkan ısı miktarının (AÇI) ise daha erken yükselmeye başladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, alkol karışımlarının kullanılmasıyla egzoz emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir [43].

Chen vd. buji ateşlemeli bir motorda yakıt olarak etanol-benzin kullanımının ilk çalışma emisyonları üzerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, karışım içerisindeki etanol oranının %20'den fazla olmasının motorun ilk çalışma emisyonunu (CO ve HC) önemli ölçüde azalttığı görülmüştür [44].

Schifter vd. yakıt püskürtmeli bir deney motorunda benzin ve %0-20 oranlarında benzin-etanol karışımlarını yakıt olarak kullanmışlardır. Deneylerde karışım yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yanma oranına en büyük etkiyi %10 katkılı karışım yakıtın sağladığı, karışım oranının artmasıyla yanma hızındaki artışın azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, karışımındaki etanol oranının artmasıyla HC ve CO emisyonlarının azaldığı, NO_x emisyonunun ise arttığı gözlemlenmiştir [45].

Costa vd. su katkılı etanol ve %22 etanol katkılı etanol-benzin karışımının yakıt olarak kullanıldığı dört silindirli bir motorda, SO'nun motor performansı üzerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, her iki yakıt türünde de SO'nun artmasıyla motor momenti, egzoz gaz sıcaklığı, EFV ve çıkış gücünün arttığı, volumetrik verimin ise azaldığı gözlemlenmiştir. ÖYT ise SO'nun artmasıyla azalmış ve en çok azalma su katkılı etanol yakıtlı çalışmada görülmüştür [46].

Özsezen vd. benzin ve düşük oranlı etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarını dört silindirli, buji ateşlemeli bir motora sahip taşıtta yakıt olarak kullanılmasının taşıt performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkisini incelemişlerdir. Şasi dinamometresinde yapılan deney sonuçlarına göre, alkol-benzin karışımlarının benzinli çalışmaya göre tekerlek gücünde ve ÖYT'de kısmi bir artışa neden olduğu gözlemlenmiştir [47].

Shayan vd. çok nokta enjeksiyonlu, dört silindirli buji ateşlemeli bir motorda yakıt olarak M5, M7,5, M10, M12,5 ve M15 metanol-benzin karışımı kullanmışlardır. Tam gaz keleşbeği açıklığında ve farklı motor hızlarında yapılan deneylerde karışım yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, karışım yakıtı içerisindeki metanol oranının artmasıyla motor momentinin, gücünün, EFV'nin ve volumetrik verimin arttığı, ÖYT ve eşdeğerlik oranının ise azaldığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda, karışım yakıtı kullanımının bütün motor hızları için CO ve HC emisyonlarını sırasıyla %24,9 ve %23,7 oranında azalttığı

gözlemlenmiştir. Ayrıca CO₂ ve NO_x emisyonlarının sırasıyla %7,5 ve %17,5 oranında arttığı tespit edilmiştir [48].

Gong vd. farklı ateşleme sistemine (tek ve çift buji) sahip buji ateşlemeli bir motorda farklı püskürtme şekline sahip enjektörler ile metanol kullanımının EFV, yakıt ekonomisi ve yanma süresine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı motor yüklerinde, iki farklı SO'da (14,0:1 ve 16,0:1) ve 1600 d/d motor hızında yapılan deneylerde metanol yakıtlı çalışmada çift buji kullanımının tek buji kullanımına kıyasla EFV'nin %25 artırdığı ve yakıt ekonomisini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. SO'nun azalmasıyla, düşük yüklerde EFV artarken yükün artmasıyla birlikte EFV'nin düştüğü tespit edilmiştir. Aynı zamanda, enjektör püskürtme şekli değişiminin tutuşma gecikmesini azalttığı ve yakıt ekonomisini iyileştirdiği görülmüştür [49].

Park vd. yapmış oldukları deneysel çalışmada motor yakıtı olarak etanol kullanımının EFV, performans ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Farklı yük ve motor hızlarında yapılan deneylerde performans ve emisyon değişimleri HFK'ya bağlı olarak verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, bütün HFK değerlerinde E85 kullanımının benzinli çalışmaya kıyasla EFV'yi artırdığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda karışım fakirleştikçe CO₂, NO_x ve HC emisyonlarının E85 kullanımı ile azaldığı görülmüştür [50].

Seshaiah yapmış olduğu deneysel çalışmada, tek silindirli bir motorda yakıt olarak etanol-benzin karışımı (E10, E15, E25 ve E35), benzin, SPG ve karosen-benzin karışımı (K15, K25 ve K35) kullanımının dört farklı SO'da (4,6:1, 6,0:1, 8,0:1, 9,0:1) motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkisini incelemiştir. Değişik yük ve sabit devirde yapılan deneyler sonucu bütün yüklerde ve SO'larda E35 yakıtının benzin ile hemen hemen aynı EFV'ye ulaştığı görülmüştür [51].

Koç vd. kurşunsuz benzin ve %50-85 oranlarında etanol katkılı benzin-etanol karışım yakıtlarının kullanıldığı tek silindirli buji ateşlemeli bir motorda, iki farklı SO'nun (10,0:1 ve 11,0:1) motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, SO'nun artması ve karışım yakıtlarının kullanılmasıyla benzinli çalışmaya göre motor torku, gücü ve ÖYT'nin arttığı, CO, NO_x ve HC emisyonlarının ise azaldığı gözlemlenmiştir [52].

Yücesu vd. benzin-alkol karışımlarını altı farklı (8,0:1–13,0:1) SO'ya sahip bir motorda kullanarak, performans ve emisyon parametrelerini incelemişlerdir. İnceleme sonucunda, karışım içerisindeki etanol miktarı ve SO arttıkça, motor gücünün ve momentinin arttığı yargısına varmışlardır. Aynı zamanda, ÖYT değerindeki en az artışın 3500 ve 5000 d/d'de sırasıyla %14,5 ve %17 olarak E60 yakıtında elde edildiğini; bununla birlikte, karışım içerisindeki etanol oranının artmasıyla HC ve CO emisyonlarında azalma olduğunu gözlemlemişlerdir [53].

Topgül vd. tek silindirli, yakıt püskürtmeli, Hdyra marka bir deney motorunda kurşunsuz benzin ve kurşunsuz benzin-etanol karışımlarını yakıt olarak kullanmışlardır. Tam yük, 2000 d/d motor hızı ve üç farklı SO'da (8,0:1, 9,0:1 ve 10,0:1) gerçekleştirilen deneylerde yakıt olarak, E10, E20, E40 ve E60 kullanılmıştır. Bu yakıtların kullanımı sırasında, AA'nın motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, tüm yakıt kompozisyonları için AA'nın artması ile motor momentinde artma, HC ve CO emisyonlarında ise azalma belirlenmiştir [54].

Diğer bir çalışmada, %10 etanol katkılı benzin kullanılan bir taşıt şasi dinamometresi ile test edilerek farklı sürüş koşullarındaki egzoz emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Sonuç olarak, hacimsel olarak %10 etanol katkılı yakıtın benzine kıyasla daha az CO ve HC emisyonları ürettiği ortaya çıkmıştır [55].

Wu vd. etanol-benzin karışımlarının farklı H/Y oranlarında kullanımının motor performans ve emisyonlar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda, motor moment ve gücünün H/Y oranındaki artış ile birlikte kısmi olarak arttığı görülmüştür. Bununla birlikte, CO ve HC emisyonlarının H/Y oranının belli bir değere kadar artmasıyla azaldığı tespit edilmiştir [56].

Shenghua vd. yakıt olarak M0 ve M10 kullanılan benzinli bir motorda performans ve emisyon parametrelerini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda, M10 yakıtının M0 ile aynı gücü ürettiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda, M0'a kıyasla HC ve CO emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir [57].

Hsieh vd. buji ateşlemeli bir motorda farklı etanol-benzin karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Karışım içerisindeki etanol miktarının artmasıyla yakıtın OS'sinin arttığı görülmüştür. Sonuç olarak,

karışımdaki etanol miktarının artmasıyla, motor torku, ÖYT ve CO₂ emisyonunda artma, HC ve CO emisyonlarında ise azalma olduğu ifade edilmiştir [58].

Gizir yapmış olduğu bir deneysel çalışmada, 4 zamanlı ve 4 silindirli bir Otto motorda alternatif yakıtların kullanılabilirliğini, motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmıştır. Deneylerde ilk olarak benzin kullanarak motor performans testleri ve egzoz analizleri 3 gaz keleşi konumunda (1/3, 2/3, 3/3) yapılmış ve daha sonra bu deney LPG ve benzine %25, %50 ve %75 oranlarında etil alkol (etanol) karıştırılarak elde edilen karışımlar için tekrarlanmıştır. Sonuçlara göre, karışım içindeki etanol oranının artmasıyla motor momenti ve gücünün azaldığı gözlemlenmiştir. Alternatif yakıt kullanılarak elde edilen performans ve emisyon sonuçları benzin ile karşılaştırılmıştır. Buna bağı olarak, motor konstrüksiyonunda YV'yi artırmak ve emisyon miktarlarını düşürmek için yeni değişiklikler önerilmiştir [59].

Sezer yapmış olduğu bir deneysel çalışmada, metanol ve methyl tetriary butyl ether (MTBE)'nin kurşun tetra etil katkısı yerine normal benzine katılmasının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkisini incelemiştir. Deneyde SO'su değişebilen tek silindirli buji ateşlemeli bir motor kullanılmış ve deneyler tam gazda, iki farklı SO'da (7,5:1 ve 8,0:1) ve üç farklı AA'da (AA:7,5°, 10° ve 12,5°) yapılmıştır. Deneylerde metanol ve MTBE'nin dört farklı hacimsel oranda (%5, 10, 15, 20) normal benzine katılmasıyla elde edilen karışımlar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, metanol ve MTBE katkılı yakıtların bütün çalışma koşullarında CO emisyonunun iyileştiği gözlemlenmiştir. En iyi performans değerlerinin ise MET5 ve MET10 karışımları ile elde edildiği tespit edilmiş ve en iyi efektif verim değerlerini ise metanol karışımlarının verdiği görülmüştür. SO ve AA'nın artmasıyla, özellikle yüksek oranda metanol ve MTBE içeren karışımlar daha iyi performans göstermiştir [60].

Çıtıroğlu yapmış olduğu deneysel çalışmada, Lambordini LA205 marka tek silindirli benzinli bir motorda etanol-benzin karışımlarının (hacimsel olarak %6, %10, %17, %20,5, %26,5, %31 ve %50 oranında etanol-benzin) motor performansına etkilerini incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre, benzin ile kıyaslandığında %6 ile %10 dışındaki tüm karışım oranlarda moment ve güç değerlerinin azaldığı, buna karşılık ÖYT ve EFV'nin arttığı gözlemlenmiştir. Tüm değerler karşılaştırıldığında, motor performansı açısından en uygun alkol-benzin karışımının %31 etanol-%69 benzin

olduğu tespit edilmiş ve bu orana kadar olan karışımlarda, düşük güçlü motorda herhangi bir yapısal değişiklik yapılmadan kullanılabileceği belirtilmiştir [61].

Bayraktar yapmış olduğu teorik çalışmada, çeşitli benzin-etanol karışımlarının BAM'lardaki yanma olayı ve motor çevrimi karakteristikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bunun için, termodinamiğin birinci kanununa dayanan sanki-boyutlu bir matematik modeli içeren bir BAM çevrimi geliştirilmiştir. Model tek silindirli bir deney motoru ve dört silindirli bir otomobil motoru için ayrı ayrı uygulanmıştır. Geliştirilen bu modelden elde edilen sonuçlara göre belirli oranlarda etanol içeren benzin-etanol karışımlarının motor performansını iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Sonuçlara göre, her iki motor içinde en iyi motor performansını hacimsel olarak %25 etanol içeren karışımda elde edildiği tespit edilmiştir [62].

Bayraktar yapmış olduğu deneysel çalışmada, farklı oranlarda benzin-etanol-izopropanal karışımlarını, dört farklı SO ve değişik motor devirlerinde test ederek motor karakteristiklerini incelemiştir. Sonuçlara göre, benzin-etanol ya da benzin-etanol-izopropanol karışımlarının motor yakıtı olarak kullanıldığında EFV ve güçte artma, ÖYT ve CO emisyonunda azalma görülmüştür [63].

Kızıltan yapmış olduğu deneysel çalışmada, benzin ve dizel yakıtı içerisine değişik oranlarda etanol karıştırılarak oluşturulan karışım yakıtının buji ateşlemeli ve dizel motorunda kullanılmasının motor performansı üzerine etkilerini incelemiştir. Sonuçlara göre, BAM'da en iyi performansı %10 alkol içeren karışım yakıtının verdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, karışım yakıtlarının NO_x ve CO emisyonlarının benzine göre daha az olduğu gözlemlenmiştir [64].

Korkmaz yapmış olduğu teorik ve deneysel çalışmada, benzin ve metanol yakıtının, ayrı ayrı uygulanmasının motor performansı üzerine etkilerini incelemiştir. Sonuçlara göre, metanolle çalışma durumunda motorunun performans değerlerinin benzinli çalışmaya göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Metanol kullanımı ile CO emisyonu azalırken HC emisyonu artmıştır. Yapılan teorik ve deneysel çalışmalara göre, metanolla çalışma durumunda gerek motor performansı açısından gerekse de egzoz emisyonları açısından emme manifoldunun ısıtılması gereği vurgulanmıştır [65].

Ayhan yapmış olduğu deneysel çalışmada, tek silindirli, dört zamanlı, SO değişebilen bir deney motorunda, metanolün çeşitli hacimsel oranlarda (%10, 15, 20) kurşunsuz

benzine karıştırılmasının, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemiştir. Ayrıca bu çalışmada, HC emisyonunu azaltmak amacıyla piston üzerine bariyer çember yerleştirilmiştir. Deneyler tam yükte, değişik motor hızlarında ve farklı SO'larda gerçekleştirilmiştir. Deneylerin sonucuna göre, termal bariyer uygulaması ve metanol-benzin karışımının kullanılmasıyla HC emisyonunun %50'ye varan oranda azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, karışım yakıtından elde edilen motor performansının, SO'nun artmasıyla iyileştiği tespit edilmiştir [66].

Karaosmanoğlu yapmış olduğu deneysel çalışmada, dört zamanlı, dört silindirli ve su soğutmalı Renault 12 deney motorunda, metanol-benzin ve etanol-benzin karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemiştir. Deneyler sabit AA'da, 1/2 ve 1/3 gaz kelebeği açıklığı ve farklı motor hızlarında yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, her iki gaz kelebeği açıklığında, karışım yakıtlarındaki alkol oranının artmasıyla motor gücü ve momentinin azaldığı, EFV ve ÖYT'nin ise arttığı gözlemlenmiştir. Karışım içerisindeki etanol miktarının artmasıyla CO emisyonunda azalma, HC emisyonunda ise artma tespit edilmiştir [67].

Turan yapmış olduğu deneysel çalışmada, dört zamanlı, dört silindirli, benzinli bir motorda, yakıt olarak etanol-benzin (hacimsel olarak %10, %20, %30 ve %40 oranında) karışımı kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Deneyler dört farklı gaz kelebeği açıklığında (1/4, 2/4, 3/4 ve 4/4) gerçekleştirilmiştir. Deney sonucuna göre, karışım içerisindeki etanol miktarının artmasıyla volumetrik verim, motor gücü ve momentinde azalma, ÖYT ve EFV'de artma gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, karışım içerisindeki etanol miktarının artmasıyla HC ve CO emisyonlarında azalma görülmüştür [68].

Literatürde benzinli motorlarda işletme ve yapısal parametrelerin motor performansına etkilerine yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Erbaş yapmış olduğu çalışmada, tek silindirli, değişken SO ve AA'ya sahip, bir benzin motorunu farklı SO'larda ve tam yük şartlarında test etmiştir. Daha sonra, elde edilen deneysel parametreleri termodinamiğin 1. ve 2. kanununa uygulayarak incelemiştir. Yapılan enerji analizinde, yakıt enerjisi, soğutma suyu enerjisi ve çevreye ısı kayıpları hesaplanmıştır. 2. kanuna göre yapılan ekserji analizinde ise, yakıt ekserji, faydalı güç, egzoz ekserji, soğutma suyu ekserji ve kayıp ekserji değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucuna göre, SO'nun artmasıyla,

efektif güç, çevreye ısı transferi ve sürtünme gücünün arttığı; buna karşın egzoz gazlarının enerjisinin azaldığı tespit edilmiştir [69].

Ankaralı yapmış olduğu deneysel çalışmada, dört zamanlı, dört silindirli, benzinli FIAT marka bir motorda, AA'nın motor performansı üzerindeki etkilerini taşıt dinamometresi kullanarak incelemiştir. Standart AA değeri 12° olan test motoru üç farklı AA değerinde (8°, 12° ve 24°) test edilmiştir. Deney sonucuna göre, AA 8° ve 24° de iken motor gücü ve torkunda belirli bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlara göre, taşıt motoru optimum AA olan bir değerden uzaklaştıkça taşıt performansının kötüleşeceği vurgulanmıştır [70].

Sekmen yapmış olduğu çalışmada, buji ateşlemeli, dört zamanlı, tek silindirli ve 4,6:1 SO'ya sahip bir motorda SO'nun motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Motorun silindirinin aşağı yukarı hareket etmesiyle, SO değişken hale getirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, SO 5,0:1'den 11,0:1'e yükseltilmesiyle kısmi yüklerde ÖYT'de %39'a varan iyileşme gözlemlenmiştir. Aynı SO aralığında CO emisyonunda %29'a varan bir düşüş, HC emisyonlarında ise %25'e varan bir artış tespit edilmiştir [33].

Yücesu ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, tek silindirli, buji ateşlemeli ve yakıt enjeksiyonlu bir deney motorunda, farklı oranda etanol-benzin karışımının BAM'larda kullanılabilirliğini deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışma dört farklı oranda (E10, E20, E40 ve E60) etanol-kurşunsuz benzin karışımı farklı AA, SO ve H/Y oranında test edilmiştir. Deneyler tam yük ve 2000 d/d motor hızında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ışığında, matematik model oluşturulmuş ve modelin doğruluğu ispatlanmıştır. Karışım yakıtlarından elde edilen motor torkunun zengin karışım bölgelerinde benzine kıyasla daha iyi olduğu tespit edilmiştir. En fazla tork artışı en yüksek SO'da (13:1) E60 yakıtından elde edilmiştir. Karışım yakıtındaki etanol oranının artmasıyla ÖYT'nin arttığı görülmüştür [3].

Shenghua vd. yapmış oldukları deneysel çalışmada, üç silindirli yakıt enjeksiyonlu bir buji ateşlemeli motorda, hacimsel olarak %10, 15, 20, 25 ve 30 oranlarında metanol-benzin karışımının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deneyler tam yükte ve farklı AA'larda yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, karışım yakıtı içerisindeki metanol oranının artmasıyla motor gücünün

ve torkunun bir miktar azaldığı görülmektedir. Ancak, AA'nın ayarlanmasıyla motor gücü ve torkunun iyileştiği gözlemlenmiştir. Özellikle ilk çalışma emisyonları (HC, CO ve NO_x) azalırken, formaldehit ve metanol emisyonlarının ise önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir [71].

Al-Dawood yapmış olduğu deneysel çalışmada, buji ateşlemeli bir motorda MTBE, metanol ve etanol yakıtlarını benzin ile üç farklı oranda (hacimsel olarak %10, 15 ve 20) karıştırarak motor yakıtı olarak kullanmıştır. Bu yakıtların kullanılmasının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkilerini incelemiştir. Deney sonuçlarına göre, oksijenli yakıtlardan elde edilen EFV'nin kurşunlu benzine göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Metanol karışımli yakıttan elde edilen EFV ve motor gücünün diğer oksijenli yakıtlara göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir [72].

Majmudar yapmış olduğu bir çalışmada, bir benzin motorunda metanol, benzin, bütanol-benzin, etanol-benzin, metanol-benzin gibi yakıtların kullanımı için nümerik bir simülasyon hazırlamıştır. Simülasyon motor hızının, AA'nın, eşdeğerlik oranının ve SO'nun motor performansı üzerine etkilerini incelemek için yapılmış ve sonuçlar literatürde yapılan deneysel çalışma ile karşılaştırılmıştır. Bütün yakıt türlerinde motor maksimum güce 1-1,2 eşdeğerlik oranında, 20° AA'da ve kullanılabilir en yüksek SO'da (12:1) ulaştığı görülmüştür [73].

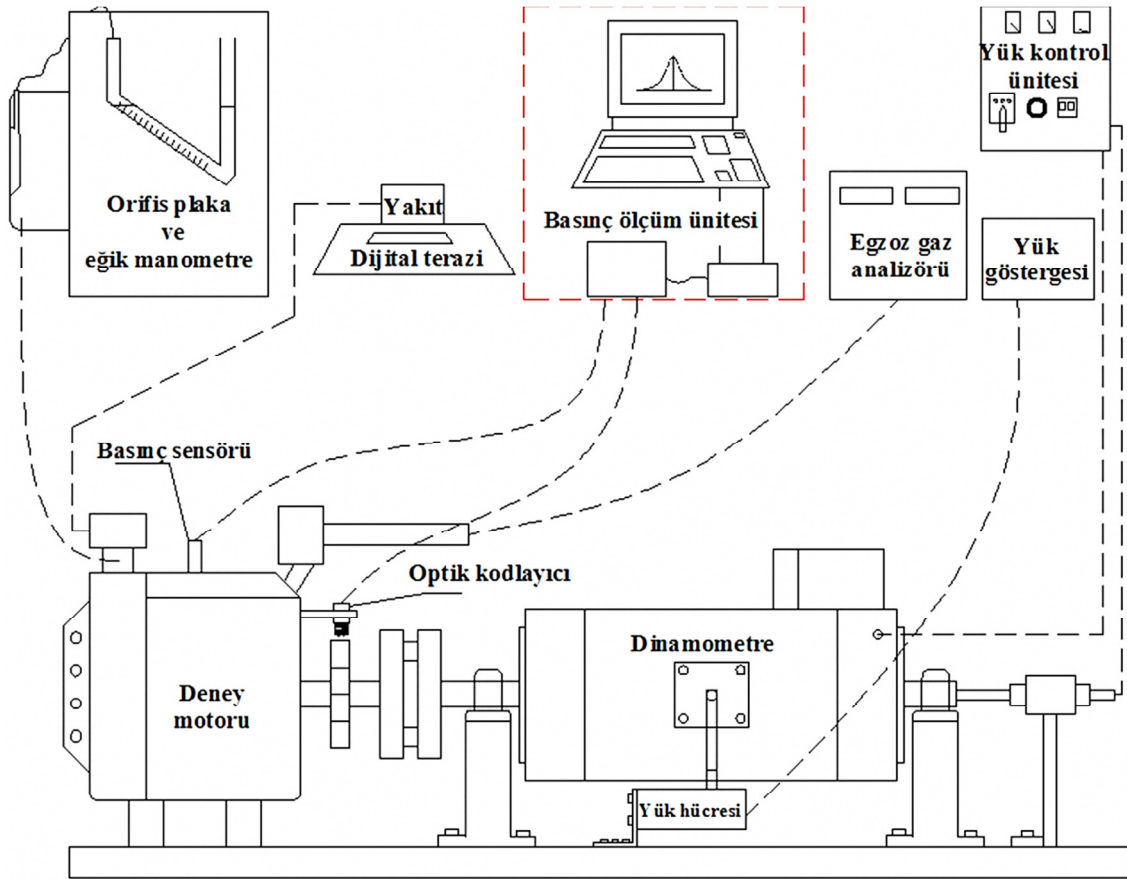
Çelik yapmış olduğu çalışmada, düşük güçlü benzinli motorların emisyonlarını azaltmak ve performanslarını iyileştirmek için yüksek SO'da yakıt olarak etanol kullanmıştır. Deneyler 6,0:1 ve 10,0:1 SO'da, benzin, saf etanol ve E25, E50 ve E75 olmak üzere üç farklı etanol-benzin karışımları için tam yük ve sabit devirde yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, performans ve emisyonlar açısından en elverişli yakıtın E50 olduğu tespit edilmiştir. Yüksek SO'da, benzinli çalışmaya kıyasla E50 yakıtından elde edilen motor gücünün yaklaşık olarak %29 oranında arttığı belirtilmiştir. Aynı zamanda, ÖYT ve CO, CO₂, NO_x ve HC emisyonlarında iyileşmeler gözlemlenmiştir [74].

2. MATERYAL VE YÖNTEM

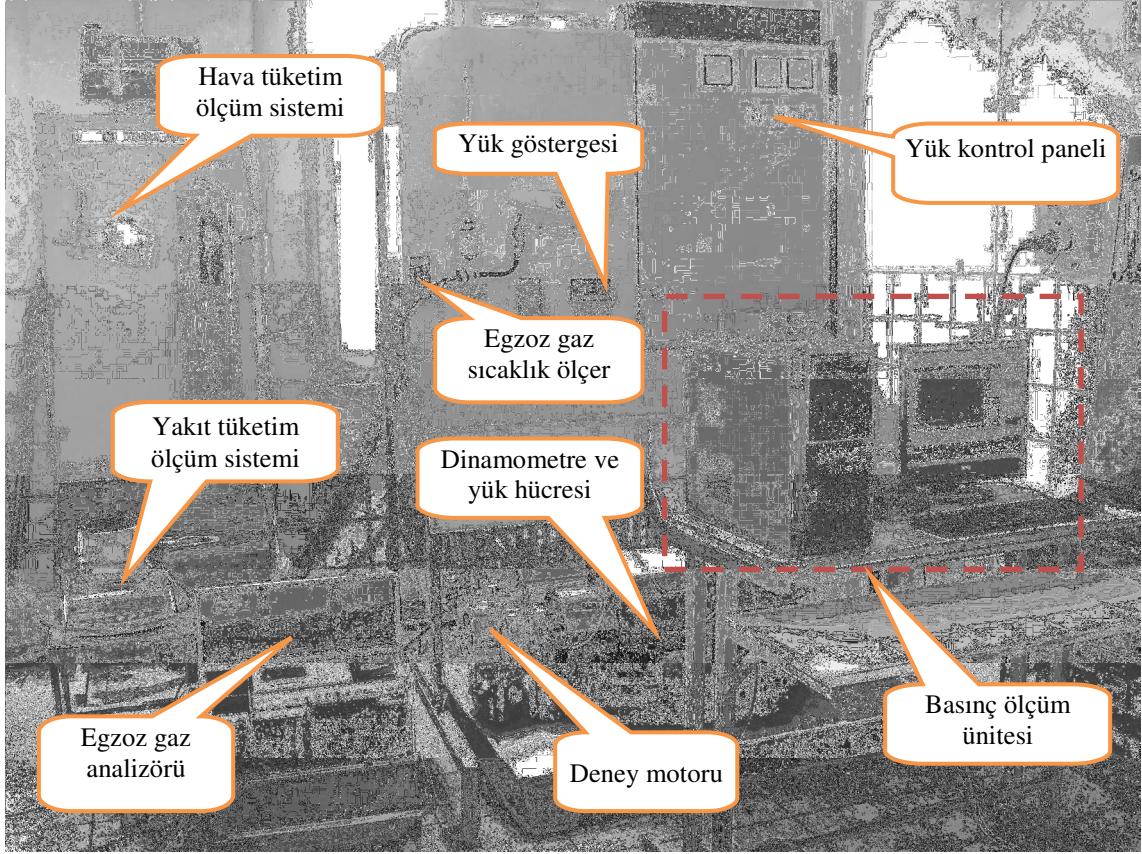
Bu bölümde, öngörülen motor testlerinin yapılmasında kullanılan deney donanımları, deney verilerinin analizinde kullanılan hesaplamalar ve deneylerde izlenen yöntemler belirtilmiştir.

2.1. Deney Donanımı

Deney donanımı; deney motoru, yük ölçüm ünitesi, egzoz gaz analizörü, hava ve yakıt tüketimi ölçüm düzeneği ve silindir içi basınç ölçüm sisteminden oluşmaktadır. Deneyler, Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitim Bölümü, Otomotiv A.B.D. laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin şematik ve genel görünümü Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de verilmiştir.



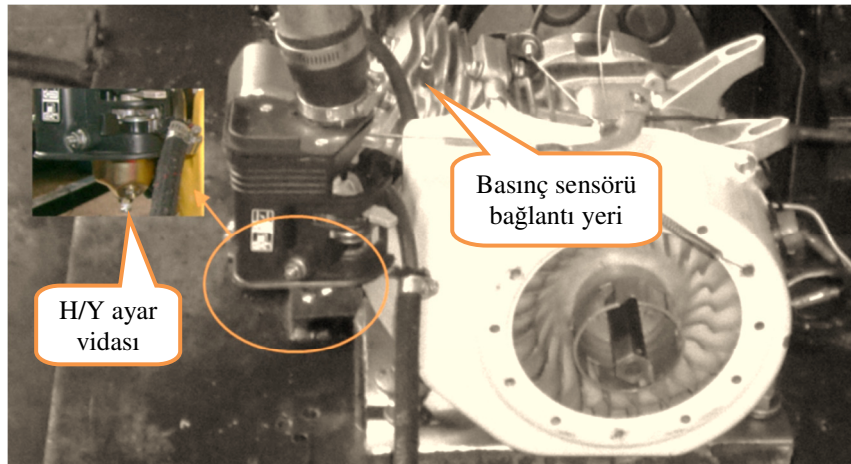
Şekil 2.1. Deney donanımının şematik görünümü



Şekil 2.2. Deney donanımının genel görünümü

2.1.1. Deney motoru

Deneylerde, 8,5:1 SO'ya ve 196 cc silindir hacmine sahip, buji ateşlemeli, hava soğutmalı, DATSU LT200 marka tek silindirli bir deney motoru kullanılmıştır, Şekil 2.3. Deney motoruna ait teknik özellikler Tablo 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.3. Deney motoru

Tablo 2.1 Deney motoruna ait teknik özellikler

Özellikler	
Motor tipi	Hava soğutmalı, 4-zamanlı, tek silindirli
Silindir çapı x kurs	68 x 54 mm
Motor hacmi	196 cc
SO	8,5:1
Net çıkış gücü	4,8 kW/3600 d/d
Net motor torku	12,4 Nm/2500 d/d
Ateşleme sistemi	Manyetolu
Yağlama sistemi	Çarpma ile yağlama
Yağ kapasitesi	0,6 l
Motor ağırlığı	16 kg

Deneylerde H/Y oranına müdahale edebilmek için motorunun karbüratör ana memesi genişletilmiş ve konik uçlu ayar vidası yardımıyla dışarıdan ayarlanabilir hale getirilmiştir. Ayrıca, anlık silindir içi basıncı ölçebilmek için yanma odasına denk gelecek şekilde silindir kapağı delinmiş ve sensör montaj aparatı hazırlanmıştır.

2.1.2. Deney yakıtları

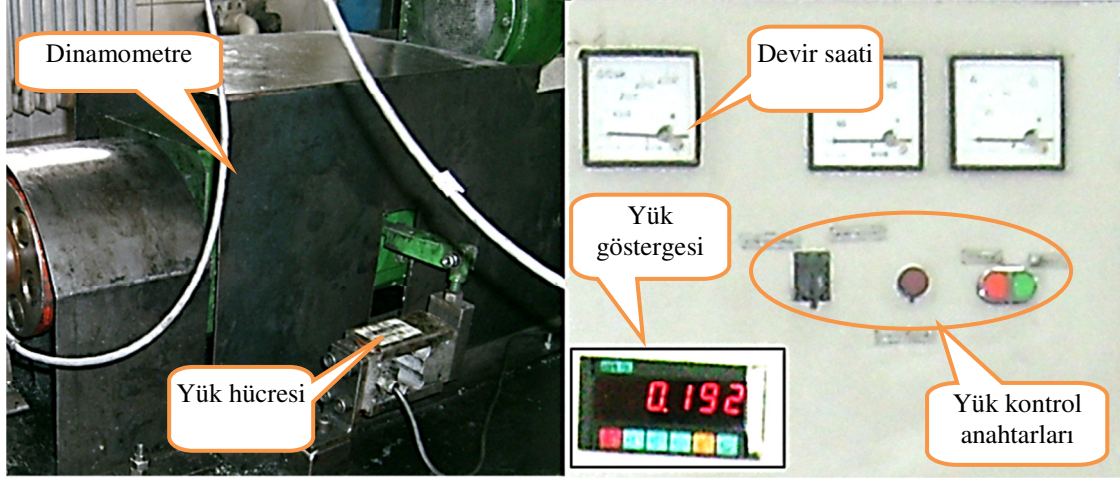
Deneylerde saf olarak kurşunsuz benzin, etanol ve metanol yakıtları kullanılmıştır. Alkol yakıtlar Merck firmasından tedarik edilmiş olup, %99,9 saflık derecesindedir. Deney yakıtlarının bazı fiziki ve kimyasal özellikleri üretici firma ve literatürden alınmıştır, Tablo 2.2.

Tablo 2.2 Deney yakıtların bazı fiziki ve kimyasal özellikleri

	Birim	Kurşunsuz Benzin	Etanol ^[20]	Metanol ^[20]
Kimyasal formülü	-	C _{6,97} H _{14,02}	C ₂ H ₅ OH	CH ₃ OH
Molar ağırlığı	g/mol	98,03 ^[19]	46,07	32,04
Tutuşma sıcaklığı	°C	210 ^[75]	363	455
Yoğunluk (20°C)	kg/m ³	750,8 ^[75]	790-793	792
Kaynama noktası (101,3 kPa)	°C	27-225 ^[19]	78,3	64,5
Buhar basıncı (20°C)	kPa	45-90 ^[75]	7,83	12,8
Yanma limitleri	% hacim	1,4-7,6 ^[19]	3,5-15	5,5-36,5
Alevlenme noktası	°C	25 ^[19]	12	11
Alt ısı değer	kJ/kg	42600	26900	20100

2.1.3. Dinamometre ve yük kontrol sistemi

Motorun yüklenmesinde ve yük değerinin belirlenmesinde kullanılan dinamometre ve yük kontrol sistemi Şekil 2.4’de verilmiştir.

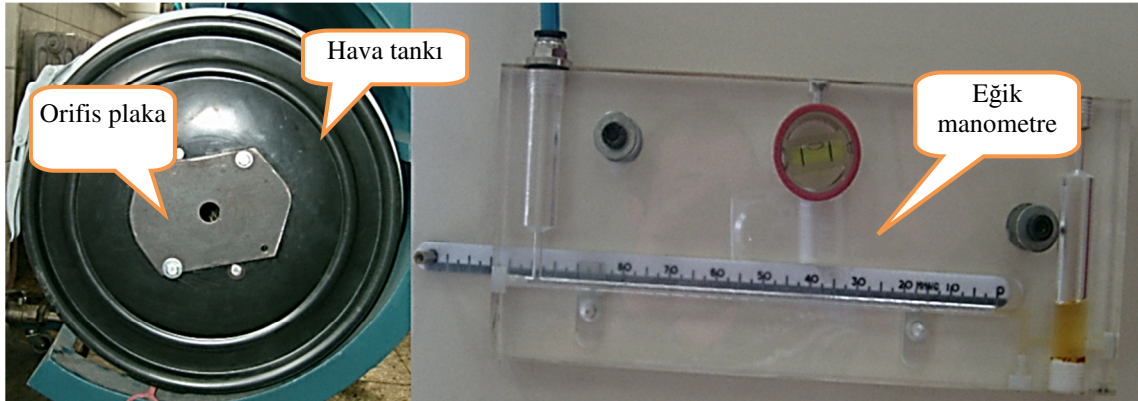


Şekil 2.4. Dinamometre ve yük kontrol sistemi

Motorun yüklenmesi için Kemsan marka 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Deneylerde, motorun yüklenmesi anında dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvveti değeri, 0,25 m uzaklıktaki yük hücresi yardımıyla okunmuştur. Yük kontrol anahtarları aracılığıyla da motora ilk hareket verilebildiği gibi, istenilen hızda hassas olarak yükleme yapılabilmektedir.

2.1.4. Hava ve yakıt tüketimi ölçüm sistemleri

Motor testlerinde kullanılan hava tüketim ölçüm sistemi Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.5. Hava tüketim ölçüm sistemi

Hava tüketimi ölçümünde, yataya $11,5^\circ$ 'lik açıyla monte edilmiş eğik manometre ve hava tankı kullanılmıştır, Şekil 2.5. Motorun emdiği hava motor hacmine göre önceden hesaplanarak işlenmiş orifis plakadan geçirilmiştir. Eğik manometrede, yoğunluğu 1880 kg/m^3 olan özel bir sıvı kullanılmıştır. Manometre üzerinden sıvı sütunu cinsinden (mmH_2O) okunan değer Eş. (2.12b)'deki formülde yerine yazılarak motorun tükettiği gerçek hava miktarı ölçülmüştür.



Şekil 2.6. Yakıt tüketimi ölçümünde kullanılan dijital terazi

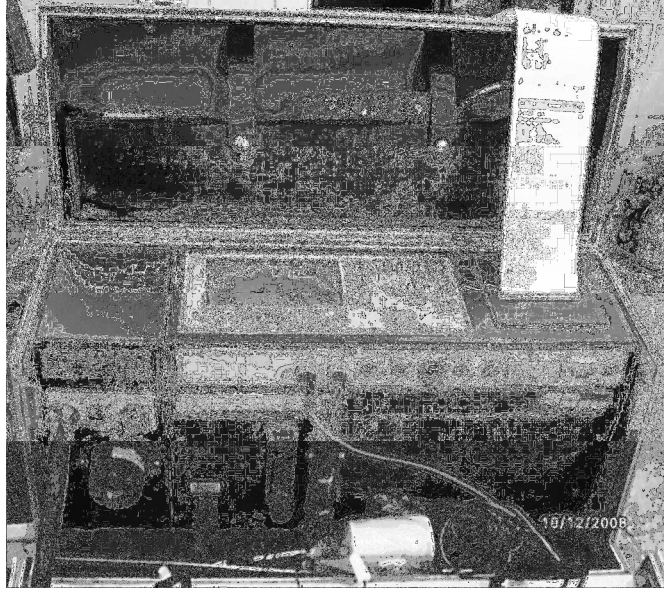
Yakıt tüketimi ölçümünde Dikomsan marka JS-B model elektronik dijital teraziden yararlanılmıştır, Şekil 2.6. Terazinin ölçme kapasitesi 30 kg olup 0,1 g hassasiyetinde ölçüm yapabilmektedir. Aynı zamanda, birim zamandaki yakıt tüketimini belirleyebilmek için Charles Sernard marka dijital bir kronometre kullanılmıştır.

2.1.5. Egzoz gaz analizörü

Egzoz emisyonlarının ölçümü için MRU DELTA 1600L egzoz gaz emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır, Şekil 2.7. Egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri Tablo 2.3' de verilmiştir. Egzoz gaz analizörü ile NO_x , HC, CO, CO_2 , λ (HFK) ve O_2 değişkenleri ölçülebilmektedir. Ayrıca, egzoz gaz sıcaklığını ölçmek için TES1320 marka K tipi termokupul seçilmiştir.

Tablo 2.3. Egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri

Değişkenler	Ölçüm Aralıkları	Hassasiyeti
O (%vol)	0 – 25	$\pm 0,1$
CO (%vol)	0 – 15	$\pm 0,06$
CO_2 (%vol)	0 – 20	$\pm 0,5$
HC (ppm)	0 – 20000	$\pm 12 \text{ ppm}$
NO_x (ppm)	0 – 4000	$\pm 5 \text{ ppm}$



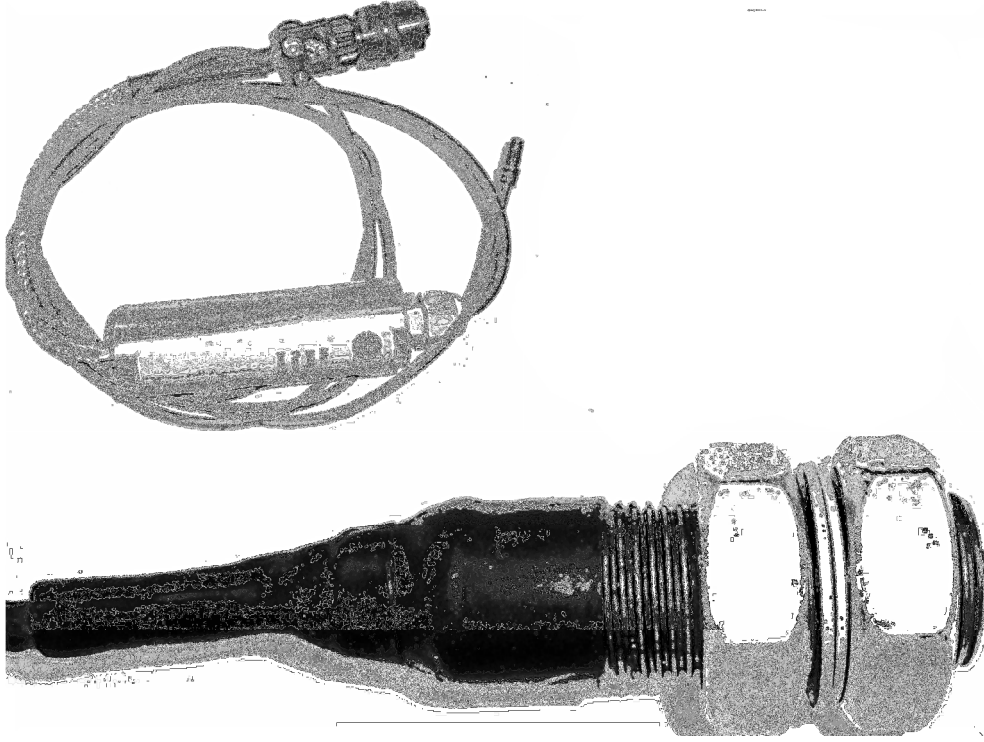
Şekil 2.7. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı

2.1.6. Silindir içi gaz basıncı ölçüm ünitesi

Silindir içi basıncın ölçümünde, Optrand marka fiber-optik basınç sensörü ve düzenleyicileri, konum sensörü ve bilgisayar kullanılmıştır. Bilgisayara aktarılan veriler TFX yazılımı ile analiz edilmiştir. Basınç sensörü 0-250 bar ölçüm aralığında ve 1,12 mV-psi hassasiyetindedir. Kullanılan basınç sensörüne ait bazı özellikleri Tablo 2.4’de ve genel görünümü ise Şekil 2.8’de verilmiştir.

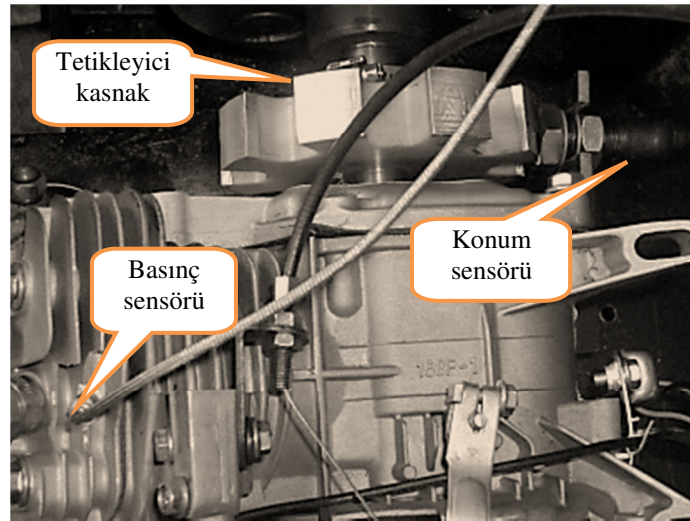
Tablo 2.4. Basınç sensörünün bazı özellikleri

	Sensör özellikleri
Basınç aralığı (kPa)	0–25000 (~3500 PSI)
Aşırı basınç (kPa)	1,5xBasınç aralığı
Doğal frekans (kHz)	>120
Frekans aralığı (Hz)	0,1 Hz-15 kHz
Sensor montaj çalışma sıcaklığı (°C)	-40 ile 350
Kablo çalışma sıcaklığı (°C)	-40 ile 200
Sinyal şartlandırıcı çalışma sıcaklığı (°C)	-20 ile 65
Çıkış empedansı	250 ohm
Kullanım	Gaz ve sıvı
Fiber optik kablo uzunluğu	2 m
Amplifier	Sensör ile beraber
Sensör vida ölçüleri	M5x0,5



Şekil 2.8. Sensörlerin genel görünümüleri

Anlık elde edilen basınç değerleri TFX yazılımından Microsoft programına aktarılarak, yanma karakteristikleri oluşturulmaktadır. Krank mili pozisyonunu ölçebilmek için firmanın belirttiği ölçü ve şekilde imal edilen tetikleyici kasnak ve konum sensörü, deney motorunun uygun yerine yerleştirilmiştir, Şekil 2.9.



Şekil 2.9. Sensörlerin montaj görünümüleri

2.2. Deney Verilerinin Analizinde Kullanılan Hesaplama Yöntemleri

Motor performansının ve yanma karakteristiklerinin detaylı bir şekilde irdelenebilmesi için, yapılan testlerden elde edilen ham veriler aşağıda sunulan hesaplamalarda kullanılmıştır.

2.2.1. Ortalama efektif basınç

Motorun gerçek çevrimdeki eşdeğer gücü verebilmesi için kurs boyunca pistonu etkimesi gereken sabit basınç olarak tarif edilen OEB aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır [21, 76].

$$OEB = \frac{N_e}{V_h \cdot i \cdot n} \quad (2.1)$$

Dört zamanlı motorlarda i : 1/2 olarak alınmaktadır. OEB'nin hesaplanabilmesi için öncelikle motor momentinin ve gücünün hesaplanması gerekmektedir. Buna göre motor momenti;

$$M_e = F \cdot L_{kol} \quad (2.2)$$

denklemleri ile hesaplanmıştır. Momentin açısal hız ile çarpımı efektif gücü vermektedir.

$$N_{e1} = \omega \cdot M_e = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot M_e \cdot \frac{1}{1000} (kW) \quad (2.3a)$$

Formülün sadeleştirilmiş hali Eş.(2.3b)'de verilmiştir [21, 34, 77, 78].

$$N_{e2} = \frac{M_e \cdot n}{9549,3} \quad (2.3b)$$

Burada bulunan güç değeri, deneyin yapıldığı andaki ortam basıncı, sıcaklığı ve neme bağlı olarak oluşmaktadır. Fakat bütün deneyler aynı ortam şartlarında yapılmadığından, efektif gücün standart ortam koşullarındaki değerine dönüştürülmesi gerekir. Bunun için bulunan güç değeri, nem faktörü ile çarpılmıştır. Nem faktörü " X_{nem} " [79];

$$X_{nem} = \frac{101325,01}{P_0} \cdot \sqrt{\frac{T_0}{293,15}} \quad (2.3c)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. Buna göre standart ortam koşullarına dönüştürülmüş güç değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır;

$$N_e = X_{nem} \cdot N_{e_2} \quad (2.3d)$$

Burada;

M_e : Döndürme momenti (Nm)

F : Dinamometre gövdesinde oluşan kuvvet değeri (N)

L_{kol} : Moment kol uzunluğu (m)

N_e : Efektif güç (kW)

N_{e_1} : Deney ortamı koşullarındaki güç (kW)

N_{e_2} : Standart ortam koşullarına dönüştürülmüş güç (kW)

P_0 : Ortam basıncı (Pa)

T_0 : Ortam sıcaklığı (K)

n : Motor hızı (d/d)'nı ifade etmektedir.

2.2.2. Özgül yakıt tüketimi

Deney motorunun yakıt ihtiyacı dijital terazi üzerinde bulunan yakıt haznesinden karşılanmaktadır. Deneyler esnasında 10 g yakıtın ($m_{yakıt}$) tüketilme süresi kronometre ile ölçülmüş ve aşağıdaki formül ile birim zamanda tüketilen yakıt miktarı hesaplanmıştır;

$$\dot{m}_y = \frac{m_{yakıt} \cdot 10^{-3} \cdot 3600}{\Delta t} \quad (kg/h) \quad (2.4)$$

Burada, $\dot{m}_y$: kütleli yakıt debisi (kg/h) ve Δt : 10g yakıtı tüketme süresini (s) göstermekte olup, formüldeki ($10^{-3} \cdot 3600$) çarpımı birim eşleştirme için kullanılmıştır. Eş.(2.3d) ve (2.4)'de bulunan sonuçlar aşağıdaki formülde yerine yazılarak ÖYT hesaplanmaktadır [21, 34, 77, 78, 80, 81].

$$\text{ÖYT} = \frac{\dot{m}_y}{N_e} \cdot 10^3 \quad (g/kW h) \quad (2.5)$$

Orifis çapı (d), deney motorunun her türlü çalışma koşullarına uygun hava gereksinimini karşılayacak şekilde seçilmelidir. Bu amaç için kullanılan orifis plakanın orifis çapı, Eş. (2.8a ve 2.8b) ile belirlenmiştir.

$$d = \sqrt{Q_{max}} (m) \quad (2.8a)$$

Teorikte motor bir çevrimde emebileceği maksimum hava miktarına (Q_{max}), maksimum motor hızında (n_{max}) ulaşır. Buna göre dört zamanlı motorlarda Q_{max} ;

$$Q_{max} = \frac{V_h \cdot n_{max}}{2} (m^3/s) \quad (2.8b)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Orifisten geçen havanın oluşturduğu basınç düşümü, manometre sıvısının “ Δ_l ” kadar yükselmesine neden olmaktadır. Bu, deneyler esnasında eğik manometreden mmH₂O cinsinden okunan değerdir. Eğik manometre hidrostatik prensibe göre çalıştığından, hesaplamalarda yataya dik olan yükseklik “ Δ_h ” kullanılmaktadır [78]. Buna göre;

$$\Delta_h = \Delta_l \cdot \sin\theta \quad (mmH_2O) \quad (2.9)$$

Hidrostatik prensibe göre basınç farkı ise Eş. (2.10)’da verilen formül ile hesaplanır;

$$P_1 - P_2 = \Delta_h \cdot \rho_{sivi} \cdot g \quad (2.10)$$

Hava akışında, hidrodinamik prensipler geçerlidir. Buna göre, orifis plakadan geçen havaya göre Bernoulli denklemi yazılacak olursa;

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} + z_1 = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} + z_2 \quad (2.11a)$$

bağıntısına ulaşılır. Burada;

$$\rho_1 \cong \rho_2 \cong \rho_{hava}, z_1 \cong z_2, v_1 \cong 0$$

olduğu kabul edilip, formül tekrar düzenlendiğinde;

$$\frac{P_1}{\rho_{hava}} = \frac{P_2}{\rho_{hava}} + \frac{v_2^2}{2} \quad (2.11b)$$

halinde sadeleşir. Buradan akış hızı (v_2) yalnız bırakılırsa;

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho_{hava}}} \quad (2.11c)$$

bağıntısı elde edilir. Eş. (2.9) ve (2.10)'daki ifadeler Eş. (2.11c)'deki yerine yazılacak olursa;

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_{sıvı} \cdot g \cdot \Delta_l \cdot \sin\theta}{\rho_{hava}}} \quad (2.11d)$$

ifadesi elde edilir.

Süreklilik denkleminde yararlanılarak ve hesaplamalar sonucu bulunan deşarj katsayısı “ C_d ” göz önünde bulundurulduğunda akış hızı bilinen havanın kütsel debisi;

$$\dot{m}_{hava} = C_d \cdot \rho_{hava} \cdot A \cdot v_2 \quad (2.12a)$$

formülü ile hesaplanır. Eş. (2.11c)'deki ifade Eş. (2.12a)'de yerine yazılırsa;

$$\dot{m}_{hava} = C_d \cdot \rho_{hava} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_{sıvı} \cdot g \cdot \Delta_l \cdot \sin\theta}{\rho_{hava}}} \quad (2.12b)$$

bağıntısı elde edilir. Burada; $\dot{m}_{hava}$: kütsel hava debisi (kg/s), C_d : deşarj katsayısı, g : yerçekimi ivmesi (m/s^2), ρ_{hava} : havanın yoğunluğu (kg/m^3), $\rho_{sıvı}$: manometre sıvısı yoğunluğu (kg/m^3), θ : Manometre eğiklik açısı ve Δ_l : Eğik manometreden okunan sıvı yükseliş miktarını (mmH₂O) gösterir.

Deney ortamının sıcaklığı, nemi kullanılarak EK 1-Şekil 1'de görülen psikrometrik diyagramından havanın yoğunluğu ve diğer özellikler çıkarılmıştır. Deneylerin yapıldığı dönemlerdeki havanın ortalama nemi %51 ve ortalama kuru hava sıcaklığı 36,7°C civarındadır. Sıcaklık değeri deney anında ölçülen değerlerin ortalaması olup, nem oranı ise TÜİK verilerinden alınmıştır [83]. Buna göre havanın yoğunluğu ρ_{hava} : 1,103752759 kg/m^3 olarak bulunmuştur. Ayrıca, hesaplamalar sonucunda deşarj katsayısı C_d : 0,608 olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, Eş. (2.8a ve 2.8b) kullanılarak

deneylerde kullanılan orifis plakanın çapı $d = 0,018 \text{ m}$ olarak hesaplanmış ve deneylerde bu ölçüye sahip orifis plaka kullanılmıştır.

2.2.6. Volumetrik verim

Motorun belli çalışma şartlarında emdiği gerçek hava miktarının, teorik hava miktarına oranıdır. Dört zamanlı bir motorda teorik kütleli hava debisi Eş. (2.13) ile hesaplanabilmektedir [21].

$$\dot{m}_{h_{teorik}} = \frac{V_h \cdot \rho_{hava} \cdot n}{2} \text{ (kg/s)} \quad (2.13)$$

Burada, V_h : Kurs hacmini (m^3) ve n : motor hızını (d/d) ifade eder. Volumetrik verim (η_v);

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{hava}}{\dot{m}_{h_{teorik}}} \cdot 100 \text{ (\%)} \quad (2.14)$$

ifadesi ile hesaplanmıştır.

Örneğin 196 cc (cm^3) kurs hacmine sahip tek silindirli bir motorda, benzin, etanol ve metanol yakıtlı deneylerde manometreden okunan sıvı yükseklikleri 51,5, 55,5 ve 56,5 mmH₂O olduğuna göre volumetrik verim hesaplanacak olursa;

Deneylerden elde edilen ve önceden hesaplanan büyüklükler aşağıdaki gibidir;

$$V_h = 196 \text{ cm}^3 = 196 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\text{orifis çapı } d = 0,018 \text{ m}$$

$$\theta = 11,5^\circ$$

$$n = 2400 \text{ d/d}$$

$$\rho_h = 1,103752759 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{sivi} = 1880 \text{ kg/m}^3$$

$$C_d = 0,608$$

$$\Delta l_{benzin} = 51,5 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$\Delta l_{etanol} = 55,5 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$\Delta l_{metanol} = 56,5 \text{ mmH}_2\text{O}$$

İlk olarak teorik kütleli hava debisi Eş. (2.13)'deki bağıntı ile;

$$\dot{m}_{h_{teorik}} = \frac{V_h \cdot \rho_h \cdot n}{2} = \frac{196 \cdot 10^{-6} \cdot 1,103752759 \cdot 2400}{2 \cdot 60} = 0,004327 \text{ kg/s}$$

olarak hesaplanır. Benzin yakıtlı çalışma için gerçek kütleli hava debisi ise Eş. (2.12b) ile hesaplanarak bulunur;

$$\dot{m}_{hava} = C_d \cdot \rho_{hava} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_{sivi} \cdot g \cdot \Delta l_{benzin} \cdot \sin \theta}{\rho_{hava}}}$$

$$\dot{m}_{hava} = 0,608 \cdot 1,103752759 \cdot \frac{\pi \cdot 0,018^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1880 \cdot 9,81 \cdot 51,5 \cdot \sin 11,5}{1,103752759 \cdot 1000}}$$

$$\dot{m}_{hava} = 0,003163 \text{ kg/s}$$

Buna göre volumetrik verim;

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{hava}}{\dot{m}_{h_{teorik}}} = \frac{0,003163}{0,004327} = 0,7311 \rightarrow \eta_v = \%73.11$$

olarak bulunur. Aynı işlemler, etanol ve metanol için tekrar yapıldığında etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda volumetrik verim sırasıyla %75,89 ve %76,58 olduğu hesaplanmıştır.

2.2.7. Hava fazlalık katsayısı

HFK; motorun gerçek çalışma koşullarındaki H/Y oranının ($H/Y_{gerçek}$), stokiyometrik H/Y oranına (H/Y_{teorik}) bölünmesiyle hesaplanmıştır [76].

$$HFK = \frac{H/Y_{gerçek}}{H/Y_{teorik}} \quad (2.15)$$

Burada, $H/Y_{gerçek}$ deneyler esnasında ölçülen kütleli yakıt ve hava debilerinin oranlanması ile hesaplanmıştır.

$$H/Y_{gerçek} = \frac{\dot{m}_{hava}}{\dot{m}_{yakıt}} \quad (2.16)$$

Örneğin, 8,5:1 SO'da 2400 d/d motor hızında benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda yapılan deneylerde ölçülen hava tüketimi sırasıyla 0,003163, 0,0032838 ve 0,003313 kg/s, yakıt tüketimleri ise 0,000216, 0,0003613 ve 0,000506 değerindedir. Benzin, etanol ve metanol yakıtlarının H/Y_{teorik} değerleri sırasıyla 14,6/1, 9/1 ve 6,46/1 olduğuna göre HFK değerlerini hesaplayalım.

Öncelikle benzin, etanol ve metanol yakıtlarının çalışma anında oluşan H/Y oranları bulunacak olursa;

$$H/Y_{g_{benzin}} = \frac{\dot{m}_{hava}}{\dot{m}_{yakıt}} = \frac{0,003163}{0,000216} = 14,64352$$

elde edilir. Aynı hesaplamalar etanol ve metanol için yapıldığında;

$$H/Y_{g_{etanol}} = 9,0888, H/Y_{g_{metanol}} = 6,5474$$

olarak hesaplanmıştır. Eş. (2.15)'e göre HFK değerleri hesaplandığında;

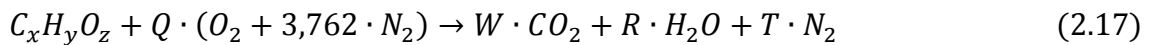
$$HFK_{benzin} = \frac{H/Y_{gerçekbenzin}}{H/Y_{teorikbenzin}} = \frac{14,64352}{14,6} = 1,003$$

Etanol ve metanolün ise; $HFK_{etanol} = 1,01$; $HFK_{metanol} = 1,013$

olduğu bulunmuştur. Bütün deneylerde gerçekleşen HFK değerleri EK 2-Tablo 5'de verilmiştir. Bütün çalışmalarda HFK'da görülen ortalama yüzdesel sapma değerlerinin benzin, etanol ve metanol yakıtlarında sırasıyla yaklaşık %0,365, %0,61078 ve %1,146 olduğu hesaplanmıştır.

2.2.8. Yakıtların stokiyometrik yanma denklemleri

Benzin, etanol ve metanol yakıtlarının stokiyometrik karışımlarının kimyasal yanma analizini aşağıdaki formül ile bulmak mümkündür. Tam yanma denklemine göre; [80].



Yanma işlemine giren ve çıkan C, H, O ve N ürünlerinin atom sayıları eşitlemek için yapılan işlemler sonrası oluşan Q, W, R ve T katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$Q = x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2} \quad (2.18)$$

$$W = x \quad (2.19)$$

$$R = \frac{y}{2} \quad (2.20)$$

$$T = 3,762 \cdot \left(x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2} \right) \quad (2.21)$$

Örneğin, etanol (C_2H_5OH) yakıtının tam yanma denklemi, yukarıda verilen bağıntıya göre çıkarıldığında; Etanolün C sayısı ($x = 2$), H sayısı ($y = 6$) ve O sayısı ($z = 1$) olduğu görülmektedir. Formüle göre çıkan katsayılar;

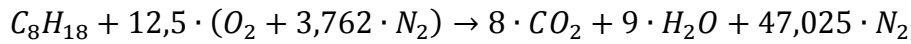
$$Q = x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2} = 2 + \frac{6}{4} - \frac{1}{2} \rightarrow Q = 3$$

$$W = x \rightarrow W = 2, \quad R = \frac{y}{2} = \frac{6}{2} \rightarrow R = 3$$

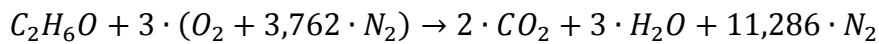
$$T = 3,762 \cdot \left(x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2} \right) = 3,762 \cdot \left(2 + \frac{6}{4} - \frac{1}{2} \right) \rightarrow T = 11,286$$

olarak hesaplanmıştır. Buna göre diğer yakıt türleri için de aynı işlemler yapıldığında oluşan tam yanma denklemleri;

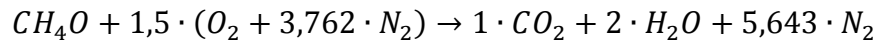
Benzin için;



Etanol için;



Metanol için;



2.2.9. Yanma verimi

Yanma verimi (YV), egzoz emisyon ürünlerinin toplam oluşum entalpilerinin, yakıtın ısı değeriyle bölünmesi ile hesaplanmıştır. Egzoz emisyon sonuçları kullanılarak YV aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır [34].

$$YV = \frac{H_u - H_{NO} \cdot NO - H_{NO_2} \cdot NO_2 - H_{CO} \cdot CO - H_u \cdot HC}{H_u} \cdot 100 \quad (2.22)$$

Burada; YV: yanma verimini (%), H_u : yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg), H_{NO} : NO'nun oluşum entalpisini (kJ/kg), H_{NO_2} : NO₂'nin oluşum entalpisini (kJ/kg), H_{CO} : CO'nun oluşum entalpisini (kJ/kg) ve NO, NO₂, CO ve HC (%) ise elde edilen egzoz emisyon değerlerini ifade etmektedir.

Egzoz emisyonları ve YV açısından üç yakıt türünde daha hassas bir kıyaslama yapabilmek için, nemli ortamda ölçülmüş olan NO_x'in gerçek değerinin bulunması önemlidir. Gerçek NO_x değeri, ölçülen NO değerinin nem düzeltme faktörüyle çarpılmasından elde edilir. Bu amaç için öncelikle havanın özgül nemi bulunmuştur;

$$h = \frac{621,10 \cdot P_v}{P_{atm} - P_v} \quad (2.23)$$

Su buharının kısmi basıncı ise aşağıdaki bağıntılar ile bulunabilmektedir.

$$P_v = P_W - 1,8 \cdot A \cdot P_{atm} \cdot (T_{atm} - T_W) \quad (2.24)$$

$$A = 3,67 \cdot 10^{-4} \cdot (1 + 0,001152 \cdot T_W) \quad (2.25)$$

$$P_W = 0,6048346 + 4,59058 \cdot 10^{-2} \cdot T_W + 1,2444 \cdot 10^{-3} \cdot T_W^2 + 3,52248 \cdot 10^{-5} \cdot T_W^3 + 9,32206 \cdot 10^{-8} \cdot T_W^4 + 4,18128 \cdot 10^{-9} \cdot T_W^5 \quad (2.26)$$

Burada;

h : Özgül nem (g H₂O/kg-kuru hava)

P_v : Su buharının kısmi basıncı (kPa)

P_{atm} : Atmosfer basıncı (kPa)

P_W : Yaş termometre sıcaklığındaki su buharının doyma basıncı (kPa)

T_W : Yaş termometre sıcaklığını (°C)

T_{atm} : Ortam sıcaklığını (°C)

A : Deneysel olarak elde edilmiş sabit katsayı olarak ifade edilmektedir.

Bu değişkenler hesaplandıktan sonra nem düzeltme faktörü " k " aşağıdaki formül ile bulunabilir;

$$k = 1 + 7 \cdot A \cdot (h - 10,714) + 1,8 \cdot B \cdot (T_w - 29,444) \quad (2.27a)$$

$$A = 0,44 \cdot (Y/H) + 0,00358 \quad (2.27b)$$

$$B = -0,166 \cdot (Y/H) + 0,0053 \quad (2.27c)$$

Buna göre düzeltilmiş NO_x emisyonu aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$NO_{düz} = NO_{yaş} \cdot \frac{1}{k} \quad (2.28)$$

Burada;

$NO_{düz}$: Düzeltilmiş NO emisyonu (%)

$NO_{yaş}$: Ölçülen NO emisyonu (%)

Y/H : Yakıtların yakıt/hava oranının gösterir [79].

Bu çalışmada benzin, etanol ve metanol yakıtları için kullanılan nem düzeltme faktörü " k " sırasıyla 0,8651, 0,90473 ve 0,944934 olarak hesaplanmıştır.

2.2.10. Yanma analizi

İYM’lerde yanma analizinin yapılabilmesi için anlık basınç değerinin ve silindir hacminin bilinmesi gerekir. Bu veriler kullanılarak motorun her bir KA değerine denk gelen SGB ve AÇI eğrileri elde edilmektedir.

2.2.10.1. Silindir gaz basıncının analizi

Yapılan deneysel çalışmalar tam gaz kelebeği açıklığında ve sabit motor hızında gerçekleştirildiğinden dolayı, teorik olarak içeri alınan dolgu miktarı sabittir. Ancak, farklı özelliklere sahip yakıtlar kullanılması, motorun gerçek çalışma koşullarında içeri aldığı dolgu miktarını değiştirmektedir. Bu da kısmen farklı yakıt türlerinde SGB’nin

değişimine neden olur. Ayrıca, silindir basıncındaki çevrimden çevrime görülen farklılıkları en aza indirmek için 50 çevrimin ortalaması alınmıştır. Aynı zamanda, basınç sensöründen gelen gösterge basıncına ($P_{gös}$), atmosfer basıncı (P_{atm}) eklenerek, mutlak (gerçek) basınç (P_{mut}) değeri bulunmuş ve hesaplamalarda bu değer dikkate alınmıştır.

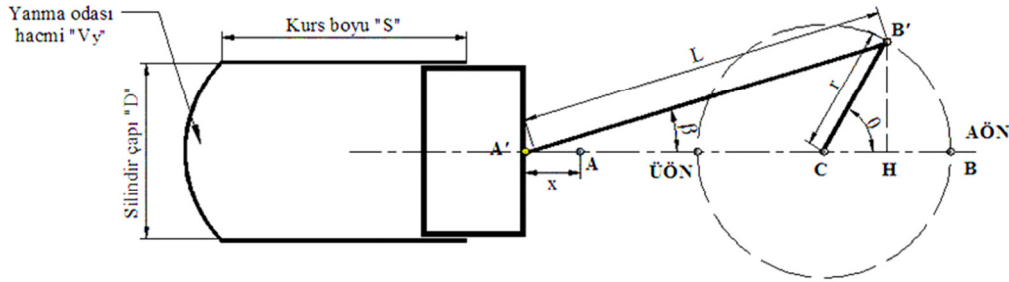
$$P_{mut} = P_{gös} + P_{atm} \quad (2.29)$$

Basınç değerlerinde KA cinsinden görülen farklılıkları en aza indirmek maksadıyla basınç ölçüm ünitesinin filtrelemesine ek olarak aşağıda verilen dijital low-pass filtre kullanılmıştır [84, 85].

$$dP = \frac{(2 \cdot (P_{\theta-4} + P_{\theta+4}) + 3 \cdot (P_{\theta-3} + P_{\theta+3}) + 4 \cdot (P_{\theta-2} + P_{\theta+2}) + 5 \cdot (P_{\theta-1} + P_{\theta} + P_{\theta+1}))}{33 \cdot d\theta} \quad (2.30)$$

2.2.10.2. Anlık silindir hacmi

Motor hacminin anlık değişimi hesaplayabilmek için deney motoruna ait krank-biyel mekanizmanın ölçülerinin bilinmesi gerekir. Aşağıda şematik şekli verilen krank-biyel mekanizması üzerindeki geometrik ölçüler kullanılarak türetilmiş bağıntılar ile anlık silindir hacmi bulunabilmektedir.



Şekil 2.11. Krank-biyel mekanizmasının şematik görünümü

Şekilde;

$\overline{A'B'} = \overline{AB} = L$: biyel kol uzunluğunu (m) ve $\overline{CB'} = \overline{CB} = r$: krank kolu yarıçapını (m) göstermektedir. Yanma odası hacmi " V_y " ise Eş.(2.31) ile hesaplanabilmektedir.

$$SO = \frac{V_y + V_s}{V_y} \rightarrow SO = 1 - \frac{V_s}{V_y} \rightarrow V_y = \frac{V_s}{SO - 1} \quad (2.31)$$

Anlık silindir hacminin bulunabilmesi için, öncelikle pistonun silindir içerisinde aldığı anlık yolun bulunması gerekmektedir. Anlık yol $x(\theta)$, Şekil 2.11’de verilen krank-biyel mekanizmasından trigonometrik yöntemler kullanılarak çıkarılmaktadır. Buna göre;

$$x = \overline{A'B} - \overline{AB} \quad (2.32a)$$

Şekil 2.11’e bakıldığında;

$$\overline{A'B} = \overline{A'H} + \overline{HB} \quad (2.32b)$$

olduğu görülmektedir. Ayrıca trigonometrik olarak $\overline{A'B'}$ uzunluğunun x eksenine izdüşümü $\overline{A'H}$;

$$\overline{A'H} = L \cdot \cos\beta \quad (2.32c)$$

ifadesi ile bulunur.

$$\overline{HB} = \overline{CB} - \overline{CH} \rightarrow \overline{HB} = r - r \cdot \cos\theta \quad (2.32d)$$

Eş. (2.32a)’ya bulunan değerler yerine yazıldığında;

$$x = L \cdot \cos\beta + r - r \cdot \cos\theta - L \quad (2.32e)$$

elde edilir. Formül düzenlendiğinde;

$$x = L \cdot (\cos\beta - 1) + r \cdot (1 - \cos\theta) \quad (2.32f)$$

Formülü KA (θ) cinsinden türete bilmek için krank ve biyel kollarının y-eksenine düşen iz düşümlerine bakıldığında;

$$L \cdot \sin\beta = r \cdot \sin\theta \quad (2.33a)$$

eşit olduğu görülür. Buradan;

$$\sin\beta = \frac{r}{L} \cdot \sin\theta \quad (2.33b)$$

elde edilir. Aynı zamanda trigonometrik bağıntıya göre;

$$\sin^2 \beta + \cos^2 \beta = 1 \quad (2.34)$$

olduğu bilinir. Burada Eş. (2.33b)'dan yararlanılarak, $\cos \beta$ formülde çekilirse;

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{L} \cdot \sin \theta\right)^2} \quad (2.35)$$

Eş. (2.35), Eş.(2.32f)'de yerine yazılıp gerekli düzenlemeler yapıldığında anlık yol formülü $x(\theta)$;

$$x(\theta) = (L - r) + r \cdot \cos \theta - \sqrt{L^2 - r^2 \cdot \sin^2 \theta} \text{ ' dir} \quad (2.36)$$

Anlık silindir toplam hacmi $V_T(\theta)$ (m^3) ise, yanma odası hacmi (V_y) ile anlık kurs hacminin " $V_s(\theta)$ " toplamına eşittir. V_s ise anlık yolun " $x(\theta)$ " silindir kesit alanı " A_s " (m^2) çarpımına eşittir.

$$V_T(\theta) = V_y + V_s(\theta) \quad (2.37)$$

$$V_s(\theta) = x(\theta) \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (2.38)$$

Eş. (2.38) ve Eş.(2.31), Eş.(2.37)'de yerine yazıldığında ve gerekli düzenlemeler yapıldığında;

$$V_T(\theta) = \left(\frac{1}{SO - 1}\right) \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot x(\theta) \quad (2.39)$$

ifadesi ile pistonun silindir içerisinde süpürdüğü anlık hacim bulunabilmektedir [81].

2.2.10.3. Açığa çıkan ısı miktarı

Termodinamiğin birinci kanunu kullanılarak elde edilen AÇİ, yanma analiz metotlarından biridir. Yanma anında yakıtların kimyasal enerjilerinin çıkış anları bu eğriler ile belirlenebilmektedir. Üç farklı yakıtın kullanıldığı bu çalışmada yanma sonu ortaya çıkan AÇİ değişimleri tek boyutlu bir model kullanılarak elde edilmiştir. Tek

boyutlu yanma modelinde, yanma odasındaki hava ve yakıt karışımından oluşan dolgunun ideal gaz olduğu ve yanma odasındaki dolgunun miktarında ve kompozisyonunda bir değişim olmadığı kabul edilmiştir. Yanma odasındaki yakıtın yanması ile açığa çıkan enerji aynı zamanda silindire sürülen enerji olarak kabul edilmiştir. İçten yanmalı motorlarda yanma termodinamiğin birinci kanunu ile tanımlanabilir ve enerji dönüşüm eşitliği Eş.(2.40) gibi yazılır ise [34, 79, 86].

$$\frac{du}{d\theta} = Qn - W \quad (2.40)$$

$$mC_v \frac{dT}{d\theta} = Qn - P \frac{dV}{d\theta} \quad (2.41)$$

Burada;

du : Sistem içerisindeki kütlenin iç enerji değişimi.

Qn : Yanma odasında ortaya çıkan net ısı (AÇI).

W : Sistem sınırı tarafından yapılan işi ifade eder.

Günümüz motorlarında sistemdeki kütle ve ısı transferinin AÇI üzerindeki etkisi çok küçük olduğu için genellikle ihmal edilir. Bu yüzden Qn hesaplanırken, yanma odasından silindir cidarlarına ve soğutma suyuna olan ısı transferi dahil edilmemiştir.

Bu noktada ideal gaz kabulü yapılarak;

$$PV = mRT \quad (2.42)$$

Eş.(2.42) için, kütlenin sabit kaldığı kabul edilip, anlık sıcaklık değişimini bulabilmek için türev alındığında;

$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{1}{mR} \left[P \cdot \frac{dV}{d\theta} + V \cdot \frac{dP}{d\theta} \right] \quad (2.43)$$

bağıntısı elde edilir. Eş. (2.43) ve (2.41) kullanılarak beraber düzenlenir ise;

$$Qn = \left[\frac{C_v}{R} + 1 \right] \cdot P \cdot \frac{dV}{d\theta} + \frac{C_v}{R} \cdot V \cdot \frac{dP}{d\theta} \quad (2.44)$$

ifadesi elde edilir. Burada, $\frac{C_v}{R}$, (k) özgül ısı oranı cinsinden Eş. (2.45)'de gösterildiği gibi yazılabilir.

$$\frac{C_v}{R} = \frac{1}{k - 1} \quad (2.45)$$

Eş. (2.45), Eş. (2.44)'de yerine yazılıp formül düzenlendiğinde;

$$Q_n (AÇI) = \left(\frac{k}{k - 1} \right) \cdot P \cdot \frac{dV}{d\theta} + \left(\frac{1}{k - 1} \right) \cdot V \cdot \frac{dP}{d\theta} \quad (2.46)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntı silindir içerisindeki anlık AÇI'nın hesabında kullanılabilir. Burada;

$AÇI$: Açığa çıkan ısı miktarı (J/°)

P : Silindir basıncı (Pa)

V : Silindir hacmi (m³)

θ : Krank mili Açısı (KA) (°)

2.3. Deneylerde Kullanılan Çalışma Parametreleri ve Yöntemler

Benzin, etanol ve metanol yakıtlarının, motor karakteristikleri üzerine etkisini incelemek üzere yapılan deneylerde, kullanılan çalışma parametreleri ve yöntemler başlıklar halinde sunulmuştur.

2.3.1. Çalışma parametreleri

Motor testlerinde, temel çalışma parametresi olarak SO ve AA alınmıştır. SO'yu değiştirebilmek için yanma odası hacminin veya kurs hacminin değiştirilmesi gerekmektedir. Deney motorunun yanma odası silindir kafasında bulunmaktadır. Bundan dolayı, SO'yu artırabilmek için yanma odası hacminin azaltılması yöntemi seçilmiştir. Deneylerde, 8,0:1, 8,5:1, 9,0:1 ve 9,5:1 olmak üzere dört farklı SO tercih edilmiştir. Bunun için üç tane silindir kafası kullanılmıştır. 8,5:1 SO'ya sahip olan deney motorunda 9,0:1 ve 9,5:1 SO değerlerine ulaşabilmek için gerekli olan yaklaşık yanma odası hacimleri hesaplanmış ve bu hacim değerlerini elde edebilmek maksadıyla belirlenen ölçülerde silindir kafaları taşlanmıştır. 8,0:1 SO deneyleri içinde silindir

kafası contası kalınlaştırılmıştır. Bu işlemler bittikten sonra kompresyon testi yapılmış ve yaklaşık olarak bu SO değerlerinin yakalandığı görülmüştür.

Deney motoru manyetolu ateşleme sistemine sahiptir. Motorun krank milinden hareket alan manyeto kasnağı ve gövdeye sabit olan manyetik bir tetikleyiciden oluşmaktadır. AA deneylerinde avans değerleri manyeto kasnağından ayarlanmıştır. Bu amaç için öncelikle motorun orijinal avansı ölçülmüş ve 23° (ÜÖNÖ) olduğu tespit edilmiştir. Deneylerde AA'nın 3° aşağı ve 3° yukarı değerlere getirilmesi planlanmıştır. AA'nın 20° ve 26°'ye getirebilmek için manyeto kasnağı orijinaline göre farklı konumda montajlanmış ve avans tabancası ile düşünülen değerlere getirildiğinde motor üzerinde markalanmıştır. Motor testlerinde bu işaretler karşılaştırılarak istenilen AA değerlerine getirilmiştir. Deneyler sonucunda çıkarılan SGB eğrilerinden AA'nın konumu kontrol edilmiş ve yaklaşık olarak bu sonuçların elde edildiği görülmüştür.

2.3.2. Deney yöntemi

Deneylere başlamadan önce motor yağı kontrol edilmiş ve motor kataloğunun belirlediği ölçülerde supap itici boşluğu ve buji tırnak aralığı ayarlanmıştır. Aynı zamanda, eğik manometre sıvısı ve dinamometre yük göstergeleri sıfırlanmış ve egzoz gaz analizör cihazının filtreleri yenilenmiştir.

Yukarıda belirtilen çalışma parametreleri ile motorun ayarlama karakteristiklerinin çıkarılabilmesi için bütün deneyler tam gaz kelebeği açıklığında ve sabit motor hızında yapılmıştır. Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmaların, maksimum motor momenti üzerine etkisini araştırmak için motor hızı olarak maksimum motor moment hızı tercih edilmiştir. Bu amaç için deney motoru tam gaz kelebeği açıklığında benzin ile çalışır iken dinamometreyle yüklenerek belirlenen motor hızlarına (1600, 2000, 2400, 2800, 3200, 3600 d/d) getirilmiş ve maksimum motor momentine 2400 d/d'de ulaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca, üç yakıt türünden elde edilen performans ve emisyon değerlerinin sağlıklı olarak karşılaştırılabilmesi için her bir yakıt türünde HFK yaklaşık 1 olarak ayarlanmıştır.

SO deneyleri için hazırlanmış olan silindir kafaları sabitlendikten sonra deney motoru benzin ile çalıştırılmış ve kararlı hale gelinceye kadar beklenmiştir. Daha sonra her bir SO'da, motor tam yükte çalıştırılmış ve dinamometre ile yüklenerek 2400 d/d motor

hızına getirilmiştir. Benzer işlemler, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda da tekrarlanmıştır. Aynı zamanda, AA orijinal değerde tutulmuş ve bütün çalışmalarda HFK değeri 1 olacak şekilde ayarlanmıştır. Bununla beraber, her bir SO değerinde, AA 20° ve 26° getirilerek aynı deneyler tekrarlanmıştır. Her bir deneyde, egzoz emisyonundaki değerler kararlı hale gelinceye kadar beklenmiş ve o esnada 10 g yakıtı tüketme süresi, manometrede sıvı yükselme miktarı, dinamometre gövdesinde oluşan yük değeri, egzoz gaz sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve SGB değerleri belirli zaman aralıklarında en az üç defa kaydedilmiştir. Kaydedilen bu değerlerin ortalaması alınarak, hesaplamalarda kullanılacak veriler elde edilmiştir. Ayrıca, deneyler sabit motor hızında yapıldığından, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda yakıtın tüketilme süresi için bütün çalışmalardan elde edilen verilerin ortalaması alınmış ve hesaplamalarda tek bir değer kullanılmıştır. Bu durum EK 2’de görülmektedir. Deney motorunun hava soğutmalı olmasından dolayı, zorlayıcı motor testleri sırasında dışarıdan bir vantilatör ile motorun soğutulması sağlanmıştır.

Motor testleri sırasında silindir kafa ve egzoz bağlantı contalarının yandığı gözlemlenmiştir. Bu durum, 9,0:1 ve 9,5:1 SO’da alkol yakıtlı çalışmada oluşmuştur. Ayrıca 20° AA ve yüksek SO deneylerinde motor tam yükte çalışır iken, motor çıkış mili kesilmiştir. Aynı zamanda, silindir kafa ve arka kapak cıvatalarında da kopmalar görülmüştür. Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda, motorun yakıt sisteminde herhangi bir sıkıntı gözlemlenmemiştir. Özellikle alkol yakıtlı çalışmalarda saflık derecelerinin yüksek olmasından dolayı beklenen sıkıntılar oluşmamıştır. Bununla beraber düzenli olarak sensör bağlantıları kontrol edilmiş, bütün ölçü aletlerinin kalibrasyonları yapılmıştır.

Deneysel çalışmalarda ön görülen bazı testler yapılamamıştır. 9,5 SO’da ve 26°AA’da benzin ve etanol ile yapılan testler sırasında oluşan aşırı vurutudan dolayı, motorun hızı sabitlenememiş ve veri alınamamıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, tam gaz keleşbeği açıklığı ve 2400 d/d motor hızında, kurşunsuz benzin, etanol ve metanol yakıtlarının stokiyometrik oranlarda (HFK=1,0) kullanılmasıyla yapılan deneylerden elde edilen veriler ile motorun OEB, ÖYT, EFV, ÖET, CO, CO₂, NO_x ve HC emisyonları, YV, SGB ve AÇI'daki değişimler incelenmiştir. SO ve AA'ya bağlı olarak çıkarılmış grafiklerin irdelenmesi başlıklar halinde sunulmuştur. Ayrıca, SO ve AA'ya bağlı yapılan deneylerden elde edilen performans, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarındaki değişimler, her üç yakıt türü için (benzin, etanol ve metanol) ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

3.1. Sıkıştırma Oranına Bağlı Değişimlerin İncelenmesi

Dört farklı SO'da, etanol, metanol ve benzin yakıtları ile yapılan deneylerden elde edilen motor performansı, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarındaki değişimler SO'ya bağlı olarak başlıklar halinde sunulmuştur.

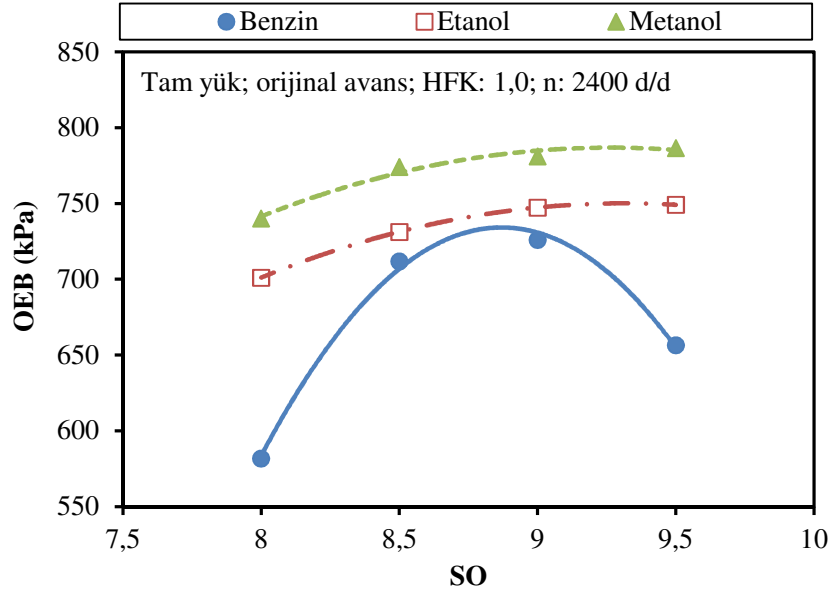
3.1.1. Motor performanslarının karşılaştırılması

3.1.1.1. Ortalama efektif basınç

OEBmotorun gerçek çevrimdeki eşdeğer bir motor gücünü vermesi için bir strok boyunca pistonu etkimesi gereken sabit basınç olarak ifade edilmektedir [21]. Bu basınç değeri, indike gücün tahmininde kullanılabilindiği gibi yakıtın yanma enerjisinin mekanik işe dönüşümü olarak tarif edilen mekanik veriminin, ne düzeyde gerçekleştiğini de gösterir [87]. SO'nun artmasıyla birlikte yükselen silindir içi basınç ve sıcaklık değerleri, motorlarda OEB'nin artmasına neden olmaktadır [88, 89]. Farklı SO'larda benzin, etanol ve metanol ile çalışan motordan elde edilen OEB'nin değişimi Şekil 3.1'de verilmiştir.

Grafik incelendiğinde, bütün SO'larda etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda elde edilen OEB'nin benzinli çalışmaya göre daha yüksek çıktığı görölmektedir. Alkol yakıtların oksijen içermeleri ve buharlaşma gizli ısısının yüksek olması kullanıldıklarında EFV ve volumetrik verimin artmasına neden olmaktadır [90, 91]. EK 2-Tablo 4'de görüldüğü gibi, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen

volumetrik verimin benzine kıyasla ortalama sırasıyla %3,35 ve %4,64 oranında arttığı görülmektedir. Bu durum, silindir içi basınç ve sıcaklığın yükselmesine, dolayısıyla OEB'nin artmasına neden olmuştur.



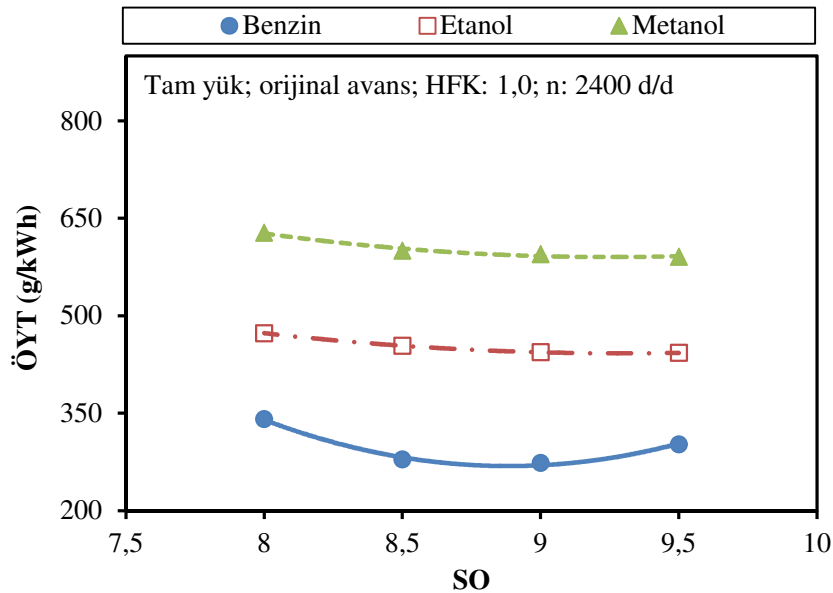
Şekil 3.1. Farklı SO'lardaki OEB değişimleri

Alkol yakıtların stokiyometrik H/Y oranı ve ısı değerleri benzine göre oldukça düşük, OS değerleri ise yüksektir (bkz. Tablo 2.1). Deney motorunun, karbüratör ventüri çapının sabit olmasından dolayı etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda, stokiyometrik H/Y oranını yakalayabilmek için benzine göre sırasıyla yaklaşık 1,67 ve 2,34 kat daha fazla yakıt gönderilmektedir. Bundan dolayı, alkol yakıtlı çalışmalarda silindirler içerisine alınan karışımın ısı değeri, benzinin ısı değerine yakın oranda oluşmaktadır (bkz. Tablo 2.1) [18, 92]. Etanol ve metanolün sahip olduğu bu özelliklerin OEB'nin artmasında önemli bir etken olduğu düşünülmektedir. Şekil 3.1 incelendiğinde, maksimum OEB'nin 786,436 kPa olduğu ve bunun 9,5:1 SO'da metanol yakıtlı çalışmada gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bulunan bu maksimum değer benzine ve etanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen OEB'ye göre sırasıyla %7,69 ve %4,75 oranında daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, bütün SO'larda etanol ve metanol kullanımı OEB'yi benzinli çalışmaya göre ortalama olarak sırasıyla %6,13 ve %11,69 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Tüketilen yakıt miktarı ve ısı değerinin çarpımı ile birim zamanda silindire gönderilen ısı miktarı bulunmaktadır. Örneğin 9,5:1 SO'daki deney verilerinden, birim zamanda silindire gönderilen ısı miktarlarına bakıldığında benzin,

etanol ve metanol yakıtının yaklaşık olarak sırasıyla 9,57, 9,72 ve 10,12 kJ/s olduğu hesaplanmıştır. Burada da görüldüğü gibi metanol yakıtlı çalışmada silindir içerisine birim zamanda gönderilen ısı benzin ve etanolden fazladır. OEB'deki artışa bu durumda etken olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda, bütün SO'larda metanol yakıtlı çalışmada bulunan OEB'nin etanole göre daha yüksek çıktığı görülmektedir. Metanolün oksijen oranı, buharlaşma gizli ısısı ve laminar yanma hızı gibi bazı yakıt özelliklerinin etanolden daha yüksek olması, kaynama noktasının ve H/Y oranı değerlerin ise düşük olmasının bu durumda etken olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, OEB açısından literatürdeki bazı çalışmalar [93-100] ile benzerlik gösterirken, bazı çalışmalar [101, 102] ile farklılıklar göstermiştir.

3.1.1.2. Özgül yakıt tüketimi

ÖYTbirim güç başına tüketilen yakıt miktarını göstermektedir. Benzin, etanol ve metanol ile yapılan çalışmaların, farklı SO'daki ÖYT değişimleri Şekil 3.2'de verilmiştir. Benzine kıyasla alkol yakıtların ısı değerlerinin düşük olması ve stokiometrik Y/H oranlarının yüksek olması aynı çıkış gücü için daha fazla yakıt kullanılmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle alkol yakıtların kullanımında ÖYT benzine kıyasla oldukça yüksek çıkmaktadır [90-92, 103].

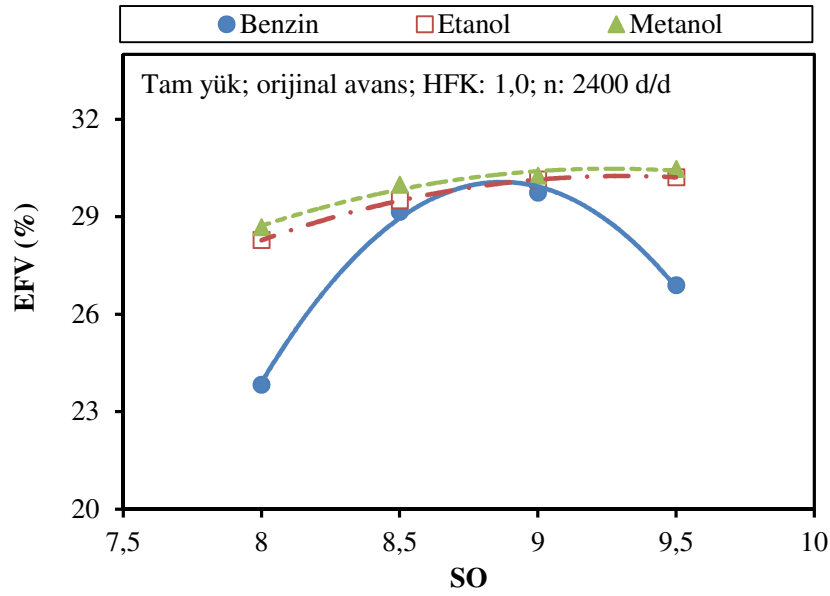


Şekil 3.2. Farklı SO'lardaki ÖYT değişimleri

Grafik incelendiğinde SO'nun artmasıyla birlikte artan OEB'ye bağlı olarak, ÖYT'nin azaldığı görülmüştür. Minimum ÖYT'nin 273,31 g/kWh olduğu ve bunu 9,0:1 SO'da benzinli çalışmada elde ettiği tespit edilmiştir. Etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda minimum ÖYT sırasıyla 442,938 g/kWh (SO:9,5:1) ve 590,827 g/kWh (SO:9,5:1) olduğu görülmektedir. Benzinli çalışmaya göre etanol ve metanol kullanımının ÖYT'yi %62,06 ve %116,17 oranında artırdığı tespit edilmiştir. SO'nun artmasıyla birlikte genel olarak bütün yakıtlarda, artan OEB'ye bağlı olarak ÖYT'nin de azaldığı görülmektedir. Fakat 9,5:1 SO'da benzinli çalışmada görülen OEB'deki düşüşün etkisiyle, ÖYT'nin bir miktar arttığı gözlemlenmiştir. Etanol ve metanol yakıtları kendi aralarında kıyaslandığında, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen ÖYT'nin etanole göre %33,38 oranında arttığı görülmüştür. Metanol yakıtının alt ısı değeri ve H/Y oranının etanole göre daha düşük olması bu artışta etkili olmuştur. Bu çalışmada bulunan ÖYT sonuçları, literatürdeki bazı çalışmalar [3, 42, 53, 99, 104-108] ile benzerlik göstermiştir.

3.1.1.3. Efektif verim

EFV yakıtın ısı enerjisinin ne kadarının faydalı işe dönüştürüldüğünün göstergesidir. Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmaların farklı SO'lardaki EFV değişimleri Şekil 3.3'de verilmiştir. BAM'larda EFV SO'nun bir fonksiyonudur [29, 109]. Alkol yakıtlarda SO'nun artmasıyla birlikte EFV artarken, benzinli çalışmada kararsız bir durum görülmektedir, Şekil 3.3. SO'nun 8,0:1'den 9,5:1'e alınmasıyla birlikte etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda EFV'nin sırasıyla %6,84 ve %6,28 oranında arttığı tespit edilmiştir. Etanol yakıtlı çalışmada etanole göre oransal olarak EFV'nin daha yüksek çıkmasının, etanolün buharlaşma gizli ısısının düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (bkz. Tablo 2.1). Benzinli çalışmada ise SO'nun 8,0:1'den 9,0:1'e çıkarılmasıyla EFV %10,28 artarken, 9,5:1'e getirildiğinde ise %9,56'lık ani bir düşüş gözlemlenmiştir. Benzin yakıtlı çalışmada, ÖYT'nin etanol ve metanolden düşük olması EFV'deki artışta önemli bir etken olurken, OS'nin düşük olmasından kaynaklanan düzensiz yanmadan dolayı artan ısı kayıpları EFV'deki ani düşüşün nedeni olarak görülmektedir.

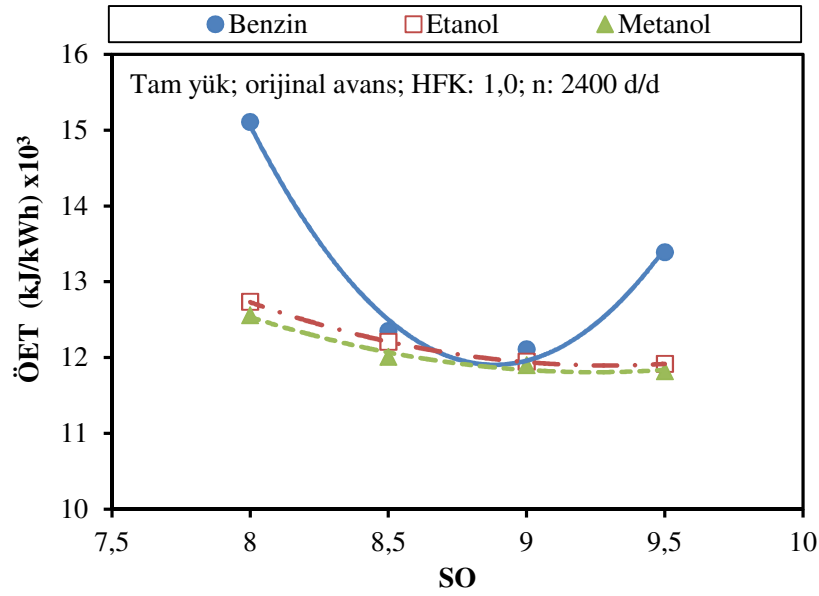


Şekil 3.3. Farklı SO'lardaki EFV değişimleri

Grafik bütünüyle incelendiğinde, metanol yakıtlı çalışmada EFV'nin genel olarak benzin ve etanolden yüksek olduğu görülmektedir. Alkol yakıtların benzine göre adyabetik alev sıcaklıklarının düşük olması ve yanma hızlarının yüksek olması EFV'nin artmasında önemli bir etken olmaktadır [31]. Grafiğe bakıldığında, maksimum EFV'nin %30,47 olduğu ve bunu 9,5:1 SO'da metanol yakıtlı çalışmada sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, metanol kullanımının EFV'yi benzin ve etanole göre sırasıyla %2,84 ve %0,87 artırdığı görülmüştür. SO'nun artmasıyla birlikte, EFV bir noktaya kadar hızla artarken ondan sonra artış hızının yavaşladığı görülmektedir. SO'nun artması ile birlikte yanma odası yüzey/hacim oranı artması çevreye olan ısı transferini artırdığından EFV'deki artış sınırlı kalmıştır [29]. Elde edilen EFV sonuçları, literatürdeki bazı çalışmalar [42, 98-100, 110-115] ile benzerlik göstermiştir.

3.1.1.4. Özgül enerji tüketimi

ÖET, 1 saat boyunca 1 kW güç üretmek için motora girmesi gereken enerji miktarını göstermektedir. Bu çalışmada, farklı ısı değerlere sahip üç farklı yakıt kullanılmasından dolayı, ÖET'nin incelenmesi yakıtların kıyaslanması açısından önem kazanmaktadır [116, 117].



Şekil 3.4. Farklı SO'lardaki ÖET değişimleri

ÖET yakıtın ısı değeri ile ÖYT'nin çarpılması ile hesaplanmaktadır. Grafik incelendiğinde, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda birim güç başına tüketilen enerji miktarının SO'nun artmasıyla birlikte düştüğü görülmektedir. Minimum ÖET'nin 11816,6 kJ/kWh olduğu ve bunu 9,5:1 SO'da metanol yakıtlı çalışmada yakaladığı tespit edilmiştir. Alkol yakıtlı çalışmalarda, benzine göre yanma veriminin ve OEB'nin yüksek çıkması, birim güç başına tüketilen enerji miktarının düşmesine neden olmuştur. Metanolün ısı değeri düşük olmasına karşın, stokiyometrik oranda motorda yakıt olarak kullanılmasıyla üretilen OEB artmaktadır. Bunun ÖET'nin diğer yakıtlara göre daha düşük çıkmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Benzin ve etanol yakıtlı çalışmada elde edilen minimum ÖET'ler kıyaslandığında, metanol yakıtlı çalışmaya göre sırasıyla %2,4 ve %0,826 oranında arttığı tespit edilmiştir. Benzin ve etanol çalışmada elde edilen ÖET değerleri literatürdeki bazı çalışmalar [40, 118] ile benzerlik göstermiştir.

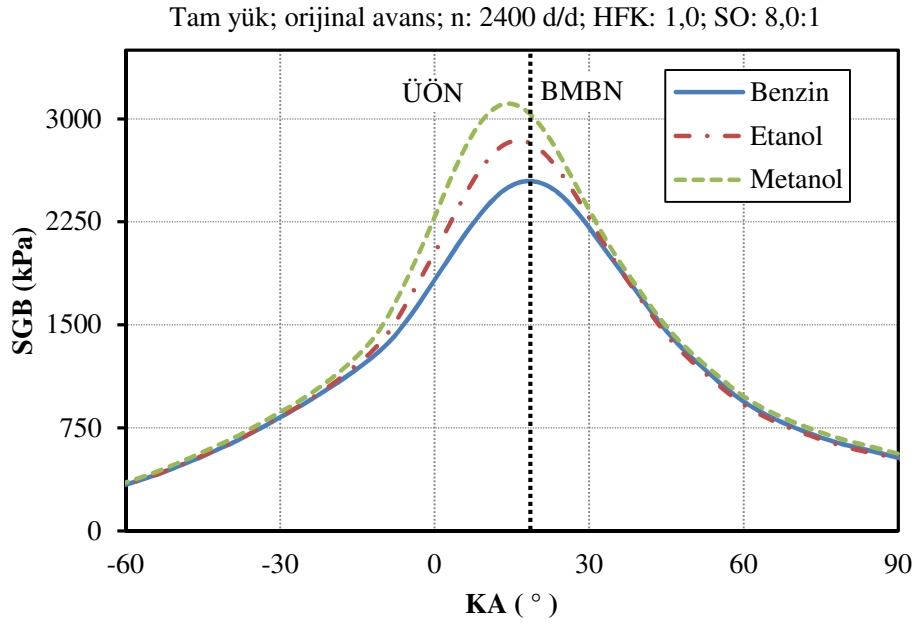
3.1.2. Yanma karakteristiklerinin karşılaştırılması

3.1.2.1. Silindir gaz basınçları

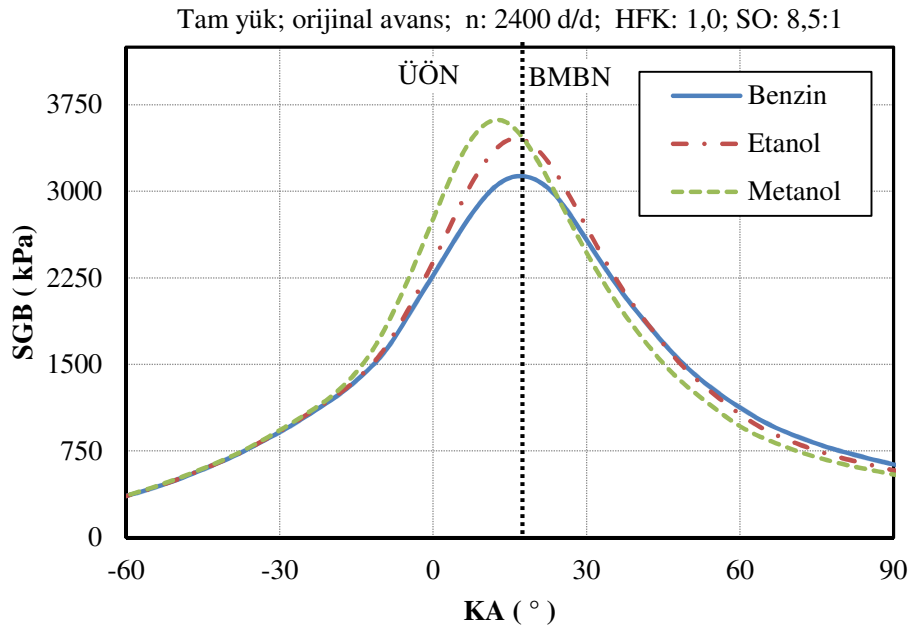
İYM'de yakıtın yanması sonucunda silindir içerisinde meydana gelen mekanik yüklemelerin krank açısına (KA) göre dağılımı, SGB eğrileri ile ifade edilmektedir. Özellikle tam yük testlerinde meydana gelen kritik mekanik yüklemelerin KA'ya göre

değişimi, motora ait hız limitlerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır [119]. Bu bölümde, silindir içerisindeki yakıt-hava karışımlarının yanması sonucu oluşan basınç değerlerinin krank açısına göre değişimleri, her bir SO için ayrı ayrı verilmiştir. SGB'ye; motor hızı, volumetrik verim, SO, yanma hızı, AA, HFK vb. birçok değişken etki etmektedir. Çalışmanın bu kısmında, AA, HFK ve motor hızı her bir yakıt türü ve SO için sabit tutulmuştur. Benzin, etanol ve metanol ile yapılan çalışmaların, dört farklı SO'daki SGB'nin KA'ya göre değişimi Şekil 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, genel olarak SGB'nin artan SO ile birlikte bütün yakıt türlerinde arttığı, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda ise bu artışın daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Literatürde yapılan bazı çalışmalarda, SO'nun artmasıyla birlikte egzozdan olan ısı kaybının azaldığı, silindir duvarlarından ısı kaybının ve faydalı işin ise artırdığı ifade edilmiştir [114]. Ayrıca, alkol yakıtların C/H oranının düşük olmasının, benzine göre birim enerji başına daha büyük hacim üretmesine sebep olduğu vurgulanmış ve bunun neticesinde, genişleme zamanında daha fazla iş üretileceği ve SGB'nin artacağını belirtilmiştir [120]. SO'nun artması sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığın artmasına, dolayısıyla kimyasal tepkimelerin hızlanmasına neden olmaktadır. OS, yanma hızı ve oksijen oranı benzine göre yüksek olan alkol yakıtlarda, bu durum olumlu etki oluşturmaktadır. Bundan dolayı, AA'nın sabit olmasına karşın, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen SGB eğrisinin tepe noktalarının, benzinin maksimum basınç noktasından (BMBN) daha önde olduğu görülmektedir.

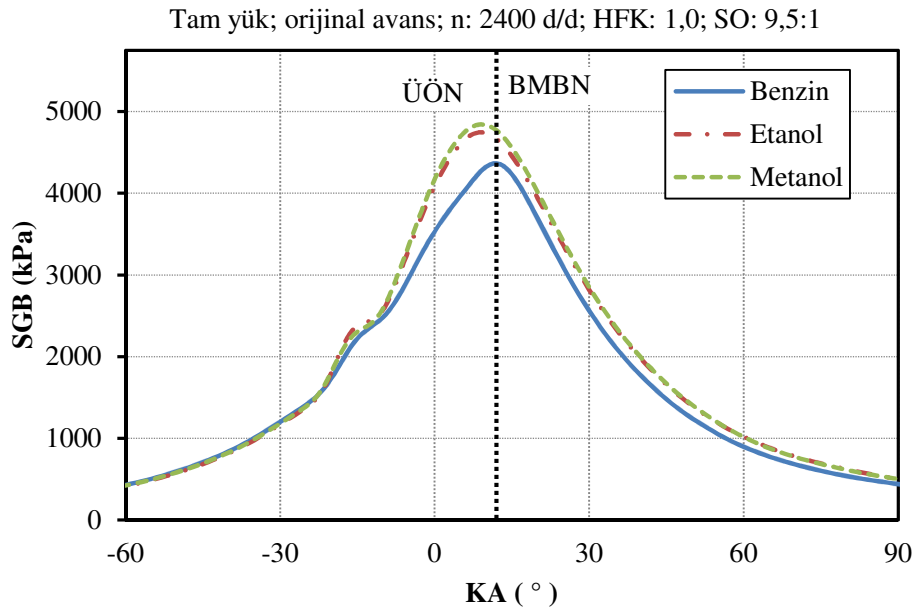
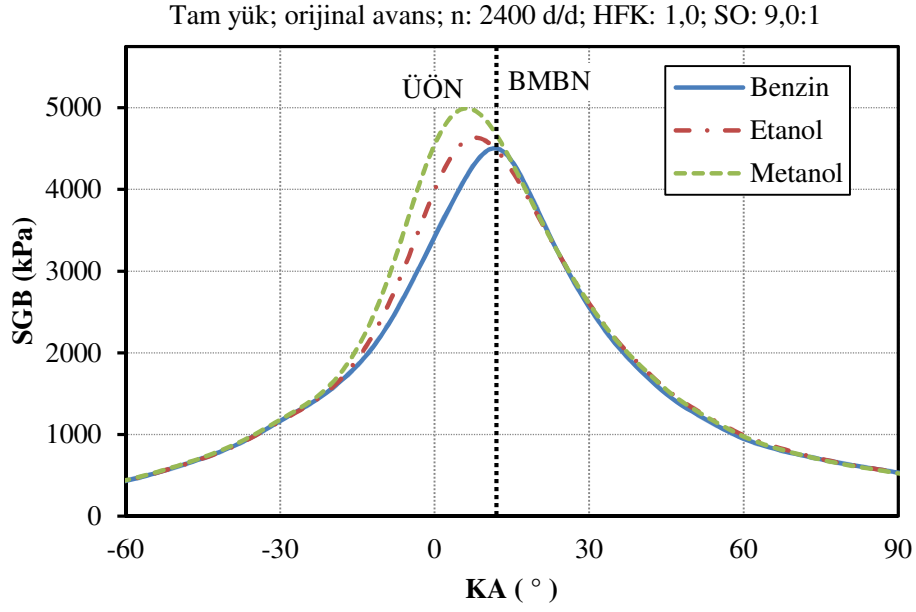
Şekil 3.6 incelendiğinde, ilk olarak metanol yakıtlı çalışmada SGB değerinin yükseldiği ve bunu etanol ve benzinin takip ettiği görülmektedir. Etanol ve metanolün yanma hızlarının benzine göre yüksek olması bu durumda etken olmuştur. Ayrıca, silindirler içerisine alınan dolgu miktarı, SGB değerini belirleyen en önemli unsurlardan biridir. Alkol yakıtların buharlaşma gizli ısılarının benzine göre yüksek olması, silindirler içerisine alınan dolgu miktarının artırmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı, ateşleme zamanı öncesi SGB benzine göre bir miktar daha yüksek olmuştur.



Şekil 3.5. 8,0:1 SO'daki SGB'nin değişimi

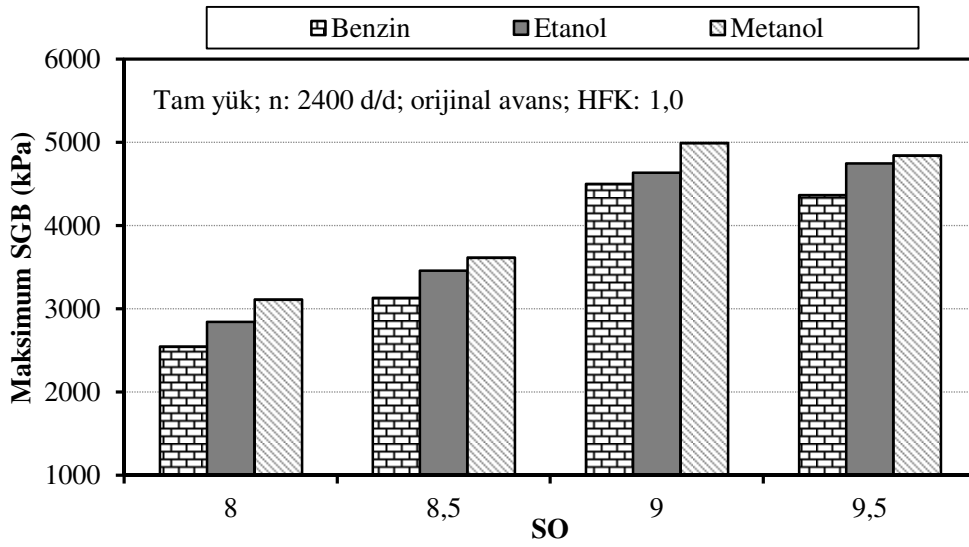


Şekil 3.6. 8,5:1 SO'daki SGB'nin değişimi

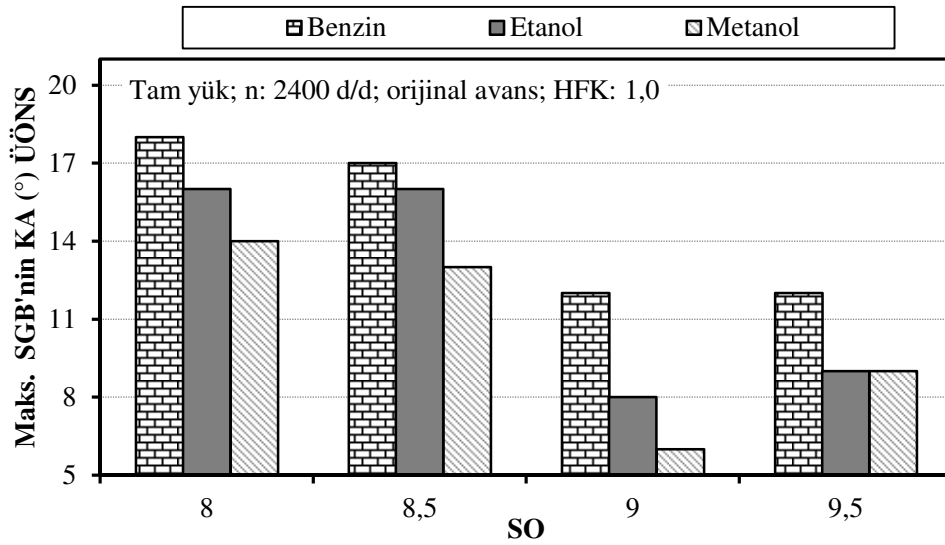


Tangroon [121] tarafından yapılan çalışmada ateşlemesiz olarak benzin, etanol ve metanol yakıtlarının SGB değerleri çıkarılmış ve metanolün en yüksek değere ulaştığı, bunu etanol ve benzinin takip ettiği görülmüştür. Bu durum en net biçimde 8,0:1 SO'da elde edilen basınç eğrisinde görülmektedir, Şekil 3.5. Benzer bir şekil, 8,5:1 SO'daki genişleme zamanında da oluşmuştur. Bu andaki basınç değerlerine bakıldığında benzin, etanol ve metanolün sıralandığı görülmüştür. Bu durumu, farklı yanma hızlarıyla ve

yanmanın tamamlanamaması ile açıklamak mümkündür. Fakat genelde eğrilerin altında kalan alana bakıldığında, alanın büyüklüğüne göre metanol, etanol ve benzin olarak sıralandığı tespit edilmiştir. Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda elde edilen EFV değerleri incelendiğinde, benzer sıralamanın olduğu görülmektedir. Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda elde edilen maksimum SGB değerleri ve bu değerlere denk gelen KA (ÜÖNS) değerlerinin değişimi, SO'ya bağlı olarak Şekil 3.9 ve 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Dört farklı SO'da oluşan maksimum SGB değişimi



Şekil 3.10. Dört farklı SO'da oluşan maksimum SGB'nin oluştuğu KA değişimi (ÜÖNS)

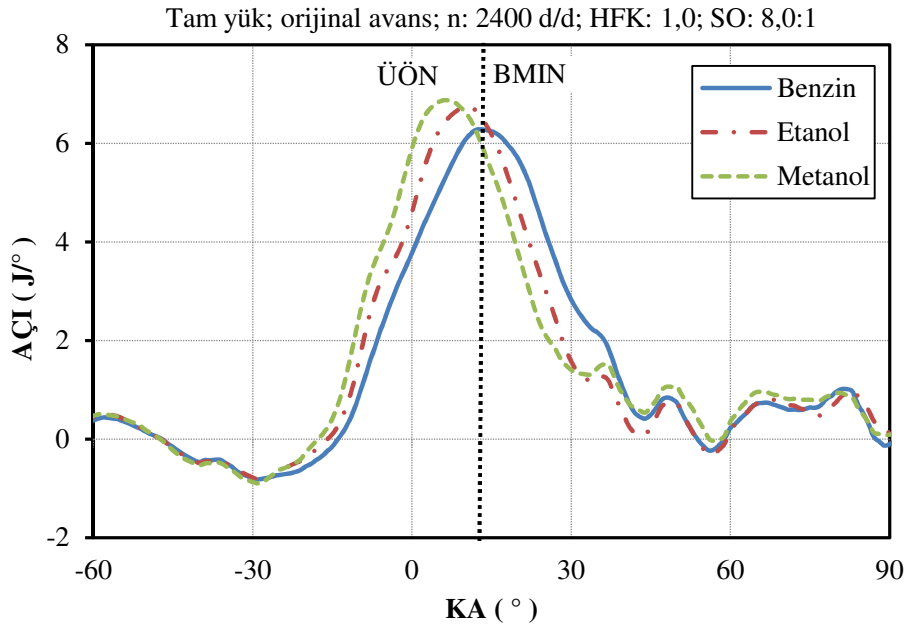
Şekil 3.9 ve 3.10 incelendiğinde, elde edilen maksimum SGB'nin ÜÖN'den 6° sonra 4994,09 kPa olarak gerçekleştiği ve bunu 9,0:1 SO'da metanol yakıtlı çalışmada sağladığı tespit edilmiştir. Metanol yakıtlı çalışmada elde edilen maksimum SGB kıyaslandığında, benzin ve etanole göre sırasıyla %10,92 ve %5,2 arttığı tespit edilmiştir. SO'nun 9,5:1'e alınmasıyla benzin ve metanol yakıtlı çalışmada SGB'nin bir önceki SO'ya göre azaldığı, etanol yakıtlı çalışmada ise basınç artışının devam ettiği görülmektedir. Bu durumun yakıtların OS'lerine bağlı olarak değişen yakıt duyarlılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yakıt duyarlılığının yüksek olmasının, zor şartlarda vuruntu meylini artıracağı belirtilmektedir. Metanol yakıtının yakıt duyarlılığı etanol ve benzinden daha yüksektir. Bundan dolayı, 9,5:1 SO'da metanol yakıtlı çalışmada ulaşılan SGB'nin etanole göre daha düşük olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca, SO'nun 8,0:1'den 9,5:1'e alınmasıyla benzin, etanol ve metanol yakıtlarından elde edilen SGB'nin sırasıyla %71,44, %67 ve %55,7 oranından arttığı görülmektedir. Aynı zamanda, SO'nun artmasıyla birlikte bütün yakıt türünde maksimum SGB'ler ÜÖN'ye yaklaşmıştır. Alkol yakıtlarda bu durum daha belirgin halde görülmektedir. Alkol yakıtların adyabatik alev sıcaklıklarının benzinden düşük olması, yanma odasından olan ısı kayıplarını azalmasına ve dolayısıyla EFV ve SGB'nin daha yüksek çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir. Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda elde edilen SGB değerleri literatürdeki [43, 90, 115, 121-128] bazı çalışmalar ile benzerlik göstermiştir.

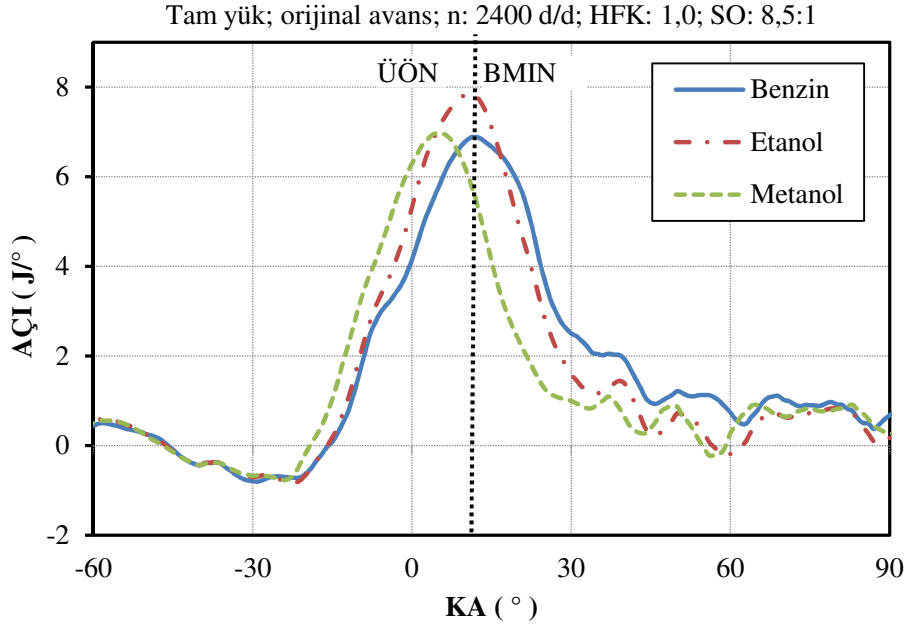
3.1.2.2. Açığa çıkan ısı miktarı

İYM'lerin çalışması sırasında, silindirler içerisinde bir çevrimde meydana gelen ısı değişimlerini gösteren karakteristiklere AÇI denir. AÇI karakteristikleri aynı çalışma koşulları altında çalışan farklı motorların performanslarının kıyaslanmasında ve çalışma koşullarının motor performansı üzerine etkilerinin karşılaştırılmasında kullanılan önemli bir faktördür [129]. Silindir içerisinde bulunan gazın KA cinsinden AÇI'sını gösteren grafikler, yakıtların ve çalışma parametrelerinin motor performansına etkisini gösteren eğrilerdendir. AÇI'nın oluşumunda, yakıtların fiziki ve kimyasal özelliklerin yanı sıra, silindir hacmi, iç basınç, sıcaklık, HFK ve AA önemli etkenlerdendir. Aşağıda sunulan AÇI eğrileri, sabit AA, HFK ve tam gaz keleşliği açıklığında yapılan deney sonuçlarından elde edilmiştir. Yanmanın oluşumunu sağlayan enerji giriş anı, benzin,

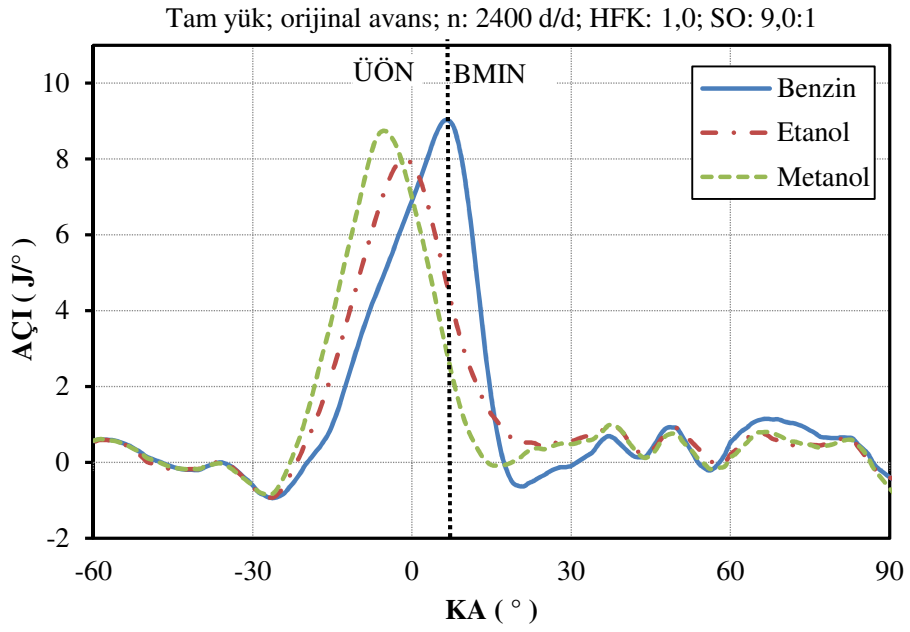
etanol ve metanol için sabit olup ÜÖN'den 23° önce yapılmaktadır. Ayrıca, bütün yakıtlarda karışım stokiyometrik oranlarda tutulmuştur. Bu yüzden, grafikler yorumlanırken SO artışının etkisi, anlık silindir hacmi ve yakıtların özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. SO'nun artışı, silindir içerisindeki yakıt-hava karışımının basınç ve sıcaklığını artırmaktadır. Bu durum yanma için daha elverişli ortam oluşturabildiği gibi, yakıt özelliğine bağlı olarak bazı olumsuz etkileri de beraberinde getirmiştir. Benzin, etanol ve metanol ile yapılan çalışmaların, dört farklı SO'daki AÇI değişimleri Şekil 3.11, 3.12, 3.13 ve 3.14'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, bütün SO'larda ateşleme anından sonra AÇI değerinin aniden yükseldiği görülmektedir. Bütün çalışmalarda, etanol ve metanolün maksimum AÇI değerleri, benzin maksimum AÇI noktasından (BMIN) daha önce oluştuğu tespit edilmiştir. Fakat 9,5:1 SO'da, ateşleme anında görülen ani basınç değişimine paralel olarak AÇI'da bir düzensizlik gözlemlenmiştir, Şekil 3.8. SO'nun artması tutuşma gecikmesini azaltmış ve buji kıvılcımı ile birlikte ısı açığa çıkışının başladığı görülmüştür. Yanma hızı ve yanıcılığı daha iyi olan alkol yakıtlarda bu durum daha belirgin oluşmuştur. Görülen bu durumun, vuruntu oluşumunun başlamasından kaynaklandığı kanısına varılmıştır. Vuruntunun sebep olduğu düzensiz yanmanın sonucu oluşan aşırı türbülansın, silindirlere ısı transferini anlık olarak artırdığı, bunun için AÇI'nın lokal olarak eksi değere düştüğü düşünülmektedir.



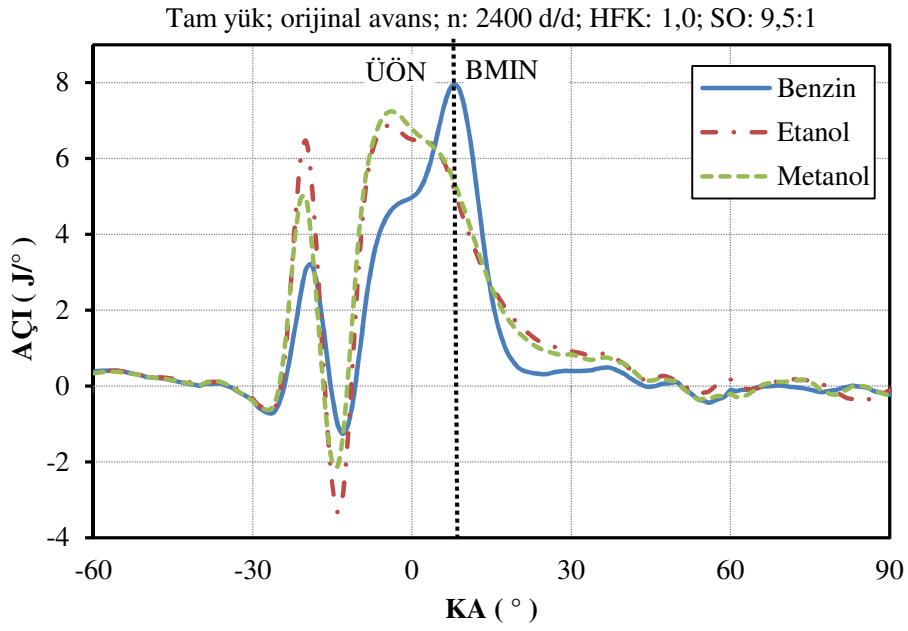
Şekil 3.11. 8,0:1 SO'daki AÇI'nın değişimi



Şekil 3.12. 8,5:1 SO'daki AÇI'nın değışimi



Şekil 3.13. 9,0:1 SO'daki AÇI'nın değışimi



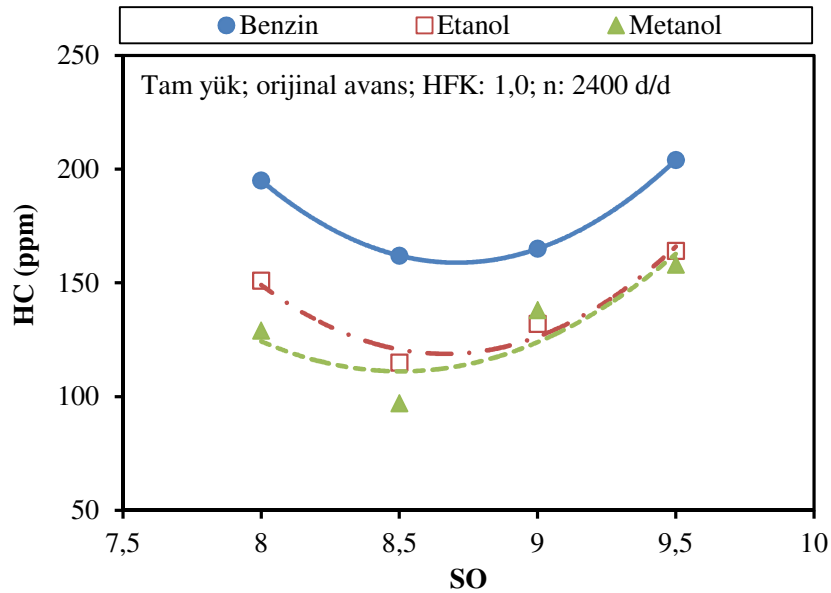
Ateşleme anından önce AÇI'nın eksi değere düştüğü bölgeler (-30° KA aralığı), yakıtların buharlaşma esnasında ısı çektiğini gösterir. Alkol yakıtların buharlaşma gizli ısılarının benzinden yüksek olması, AÇI değerinin daha fazla düşme beklentisi oluşturmuştur. Fakat yapılan çalışmada bu durum net bir şekilde görülmemiştir. Alkol yakıt kullanımının volumetrik verimi artırması ve buna bağlı olarak silindir içi basınç ve sıcaklığın lokal olarak artması, AÇI değerindeki düşmeyi sınırlamıştır. Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen AÇI'ların tepe noktaların farklı KA'larda olması, yakıtların yanma hızlarına bağlı olarak değişen anlık silindir içi basınçla alakalıdır. Bütün yakıtlarda yanmanın başladığı andaki hacim ve basınç değerleri farklı değerlerdedir. Bundan dolayı maksimum AÇI değerleri farklı KA'larda oluşmuştur. AÇI grafikleri incelendiğinde, oluşan maksimum değerlerin 9,0:1 SO'da olduğu, AÇI değerlerinin ve buna karşılık gelen KA'ların benzin, etanol ve metanol yakıtlarında sırasıyla, 9,0082 J/KA (7° ÜÖNS), 7,9737 J/KA (1° ÜÖNÖ) ve 8,7397 J/KA (5° ÜÖNÖ) olduğu tespit edilmiştir. SO'nun artmasıyla birlikte yanma hızı benzine göre yüksek olan alkol yakıtların maksimum AÇI değerlerinin ÜÖN'den önce gerçekleştiği görülmektedir.

3.1.3. Egzoz emisyonlarının karşılaştırılması

3.1.3.1. Hidrokarbon emisyonu

Silindir içerisinde karışım halinde bulunan yakıt atomlarının herhangi bir nedenle eksik yanması veya tutuşamaması sonucu HC emisyonu oluşmaktadır. Yanma odası içerisine alınan yakıt-hava karışımının homojen olmaması, soğuk cidarlar, piston ile silindir arası boşluklarda yanmanın devam edememesi, sıkıştırma sonu sıcaklığının düşük olması, yanma odasında bulunan ince yağ filminin yakıtı absorbe etmesi, yetersiz oksijen ve yanma odasındaki yüzey/hacim oranının artması gibi etkenler HC emisyonu oluşumuna neden olmaktadır [30, 34, 130-133]. Benzin, etanol ve metanol ile yapılan çalışmaların, farklı SO'lardaki HC emisyonunu değişimleri Şekil 3.15'de verilmiştir.

Grafik incelendiğinde, etanol ve metanol yakıtlı çalışmaların HC emisyonunu benzinli çalışmaya göre düşürdüğü görülmektedir. Alkol yakıtların benzine göre yüksek oranlarda oksijen içermeleri, daha düşük kaynama noktalarına sahip olmaları, laminar yanma hızlarının yüksek oluşu ve volumetrik verimi yükseltici özellikte olmaları, HC emisyonunu azaltıcı etki oluşturmaktadır.



Şekil 3.15. Farklı SO'lardaki HC emisyonu değişimleri

Fakat buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması yanma odasındaki ısının düşmesine ve dolayısıyla HC'nin artmasına neden olabilmektedir. Bundan dolayı, HC emisyonundaki

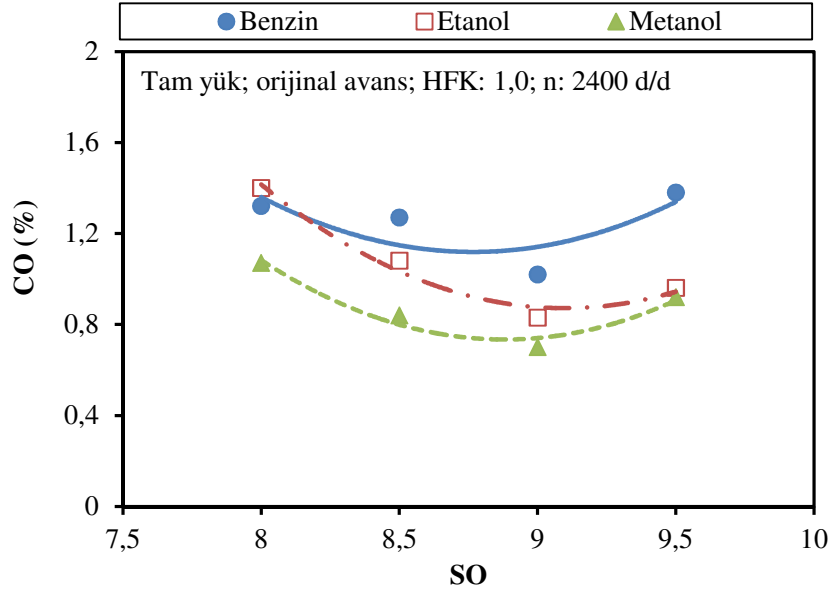
azalmanın sınırlı kaldığı düşünülmektedir. SO'nun 8,0:1 olduğu durumda sıkıştırma sonucu basınç ve sıcaklığın az olması nedeniyle yanmanın tamamlanamaması, HC emisyonunu yükseltmiştir. SO'nun artmasıyla birlikte yanma odasının yüzey/hacim oranı artarak alev sönme bölgesini genişletmektedir [109]. Bundan dolayı, 8,5:1 SO'dan sonra HC emisyonu bir miktar artış göstermiştir. Minimum HC emisyonu 8,5:1 SO'da oluşmuş, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda sırasıyla 162, 115 ve 97 ppm olarak gerçekleşmiştir. Minimum HC'ler irdelendiğinde, benzinli çalışmaya göre etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda sırasıyla %29 ve %40 oranında azalma görülmüştür. Ayrıca, bütün SO'larda etanol ve metanol kullanımı HC'yi benzinli çalışmaya göre ortalama olarak sırasıyla %25,87 ve %29,41 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Alkol yakıtlar kendi aralarında kıyaslandığında, oksijen oranı ve laminar yanma hızı daha yüksek olan metanol yakıtının etanole göre daha az yanmamış HC emisyonu ürettiği tespit edilmiştir. Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda elde edilen HC değerleri literatürdeki [42, 43, 53, 91, 100, 104, 130-132, 134-141] bazı çalışmalar ile benzerlik göstermiştir.

3.1.3.2. Karbonmonoksit emisyonu

CO emisyonu, yanma odası içerisinde yetersiz oksijen bulunması sonucu yakıt içerisindeki karbon atomlarının tam olarak yanamamasıyla oluşan egzoz emisyon türüdür. CO emisyonu yakıtın kimyasal bileşimindeki karbon atomu sayısı ile ilişkilidir [30, 34]. Alkol yakıtların kimyasal bileşimindeki karbon sayısı azdır. Fakat alkollerin H/Y oranının az olması nedeni ile karışım içerisindeki yakıt miktarı benzine göre etanol ve metanolde sırasıyla 1,647 ve 2,204 kat daha fazladır. Bu yüzden alkol yakıtlı çalışmalarda karışım içerisindeki karbon sayısı benzinli çalışmadaki ile benzer düzeye ulaştığı kanısına varılmıştır. Bundan dolayı, alkol yakıt kullanımında CO emisyonundaki azalmanın sınırlı kaldığı düşünülmektedir. Benzin, etanol ve metanol ile yapılan çalışmaların, farklı SO'lardaki CO emisyonu değişimleri Şekil 3.16'da verilmiştir.

Grafik incelendiğinde, düşük SO'larda sıkıştırma sonu sıcaklığın düşük olması alkol yakıtların soğutucu etkisi ile birleşerek CO emisyonunu artırmıştır. Alkollerin kaynama noktalarının sabit olması ve benzine göre düşük değerlerde oluşması yanma odası içerisinde yakıtın iyi buharlaşmasına neden olmaktadır [92]. Bu nedenle alkol yakıtlı

çalışmalar benzine göre daha homojen bir karışım oluşturabilmektedir. Ayrıca, alkol yakıtların oksijen içermeleri ve SO'nun artması YV'yi iyileştirdiğinden, CO emisyonunun azalmasına sebep olmaktadır [142, 143]. SO'nun artmasıyla birlikte yükselen silindir içi sıcaklık ve buna bağlı olarak YV'nin iyileşmesi ile CO'nun, bütün yakıt türlerinde 9,0:1 SO'ya kadar azaldığı ve bu noktadan sonra bir miktar artışa geçtiği görülmektedir, Şekil 3.16.



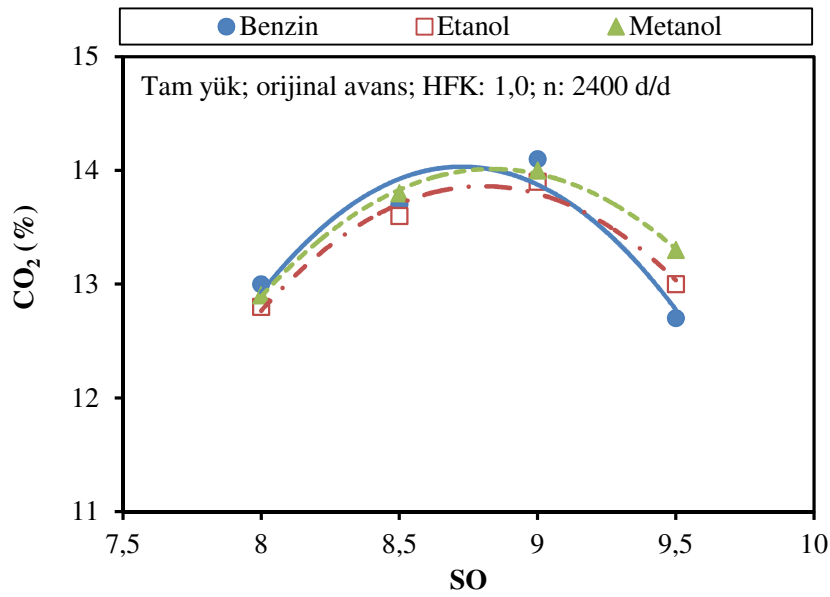
Şekil 3.16. Farklı SO'lardaki CO emisyonu değişimleri

Her bir yakıt türünde motor minimum CO emisyonunu 9,0:1 SO'da yakalamış, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda sırasıyla %1,02, %0,83 ve %0,7 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Benzinli çalışmaya göre, CO emisyonunun etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda sırasıyla %18,6 ve %31,37 oranında azaldığı görülmektedir. Ayrıca, bütün SO'larda etanol ve metanol kullanımı CO'yu benzinli çalışmaya göre ortalama olarak sırasıyla %12,53 ve %26,92 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Kimyasal bileşimdeki oksijen oranı daha çok olan metanol yakıtının bütün SO'larda CO'yu, etanole göre ortalama %16,40 oranında düşürdüğü görülmüştür. Azalan HC emisyonu ile birlikte, CO emisyonu da düşmeye başlamıştır. Fakat HC emisyonu minimum değere 8,5:1 SO'da ulaşırken CO emisyonunun minimum değeri 9,0:1 SO'da yakaladığı görülmektedir, Şekil 3.15-3.16. Bu farklılığın artan SO'nun etkisi ile piston-silindir arası boşluğayakıt-hava karışımının kütleye daha fazla girmesi ve artan yüzey/hacim oranına bağlı olarak HC emisyonunun artmasından kaynaklandığı

düşünülmektedir. Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda elde edilen CO değerleri literatürdeki [42, 43, 53, 100, 101, 130, 132, 134, 136-141, 144] bazı çalışmalar ile benzerlik göstermiştir.

3.1.3.3. Karbondioksit emisyonu

CO₂, yakıt içerisindeki karbon atomlarının tam olarak yanmasıyla ortaya çıkan egzoz emisyon türüdür. Benzin, etanol ve metanol ile yapılan çalışmaların, farklı SO'lardaki CO₂ emisyonunu değişimleri Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Farklı SO'lardaki CO₂ emisyonu değişimleri

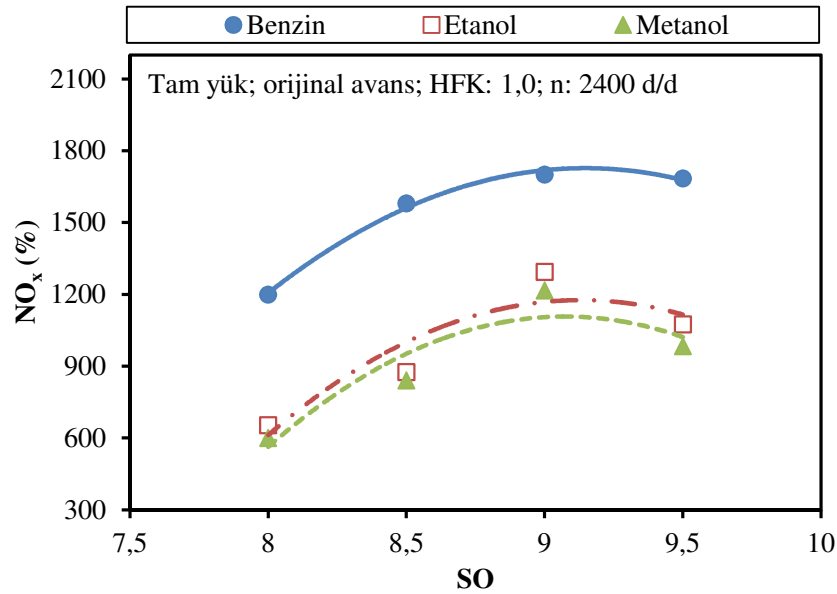
Grafik incelendiğinde, benzinli çalışmada CO₂ emisyonunun belli bir SO'ya kadar arttığı ve sonra tekrar düşüşe geçtiği görülmüştür. Alkol yakıtlı çalışmalarda, CO₂ emisyonunun benzine göre genel olarak bir miktar az olduğu görülmektedir. Alkol yakıtların yakıt-hava karışımı içerisindeki karbon oranının nispeten az olmasının, benzine göre daha düşük CO₂ emisyonu oluşmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

SO'nun artmasıyla birlikte yanmanın iyileşmesi sonucu benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda CO₂'nin arttığı görülmektedir, Şekil 3.17. Fakat SO'nun 9,5:1'e alınması ile birlikte bütün yakıt türünde yanmanın düzensizleşmesi sonucu CO₂ emisyonu azalmıştır. Bu andaki CO₂'lere bakıldığından vuruntu dayanımı daha iyi olan metanol ve etanolün, benzinden daha yüksek çıktığı görülmektedir. Maksimum CO₂'nin

9,0:1 SO'da olduğu, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda sırasıyla %14,1, %13,9 ve %14 oranlarında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Etanol ve metanol kullanımıyla CO₂ emisyonu benzine göre sırasıyla %1,42 ve %0,71 oranında azalmıştır. Alkol yakıtlar kendi aralarında kıyaslandığında bütün SO'larda metanol yakıtlı çalışmada elde edilen CO₂'nin etanole göre ortalama % 1,32 oranında artırdığı görülmektedir. Metanolün YV'sinin etanole göre yüksek olması CO₂ emisyonundaki bu artışın kaynağı olarak göstermek mümkündür (bkz. Şekil 3.19).

3.1.3.4. Azot oksit emisyonu

NO_x, hava içerisindeki azot (N) atomunun yüksek sıcaklık etkisi ile oksitlenmesi sonucu ortaya çıkan bir emisyon türüdür. SO'nun artması silindir içi basınç ve sıcaklığını artırdığından NO_x emisyonunu artırıcı bir etki oluşturmaktadır [30]. Benzin, etanol ve metanol ile yapılan çalışmaların, farklı SO'lardaki NO_x emisyonunu değişimleri Şekil 3.18'de verilmiştir.



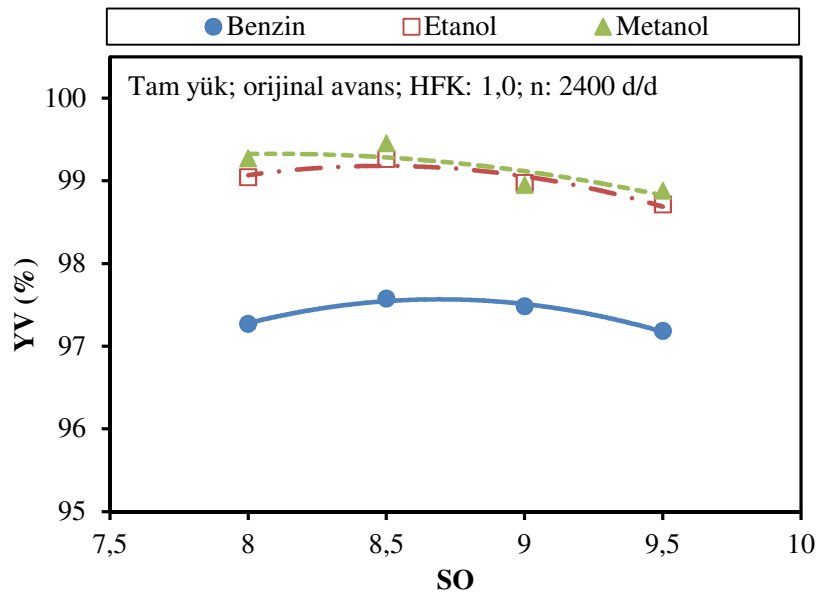
Şekil 3.18. Farklı SO'lardaki NO_x emisyonu değişimleri

Grafik incelendiğinde, benzinli çalışmanın etanol ve metanole göre oldukça fazla NO_x emisyonu oluşturduğu görülmektedir. Alkol yakıtların adyabatik alev sıcaklıklarının düşük olması NO_x emisyonlarının azalmasına sebep olmaktadır [145, 146]. SO'nun artmasıyla birlikte bütün yakıt türlerinde genel olarak NO_x emisyonu artışa geçmiştir. Bu artışa sıkıştırma sonu artan basınç ve sıcaklığın sebep olduğu düşünülmektedir. NO_x

emisyonu maksimum değere 9,0:1 SO'da ulaşmış ve benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda sırasıyla 1700 ppm, 1294 ppm ve 1217 ppm olarak gerçekleşmiştir. Etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda, NO_x emisyonu benzinli çalışmaya göre %23,88 ve %28,41 oranında azalmıştır. Ayrıca, bütün SO'larda etanol ve metanol kullanımı NO_x'i benzinli çalışmaya göre ortalama olarak sırasıyla %40,55 ve %39 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen NO_x emisyonunun, etanole göre %5,95 oranında azaldığı görülmektedir. Etanolün metanole göre adyabatik alev sıcaklığının daha yüksek olmasının bu azalmaya sebep olduğu düşünülmektedir. Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda elde edilen NO_x değerleri literatürdeki [22, 42, 43, 101, 104, 134, 135, 138, 141, 144] bazı çalışmalar ile benzerlik göstermiştir.

3.1.4. Yanma verimi

YV yakıttan efektif olarak yararlanılan ısı değeri, toplam ısı değeri oranıdır. YV, egzoz emisyon ürünlerinin toplam oluşum entalpilerinin yakıtın ısı değerine bölünmesi ile hesaplanmıştır. Benzin, etanol ve metanol ile yapılan çalışmaların, farklı SO'lardaki YV değişimleri Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.19. Farklı SO'lardaki YV'nin değişimleri

Grafik incelendiğinde, YV'nin alkol yakıtlarda yüksek olduğu görülmektedir. Alkol yakıtların oksijen içermeleri, yanma hızlarının ve volumetrik verimlerin benzine kıyasla

yüksek olması gibi nedenler yanma verimini iyileştirmektedir. Bütün yakıt türlerinde maksimum YV'nin 8,5:1 SO'da olduğu, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda sırasıyla %97,57, %99,26 ve %99,45 oranında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Etanol ve metanol kullanımı ile YV'nin benzine göre sırasıyla %1,73 ve %1,92 oranında arttığı görülmektedir. SO'nun artmasıyla birlikte YV'nin bütün yakıtlarda bir miktar düştüğü görülmüştür. Bu düşüşün, SO'nun alev sönme bölgesini artırmasından kaynaklığı düşünülmektedir. Volumetrik verim, laminar yanma hızı ve oksijen oranını daha yüksek olan metanol yakıtlı çalışmada, YV'nin etanole göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

3.2. Ateşleme Avansına Bağlı Değişimlerin İncelenmesi

Bu kısımda, üç farklı AA'da (20, 23 ve 26°) benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen motor performansı, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarındaki değişimler incelenmiştir. Dört farklı SO'da yapılan çalışmalardan elde edilen grafikler, her bir SO için AA'ya bağlı olarak aşağıda sunulmuştur.

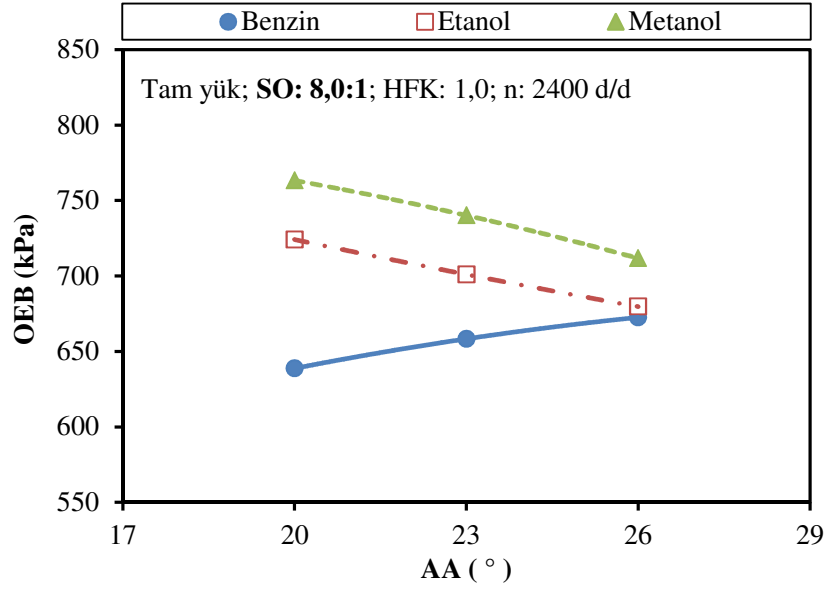
3.2.1. Motor performanslarının karşılaştırılması

3.2.1.1. Ortalama efektif basınç

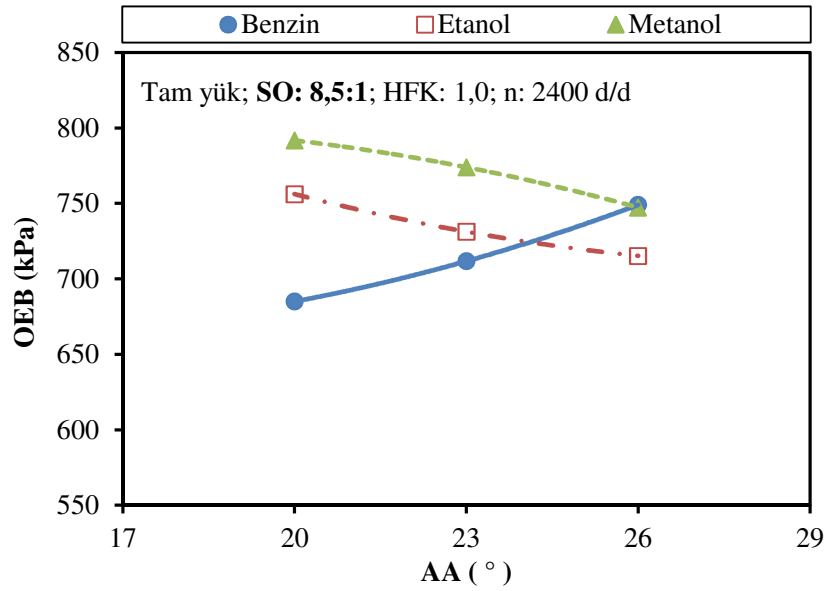
BAM'larda yanmanın termodinamik açıdan en uygun zamanda bitirilmesi için önemli olan AA, motor performansını etkileyen en etkili parametrelerdendir. Motor verimi bakımından maksimum SGB'nin ÜÖN'yi 5-10° KA (krank açısı) geçtikten sonra oluşması arzu edilir [21]. Bu bakımdan motorlarda kullanılacak olan alternatif yakıtların özelliklerine bağlı olarak en uygun AA'nın belirlenmesi gerekir. Dört farklı SO'da, benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen OEB'nin AA'ya bağlı olarak değişimi Şekil 3.20, 3.21, 3.22 ve 3.23'te verilmiştir.

OEB eğrileri incelendiğinde, bütün SO'larda genel olarak AA'nın artmasıyla birlikte OEB'nin etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda azaldığı, benzinli çalışmada ise arttığı tespit edilmiştir. AA arttıkça maksimum basınçların ÜÖN'ye yaklaşması sonucu artan basınç ve sıcaklık vuruğu oluşumu için ön reaksiyonları hızlandırmaktadır. Aynı zamanda SO'nun artması bu reaksiyonların daha fazla hızlanmasına neden olmaktadır [18]. Vuruğu oluşumu sınırlayan unsur ise yakıtların OS değeridir. Grafikler

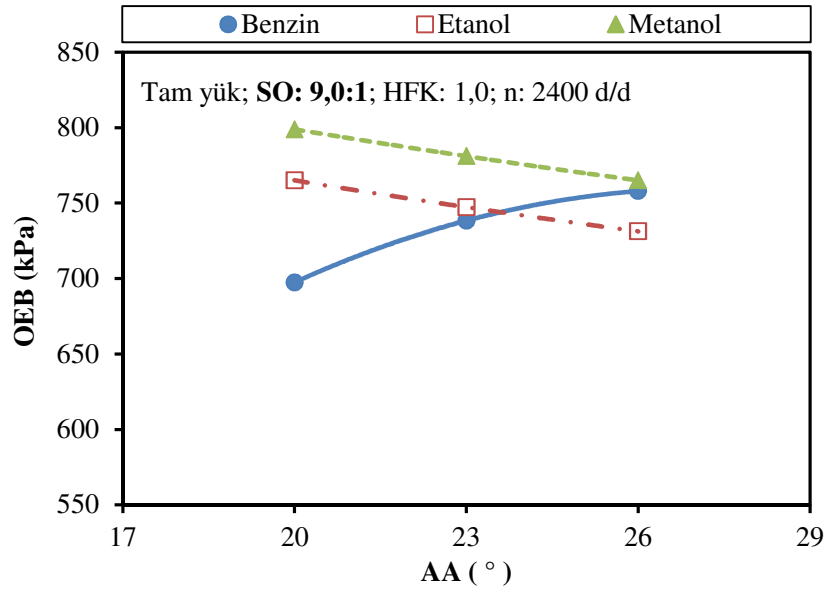
incelendiğinde, 9,5:1 SO'da etanol ve benzin yakıtlarında deney sonucu alınamamasının, bu sebeplerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



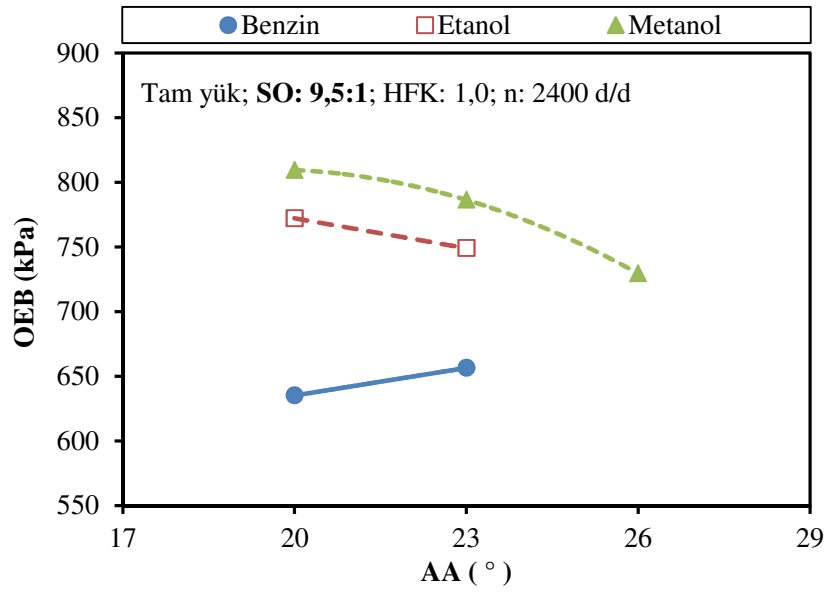
Şekil 3.20. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki OEB'nin değişimleri



Şekil 3.21. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki OEB'nin değişimleri



Şekil 3.22. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki OEB'nin değişimleri

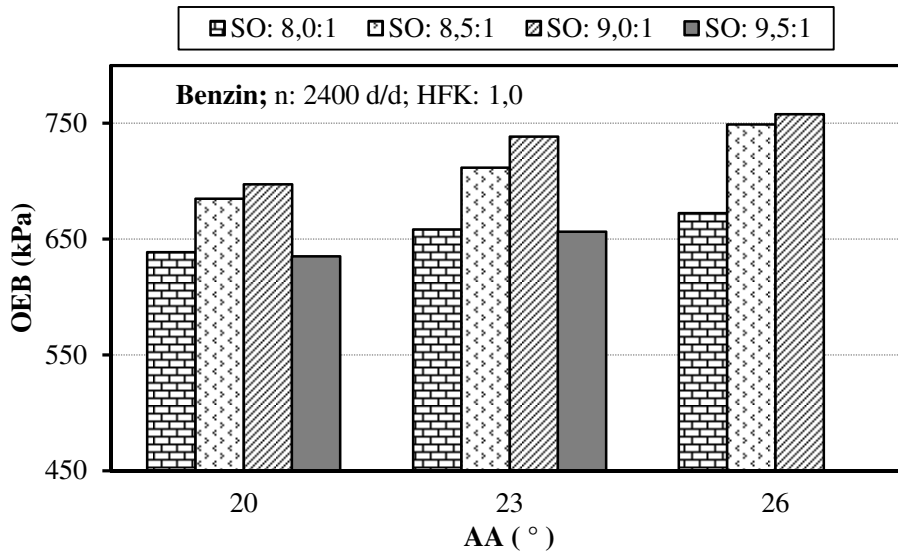


Şekil 3.23. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki OEB'nin değişimleri

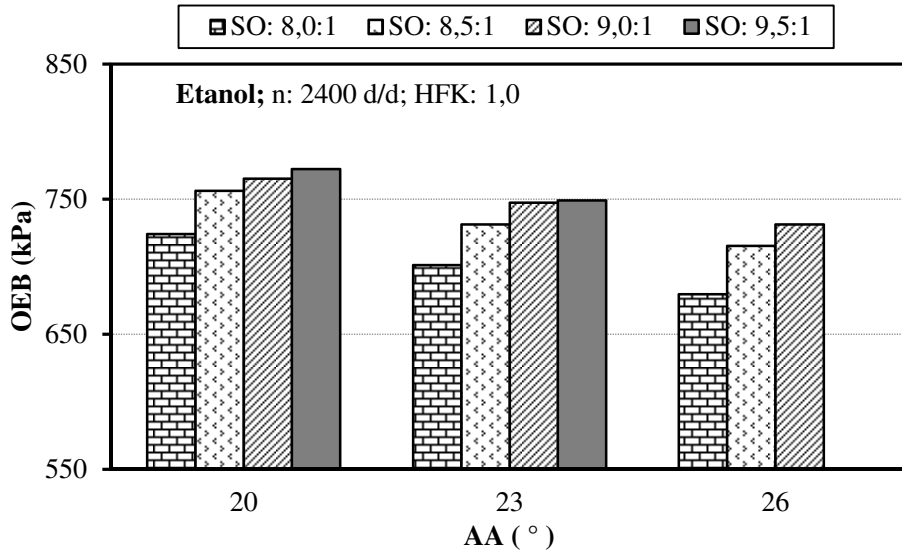
Motorun orijinal AA'sının 23° olduğu göz önünde bulundurularak grafikler yorumlandığında alkol yakıtlarda ateşlemenin rötara alınması ile OEB'nin arttığı görülmektedir. Alkol yakıtların laminer yanma hızları benzine göre oldukça yüksektir. Aynı zamanda, kaynama noktalarının sabit ve benzine göre düşük değerde olması, karışımının daha homojen oluşmasına sebep olmaktadır. Alkol yakıtların sahip oldukları bu özelliklerin yanma süresini kısaltmaktadır. Bundan dolayı, AA'nın rötara alınmasıyla

yanma sonu oluşacak basıncın yükseldiği ve motor verimi bakımından daha elverişli bölgede olduğu düşünülmektedir. Benzinli çalışmada ise yanmanın ÜÖN'den çok uzakta tamamlanması sonucu ateşlemenin rötara alınmasıyla birlikte OEB'nin düştüğü görülmüştür. Laminer yanma hızının düşük olması ve yanma odasındaki karışımın bölgesel olarak homojen olmaması gibi nedenlerden dolayı benzinli çalışmada yanma süreleri uzamaktadır. Bundan dolayı, ateşleme anının orijinal değere göre avansa alınmasıyla birlikte OEB'nin arttığı görülmektedir. Örneğin, 8,0:1 SO'da etanol ve metanol yakıtlı çalışmada maksimum OEB'nin 724,16 kPa ve 763,30 kPa olarak gerçekleştiği ve bunu 20° AA'da yakaladığı görülmüştür. Benzinli çalışmada ise bu değer 672,56 kPa olarak gerçekleştiği ve buna 26° AA'da ulaştığı tespit edilmiştir, Şekil 3.20. Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda, farklı SO'lardan elde edilen OEB'nin AA'ya bağlı değişimleri Şekil 3.24, 3.25 ve 3.26'da kıyaslanmıştır.

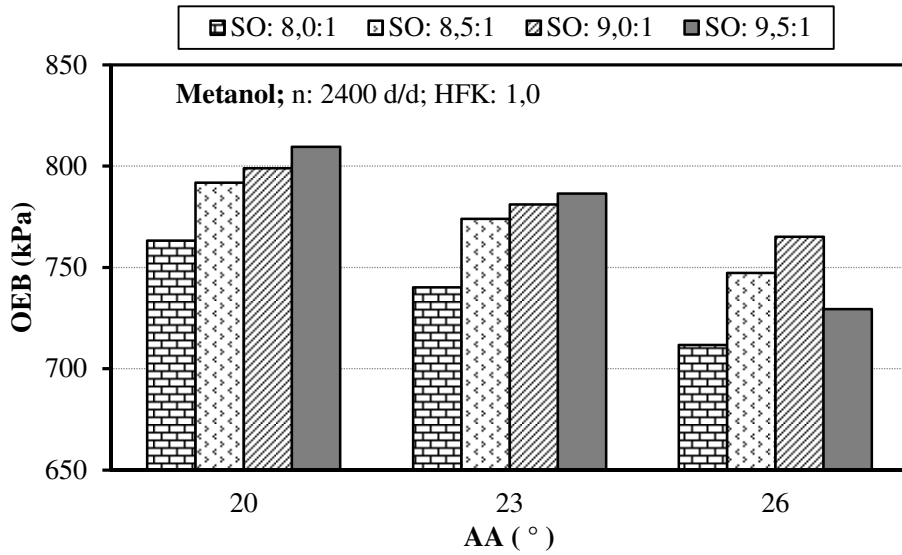
Grafikler incelendiğinde, 9,5:1 SO'da metanol yakıtlı çalışmada veri alınırken, benzin ve etanol yakıtlı çalışmalardan sonuç alınamadığı görülmektedir. Metanolün tutuşma sıcaklığının ve AOS'un benzin ve etanole göre yüksek olmasının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.24. Farklı SO ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen OEB değişimleri



Şekil 3.25. Farklı SO ve AA’da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen OEB değişimleri



Şekil 3.26. Farklı SO ve AA’da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen OEB değişimleri

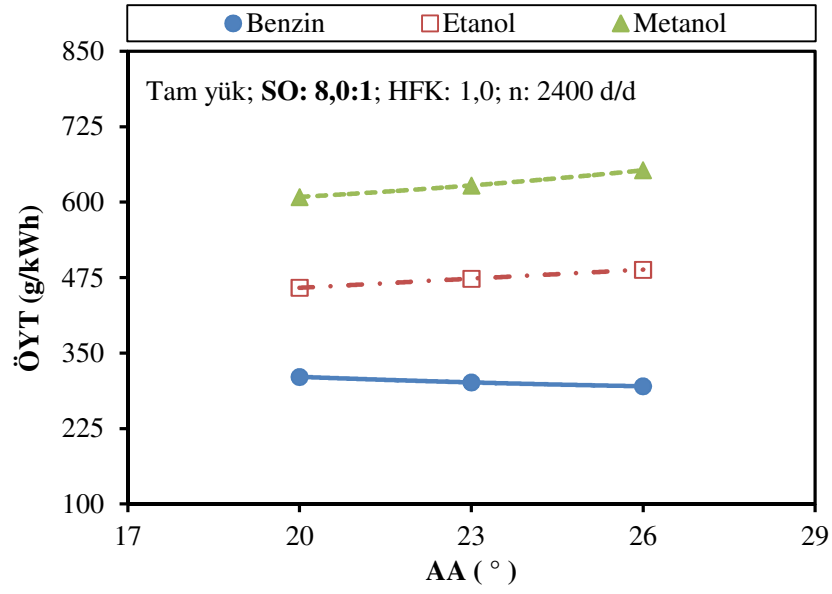
Şekil 3.24 incelendiğinde, OEB’nin bütün AA’larda 9,0:1 SO’ya kadar arttığı ve ondan sonra tekrar düştüğü görülmüştür. Benzinli çalışmada maksimum OEB’nin 758 kPa (9,0:1 SO) olduğu ve buna 26° AA’da ulaştığı tespit edilmiştir. Elde edilen maksimum OEB’nin, motorun orijinal çalışma parametrelerine (23°AA, 8,5:1 SO) (OÇP) göre %7 oranında arttığı görülmektedir.

Etanol yakıtlı çalışmada, maksimum OEB 772,2 kPa (9,0:1 SO) olarak elde edilmiş ve buna 20°AA’da ulaşılmıştır, Şekil 3.25. Bu değer OÇP’ye göre %6 oranında artmıştır

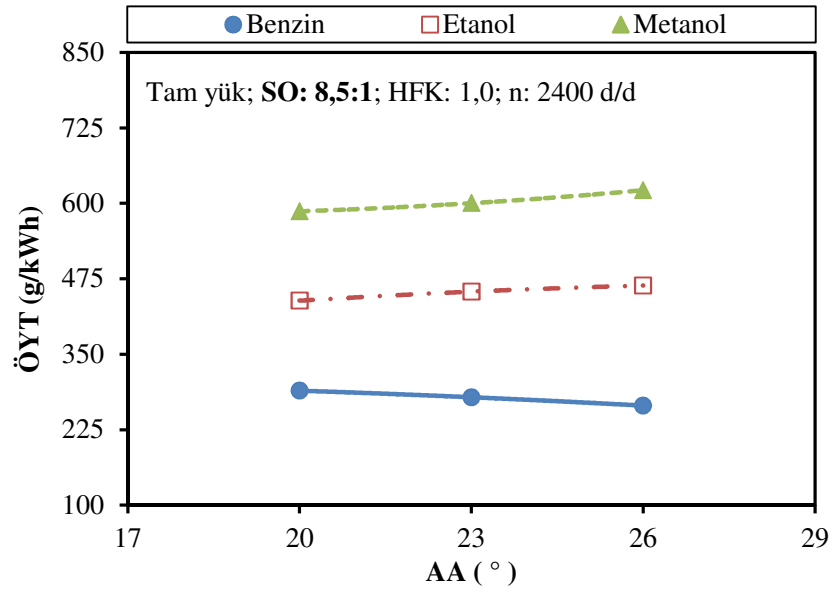
tespit edilmiştir. Metanol yakıtlı çalışmada ise maksimum OEB'ye 20° AA'da ulaştığı ve 809,57 kPa (9,5:1 SO) olarak gerçekleştiği görülmüştür, Şekil 3.26. Elde edilen maksimum değer OÇP'ye göre %4,6 oranında artmıştır. Benzin, etanol ve metanol için elde edilen maksimum değerler karşılaştırıldığında, etanol ve metanol kullanımının OEB'yi benzine göre sırasıyla %1,88 ve %6,8 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca, bütün SO'larda ve 20° AA'da etanol ve metanol kullanımı ile elde edilen OEB'nin 26° AA'da benzin kullanımına göre ortalama olarak sırasıyla %3,84 ve %8,86 oranlarında arttığı görülmüştür. Aynı zamanda, metanol kullanımının etanole göre OEB'yi %4,84 oranında artırdığı bulunmuştur. Bu duruma; metanolün etanole göre yüksek oranda oksijen içermesi, buharlaşma gizli ısısının yüksek olması, kaynama noktasının düşük olması, laminer yanma hızının ve karışım ısıl değerinin yüksek olması gibi etkenlerin neden olduğu düşünülmektedir. Buluna OEB sonuçları, literatürde karışım veya saf olarak alkol yakıt kullanımında elde edilen motor torku veya OEB sonuçları açısından bazı çalışmalar [3, 54, 147] ile benzerlik gösterirken, bazı çalışmalarda [104, 148] ise farklı sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir.

3.2.1.2. Özgül yakıt tüketimi

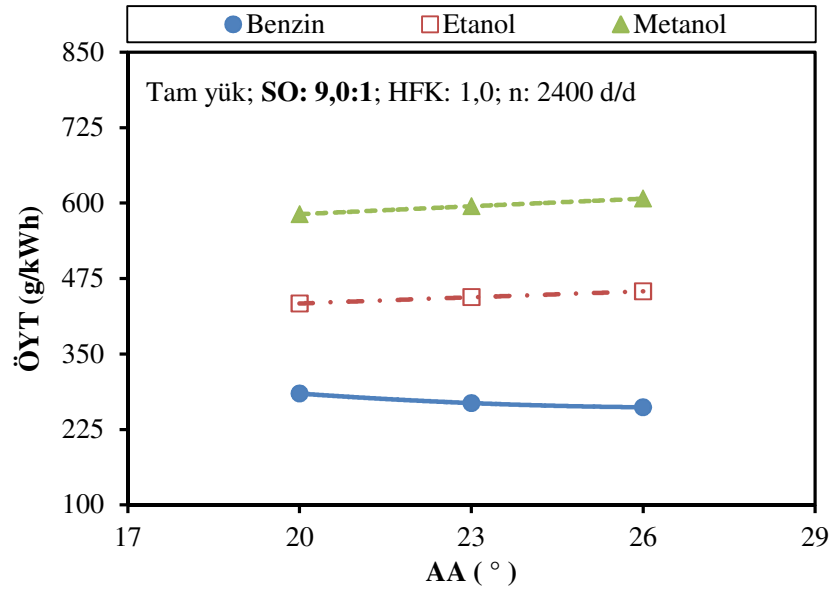
Dört farklı SO'da, benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen ÖYT'nin AA'ya bağlı olarak değişimi Şekil 3.27, 3.28, 3.29 ve 3. 30'te verilmiştir. ÖYT eğrileri incelendiğinde, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda genel olarak AA'nın artmasıyla birlikte ÖYT'nin arttığı, benzinli çalışmada ise bir miktar azaldığı görülmüştür. Bütün deneyler aynı şartlarda (2400 d/d, HFK: 1,0 ve tam yük) yapıldığından ÖYT'de görülen bu artış ve azalma doğrudan doğruya OEB'ye bağlı değişmektedir. Düşük AA değerlerinde alkol yakıtlarda görülen OEB'deki artış, ÖYT'nin azalmasına sebep olmuştur. Benzinli çalışmada ise AA'nın artmasıyla beraber ÖYT'nin azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda 9,0:1 SO'ya kadar, bütün AA'larda genel olarak ÖYT'nin azaldığı tespit edilmiştir. 9,5:1 SO'da ise bir önceki SO'ya göre ÖYT'de bir miktar artış gözlemlenmiştir.



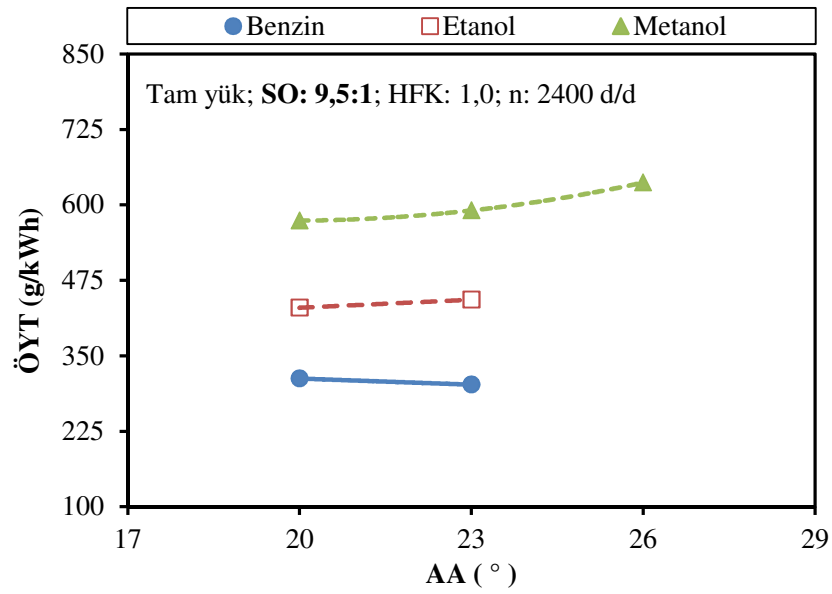
Şekil 3.27. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki ÖYT'nin değişimleri



Şekil 3.28. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki ÖYT'nin değişimleri

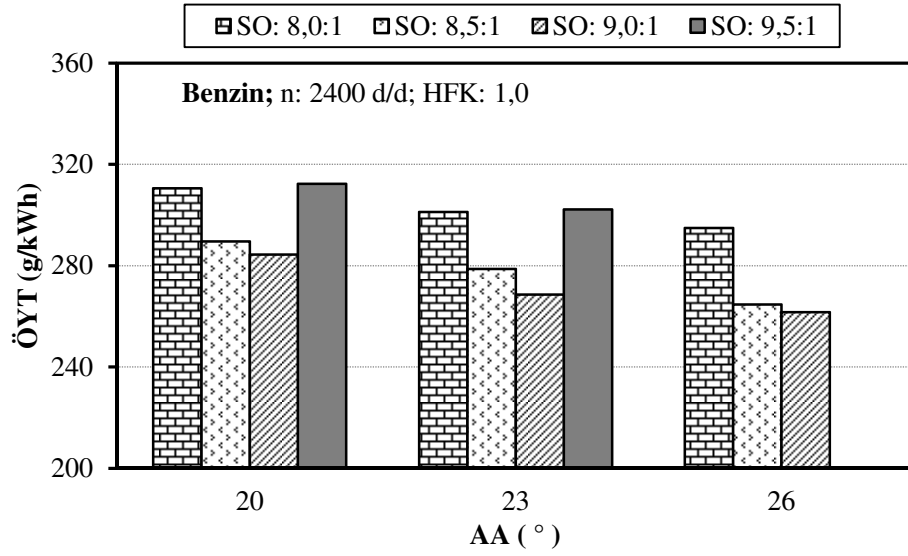


Şekil 3.29. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki ÖYT'nin değişimleri

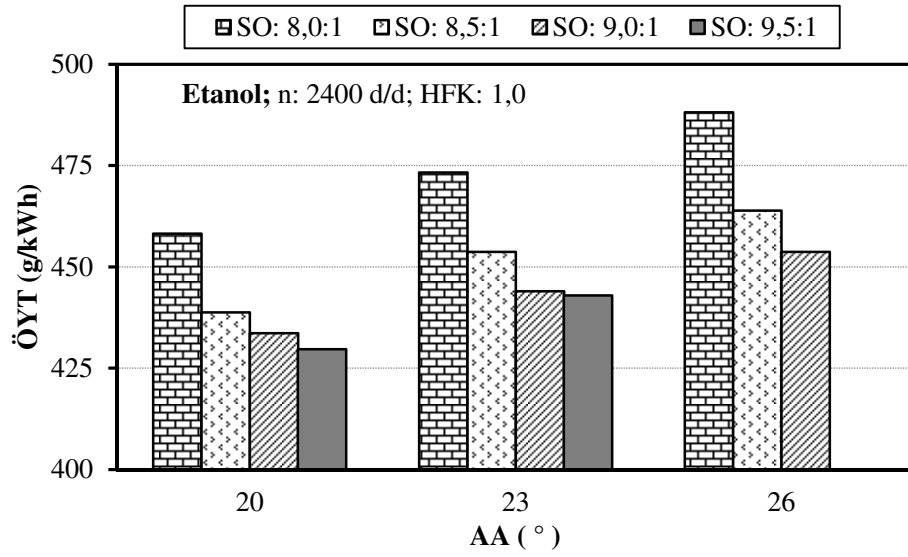


Şekil 3.30. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki ÖYT'nin değişimleri

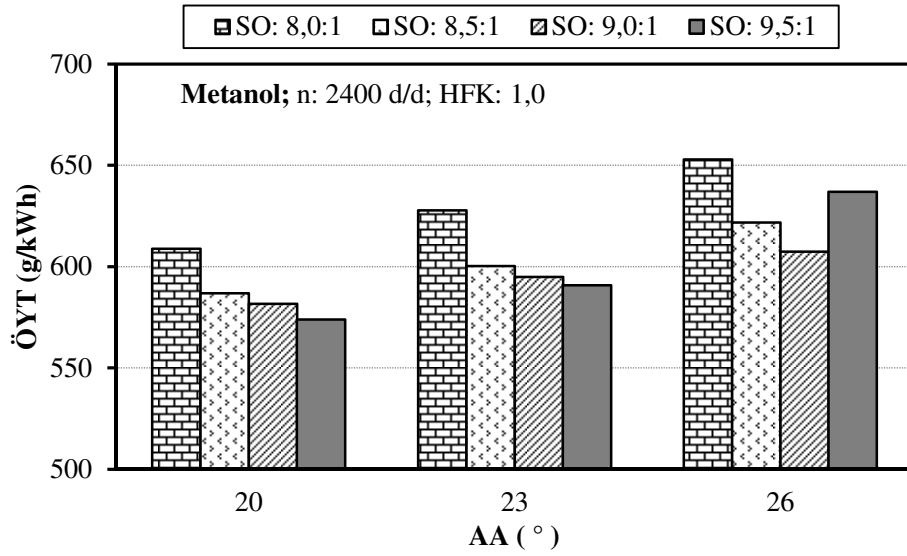
Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda, farklı SO'lardan elde edilen ÖYT'nin AA'ya bağlı değişimleri Şekil 3.31, 3.32 ve 3.33'de incelenmiştir.



Şekil 3.31. Farklı SO ve AA’da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen ÖYT değişimleri



Şekil 3.32. Farklı SO ve AA’da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen ÖYT değişimleri



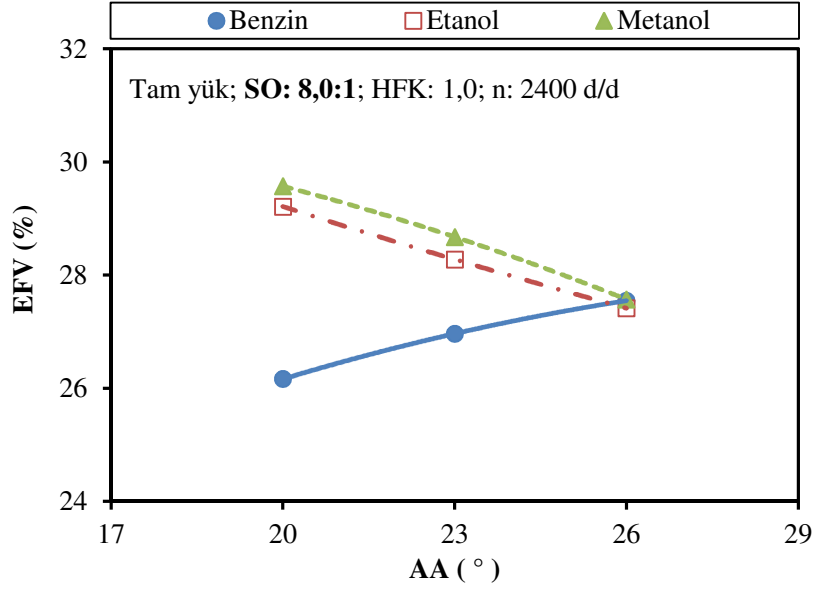
Şekil 3.33. Farklı SO ve AA’da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen ÖYT değişimleri

Şekil 3.31, 3.32 ve 3.33 incelendiğinde, benzinli çalışmada minimum ÖYT’nin 261,762 g/kWh (9,0:1 SO) olduğu ve buna 26° AA’da ulaştığı tespit edilmiştir. Motorun OÇP’sine göre kıyaslama yapıldığında, AA’nın artmasıyla birlikte ÖYT’nin %6,1 azaldığı görülmektedir. Etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda ise minimum ÖYT’nin sırasıyla 429,67 g/kWh (9,5:1 SO) ve 573,95 g/kWh (9,5:1 SO) olduğu ve bu değerleri her iki yakıt türünde de 20° AA’da yakaladığı görülmüştür. Elde edilen bu değerler, OÇP’ye göre irdelendiğinde, etanol ve metanol yakıtlı çalışmaların sırasıyla ÖYT’yi %5,3 ve %4,4 oranlarında azalttığı bulunmuştur. Üç yakıt türünden elde edilen minimum değerler karşılaştırıldığında, etanol ve metanol kullanımının ÖYT’yi benzine göre sırasıyla %64 ve %129 oranlarında artırdığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, metanol kullanımı etanole göre ÖYT’yi %29,57 artırdığı tespit edilmiştir. Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalardan bulunan ÖYT sonuçları, literatürde karışım veya saf olarak alkol yakıt kullanımında elde edilen sonuçlar açısından bazı çalışmalar [3, 54] ile benzerlik gösterirken, bazı çalışmalarda [104, 148] ise farklı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

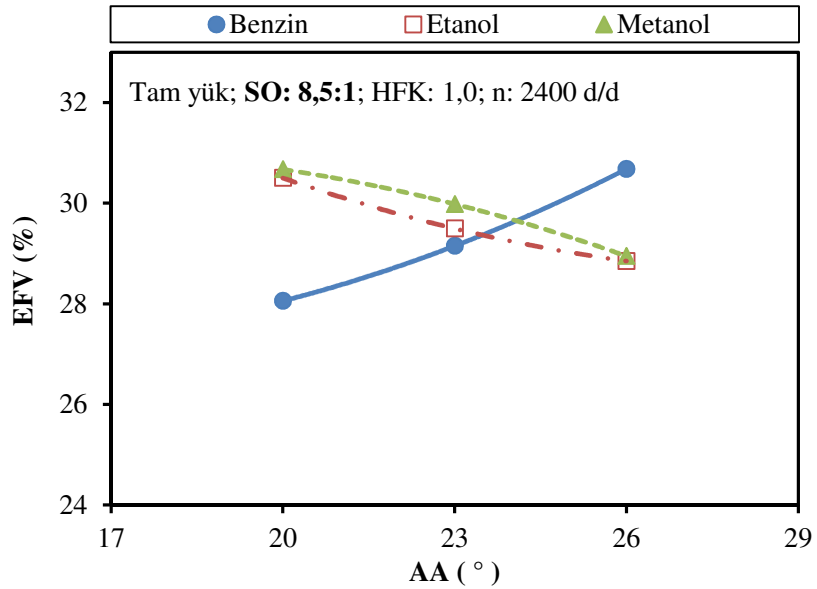
3.2.1.3. Efektif verim

Dört farklı SO’da, benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen EFV’nin AA’ya bağlı olarak değişimi Şekil 3.34, 3.35, 3.36 ve 3.37’de verilmiştir. Bütün SO’larda ateşlemenin 20° AA’dan 26° AA’ya alınmasıyla birlikte alkol yakıtlı

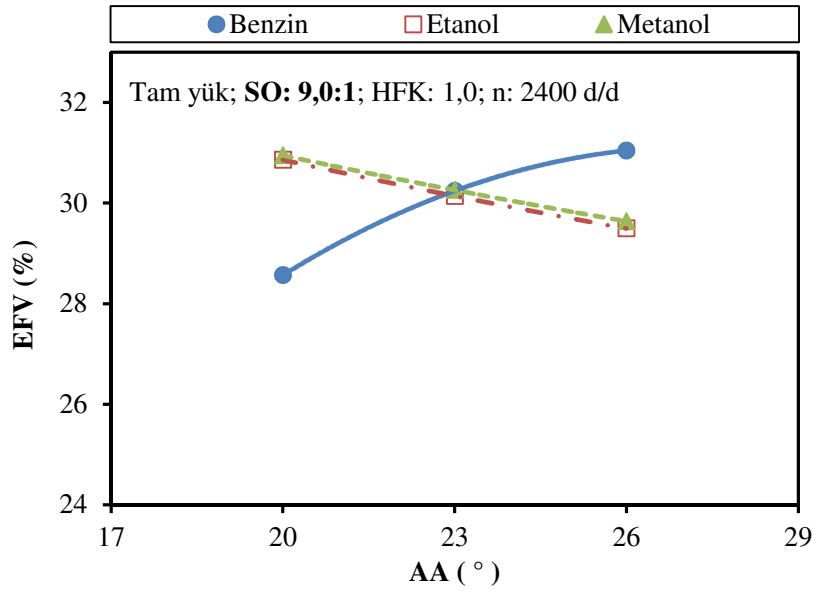
çalışmalardan elde edilen EFV değerlerinin azaldığı görülmektedir, Şekil 3.34-3.37. Etanol ve metanol yakıtlı çalışmada görülen bu azalma, artan AA'ya bağlı olarak azalan OEB'nin etkisi ile artmış olan ÖYT'den kaynaklanmaktadır.



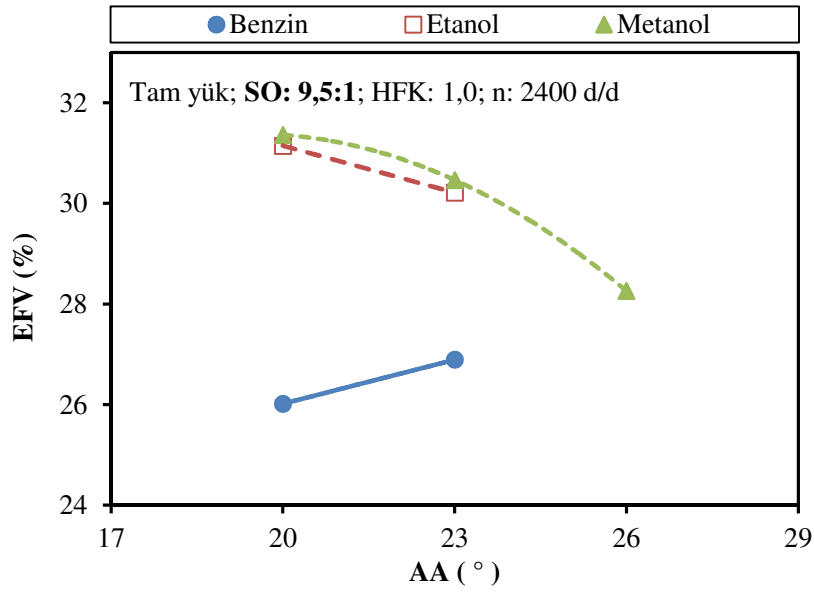
Şekil 3.34. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki EFV'nin değişimleri



Şekil 3.35. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki EFV'nin değişimleri



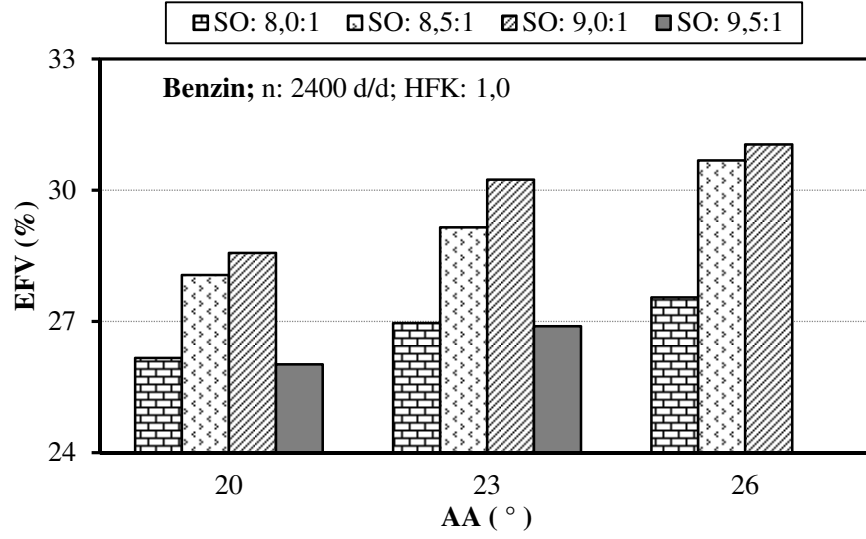
Şekil 3.36. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki EFV'nin değişimleri



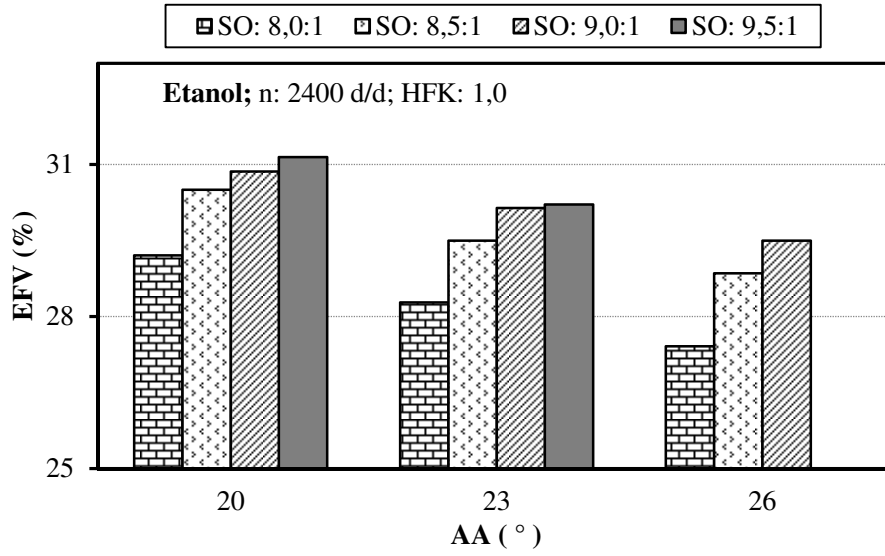
Şekil 3.37. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki EFV'nin değişimleri

Alkol yakıtlarda OÇP'ye göre ateşlemenin rötara alınması ve SO'nun artırılması, yanma sonu basınç ve sıcaklığın ÜÖN'ye yakın bölgelerde oluşmasına olanak sağlamaktadır. Bundan dolayı 20° AA'da EFV, etanol ve metanol kullanımı ile artmaktadır. Benzinin laminar yanma hızının düşük olmasından dolayı yanma sonunun ÜÖN'ye yaklaşabilmesine olanak sağlamak için AA'nın artırılması gerekmektedir. SO'nun ve AA'nın artmasıyla birlikte benzin yakıtlı çalışmada EFV'nin arttığı görülmektedir.

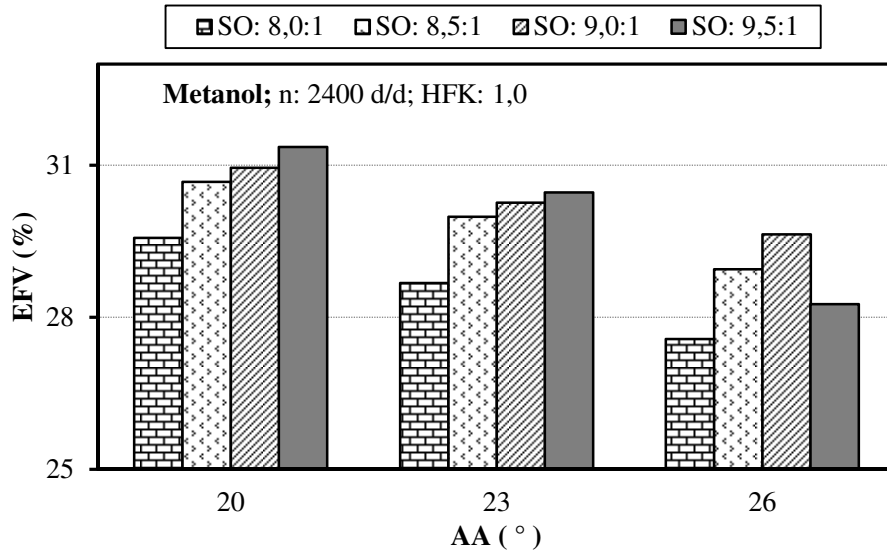
Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda, farklı SO'lardan elde edilen EFV'nin AA'ya bağlı değişimleri Şekil 3.38, 3.39 ve 3.40'da sunulmuştur.



Şekil 3.38. Farklı SO ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen EFV değişimleri



Şekil 3.39. Farklı SO ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen EFV değişimleri

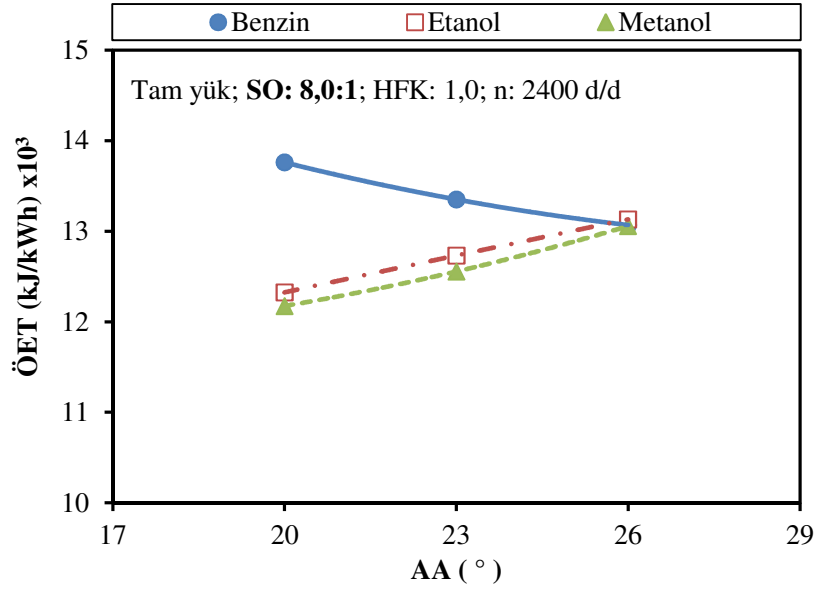


Şekil 3.40. Farklı SO ve AA'da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen EFV değişimleri

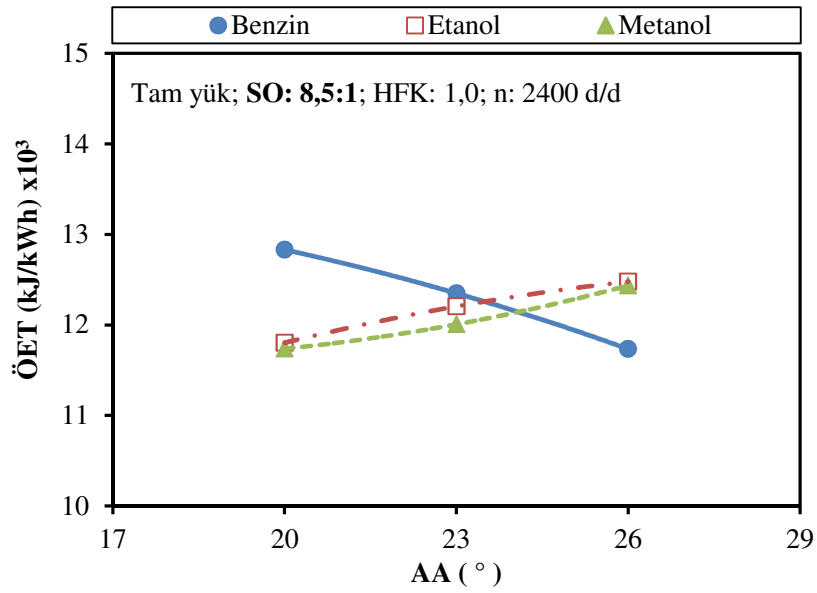
Şekil 3.38, 3.39 ve 3.40 incelendiğinde, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda maksimum EFV'nin sırasıyla %31,15 ve %31,36 olduğu ve bu değerleri 9,5:1 SO'da 20°AA'da yakaladığı görülmüştür. Alkol yakıtlı çalışmalarda, bütün SO'larda genel olarak maksimum EFV'lerin 20°AA'da olduğu ve avansın artırılmasıyla EFV'nin azaldığı görülmektedir. Benzinli çalışmada ise maksimum EFV'nin 26° AA'da olduğu ve %31,04 (9,0:1 SO) değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Maksimum değerler kıyaslandığında, etanol ve metanol kullanımının EFV'yi benzine göre sırasıyla %0,33 ve %1,02 oranında artırdığı bulunmuştur. Bu artış, alkollerin yanma hızlarının yüksek olması sebebiyle silindirlerden olan ısı kaybının az olmasından kaynaklanmaktadır [149]. Ayrıca, bütün SO'larda ve 20° AA'da etanol ve metanol kullanımı ile elde edilen EFV'nin 26° AA'da benzin kullanımına göre ortalama olarak sırasıyla %2,26 ve %2,96 oranlarında arttığı görülmüştür. Alkol yakıtlar kendi aralarında değerlendirildiğinde ise metanol, etanole göre %0,69 daha fazla EFV üretmiştir. OÇP'ye göre karşılaştırıldığında, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalardaki EFV değerleri sırasıyla %6,5, %5,6 ve %4,6 oranlarında artmıştır. Bulunan EFV sonuçları, literatürde karışım veya saf olarak benzin ve alkol yakıt kullanımında elde edilen sonuçlar açısından bazı çalışmalar [3, 150, 151] ile benzerlik gösterirken, bazı çalışmalarda [148, 152] ise farklı sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir.

3.2.1.4. Özgöl enerji tüketimi

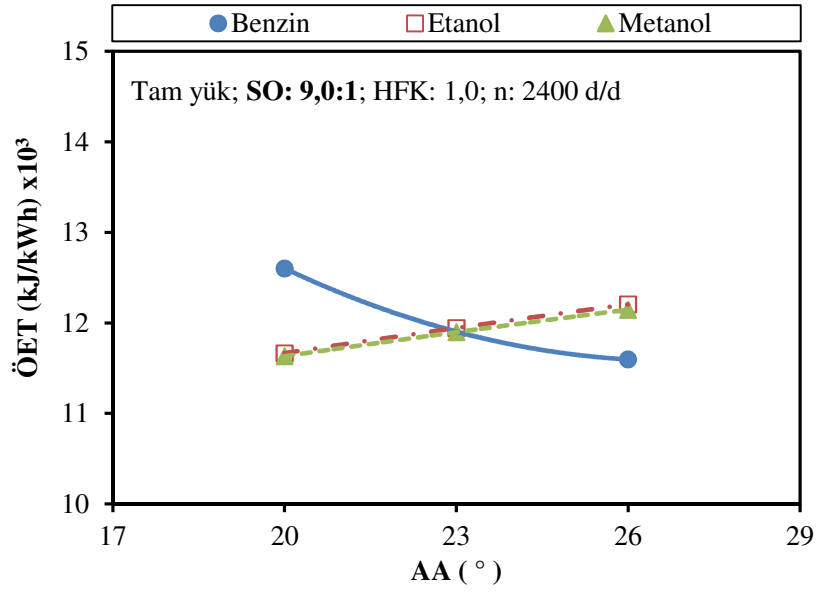
ÖET yakıt enerjisinin ne kadarını faydalı işe çevirdiğini gösteren önemli bir parametredir. Özellikle alternatif yakıtların verimliliğini de göstermektedir. Dört farklı SO'da, benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen ÖET'nin AA'ya bağlı olarak değişimi Şekil 3.41, 3.42, 3.43 ve 3. 44'de verilmiştir.



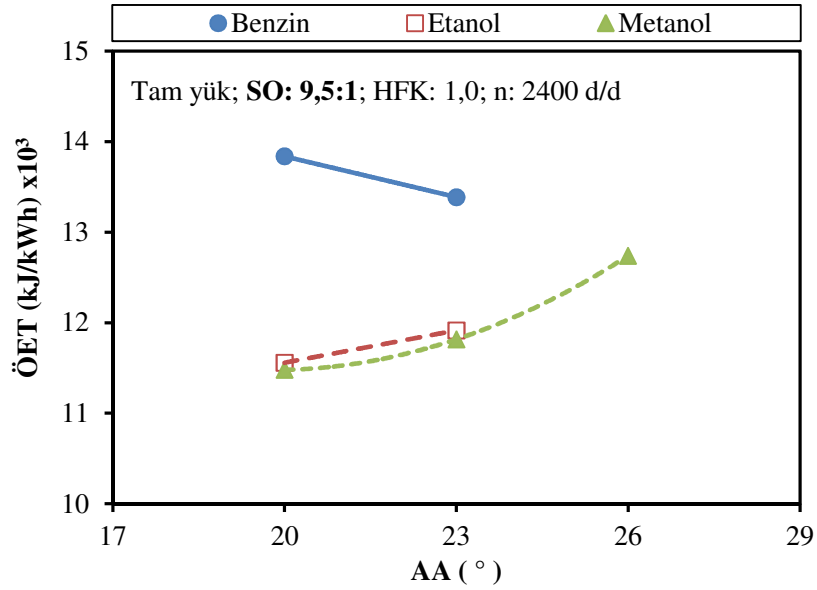
Şekil 3.41. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki ÖET'nin değişimleri



Şekil 3.42. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki ÖET'nin değişimleri



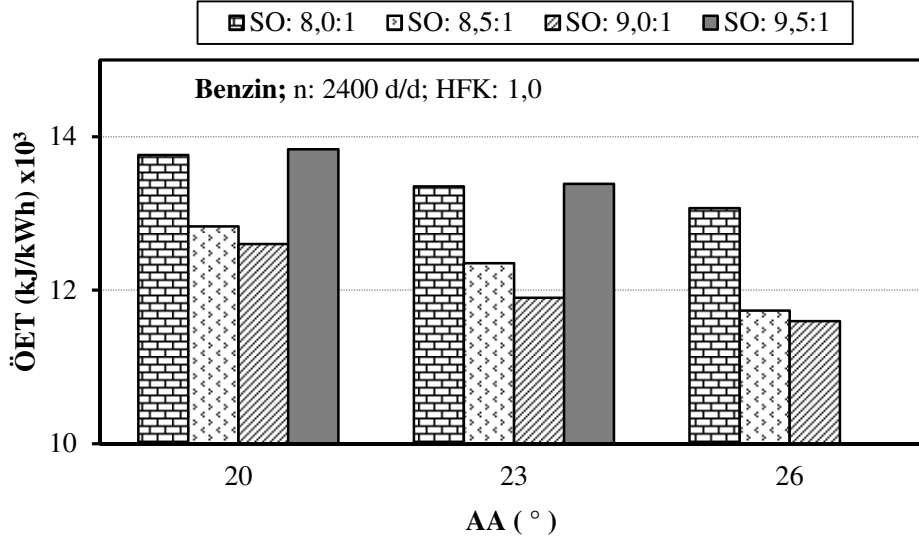
Şekil 3.43. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki ÖET'nin değişimleri



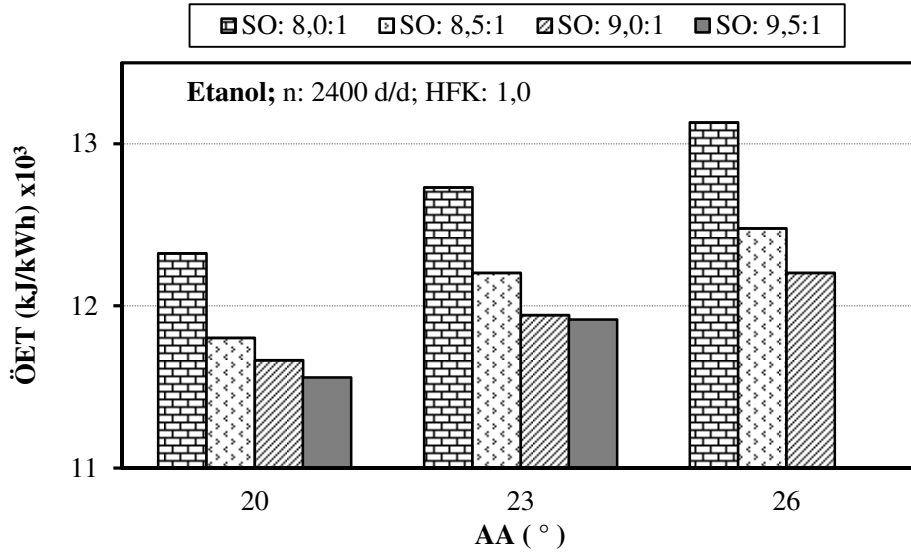
Şekil 3.44. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki ÖET'nin değişimleri

Dört farklı SO'da yapılan deneylerden elde edilen veriler kıyaslandığında, AA'nın artmasıyla ÖET'nin benzin kullanımı ile azaldığı, etanol ve metanol kullanımıyla da arttığı tespit edilmiştir, Şekil 3.41-3.44. Etanol ve metanol yakıtlarında minimum ÖET 20° AA'da oluşurken, benzinli çalışmada 26° AA'da olduğu görülmektedir. Her üç yakıt türünde, SO'nun artmasıyla ÖET değerlerinin azaldığı görülmüştür. SO'nun

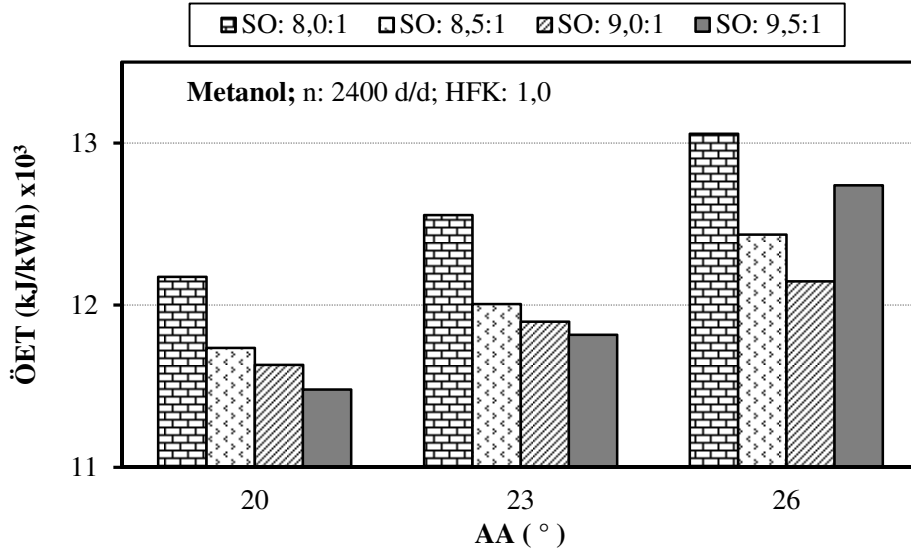
artmasıyla birlikte silindirler içersine gönderilen yakıttan elde edilen faydalı işin artmasıyla beraber ÖET azalmaktadır. Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda, farklı SO'lardan elde edilen ÖET'nin AA'ya bağlı değişimlerin karşılaştırılması Şekil 3.45, 3.46 ve 3.47'da verilmiştir.



Şekil 3.45. Farklı SO ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen ÖET değişimleri



Şekil 3.46. Farklı SO ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen ÖET değişimleri



Şekil 3.47. Farklı SO ve AA’da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen ÖET değişimleri

Grafikler incelendiğinde, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda minimum ÖET sırasıyla 11,60, 11,56 ve 11,48 kJ/kWh $\times 10^3$ olarak gerçekleşmiştir. Elde edilen minimum değerlere, benzinli çalışmada 26° AA (9,0:1 SO)’da ulaşılırken, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda 20° AA (9,5:1 SO)’da ulaşıldığı görülmüştür. Minimum değerler karşılaştırıldığında, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda bulunan ÖET’nin benzine göre sırasıyla %0,33 ve %1,01 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, bütün SO’larda ve 20° AA’da etanol ve metanol kullanımı ile elde edilen ÖET’nin 26° AA’da benzin kullanımına göre ortalama olarak sırasıyla %2,43 ve %3,11 oranlarında azaldığı görülmüştür. OÇP’ye göre kıyaslandığında, benzin, etanol ve metanol yakıtlarının ÖET’yi sırasıyla yaklaşık %6,1, %5,3 ve %4,4 oranlarında düşürdüğü görülmektedir. Aynı zamanda, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen ÖET değeri etanole göre %0,7 oranında azalmıştır. Metanol yakıtlı çalışmada elde edilen ÖYT’nin etanole göre düşük değerde olmasının, ÖET’de azalma etkisi oluşturduğu belirlenmiştir.

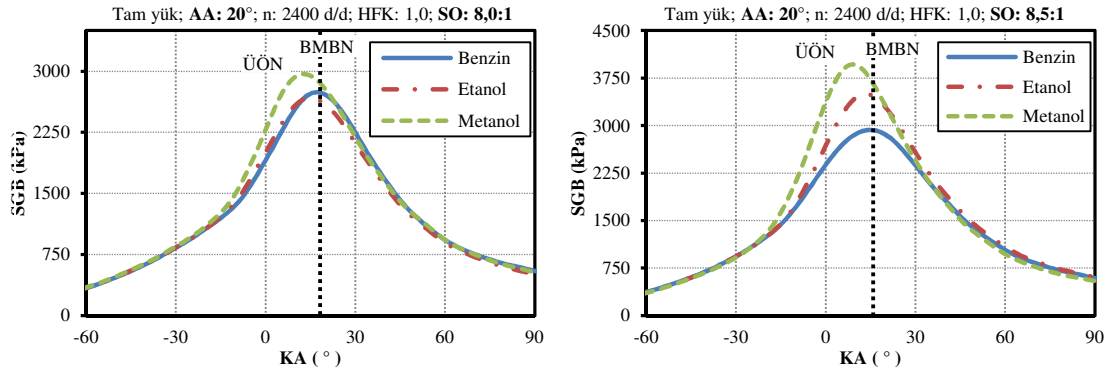
3.2.2. Yanma karakteristiklerinin karşılaştırılması

3.2.2.1. Silindir gaz basınçları

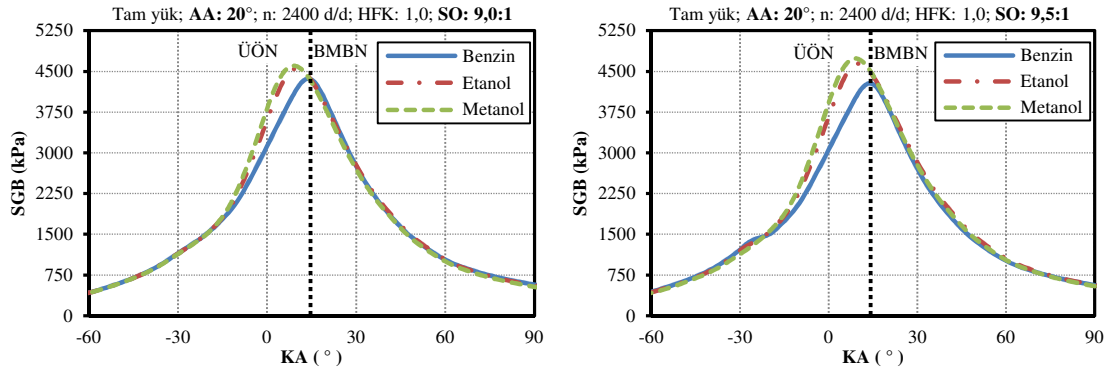
Güç ve verim değişimine sebebiyet veren esas olay ateşleme anından yanma sonuna kadar geçen sürede, pistonun KA cinsinden kat ettiği mesafedir. Bu değer ne kadar fazla ise güç ve verim o derece düşük olur. Bunun için AA ve alev hızı önemlidir. AA’nın

çok erken olması yanma sonu oluşacak basıncın pistonun ÜÖN'ye çıkmasını zorlaştıracığından faydalı işin düşmesine sebep olur. AA'nın çok fazla geç olması ile birlikte yanma sonu KA cinsinden ÜÖN'den çok daha sonra oluşması ısı kayıplarının artmasına ve faydalı işin düşmesine neden olur [21]. Bundan dolayı, alternatif yakıtların yanma hızları, en uygun AA'nın belirlenmesinde önemli etkenlerden biridir. Basıncı eğrileri, yanma sonu oluşan faydalı işin bulunmasında ve yakıtların yanma kabiliyetlerinin tayininde kullanılabilmektedir.

Dört farklı SO'da ve 20°AA'da, benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen SGB'nin değişimi Şekil 3.48 ve 3.49'da verilmiştir.



Şekil 3.48. 8,0:1-8,5:1 SO'da ve 20° AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen SGB değişimleri

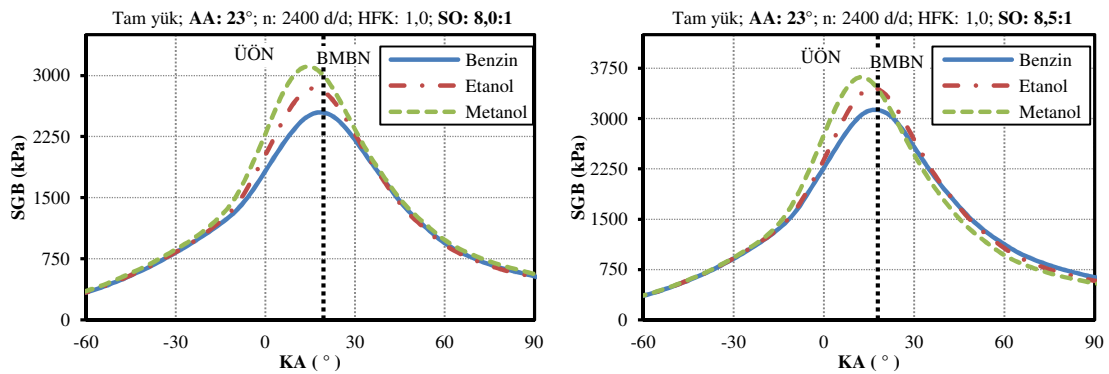


Şekil 3.49. 9,0:1-9,5:1 SO'da ve 20° AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen SGB değişimleri

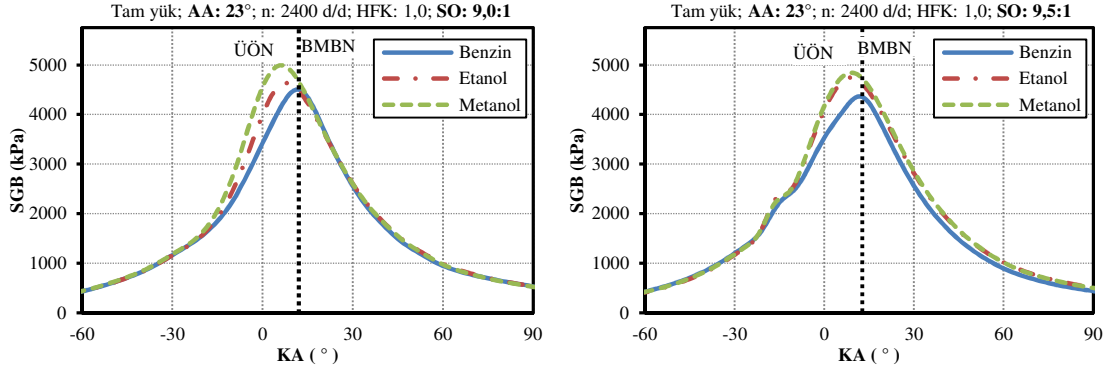
Grafikler incelendiğinde, bütün SO'larda, SGB'de ulaşılan maksimum değerlerin etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda ÜÖN'den 9-15° sonra olduğu, benzinli çalışmada ise

14-18° aralığında gerçekleştiği görülmüştür. Alkol yakıtlardan elde edilen bu değerlerin, literatürde [18, 21] belirtilen, motor verimi açısından maksimum SGB'nin oluşması istenen bölgeler arasında kaldığı tespit edilmiştir. Benzinli çalışmada ise maksimum SGB'nin ÜÖN'den çok daha sonra oluşması, ısı kayıplarının artması ve faydalı işin düşmesine neden olmaktadır. 20°AA'da etanol ve metanol yakıtlı çalışmaların benzine göre daha verimli olduğu Şekil 3.20-3.23'te verilen OEB eğrileri incelendiğinde görülmektedir. Alkol yakıtların kimyasal bileşimindeki oksijen oranı, buharlaşma gizli ısı ve laminar yanma hızı benzine göre yüksektir. Etanol ve metanolün sahip olduğu bu özellikler, ateşleme anından sonra basıncın benzine göre daha erken yükselmesine neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, SO'nun artmasıyla birlikte bütün yakıt türlerinde SGB değerinin arttığı ve ÜÖN'ye yaklaştığı tespit edilmiştir. Ancak, bu artışın metanol yakıtlı çalışmada daha fazla olduğu ve bunu etanol ve benzinin takip ettiği görülmektedir.

Dört farklı SO'da ve 23° AA'da, benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen SGB'nin değişimi Şekil 3.50 ve 3.51'de verilmiştir. Basınç eğrileri incelendiğinde, bütün SO'larda etanol ve metanol yakıtlarından elde edilen maksimum SGB'nin BMBN'den önce oluştuğu görülmektedir. Aynı zamanda, bütün SO'larda maksimum SGB değerlerinin ÜÖN'den sonra oluştuğu, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda sırasıyla 6-17°, 8-16° ve 6-14° aralığında gerçekleştiği tespit edilmiştir.



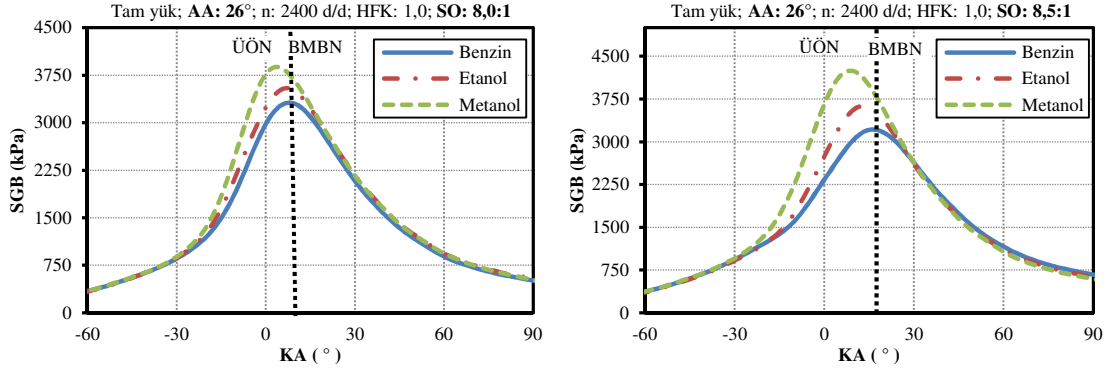
Şekil 3.50. 8,0:1-8,5:1 SO'da ve 23 °AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen SGB değişimleri



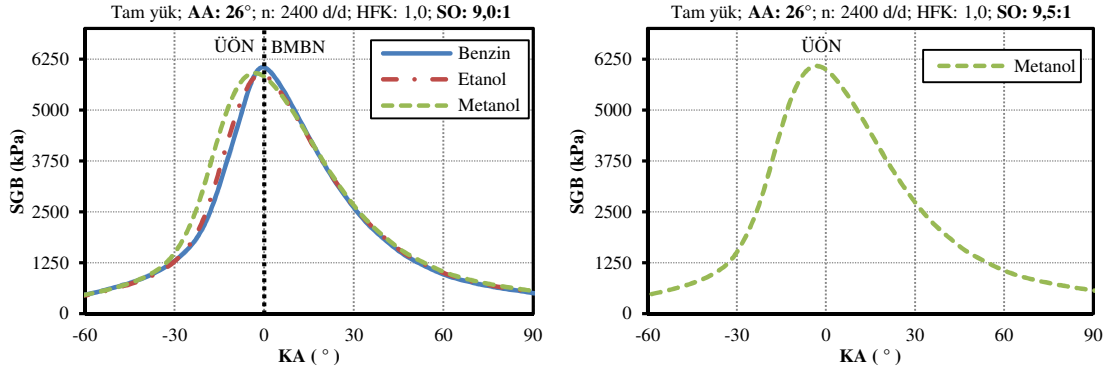
Şekil 3.51. 9,0:1-9,5:1 SO'da ve 23 °AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen SGB değişimleri

8,5:1 SO'daki basınç eğrisine bakıldığında, 30° KA'dan sonra yakıt türleri arasında belirgin bir ayrışma görülmüştür. Özellikle benzinli çalışmada görülen farklılığın, son yanma fazının devam etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte, 9,5:1 SO'da da hem sıkıştırma hem de iş zamanında genel olarak bir düzensizlik belirmiştir. Bu anda üç yakıt türünün de kritik SO'ya yaklaşıldığı, dolayısıyla vuruntu oluşumunun başladığı düşünülmektedir. Safgönül vd. [18] hava soğutmalı motorların yerel olarak çeper sıcaklıklarının ve karışım sıcaklıklarının aynı boyuttaki su soğutmalı motorlara göre daha yüksek ve vuruntu meylinin daha fazla olduğunu belirtmiştir. Bundan dolayı, deney motorunun hava soğutmalı olmasının yüksek SO'larda düzensiz basınç eğrilerinin oluşmasına sebep olduğu kanısına varılmıştır. Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda maksimum SGB'lerin oluşma noktalarında görülen farklılıkların, silindir içerisindeki karışımın yerel olarak homojen olamaması, yanma esnasındaki silindir hacmindeki farklılıklar, ısı kayıpları, HFK değerindeki küçük farklılıklar ve yanma hızı gibi etkenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Dört farklı SO'da ve 26° AA'da, benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen SGB'nin değişimi Şekil 3.52 ve 3.53'de verilmiştir.

Şekil 3.53 incelendiğinde, SO'nun 9,0:1 olduğu durumda maksimum SGB'nin ÜÖN'den önce oluştuğu ve 9,5:1 SO'da benzin ve etanol yakıtlı çalışmalardan sonuç alınamadığı görülmektedir. Bu SO'larda sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığın yüksek olması sonucu yanma sürelerinin kısalmasına, neticesinde maksimum SGB'nin ÜÖN'den önce oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda, bu andaki silindir hacminin az olması ile birlikte basınç değerlerinin de yükseldiği görülmektedir.



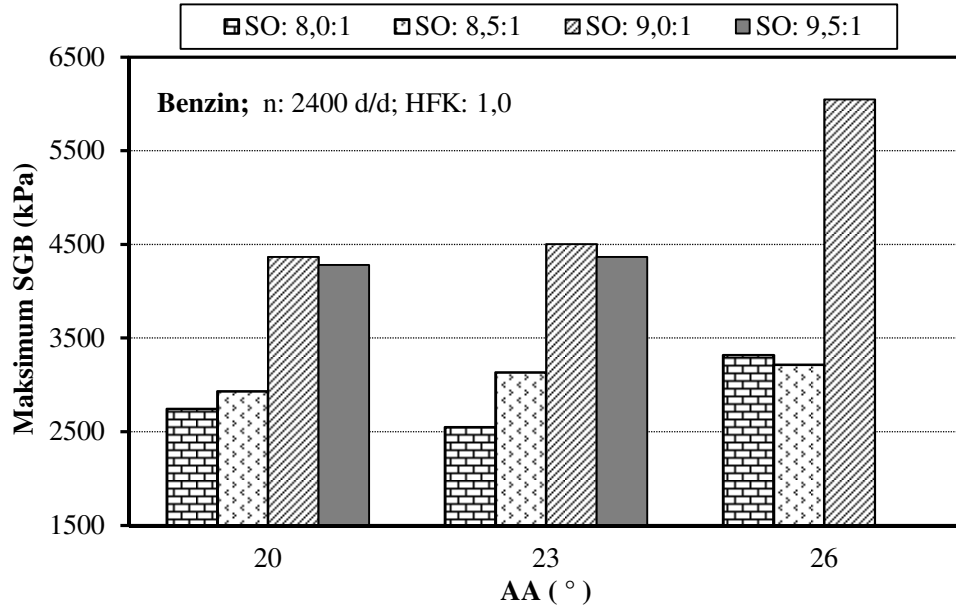
Şekil 3.52. 8,0:1-8,5:1 SO'da ve 26 °AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen SGB değişimleri



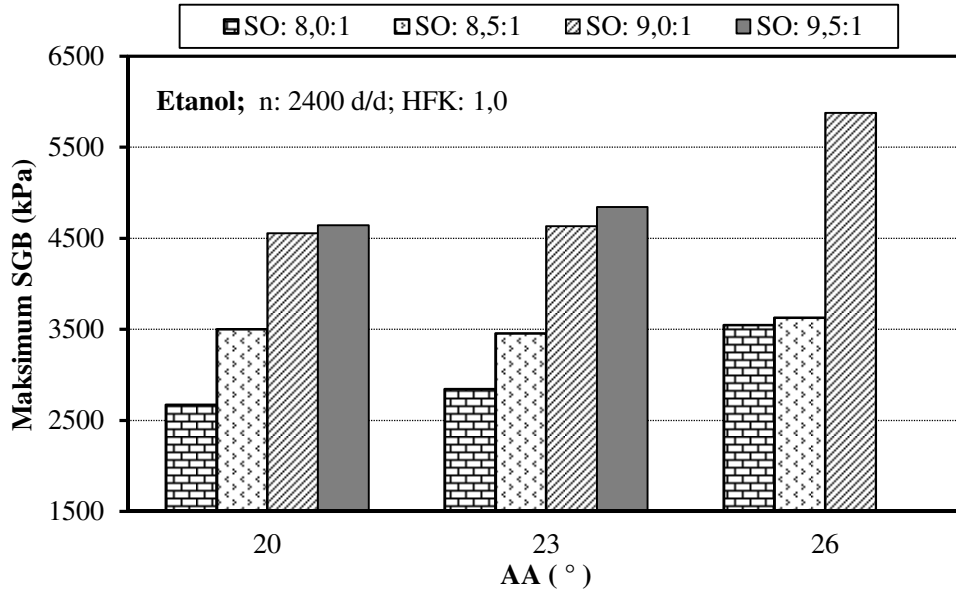
Şekil 3.53. 9,0:1-9,5:1 SO'da ve 26 °AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen SGB değişimleri

Maksimum SGB'nin ÜÖN'den önce oluşmasıyla birlikte mekanik zorlamalar artmış ve motorun çalışması düzensizleşmiştir. Metanolden edilen maksimum SGB'nin etanole göre daha önce oluştuğu ve yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir. Metanolün daha yüksek oksijen oranına, OS'ye, buharlaşma gizli ısısına ve laminar yanma hızına sahip olmasının, bu duruma etken olduğu düşünülmektedir. Maksimum SGB'nin ÜÖN'den önce veya çok yakın oluşması, motorlarda mekanik kayıpların artmasına ve dolayısıyla faydalı işin düşmesine neden olmaktadır. Böylelikle elde edilen basınç değerinin faydalı güce dönüşmesi azalacaktır. Bu durum, SGB grafiklerinde görülen ÜÖN çizgisinin sol tarafında kalan basınç eğrisinin altındaki alanın büyüklüğünden de anlaşılabilmektedir. Dört farklı SO'da benzin, etanol ve metanol ile yapılan çalışmalardan elde edilen SGB'nin AA'ya göre değişimi Şekil 3.54, 3.55 ve 3.56'te verilmiştir. Grafikler incelendiğinde benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda maksimum SGB'nin

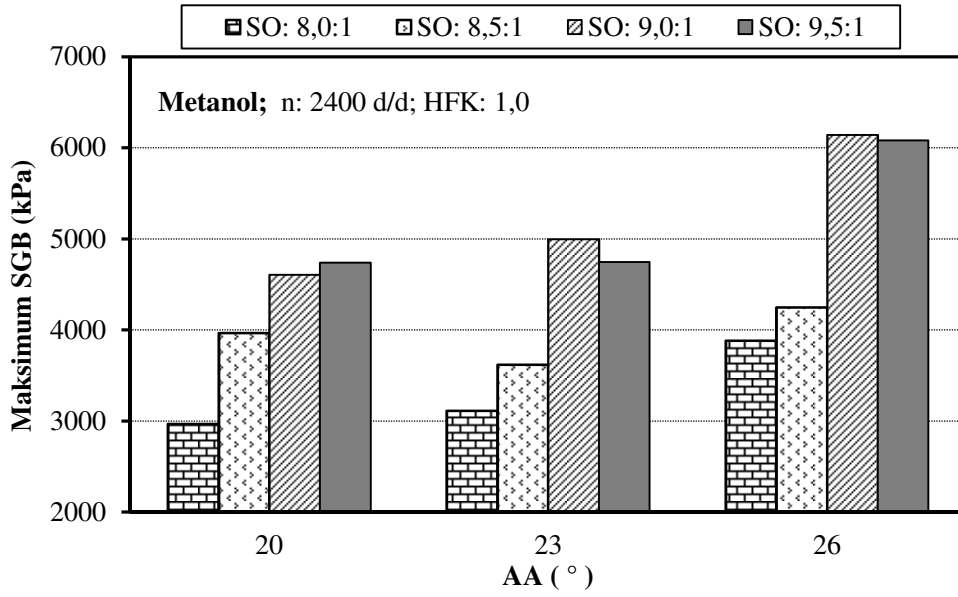
sırasıyla 6042,02, 5875,96 ve 6143,20 kPa olduğu ve bu değerlere 26° AA ve 9,0:1 SO'da ulaştığı görülmektedir.



Şekil 3.54. Farklı SO'da ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmalardan elde edilen SGB değişimleri



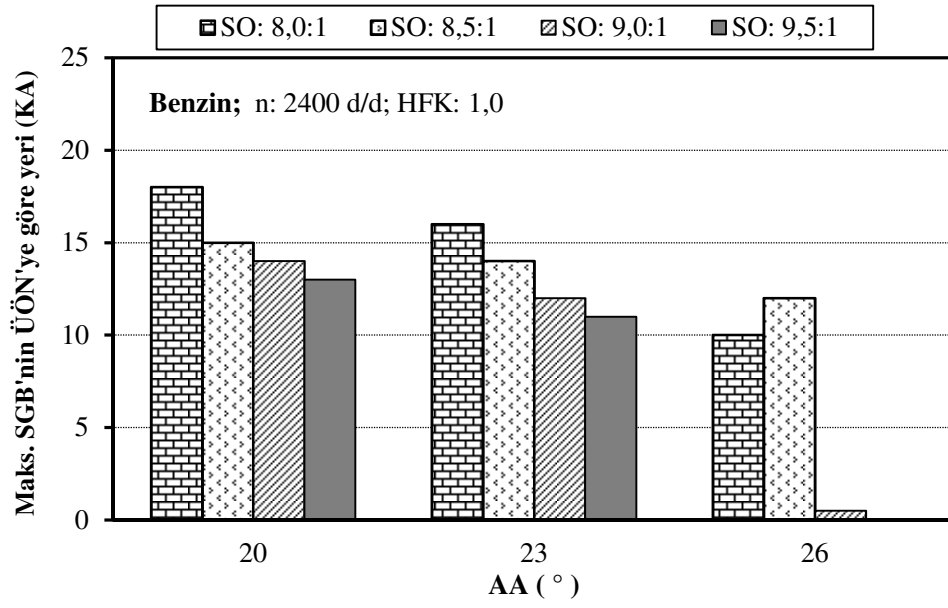
Şekil 3.55. Farklı SO'da ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen SGB değişimleri



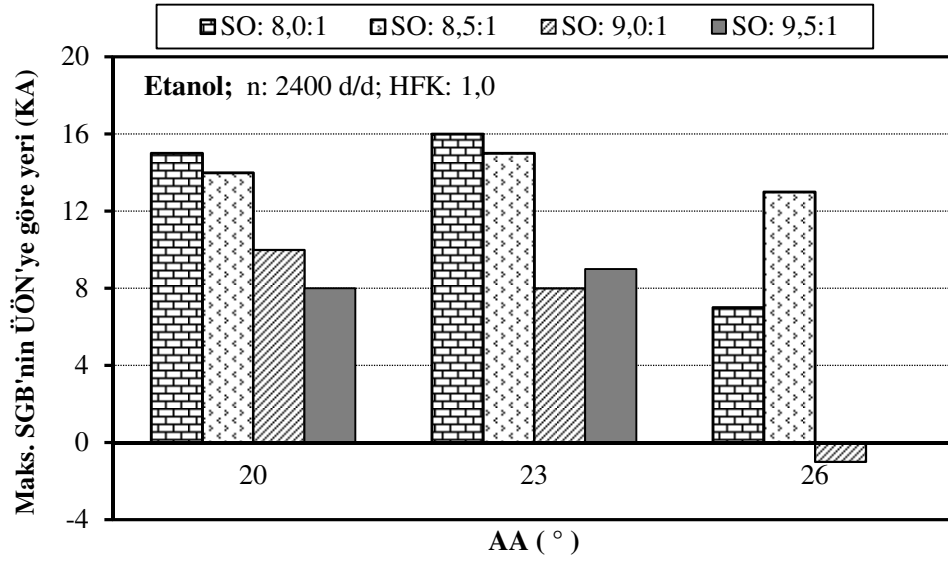
Şekil 3.56. Farklı SO'da ve AA'da, metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen SGB değişimleri

Maksimum değerler kıyaslandığında, etanol yakıtlı çalışmadan elde edilen SGB değeri benzine göre %2,83 oranında düşerken, metanol yakıtlı çalışmada %1,59 oranında arttığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda, metanol yakıtı kullanımı etanole göre SGB'yi %4,55 oranında artırmıştır. Elde edilen maksimum değerler OÇP'ye göre karşılaştırıldığında ise benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen SGB değerinin sırasıyla %93,08, %69,98 ve %69,82 oranlarında arttığı bulunmuştur. Her üç yakıt türünden elde edilen SGB'lerdeki dalgalanmaların yanma sonlarına denk gelen KA'daki silindir hacminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Farklı SO'da ve AA'da benzin, etanol ve metanol yakıtlarıyla yapılan çalışmalardan elde edilen maksimum SGB'lerin KA cinsinden değişimleri Şekil 3.57, 3.58 ve 3.59'de sunulmuştur.

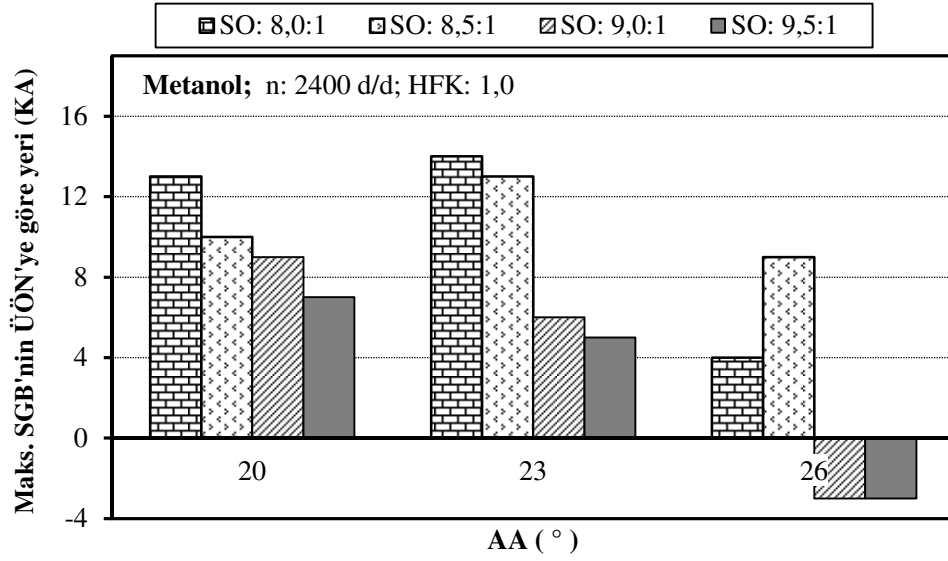
Şekil 3.57, 3.58 ve 3.59 incelendiğinde, benzinli çalışmada AA'nın ve SO'nun artmasıyla birlikte maksimum SGB'nin ÜÖN'ye yaklaştığı görülmektedir. Etanol yakıtlı çalışmada 9,0:1 SO'da ve 26° AA'da yapılan deneyde maksimum SGB'nin ÜÖN'den önce gerçekleştiği görülmüştür. Aynı durum metanol yakıtlı çalışmada da ortaya çıkmıştır. Alkol yakıtların yanma hızlarının yüksek olması 26° AA'da yapılan deneylerde yanma sonunun ÜÖN'den önce oluşmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Metanol yakıtlı çalışmalarda genel olarak maksimum noktaların diğer yakıt türlerine göre daha erken oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.57. Farklı SO'da ve AA'da benzin yakıtlı çalışmadan elde edilen maksimum SGB'nin oluştuğu KA değişimi



Şekil 3.58. Farklı SO'da ve AA'da etanol yakıtlı çalışmadan elde edilen maksimum SGB'nin oluştuğu KA değişimi



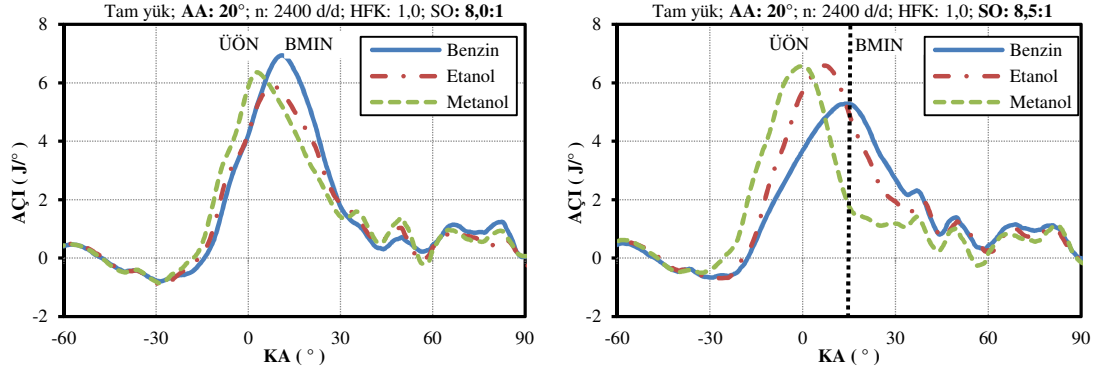
Şekil 3.59. Farklı SO'da ve AA'da metanol yakıtlı çalışmadan elde edilen maksimum SGB'nin oluştuğu KA değişimi

SGB'nin oluşumu yakıtların yanma şekline bağlıdır. Yanma olayına birçok faktör etki etmektedir. Bunlardan bazıları, ortam sıcaklığı, sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklık, yanma odası şekli, hacmi, bujinin yanma odasındaki yeri, kıvılcım şiddeti, ilk yanma bölgesindeki karışımın niteliği, türbülans vb. unsurlardır. Bütün bu etkenlerin yapılan deneylerin genelinde sabit tutmada görülen farklılıkların, SGB'nin ve maksimum noktaların oluşma yerlerinin düzensizleşmesine neden olduğu düşünülmektedir. Bulunan SGB sonuçları, literatürde karışım veya saf olarak benzin ve alkol yakıt kullanımında elde edilen sonuçlar açısından bazı çalışmalar [102, 121, 151, 153] ile benzerlik göstermiştir.

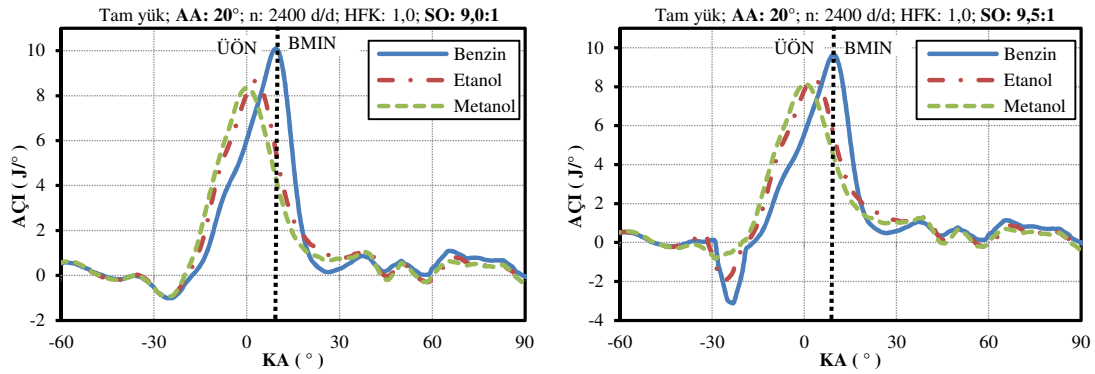
3.2.2.2. Açıya çıkan ısı miktarı

Dört farklı SO'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen AÇI değerlerinin değişimi, her bir AA için ayrı ayrı sunulmuştur. Dört farklı SO'da ve 20° AA'da, benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen AÇI'nın değişimi Şekil 3.60 ve 3.61'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, bütün SO'larda AÇI'ların yanma hızı yüksek olan alkol yakıtlarda KA cinsinden daha önce oluştuğu görülmektedir. Aynı zamanda, maksimum AÇI'ların BMİN'dan daha erken gerçekleştiği görülmüştür. Yanma hızı daha yüksek olan metanol yakıtında bu durum

daha belirgin olmuştur. Ateşlemenin 20° AA'ya alınmasıyla birlikte özellikle etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda maksimum AÇI'nın ÜÖN'ye yakınsadığı görülmektedir.



Şekil 3.60. 8,0:1-8,5:1 SO'da ve 20° AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri

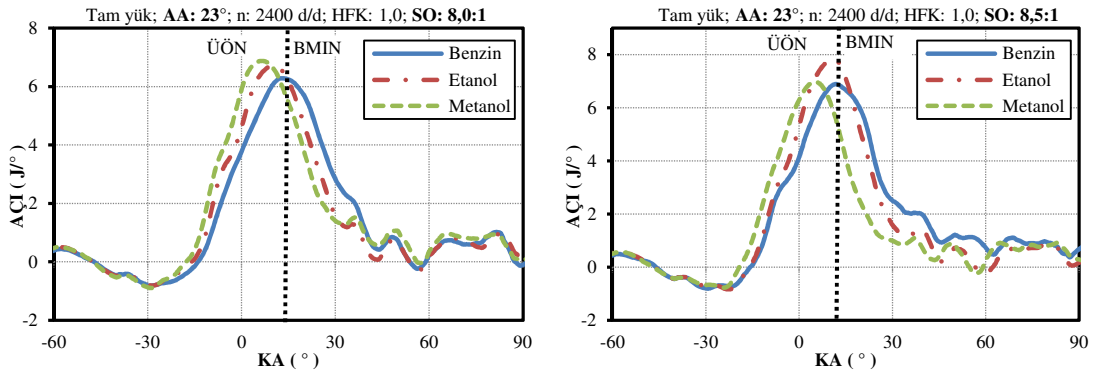


Şekil 3.61. 9,0:1-9,5:1 SO'da ve 20° AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri

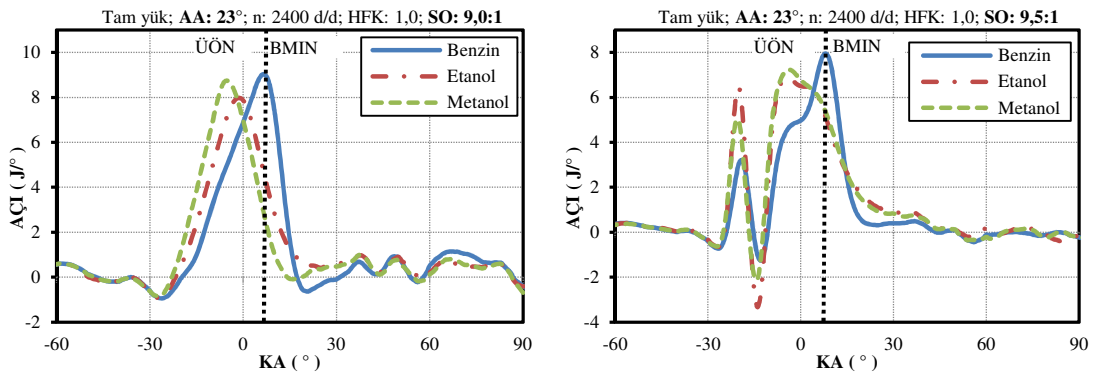
AÇI'nın büyük bir kısmının ÜÖN'ye yakın bir bölgede gerçekleşmesi EFV'nin artmasını neden olmaktadır [43]. Bu durumun sonucunu Şekil 3.39, 3.40'da verilen EFV değişimlerinde görmek mümkündür. 8,0:1 SO'daki AÇI değerlerine bakıldığında sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığın yanma için elverişli olmaması nedeni ile genel olarak bütün yakıt türlerinde maksimum AÇI'ların ÜÖN'den sonra olduğu görülmektedir. Ayrıca, 9,0:1 ve 9,5:1 SO'lar irdelendiğinde benzin yakıtlı çalışmalarda ısı açığa çıkışının ani olduğu ve oluşan eğrinin etanol ve metanole göre daha dik olduğu tespit edilmiştir. Benzinli çalışmada görülen bu durumun kontrolsüz yanmadan

kaynaklandığı düşünülmektedir. AÇI'daki farklılıklar, basınç artış hızlarının ve yanma olayının gerçekleştiği hacmin, yakıt türleri açısından değişik değerlerde olmasından kaynaklanmaktadır. AÇI grafiklerinde görülen eksi değerlerin silindir içerisine alınan yakıtın buharlaşması sırasında içerden çektiği ısı ile birlikte görülen anlık basınç ve hacim değişiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzin ve etanol yakıtlı çalışmalarda 9,5:1 SO'da AA'dan önce görülen AÇI'daki dalgalanmaların, erken ateşleme teşebbüsünden kaynaklandığı kanısına varılmıştır. Olası bir vuruntu oluşumunun sebep olduğu aşırı sıcaklıkların erken ateşlemeye yol açtığı düşünülmektedir.

Dört farklı SO'da ve 23°AA'da, benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen AÇI'nın değişimi Şekil 3.62 ve 3.63'de verilmiştir.

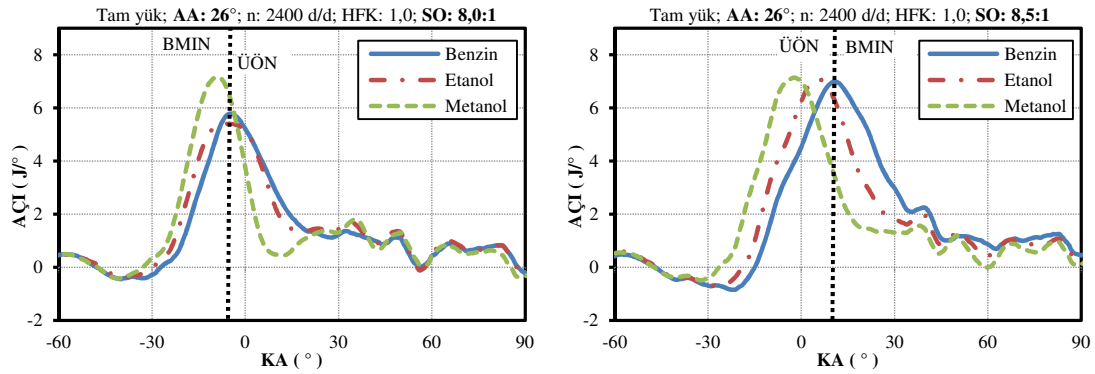


Şekil 3.62. 8,0:1-8,5:1 SO'da ve 23 °AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri

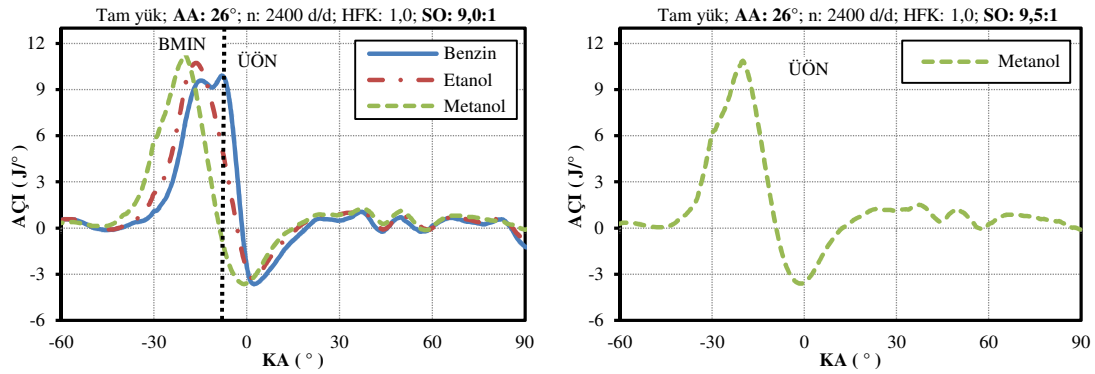


Şekil 3.63. 9,0:1-9,5:1 SO'da ve 23 °AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri

Grafikler incelendiğinde, 8,0:1 ve 8,5:1 SO'da etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda maksimum AÇI değerleri ÜÖN'den sonra oluşurken, SO'nun daha fazla artırılmasıyla birlikte maksimum AÇI'nın ÜÖN'den önce gerçekleştiği görülmüştür, Şekil 3.62, 3.63.. Aynı zamanda, bütün SO'larda alkol yakıtlı çalışmalardan elde edilen maksimum AÇI'nın genel olarak BMIN'den önce oluştuğu tespit edilmiştir. Dört farklı SO'da ve 26° AA'da, benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen AÇI'nın değişimi Şekil 3.64 ve 3.65'de verilmiştir.



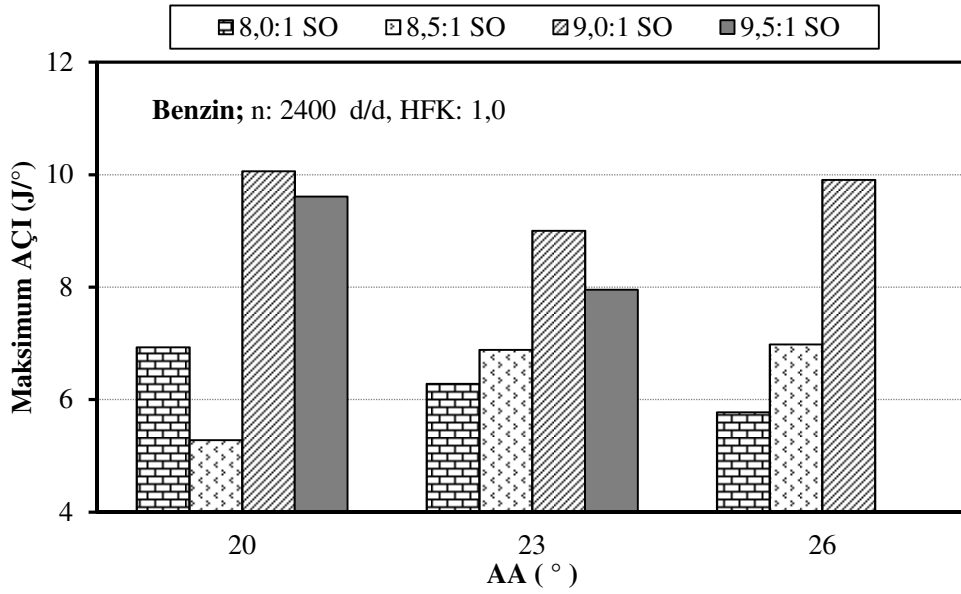
Şekil 3.64. 8,0:1-8,5:1 SO'da ve 26 °AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri



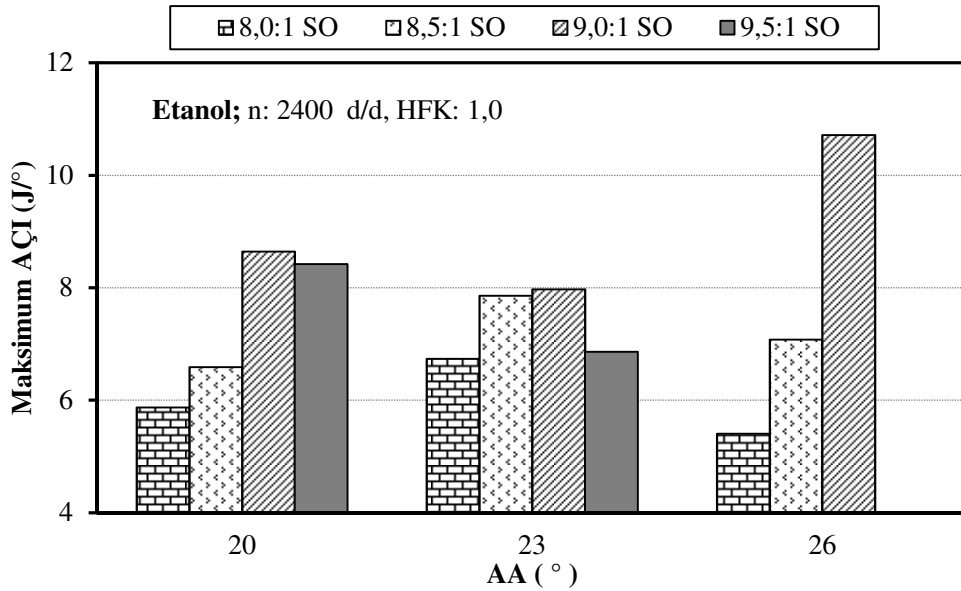
Şekil 3.65. 9,0:1-9,5:1 SO'da ve 26 °AA'da, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri

26° AA'dan elde edilen AÇI grafikleri incelendiğinde, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda maksimum AÇI'nın genel olarak ÜÖN'den çok önce gerçekleştiği, benzinli çalışmada ise ÜÖN'ye daha yakın oluştuğu görülmüştür. AA'nın artırılmasıyla yanma olayının erkene alınmasına paralel olarak ısı açığa çıkışı daha önce oluşmaya başlamış ve bütün yakıt türünde de maksimum AÇI'lar ÜÖN'den önce gerçekleşmiştir.

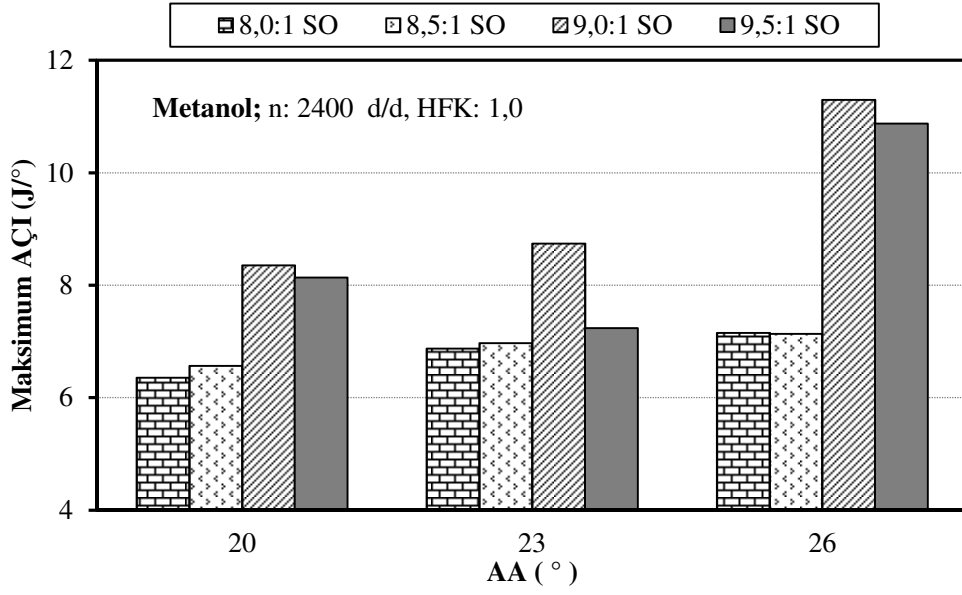
Bütün SO'larda benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda elde edilen AÇI'lar ÜÖN'den sonra birbirinden ayrılmıştır. Bu durum basınç eğrileri ile benzerlik göstermiştir. Benzin, etanol ve metanol yakıtları ile yapılan deneylerde elde edilen maksimum AÇI değerlerinin, farklı SO ve AA'daki değişimleri Şekil 3.66, 3.67 ve 3.68'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.66. Farklı SO ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri



Şekil 3.67. Farklı SO ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri



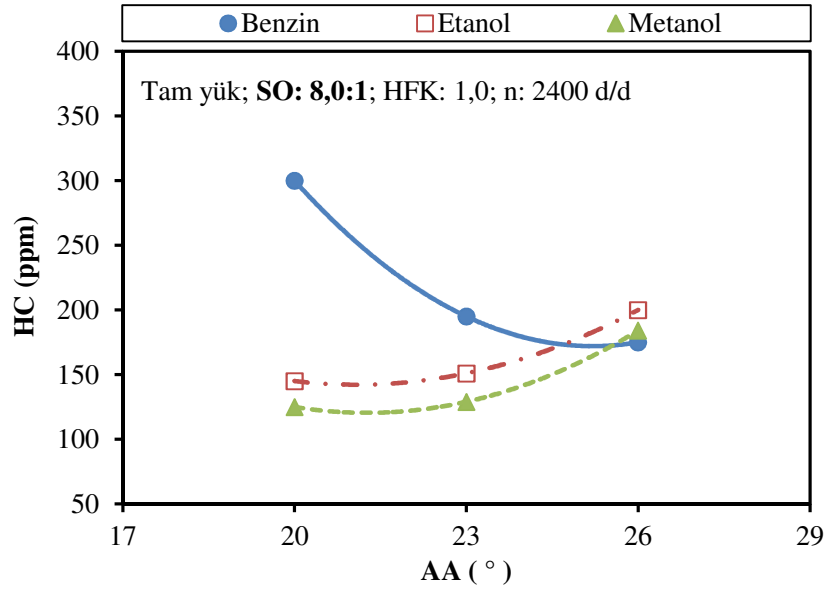
Şekil 3.68. Farklı SO ve AA’da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen AÇI değişimleri

Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen maksimum AÇI değerleri incelendiğinde sırasıyla 10,065, 10,715 ve 11,295 J/KA olduğu ve bu değerleri 9,0:1 SO’da yakaladığı tespit edilmiştir, Şekil 3.66-3.68.. Maksimum değerler benzin yakıtlı çalışmada 20° AA’da oluşurken, alkol yakıtlı çalışmalarda 26° AA’da olduğu görülmüştür. Maksimum AÇI benzinli çalışmada ÜÖN’den 9° sonra oluşurken, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda sırasıyla ÜÖN’den 13° ve 20° önce oluştuğu tespit edilmiştir. Etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda maksimum AÇI değerlerinin KA cinsinden oluştuğu noktalara bakıldığında motor açısından verimli noktalardan uzak olduğu görülmektedir. Bulunan AÇI sonuçları, literatürde karışım veya saf olarak benzin ve alkol yakıt kullanımında elde edilen sonuçlar açısından bazı çalışmalar [121, 151, 153] ile benzerlik göstermiştir.

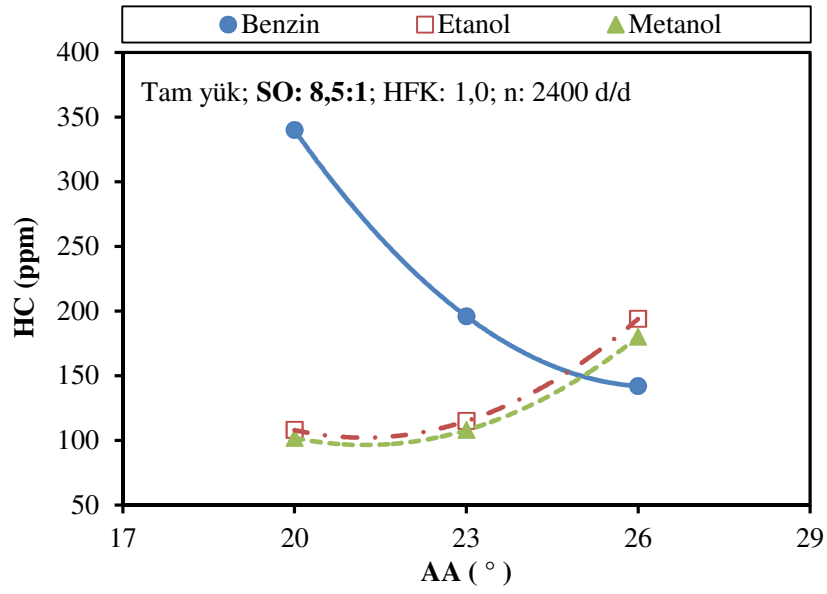
3.2.3. Egzoz emisyonlarının karşılaştırılması

3.2.3.1. Hidrokarbon emisyonu

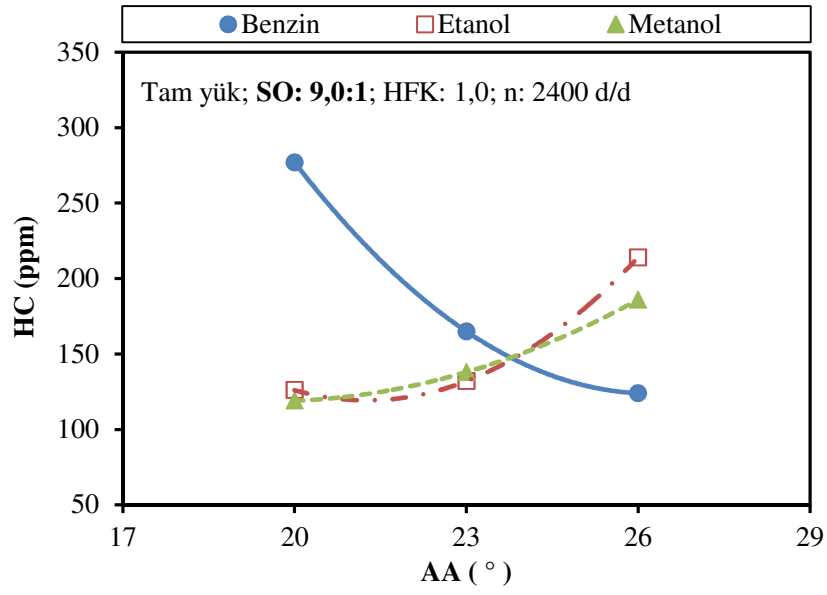
Dört farklı SO’da, benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen HC’nin AA’ya bağlı olarak değişimi Şekil 3.69, 3.70, 3.71 ve 3.72’de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, bütün SO’larda HC’nin benzinli çalışmada AA’nın artmasıyla düştüğü, alkol yakıtlı çalışmalarda ise arttığı görülmüştür.



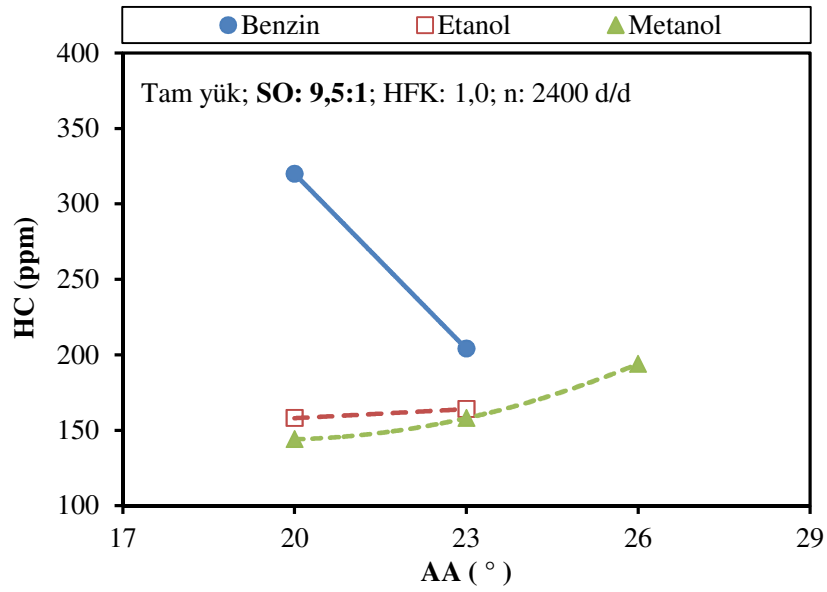
Şekil 3.69. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki HC'nin değişimi



Şekil 3.70. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki HC'nin değişimi



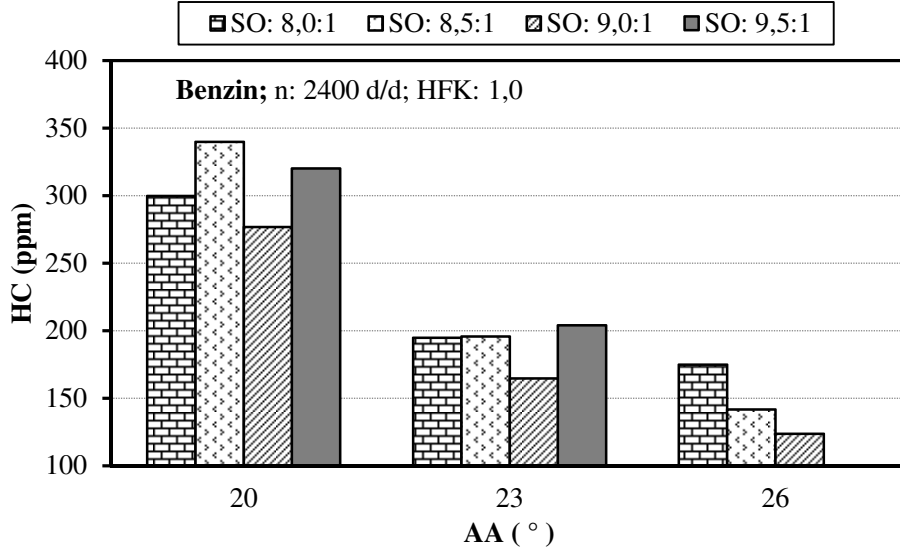
Şekil 3.71. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki HC'nin değişimi



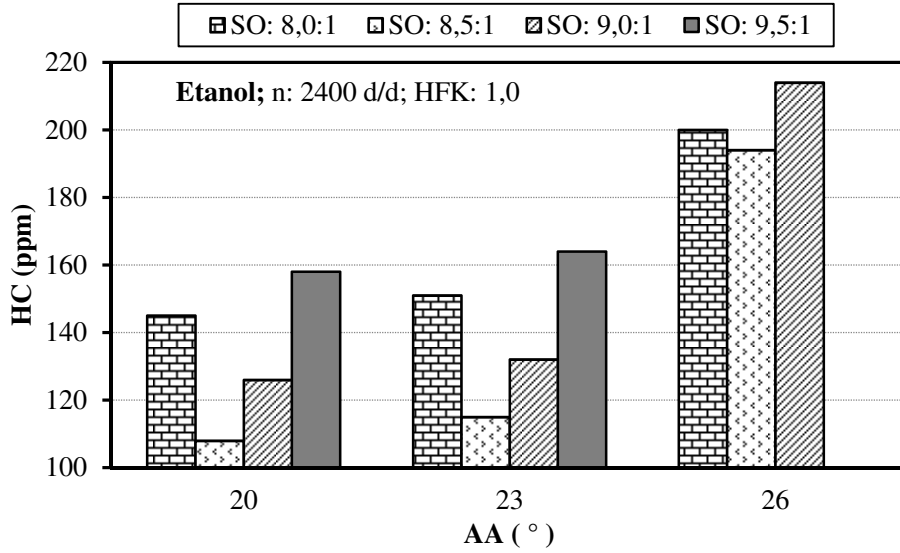
Şekil 3.72. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki HC'nin değişimi

Benzinin yanma hızının etanol ve metanole göre düşük olması yanma süresini uzatmaktadır. Bundan dolayı ateşlemenin çok önce yapılması, benzin için elverişli ortam oluşturmuş ve neticesinde HC'nin düşmesini neden olmuştur. Alkol yakıtların laminar yanma hızları yüksektir. Bu nedenle, OÇP'ye göre avansın (20° AA) düşürülmesi HC emisyonu oluşumunu azaltmıştır. Aynı zamanda, bütün SO'larda etanol ve metanol kullanımında HC emisyonunun benzine göre daha düşük seviyelerde

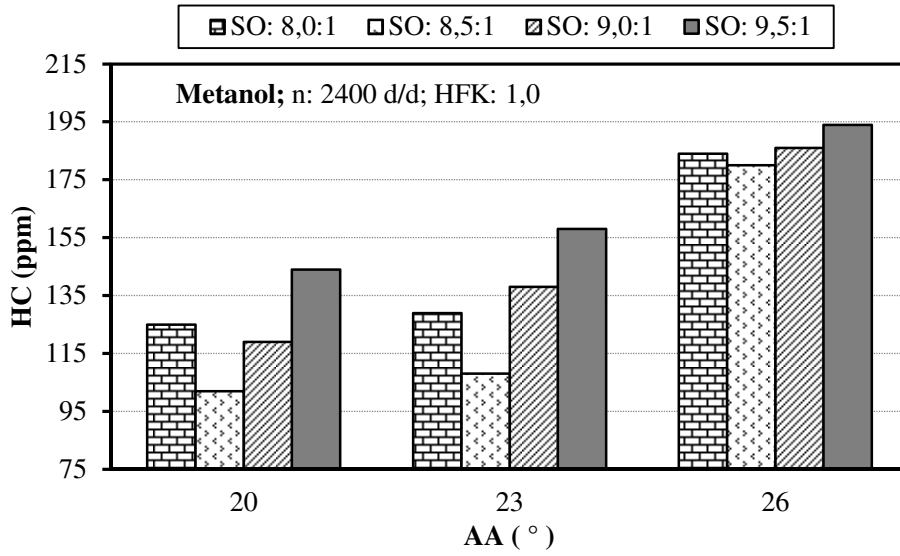
olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca SO'nun artmasıyla genel olarak HC emisyonunun arttığı görülmektedir. Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda, farklı SO'lardan elde edilen HC'nin AA'ya bağlı değişimi Şekil 3.73, 3.74 ve 3.75'de verilmiştir.



Şekil 3.73. Farklı SO ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen HC değişimleri



Şekil 3.74. Farklı SO ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen HC değişimleri



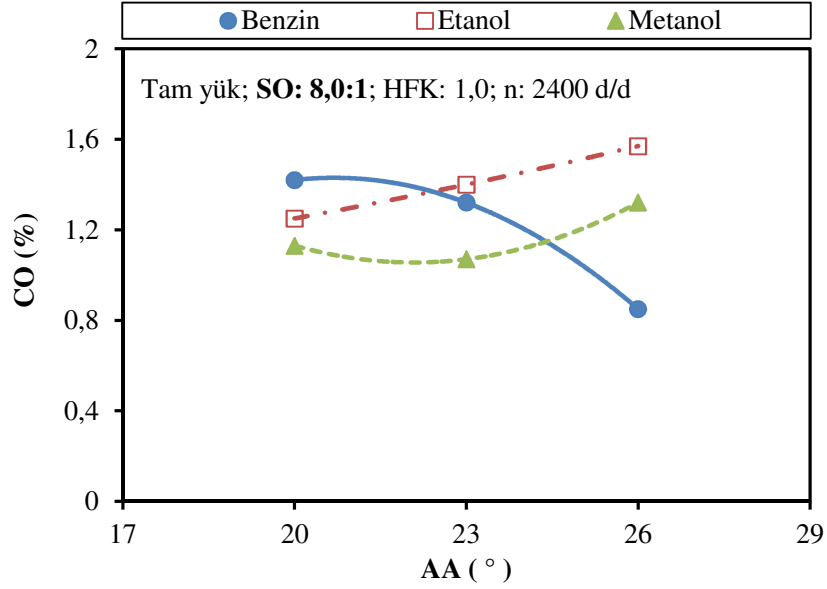
Şekil 3.75. Farklı SO ve AA’da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen HC değişimleri

Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen HC emisyonları incelendiğinde, minimum değerlerin sırasıyla 124 ppm (9,0:1 SO), 108 ppm (8,5:1 SO) ve 102 ppm (8,5:1 SO) olduğu tespit edilmiştir. Minimum değerlere, benzinli çalışmada 26° AA’da ulaşılırken, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda 20° AA’da ulaşılmıştır. Minimum değerler karşılaştırıldığında, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada HC emisyonu benzinli çalışmaya göre sırasıyla %12,9 ve %17,74 oranında azalmıştır. Aynı zamanda, OÇP’ye göre HC emisyonundaki azalmanın benzin, etanol ve metanol yakıtlarında sırasıyla %36,73, %60,87 ve %55,55 olduğu bulunmuştur. Ayrıca, bütün SO’larda ve 20° AA’da etanol ve metanol kullanımı ile elde edilen HC’nin 26° AA’da benzin kullanımına göre ortalama olarak sırasıyla %8,67 ve %16,67 oranlarında azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen HC değeri etanole göre %5,5 oranında azalmıştır. Bulunan HC sonuçları, literatürde karışım veya saf olarak benzin ve alkol yakıt kullanımında elde edilen sonuçlar açısından bazı çalışmalar [54, 151, 154] ile benzerlik gösterirken, bazı çalışmalar [131, 152] ile farklılık göstermiştir.

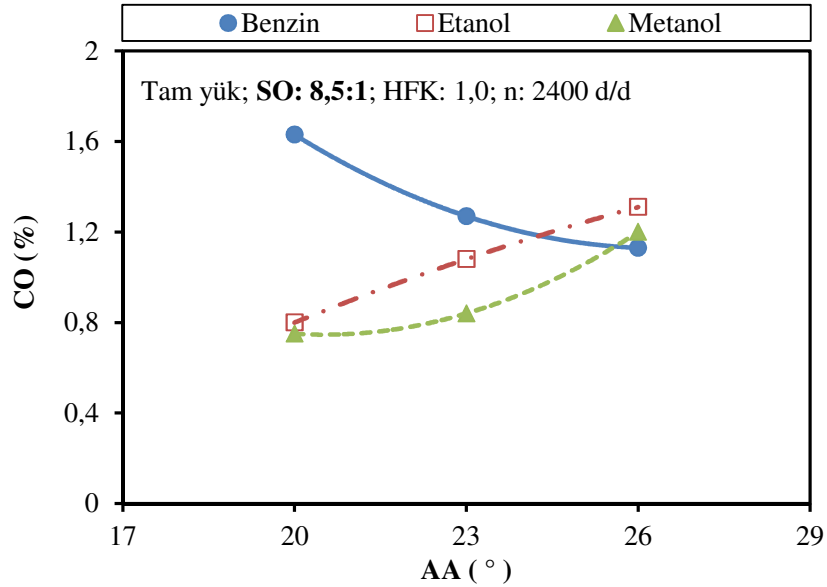
3.2.3.2. Karbonmonoksit emisyonu

Dört farklı SO’da, benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen CO’nun AA’ya bağlı olarak değişimi Şekil 3.76, 3.77, 3.78 ve 3.79’da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, AA’nın 20°’den 26°’ye çıkarılmasıyla CO’nun benzinli

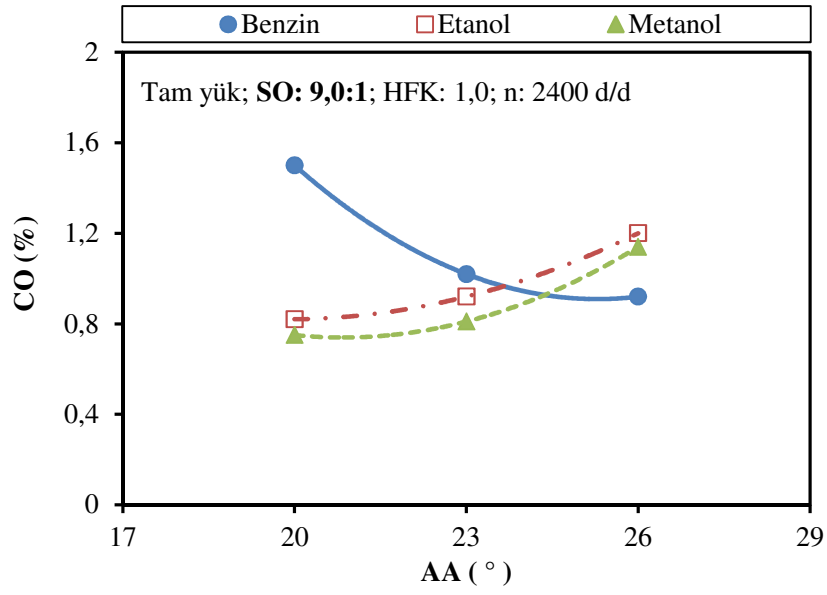
çalışmada azaldığı, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda ise arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum her bir SO'da da aynı şekilde gerçekleşmiştir. Ayrıca, CO emisyonunun SO'nun artmasıyla birlikte azaldığı tespit edilmiştir.



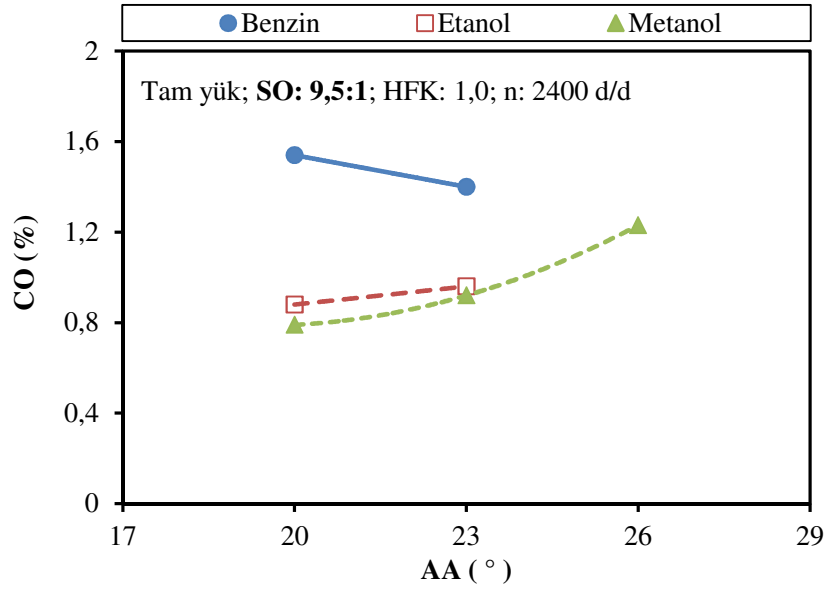
Şekil 3.76. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki CO'nun değişimi



Şekil 3.77. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki CO'nun değişimi



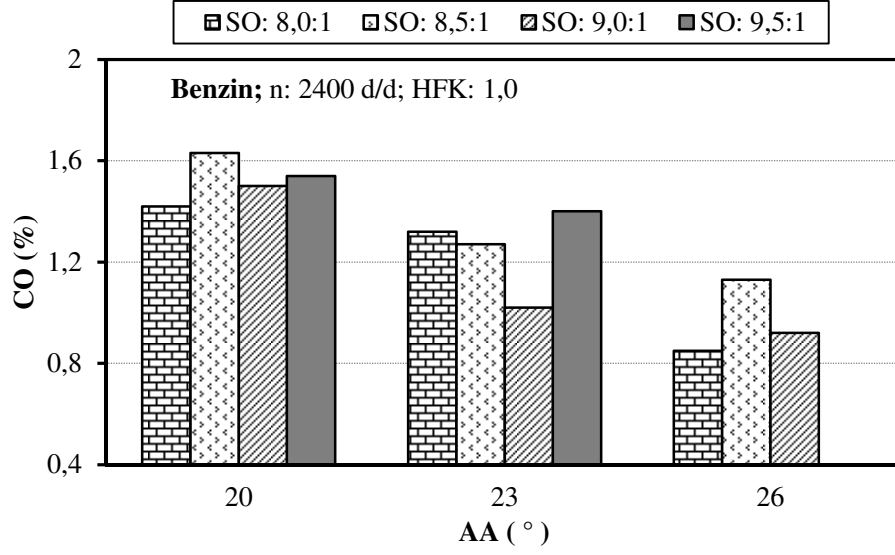
Şekil 3.78. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki CO'nun değişimi



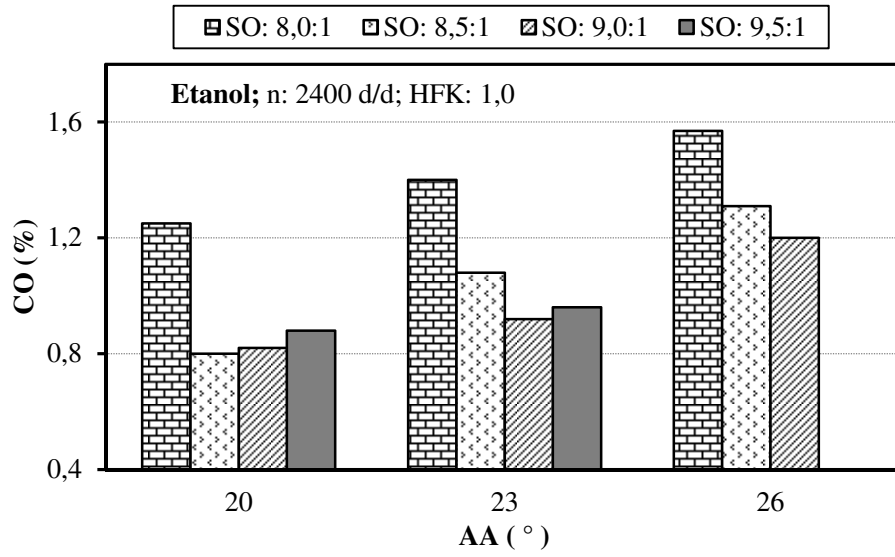
Şekil 3.79. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki CO'nun değişimi

Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda, farklı SO'lardan elde edilen CO'nun AA'ya bağlı değişimleri Şekil 3.80, 3.81 ve 3.82'de sunulmuştur. Şekil 3.80-3.82'de verilen grafikler incelendiğinde, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda minimum CO emisyonunun sırasıyla %0,92 (9,0:1 SO), %0,8 (8,5:1 SO) ve %0,75 (8,5:1 ve 9,0:1 SO) olduğu görülmektedir. Benzinli çalışmada minimum değer 26°

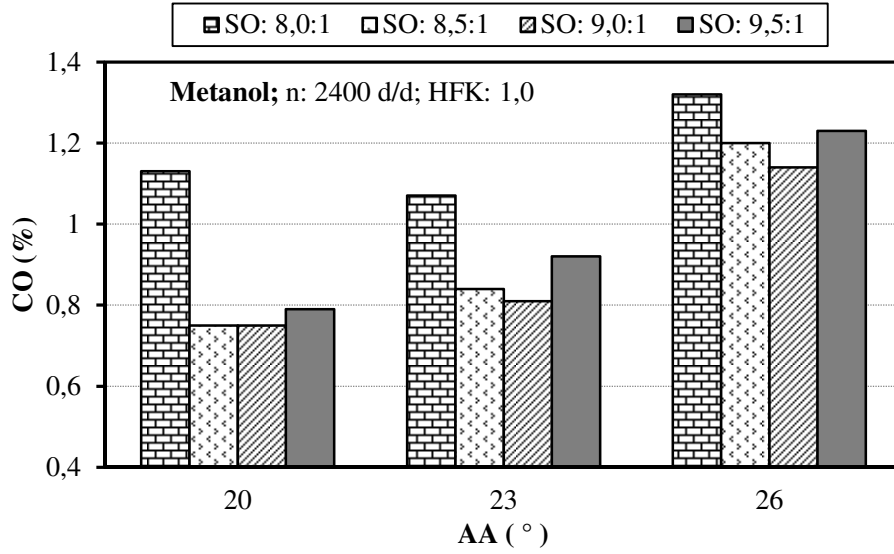
AA'da gerçekleşirken, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda 20° AA'da ulaşıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.80. Farklı SO ve AA'da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen CO değişimleri



Şekil 3.81. Farklı SO ve AA'da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen CO değişimleri

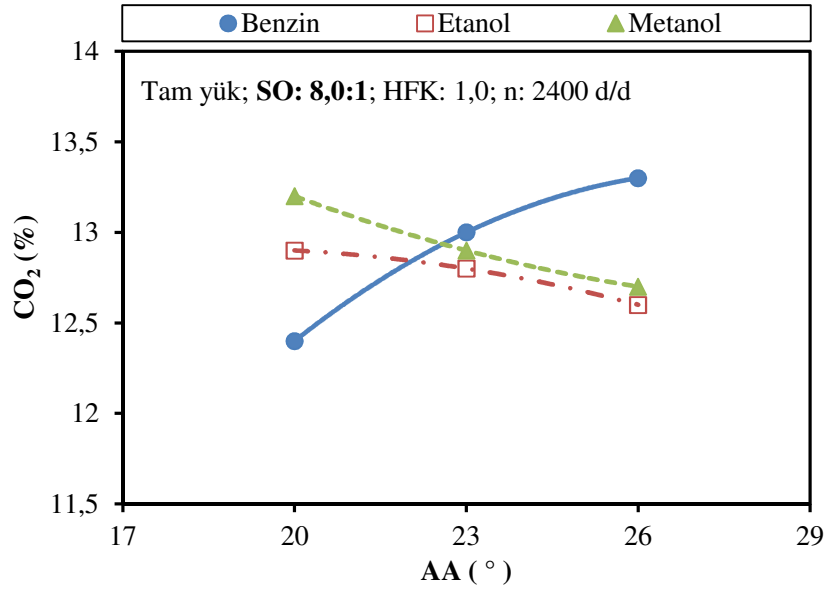


Şekil 3.82. Farklı SO ve AA’da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen CO değişimleri

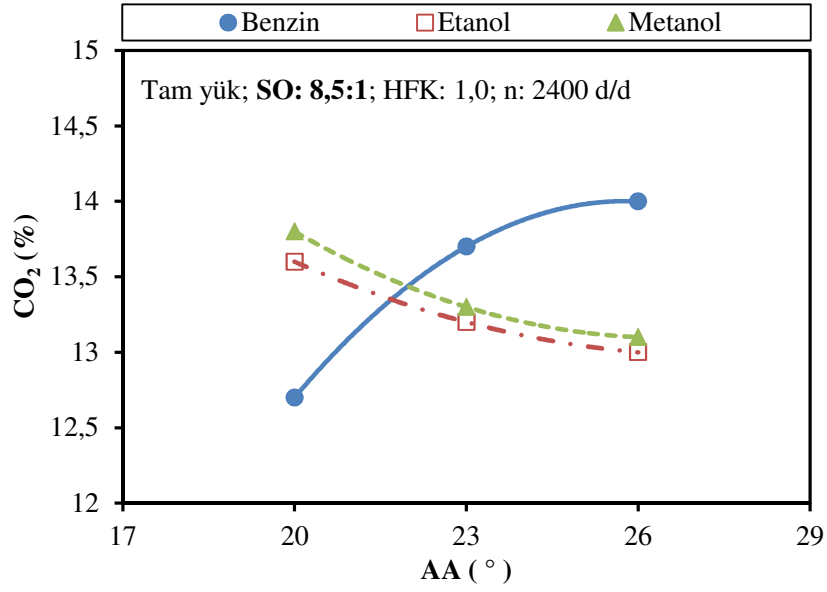
Üç yakıt türü için minimum değerler karşılaştırıldığında, etanol ve metanol kullanımının CO’yu benzine göre sırasıyla %13,04 ve %18,48 oranında azalttığı görülmüştür. OÇP’ye göre kıyaslandığında ise CO’nun benzin, etanol ve metanol yakıtlarında sırasıyla %27,56, %25,93 ve %10,71 oranında azalmıştır. Ayrıca, bütün SO’larda ve 20° AA’da etanol ve metanol kullanımı ile elde edilen CO’nun 26° AA’da benzin kullanımına göre ortalama olarak sırasıyla %3,02 ve %11,55 oranlarında azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda, metanol kullanımı ile CO emisyonu etanole göre %6,25 düşmüştür. Bulunan CO sonuçları, literatürde karışım veya saf olarak benzin ve alkol yakıt kullanımında elde edilen sonuçlar açısından bazı çalışmalar [131, 151] ile benzerlik gösterirken, bazı çalışmalar [54, 152] ile farklılıklar göstermiştir.

3.2.3.3. Karbondioksit emisyonu

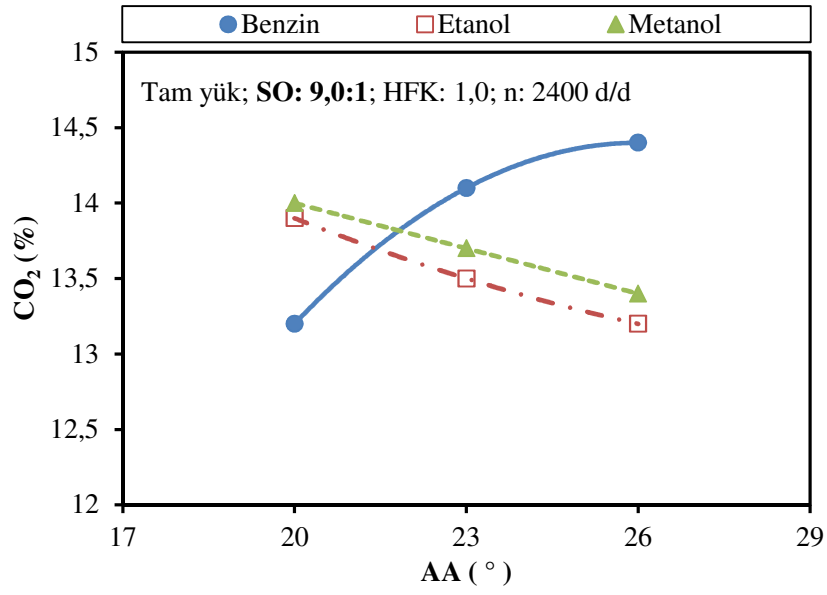
Dört farklı SO’da, benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen CO₂’nin AA’ya bağlı olarak değişimi Şekil 3.83, 3.84, 3.85 ve 3.86’da verilmiştir. Şekil 3.83-3.86’da verilen eğrileri incelendiğinde AA’nın artmasıyla bütün SO’larda CO₂’nin benzinli çalışmada genel olarak arttığı, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda ise azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda, alkol yakıtlarda SO’nun artmasıyla CO₂’nin arttığı tespit edilmiştir.



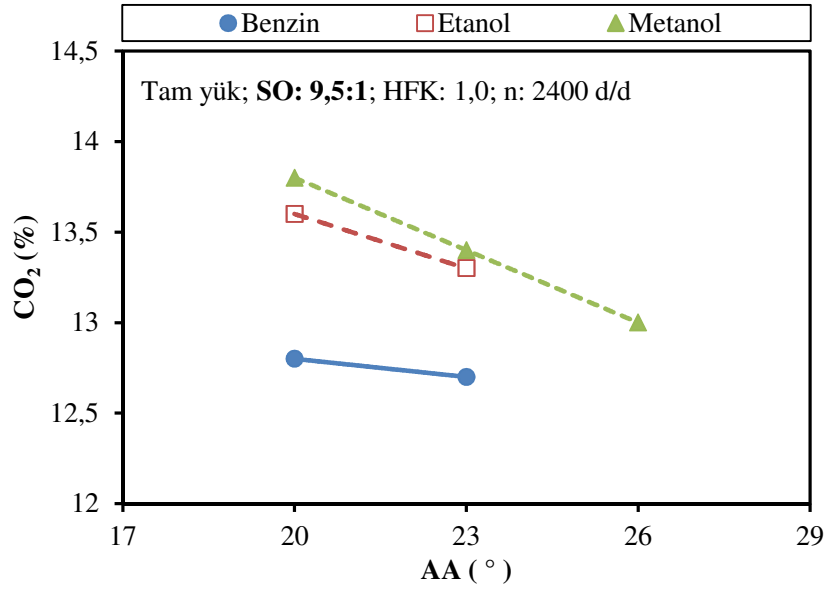
Şekil 3.83. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki CO₂'nin değişimi



Şekil 3.84. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki CO₂'nin değişimi

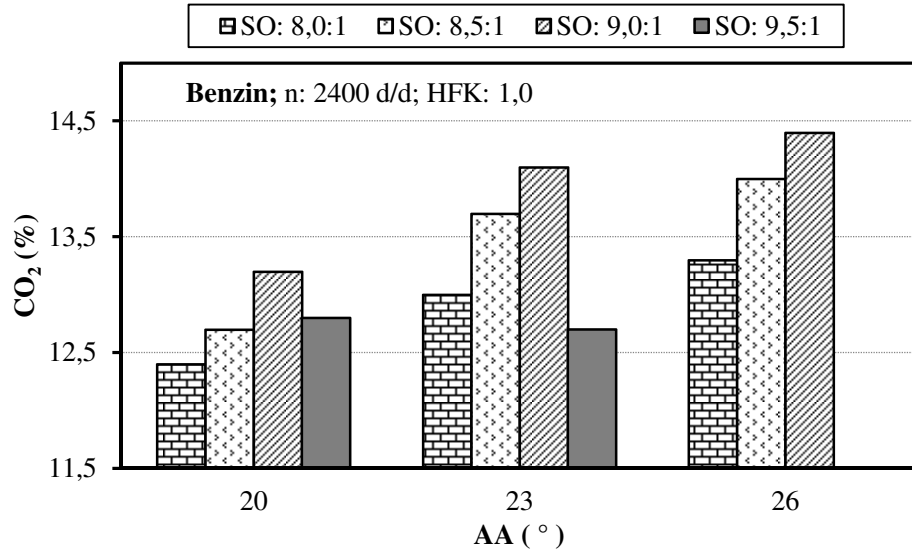


Şekil 3.85. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki CO₂'nin değişimi

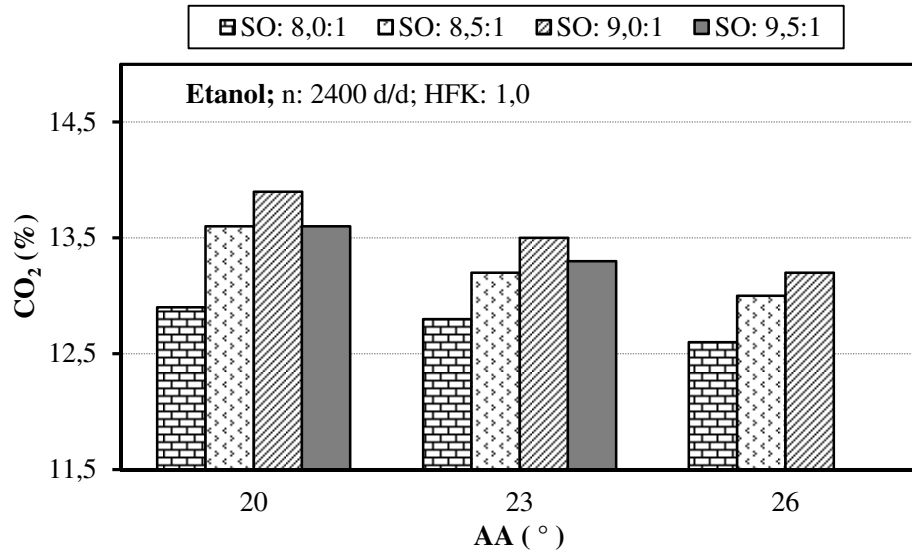


Şekil 3.86. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki CO₂'nin değişimi

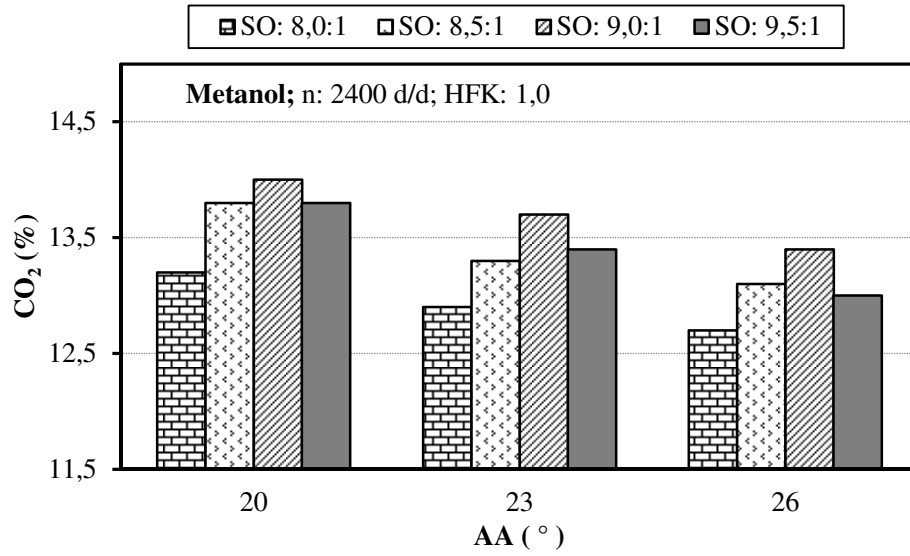
Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda, farklı SO'lardan elde edilen CO₂'nin AA'ya bağlı değişimleri Şekil 3.87, 3.88 ve 3.89'de sunulmuştur.



Şekil 3.87. Farklı SO ve AA’da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen CO₂ değişimleri



Şekil 3.88. Farklı SO ve AA’da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen CO₂ değişimleri

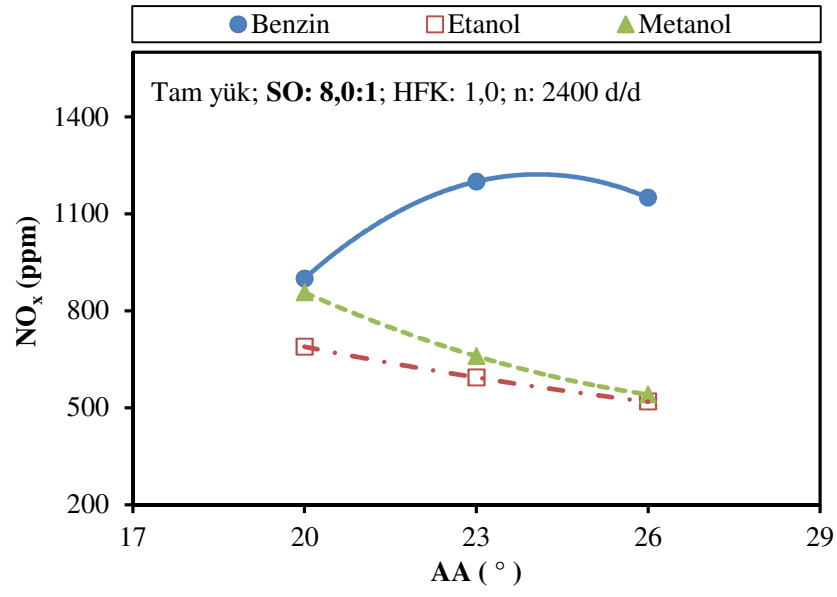


Şekil 3.89. Farklı SO ve AA’da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen CO₂ değişimleri

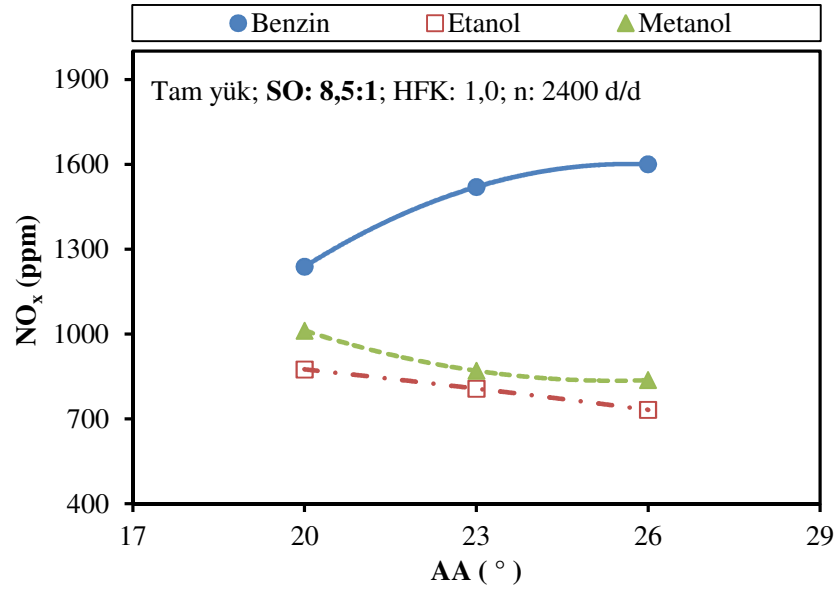
Grafikler incelendiğinde, maksimum CO₂ emisyonunun benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda sırasıyla %14,4 (9,0:1 SO), %13,9 (9,0:1 SO) ve %14 (9,0:1 SO) olduğu tespit edilmiştir. Benzinli çalışmada, maksimum değere 26° AA’da ulaşılırken, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda 20°AA’da gerçekleştiği görülmüştür. Her üç yakıt türünden elde edilen maksimum değerler karşılaştırıldığında CO₂’nin etanol ve metanol kullanımı ile benzine göre %3,47 ve %2,78 oranında azaldığı bulunmuştur. Aynı zamanda OÇP’ye göre CO₂ emisyonu benzin, etanol ve metanol yakıtlarında sırasıyla %5,11, %5,30 ve %5,26 oranında artmıştır. Bulunan CO₂ sonuçları, literatürde karışım veya saf olarak benzin ve alkol yakıt kullanımında elde edilen sonuçlar açısından bazı çalışmalardan [152] farklılıklar göstermiştir.

3.2.3.4. Azotoksit emisyonu

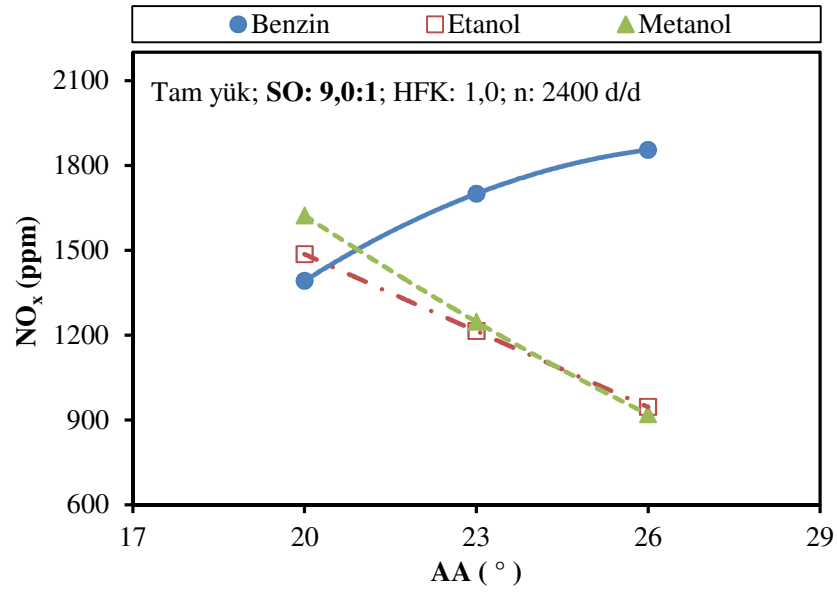
Dört farklı SO’da, benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen NO_x’nin AA’ya bağlı olarak değişimi Şekil 3.90, 3.91, 3.92 ve 3.93’de verilmiştir. Yakıtların adyabatik alev sıcaklıklarına ve YV’ye bağlı olarak değişen NO_x emisyon değişimleri incelendiğinde, genel olarak NO_x emisyonunun benzinli çalışmada AA’nın artmasıyla arttığı, etanol ve metanol yakıtlı çalışmada ise azaldığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda, 9,0:1 SO’ya kadar NO_x emisyon değerinin arttığı ve bu noktadan sonra yanmanın düzensizleşmesine bağlı olarak bir miktar düştüğü gözlemlenmiştir.



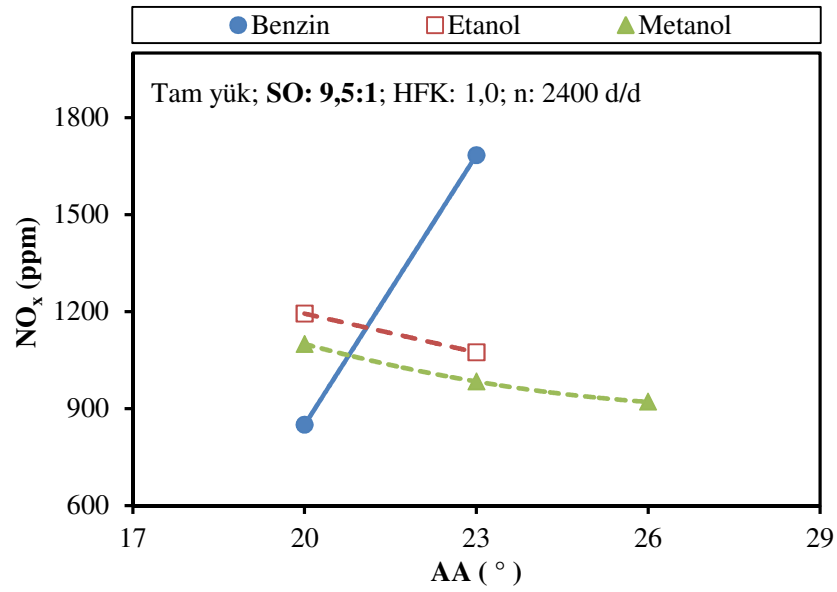
Şekil 3.90. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki NO_x'in değişimi



Şekil 3.91. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki NO_x'in değişimi

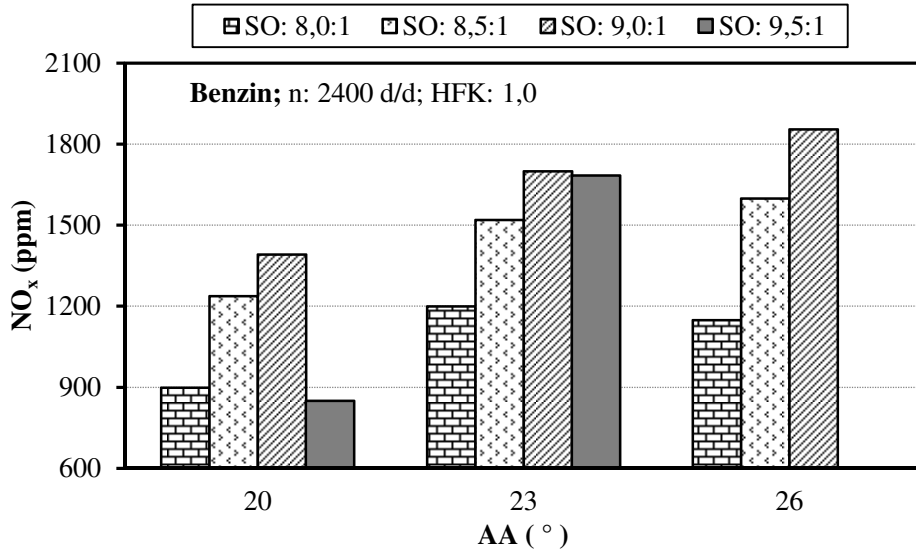


Şekil 3.92. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki NO_x'in değişimi

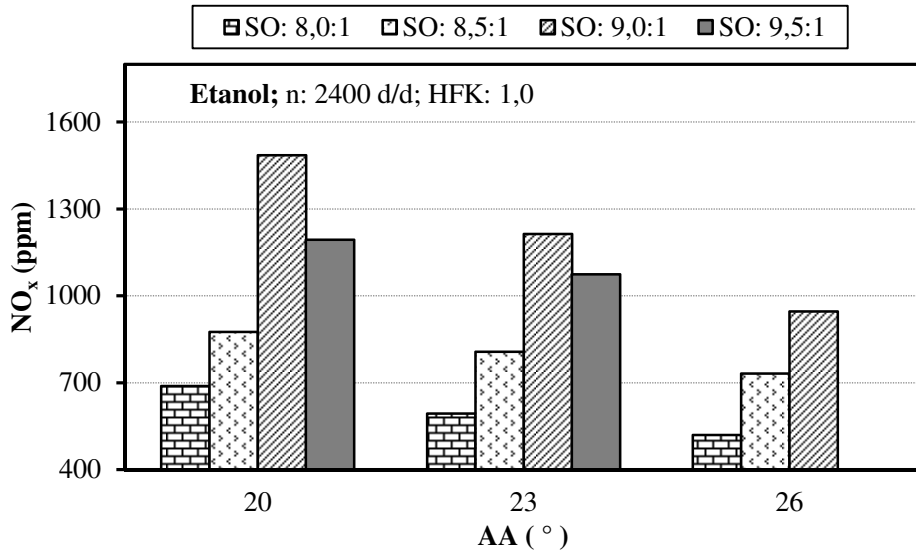


Şekil 3.93. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki NO_x'in değişimi

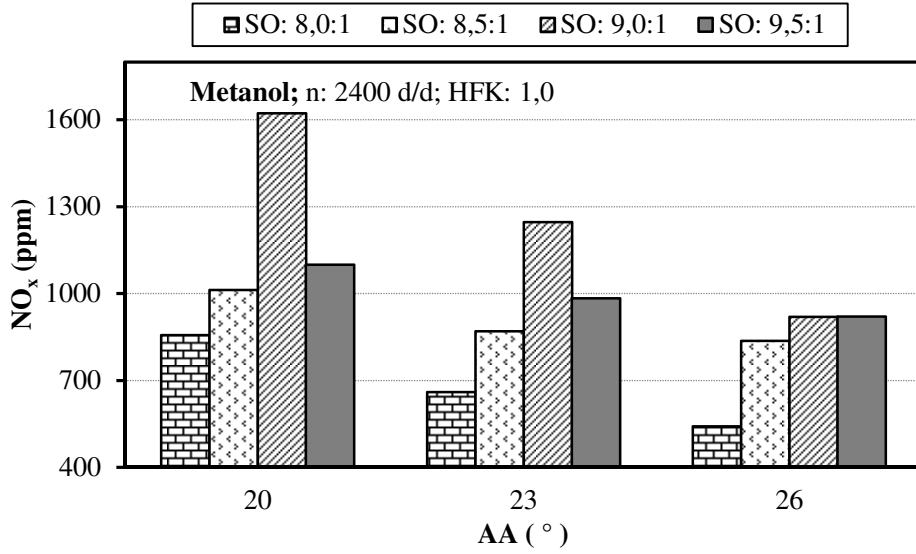
Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda, farklı SO'lardan elde edilen NO_x'in AA'ya bağlı değişimleri Şekil 3.94, 3.95 ve 3.96'da sunulmuştur. Grafikler mukayese edildiğinde, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda maksimum NO_x emisyonlarının sırasıyla 1855 ppm, 1486 ppm ve 1623 ppm olduğu ve bu değerlere 9,0:1 SO'da ulaşıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.94. Farklı SO ve AA’da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen NO_x değişimleri



Şekil 3.95. Farklı SO ve AA’da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen NO_x değişimleri



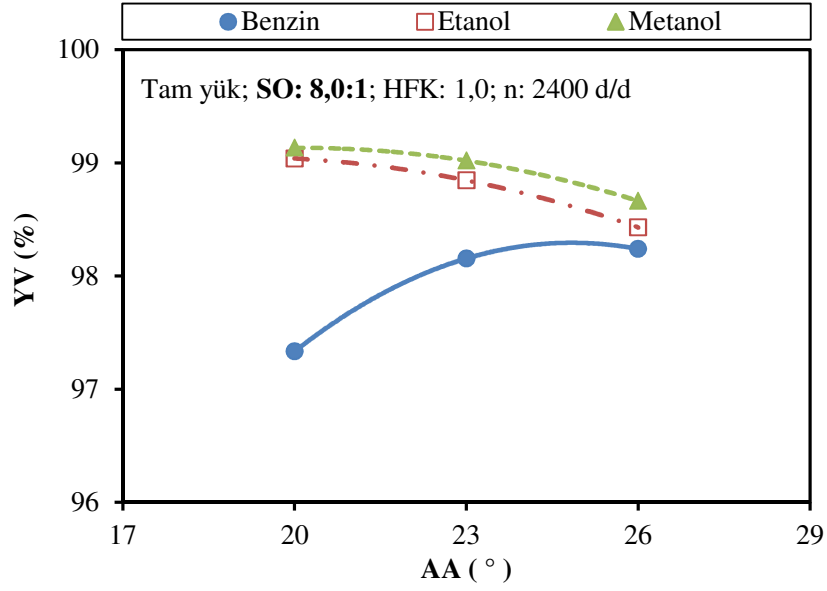
Şekil 3.96. Farklı SO ve AA’da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen NO_x değişimleri

Maksimum değerlerin benzin, etanol ve metanol yakıtlarında sırasıyla 26° AA, 20° AA ve 20° AA’da olduğu görülmüştür. Maksimum değerler kıyaslandığında, NO_x emisyonunun benzine göre etanol ve metanol kullanımı ile sırasıyla %19,9 ve %12,50 oranında azaldığı belirlenmiştir. OÇP’ye göre karşılaştırıldığında benzin, etanol ve metanol yakıt kullanımı ile NO_x emisyonu sırasıyla %22,04, %84,14 ve %86,55 oranlarında artmıştır. Ayrıca, bütün SO’larda ve 20° AA’da etanol ve metanol kullanımı ile elde edilen NO_x’in 26° AA’da benzin kullanımına göre ortalama olarak sırasıyla %30,88 ve %25,21 oranlarında azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda, metanol kullanımı ile NO_x emisyonu, etanole göre %9,22 oranında yükselmiştir. Bulunan NO_x sonuçları, literatürde karışım veya saf olarak benzin ve alkol yakıt kullanımında elde edilen sonuçlar açısından bazı çalışmalar [151] ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir

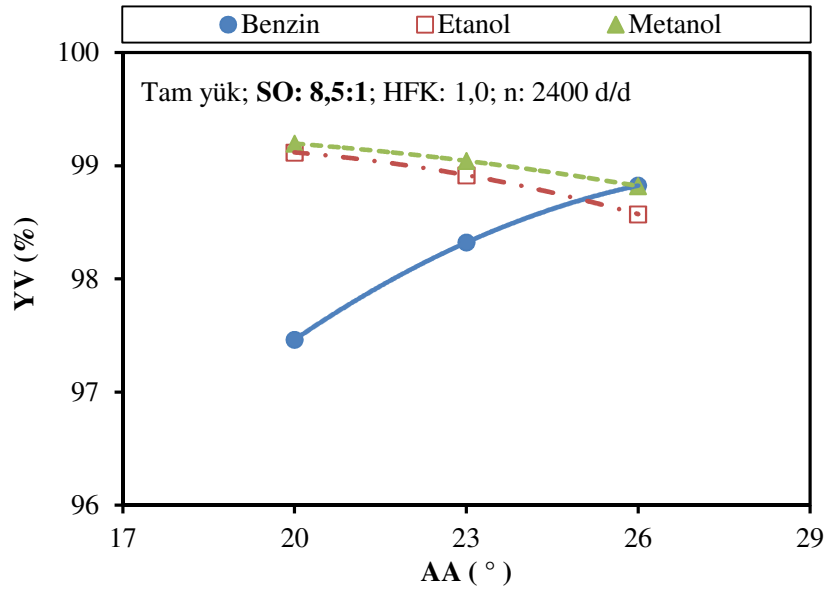
3.2.4. Yanma verimi

Dört farklı SO’da, benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen YV’nin AA’ya bağlı olarak değişimi Şekil 3.97, 3.98, 3.99 ve 3.100’de verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi YV değerinin AA’nın artmasıyla alkol yakıtlarda azaldığı, benzinli çalışmada ise arttığı gözlemlenmiştir. Bütün SO’lardan elde edilen YV değerlerine bakıldığında genel olarak maksimum değer, oksijen oranı ve yanma hızı daha yüksek olan metanol yakıtından elde edildiği görülmektedir. Aynı zamanda, 9,0:1 SO’ya kadar

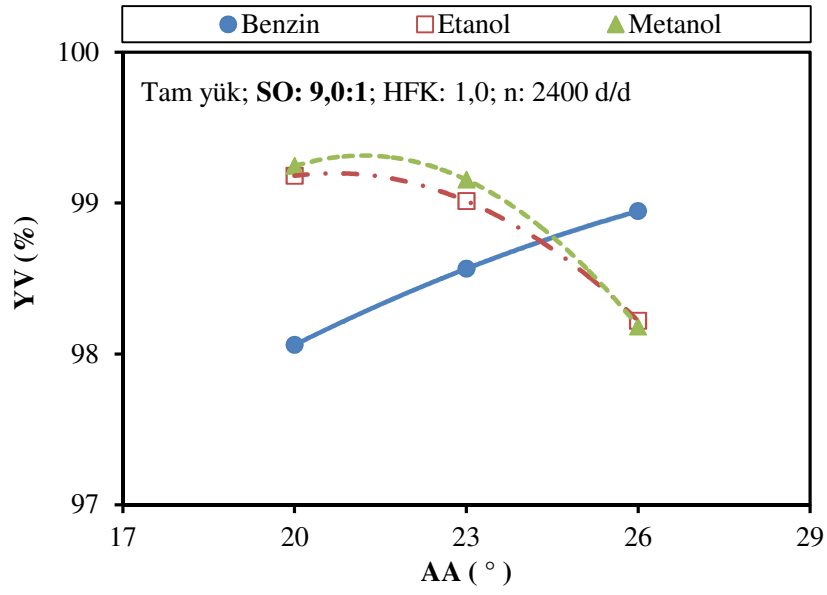
bütün yakıt türünden elde edilen YV değerlerinin arttığı ve bu noktadan sonra bir miktar azaldığı tespit edilmiştir.



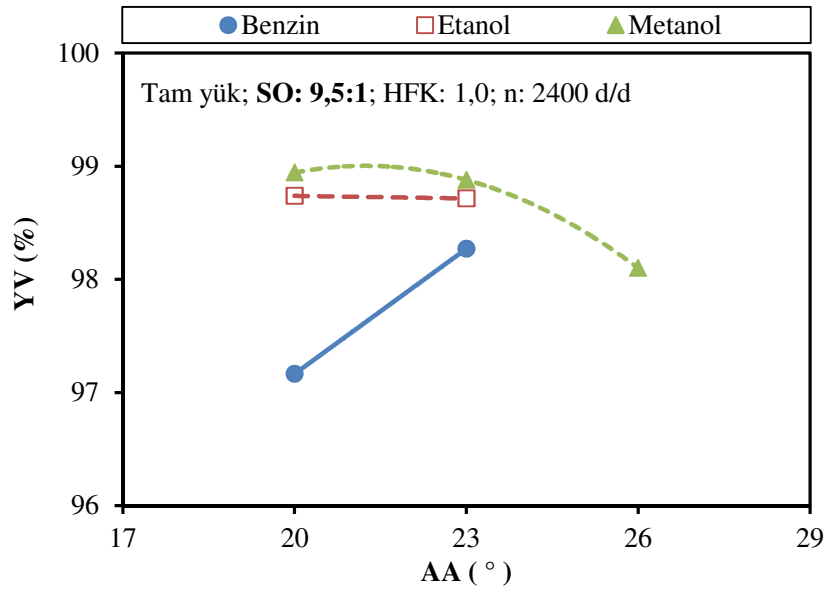
Şekil 3.97. 8,0:1 SO'da farklı AA'daki YV'nin değişimi



Şekil 3.98. 8,5:1 SO'da farklı AA'daki YV'nin değişimi

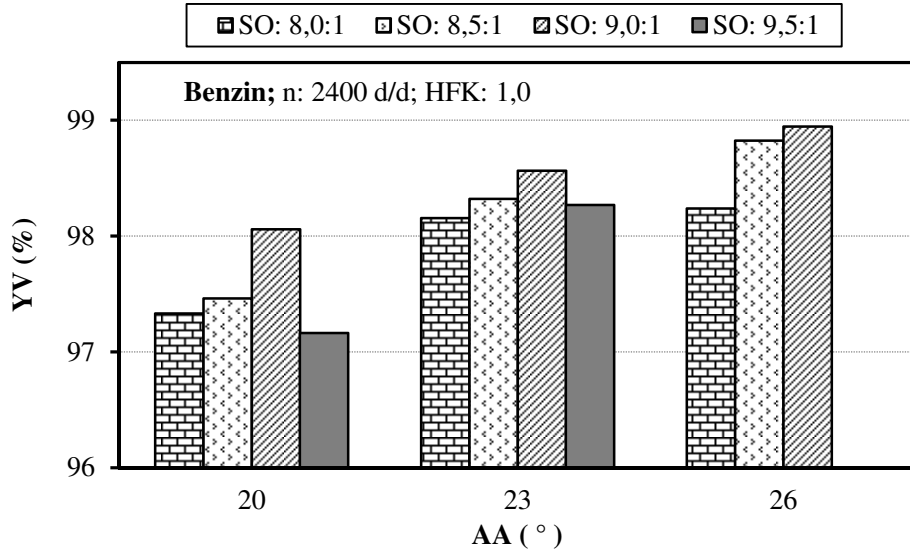


Şekil 3.99. 9,0:1 SO'da farklı AA'daki YV'nin değişimi

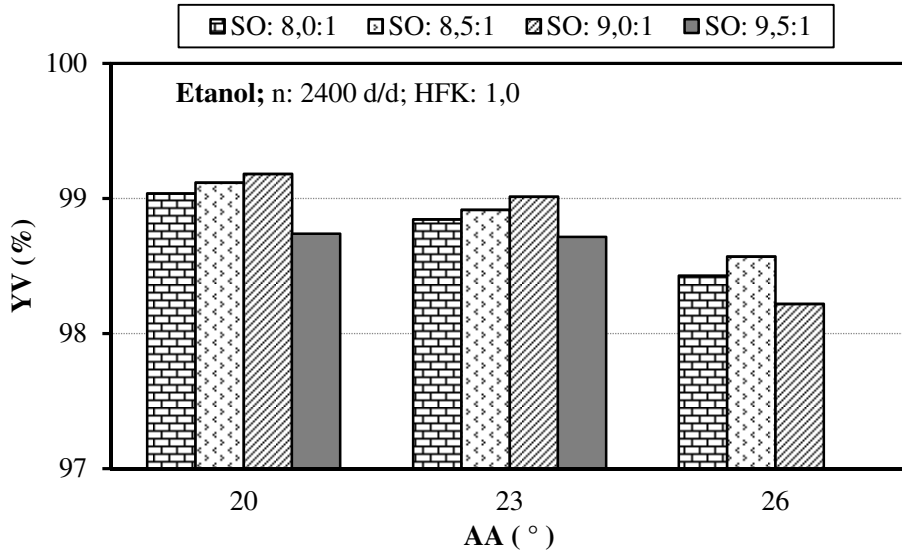


Şekil 3.100. 9,5:1 SO'da farklı AA'daki YV'nin değişimi

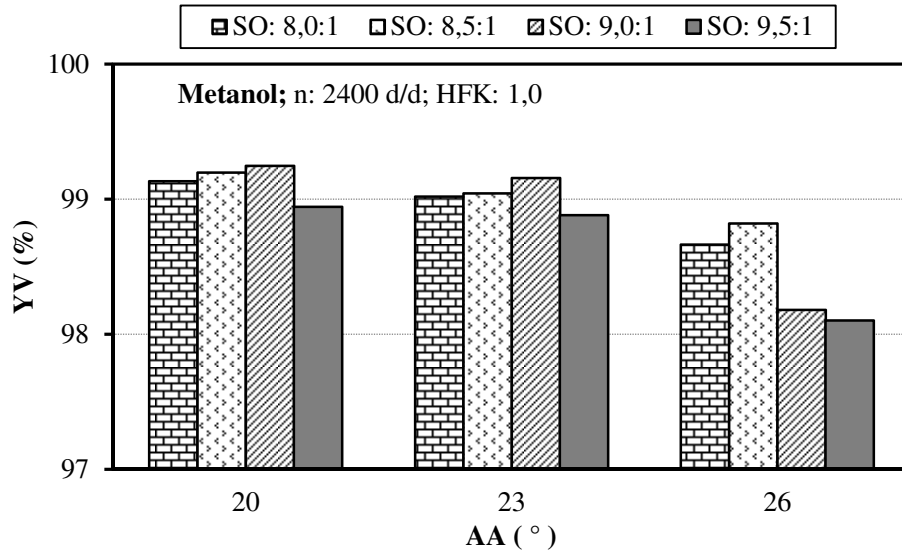
Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda, farklı SO'lardan elde edilen YV'in AA'ya bağlı değişimleri Şekil 3.101, 3.102 ve 3.103'de sunulmuştur. Grafikler incelendiğinde, benzin, etanol ve metanol yakıtlarından elde edilen maksimum YV'lerin sırasıyla %98,95, %99,18 ve %99,25 olduğu ve bu değerlere 9,0:1 SO'da ulaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.101. Farklı SO ve AA’da, benzin yakıtlı çalışmada elde edilen YV değişimleri



Şekil 3.102. Farklı SO ve AA’da, etanol yakıtlı çalışmada elde edilen YV değişimleri



Şekil 3.103. Farklı SO ve AA’da, metanol yakıtlı çalışmada elde edilen YV değişimleri

Maksimum değerler irdelendiğinde, etanol ve metanol kullanımı benzine kıyasla YV’yi sırasıyla %0,24 ve %0,30 oranında artırmıştır. Ayrıca, benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen YV’nin, OÇP’ye göre sırasıyla %0,64, %0,27 ve %0,20 oranlarında artırmıştır. Alkol yakıtlar içerisinde en fazla YV metanol yakıtından elde edilmiş ve %0,06 artmıştır. Ayrıca, bütün SO’larda ve 20° AA’da etanol ve metanol kullanımı ile elde edilen YV’nin 26° AA’da benzin kullanımına göre ortalama olarak sırasıyla %0,35 ve %0,47 oranlarında arttığı görülmüştür. Yanma verimlerinin genel olarak yüksek düzeyde oluşmasının, deneylerin tam gaz keleşliği açıklığında yapılması ve motorun hava soğutmalı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu bölümde, tam gaz keleşbeği açıklığı ve 2400 d/d motor hızında, kurşunsuz benzin, etanol ve metanol yakıtlarının stokiyometrik oranlarda (HFK=1), farklı SO (8,0:1, 8,5:1, 9,0:1 ve 9,5:1) ve AA (20°, 23° ve 26°)'da kullanılmasıyla yapılan deneylerden elde edilen motor performansı, yanma karakteristikleri ve egzoz emisyon sonuçları irdelenmiştir. Bu bağlamda öneriler maddeler halinde verilmiştir.

4.1. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar, saf etanol ve metanolün BAM'larda herhangi bir yapısal parametre değıştirmeden performans ve egzoz emisyonları açısından verimli olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Bütün SO'larda ve orijinal AA'da, etanol ve metanol yakıtlarının saf olarak kullanımı ile OEB, ÖYT ve EFV benzinli çalışmaya göre genel olarak artmış, ÖET ise azalmıştır. Bütün SO'larda elde edilen maksimum değerlere bakıldığında metanol kullanımı, OEB, ÖYT ve EFV'yi etanole göre sırasıyla ortalama %5,23, %33,08 ve %1,07 oranında artırırken, ÖET'yi ise %0,83 oranında azaltmıştır.

Etanol ve metanol kullanımı ile bütün SO'larda benzinli çalışmaya göre HC, CO ve NO_x'in genel olarak azaldığı görülmüştür. CO₂ ise 9,0:1 SO'ya kadar benzine göre bir miktar düşük seyretmiş ve o noktadan sonra kısmi bir artışa geçmiştir. Dört farklı SO'da ve orijinal AA'da metanol yakıtlı çalışmada elde edilen bütün emisyon değerleri etanol ile kıyaslandığında HC ve CO emisyonları ortalama olarak sırasıyla %4,94 ve %15,48 azalırken, NO_x ve CO₂ emisyonları ise sırasıyla %3,32 ve %0,96 oranlarında artmıştır. Ayrıca, bütün SO'larda ve orijinal AA'da etanol ve metanol kullanımı benzinli çalışmaya göre YV'yi ortalama olarak sırasıyla %0,56 ve %0,72 oranlarında yükseltmiştir.

Bütün SO'larda etanol ve metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen SGB'lerin genel olarak benzine göre daha erken yükselmeye başladığı ve daha yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Etanol ve metanol yakıtları kendi aralarında kıyaslandığında, bütün SO'larda metanol yakıtlı çalışma elde edilen SGB'nin etanole göre ortalama %5,97 oranında arttığı görülmüştür. Metanol yakıtlı çalışmada etanole göre SGB'de görülen en fazla artışın 8,0:1 SO'da olduğu, en az artış ise 9,5:1 SO'da gerçekleştiği tespit

edilmiştir. Bütün SO'larda ve orijinal AA'da etanol ve metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen maksimum AÇI'nın, genel olarak benzinli çalışmaya göre arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, metanol kullanımıyla elde edilen AÇI'nın etanole göre ortalama %1,49 arttığı görülmüştür.

Bütün SO'larda AA'nın 20°'den 26°'ye alınmasıyla OEB ve EFV'nin benzinli çalışmada arttığı, ÖYT ve ÖET'nin ise azaldığı görülmüştür. Alkol yakıtlarda ise OEB ve EFV'nin AA'nın artmasıyla azaldığı, ÖYT ve ÖET'nin arttığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda, dört farklı SO ve üç farklı AA'da etanol ve metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen OEB, EFV, ÖYT ve ÖET'nin benzinin OÇP'de kullanılmasıyla elde edilen değerlere göre yüzdesel değişimleri bütünüyle EK 3-Tablo 1'de verilmiştir.

Egzoz emisyonları açısından kıyaslama yapıldığında, dört farklı SO'da yapılan çalışmalarda genel olarak AA'nın 20°'den 26°'ye alınması, benzinli çalışmada HC ve CO'yu azaltmış, CO₂ ve NO_x ise artırmıştır. Etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda ise AA'nın artırılmasıyla genel olarak HC ve CO'nun yükseldiği, CO₂ ve NO_x'in ise düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca, dört farklı SO ve üç farklı AA'da etanol ve metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen egzoz emisyonlarının, benzinin OÇP'de kullanılmasıyla elde edilen değerlere göre yüzdesel değişimleri bütünüyle EK 3-Tablo 2'de verilmiştir.

Bütün SO'larda elde edilen YV değerleri incelendiğinde, benzinli çalışmada maksimum değer 26°AA'da yakalandığı, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda ise 20°AA'da ulaşıldığı görülmüştür. Benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalarda maksimum YV'nin 9,0:1 SO'da elde edildiği görülmüştür. Benzin yakıtlı çalışmada elde edilen YV'nin bütün SO'larda ortalama olarak 20°, 23° ve 26° AA'da sırasıyla %97,51, %98,33 ve %98,67 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Etanollü çalışmada ise YV'nin 20°, 23° ve 26° AA'da sırasıyla %99,02, %98,87 ve %98,41 değerine ulaştığı görülmüştür. Metanol kullanımı ile bu değer sırasıyla %99,13, %99,03 ve %98,44 olarak gerçekleşmiştir.

Dört farklı SO değerinde ve 20°, 23° ve 26°AA'da benzin, etanol ve metanol yakıtlı çalışmalardan elde edilen maksimum SGB ve AÇI'ların benzinin OÇP'de kullanılmasıyla elde edilen değerlere göre yüzdesel değişimi EK 4-Tablo 3'de verilmiştir. Örneğin; 9,0:1 SO'da ve 23°AA metanol kullanımı maksimum SGB'yi

benzinli OÇP'ye göre %59,46 artırdığı, 8,0:1 SO ve 20°AA'da ise %5,31 oranında azalttığı EK 4-Tablo 3'de görülmektedir.

Üç farklı AA'da ve dört farklı SO'da benzin, etanol ve metanol yakıtları ile yapılan deneylerde elde edilen SGB değerleri incelendiğinde, genel olarak maksimum değerlerin 26°AA'da oluştuğu görülmektedir. Bütün çalışmada elde edilen maksimum SGB'lerin denk geldiği KA değerleri EK 4-Tablo 1'de sunulmuştur. Örneğin, 9,0:1 SO'da metanol yakıtlı çalışmada maksimum SGB 20°AA'da ÜÖN'den 9° sonra oluşurken, 26°AA'da ise 3° önce oluştuğu görülmektedir, EK 4-Tablo 1.

Bütün çalışmada elde edilen maksimum AÇI'ların denk geldiği KA değerleri ise EK 4-Tablo 2'de sunulmuştur. Örneğin, 8,5:1 SO'da benzin yakıtlı çalışmada maksimum AÇI 20°AA'da ÜÖN'den 14° sonra oluşurken, 9,0:1 SO'da ve 26°AA'da etanol kullanımıyla da 16° önce oluştuğu görülmektedir, EK 4-Tablo 1.

4.2. Öneriler

BAM'larda etanol ve metanol yakıtlarının saf olarak kullanımında daha yüksek bir verim elde edilebilmesi için motorun SO değeri artırılmalı ve AA ise benzinli çalışmaya göre düşürülmelidir. Yapılan bu çalışmaya ek olarak motorun her bir AA değerinde hız karakteristikleri çıkarılmalı ve her bir devir için optimum AA'lar belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen bu AA değerlerinin çalışma esnasında ayarlanabilmesi amacıyla elektronik kontrollü ateşleme sistemlerinde alkol yakıtlara göre düzenlenme yapılmalıdır.

Alkol yakıtların saf olarak kullanılabilmesi, içerisinde bulunduğumuz pahalı enerji döneminde, bitkisel kökenli olarak üretilbilmeleri bakımından oldukça önem kazanmıştır. Bu sebepten dolayı tarımsal alanı geniş olan ülkemizde etanol ve metanol üretimine teşvik verilmeli ve motorlarda yakıt olarak kullanımı hakkında gerekli yasal düzenlemeler yapılmalıdır.

Yapılan deneylerde, alkol yakıtlardan kaynaklanan herhangi bir korozif durum gözlemlenmemiştir. Motor testlerinin aralıklı olarak yapılmasının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. Bundan dolayı, alkol yakıtların uzun süreli kullanımını konu alan ve korozif etkilerini belirlemeye yönelik deneysel çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte, etanol ve metanolün oksijen içermeleri, yakıt

sistemlerinde korozyona sebep olabilecektir. Bu olumsuz etkiyi ortadan kaldıracak korozyondan korunma yöntemleri uygulanmalı veya ona yönelik malzeme seçimi yapılmalıdır.

Alkol yakıtlı çalışmalarda görülen soğukta ilk çalışma problemini engelleyecek yöntemler araştırılmalıdır. Emme manifoldunun veya havasının ısıtılması, doğalgaz ve LPG yakıtlı motorlarda olduğu gibi pilot yakıt uygulamasına benzer önlemler alınabilir.

Yüksek SO ve düşük AA'larda motor yakıtı olarak etanol ve metanol kullanımında, krank-biyel mekanizmasında oluşan mekanik zorlamaların teorik olarak incelenmesi gerekmektedir. Böylelikle motor üretici firmalara alkol yakıt kullanacak olan motorların yapısal değişimi olup olmayacağına ışık tutulacaktır.

Hem motor performansı ve egzoz emisyonu açısından hemde tüketicilerin yakıta harcadığı maliyet bakımından bitkisel esaslı yakıt kullanımı çok önemlidir. Bu çalışma, motorda yapılan bazı işletme ve yapısal değişiklikler ile bitkisel kökenli yakıtın benzine göre çok daha verimli olduğunu göstermiştir. Ülkemizde etanol ve metanolün motor yakıtı olarak satışının bulunmaması benzine göre bir maliyet analizinin yapılabilmesine olanak tanımamıştır. Ancak, alkollerin hazır gıda üretimi yapan fabrikalarda yan ürün olarak veya katı atık toplama ve işleme tesislerinde de üretilebildiği göz önünde bulundurulduğunda benzine göre maliyet açısından daha az olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, etanol ve metanolün üretimi ve kullanımı aşamasında çevreye salınan toplam CO₂ emisyonunun benzine göre daha düşük seviyede olduğu da bir gerçektir.

KAYNAKLAR

- [1] Çolak, A. (2006) Buji ateşlemeli bir motorda farklı sıkıştırma oranlarında etanol kullanımının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye, 2-3.
- [2] Gao, J., Jiang, D., Huang, Z. (2007) Spray properties of alternative fuels: A comparative analysis of ethanol-gasoline blends and gasoline. *Fuel*, 86, 1645–1650.
- [3] Yücesu, H.S., Sözen, A., Topgül, T., Arcaklıoğlu, A. (2007) Comparative study of mathematical and experimental analysis of spark ignition engine performance used ethanol-gasoline blend fuel. *Applied Thermal Engineering*, 27, 358-368.
- [4] Al-Baghdadi, M.A.R.S. (2006) A simulation model for a single cylinder four-stroke spark ignition engine fueled with alternative fuels. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 30, 331-350.
- [5] Topgül, T., Yücesu, H.S., Çınar, C. (2004) Etanol-benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli bir motorda farklı sıkıştırma oranlarında motor performansına etkisinin deneysel olarak belirlenmesi. 8. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 8-9 Eylül, Ankara, Türkiye.
- [6] Yüksel, F., Yüksel, B. (2004) The use of ethanol-gasoline blend as a fuel in an SI engine. *Renewable Energy*, 29, 1181-1191.
- [7] Al-Hasan, M. (2003) Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission. *Energy Conversion and Management*, 44, 1547-1561.
- [8] Bayraktar, H. (2007) Theoretical investigation of flame propagation process in an SI engine running on gasoline-ethanol blends. *Renewable Energy*, 32, 758-771.
- [9] Bayraktar, H. (2005) Experimental and theoretical investigation of using gasoline-ethanol blends in spark-ignition engines. *Renewable Energy*, 30, 1733-1747.
- [10] Acaroğlu, M., Oğuz, H., Ünalı, M. (2004) Türkiye için alternatif bir yakıt: Biyoetanol, yakıt olarak kullanımı ve emisyon değerleri. *Biyoenerji 2004 Sempozyumu*, 20-22 Ekim, İzmir, Türkiye.

- [11] Onurbaş Avcioğlu, A., Türker, U., Atasoy, D., Koçtürk, D. (2011) Tarımsal kökenli yenilenebilir enerjiler biyoyakıtlar. Nobel yayıncılık, Ankara, Türkiye, 387-440.
- [12] Biyoyakıt zellikleri. http://permanent.access.gpo.gov/websites/www.ott.doe.gov/biofuels/advanced_bioethanol.html (erişim tarihi: 22.05.2013)
- [13] Biyoetanol retim süreci. http://www.accion-energy.com/activity_areas/bioethanol/bioethanol-.aspx?id=4 (erişim tarihi: 22.05.2013)
- [14] Minteer S. (2006) Alcoholic Fuels, CRC press, Boca Raton, New York, USA.
- [15] Olah, G.A., Goepfert, A., Prakash, G.K.S. (2006) Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy, WILEY-VCH , Weinheim, USA, 209-235, 170-180.
- [16] Nakagawa, H., Harada, T., Ichinose, T., Takeno, K., Matsumoto, S., Kobayashi, M., Sakai, M. (2007) Biomethanol Production and CO₂ Emission Reduction from Forage Grasses, Trees, and Crop Residues. Japan Agricultural Research Quarterly, 41(2), 173-180.
- [17] Acaroğlu, M., naldı, M., Aydoğan, H. (2010) Yakıtlar ve Yanma, Nobel yayıncılık, Ankara, Türkiye.
- [18] Safgnl, B., Ergeneman, M., Arslan, H.E., Soruşbay, C. (1999) İçten Yanmalı Motorlar, Birsan yayınevi, İstanbul, Türkiye.
- [19] Vancoillie, J., Verhelst, S. (2010) Modeling the combustion of light alcohols in SI engines: a preliminary study. FISITA 2010 World Automotive Congress, Budapest, Hungary, 1-12.
- [20] Fuel properties. www.merckmillipore.com/chemicals/all-products , [erişim tarihi: 12.04.13]
- [21] Borat, O., Sürmen, A., Balcı, M. (1992) İçten Yanmalı Motorlar, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi vakfı yayınları, Ankara.
- [22] Masum, B.M., Maşjuki, H.H., Kalam, M.A., Fattah, I.M.R., Palash, S.M., Abedin, M.J. (2013) Effect of ethanol-gasoline blend on NO_x emission in SI engine. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 24, 209-222.
- [23] Eyidoğan, M. (2008) Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının buji ateşlemeli bir motorun yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, 26-27.

- [24] Mutlu, S. (1999) Buji ateşlemeli motorlarda etanol kullanımının performans ve maliyet analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [25] Pandey, A. (2009) Handbook of Plant-Based Biofuels, CRC press, Boca Raton, New York.
- [26] Çelik, M.B. (1994) Metanol-benzin karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [27] Hatunoğlu, E.E. (2010) Biyoyakıt politikalarının Tarım Sektörüne Etkileri, Devlet Planlama Teşkilatı Uzmanlık Tezleri, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- [28] Çelik, M.B. (1999) Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [29] Sekmen, Y., Erduranlı, P., Gölcü, M., Salman, M. S. (2005) Buji ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranı değişiminin performans parametrelerine etkisi. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(1), 23-30.
- [30] Ergeneman, M., Kutlar, A., Mutlu, M., Arslan, H. (1998) Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler, Birsan Yayınevi, İstanbul, Türkiye.
- [31] Salman, M.S. (1996) Buji Ateşlemeli Motorlarda Yanma Hızının Performansa Etkileri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [32] Çınar, C. (1998) Buji Ateşlemeli Motorlarda Kam Geometrisinin Performansa Etkileri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [33] Sekmen, Y. (2003) Buji ateşlemeli bir motorda sıkıştırma oranının değiştirilebilir hale getirilmesi ve performansa etkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [34] Heywood, J.B. (1988) Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Book Co., USA.

- [35] Sayın, C. (2004) An experimental investigation of the influence higher octane number than engine requirement on engine performance and emissions. *Teknoloji Dergisi*, 7(3-4), 479-487.
- [36] Turner D., Xu H., Cracknell R.F., Natarajan V., Chen X. (2011) Combustion performance of bio-ethanol at various blend ratios in a gasoline direct injection engine. *Fuel*, 90, 1999-2006.
- [37] Yang, H.H., Liu, T.C., Chang, C. F., Lee, E. (2012) Effects of ethanol-blended gasoline on emissions of regulated air pollutants and carbonlys from motorcycles. *Applied Energy*, 89, 281-286.
- [38] Yao, Y.C., Tsai, J.H., Wang, I.T. (2012) Emissions of gaseous pollutant from motorcycle powered by ethanol-gasoline blend. *Applied Energy*, in press.
- [39] Chen, L., Stone, R., Richardson, D. (2012) A study of mixture preparation and PM emissions using a direct injection engine fuelled with stoichiometric gasoline/ethanol blends., *Fuel*, 96, 120-130.
- [40] Zhuang, Y., Hong, G. (2013) Primary investigation to leveraging effect of using ethanol fuel on reducing gasoline fuel consumption. *Fuel*, 105, 425-431.
- [41] Nazzal, I.T. (2011) Experimental study of gasoline-alcohol blends on performance of internal combustion engine. *European Journal of Scientific Research*, 52(1), 16-22.
- [42] Çelik, M.B., Özdalyan, B., Alkan, F. (2011) The use of pure methanol as fuel at high compression ratio in a single cylinder gasoline engine. *Fuel*, 90, 1591-1598.
- [43] Eyidoğan, M., Çanakçı, M., Özsezen, A.N., Alptekin, E., Türkcan, A., Kılıçaslan, İ. (2011) Investigation of the effect, of ethanol-gasoline and methanol-gasoline blends on the combustion parameters and exhaust emissions of a spark ignition engine. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26(3), 499-507.
- [44] Chen, R.H., Chiang, L.B., Chen, C.N., Lin, T.H. (2011) Cold-start emissions of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuel. *Applied Thermal Engineering*, 31, 1463-1467.
- [45] Schifter, I., Diaz, L., Rodriguez, R., Gomez, J.P., Gonzales, U. (2011) Combustion and emissions behavior for ethanol-gasoline blends in a single cylinder engine. *Fuel*, 90, 3586-3592.

- [46] Costa, R.C., Sodre, J.R. (2011) Compression ratio effect on an ethanol/gasoline fuelled engine performance. *Applied Thermal Engineering*, 31, 278-283.
- [47] Özsezen, A.N., Çanakçı, M. (2011) Performance and combustion characteristics of alcohol-gasoline blends at wide-open throttle. *Energy*, 36, 2447-2752.
- [48] Shayan, S.B., Seyedpour, S.M., Ommi, F., Moosavy, S. H., Alizadeh, M. (2011) Impact of methanol-gasoline fuel blends on the performance and exhaust emissions of a SI engine. *International Journal of Automotive Engineering*, 1(3), 219-227.
- [49] Gong, C.M., Huang, K., Jia, J.L., Su, Y., Gao, Q., Liu, X.J. (2011) Improvement of fue econmy of a direct-injection spark-ignition methanol engine under light loads. *Fuel*, 90, 1826-1832.
- [50] Park, C., Choi, Y., Kim, C., Oh, S., Lim, G., Moriyoshi, Y. (2010) Performance and exhaust emission characteristics of a spark ignition engine using ethanol and ethanol-reformed gas. *Fuel*, 89, 2118-2125.
- [51] Sessaiah, N. (2010) Efficiency and exhaust gas analysis of variable compression ratio spark ignition engine fuelled with alternative fuels. *International Journal of Energy and Environment*, 1(5), 861-870.
- [52] Koç, M., Sekmen, Y., Topgül, T., Yücesu, H.S. (2009) The effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in spark-ignition engine. *Renewable Energy*, 34, 2101-2106.
- [53] Yücesu, H.S., Topgül, T., Çınar, C., Okur, M. (2006) Effect of ethanol-gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in different compression ratios. *Applied Thermal Engineering*, 26, 2272–227.
- [54] Topgül, T., Yücesu, H.S., Çınar, C., Koca, A. (2006) The effects of ethanol-unleaded gasoline blends and ignition timing on engine performance and exhaust emissions. *Renewable Energy*, 31(15), 2534-2542.
- [55] Jia, L.W., Shen, M.Q., Wang, J., Lin, M.Q. (2005) Influence of ethanol-gasoline blended fuel on emission characteristics from a four-stroke motorcycle engine. *Journal of Hazardous Materials*, A123, 29-34.
- [56] Wu, C.W., Chen, R.H., Pu, J.Y., Lin, T.H. (2004) 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.

- [57] Shenghua, L., Hui, L., Shengchun, L., Clemente, E.R.C., Donghui, Q. (2006) Effects of methanol-gasoline blend on gasoline engine performance and emissions. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2006-01.
- [58] Hsieh, W.D., Chen, R.H., Wu, T.L., Lin, T.H. (2002) Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels. Atmospheric Environment, 36, 403–410.
- [59] Gizir, Ö. (1995) Sıvılaştırılmış petrol gazı ve alkolün otto motorlarında kullanılabilirliğinin ve motor performansına etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, , Adana, Türkiye.
- [60] Sezer, İ. (2002) Normal benzine metanol ve MTBE katılmasının buji ateşlemeli motorun performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- [61] Çıtıroğlu, R.A. (1990) Değişik oranlardaki etanol-benzin karışımlarının küçük güçlü, içten patlamalı motorlarda kullanabilme imkanlarının belirlenmesi üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [62] Bayraktar, H. (1997) Benzin-etanol karışımlarının benzin motorlarında yanma ve motor çevrimi üzerindeki etkilerinin teorik olarak incelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- [63] Bayraktar, H. (1991) Motorlarda Benzin–Etilalkol-izopropanol karışımlarının kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- [64] Kızıltan, E.E. (1988) Motor yakıtlarına alkol katılmasının motor performansına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- [65] Korkmaz, İ. (1996) Benzin ve metanol yakıtlı buji ateşlemeli motorlarda performans ve emisyon karakteristiklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [66] Ayhan, V. (2006) Metanol-benzin karışımlarının $MgO-ZrO_2$ termal bariyer çemberli bir motorda performans ve emisyonlara etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.

- [67] Karaosmanoğlu, F. (1990) Alkolü benzinlerin alternatif motor yakıtı olarak değerlendirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [68] Turan, S. (1993) Benzin motorlarında benzin-alkol karışımlarının yakıt olarak kullanılması ve bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- [69] Erbaş, Y. (2006) Su soğutmalı bir benzin motorunda sıkıştırma oranı değişiminin birinci ve ikinci kanuna göre analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- [70] Ankaralı, S. (2001) Buji ile ateşlemeli motorlarda ateşleme avansının motor performansı üzerine etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [71] Shenghua, L., Clemente, E.R.C., Tiegang, H., Yanjv, W. (2007) Study of spark ignition engine fueled with methanol/gasoline fuel blends. Applied Thermal Engineering, 27, 1904-1910.
- [72] Al-Dawood, A.M. (1998) Effect of blending MTBE, methanol, or ethanol with gasoline on performance and exhaust emissions of SI engines, Master of Science in Mechanical Engineering, King Fahd University of Petroleum&Minerals, Dhahran, Saudi Arabia, UMI Number: 1398014.
- [73] Majmudar, K. (2003) Numerical simulations of a spark ignition engine using alternative fuels, Master of Science in Mechanical Engineering, The Faculty of the College of Graduate Studies Lamar University, Texas, United States, UMI Number: 1417359.
- [74] Çelik, M.B. (2008) Experimental determination of suitable ethanol-gasoline blend rate at high compression ratio for gasoline engine, Applied Thermal Engineering, 28(5-6), 396-404.
- [75] Yakıt özellikleri, <http://www.tupras.com.tr>. (erişim tarihi: 25.04.2013)
- [76] Topgül, T. (2006) Buji ateşlemeli motorlarda etil alkol-benzin karışımı kullanımında optimum çalışma parametrelerinin araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, s.56.
- [77] Ferguson, C.R., Kirkpatrick, A.T. (2001) Internal Combustion Engines Applied Thermosciences, Second Edition, John Wiley&Sons, New York, United States.

- [78] Atkins, R.D. (2009) An Introduction to Engine Testing and Development, SAE International R-344, United States, 1-48.
- [79] Çanakcı, M. (2001) Production of biodiesel from feedstocks with high free fatty acids and its effect on diesel engine performance and emissions. Doctor of Philosophy, Mechanical Engineering, Iowa State University, United States.
- [80] Merker, G.P., Schwarz, C., Teichmann, R. (2012) Combustion Engines Development. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Germany.
- [81] Öz, İ.H., Borat, O., Sürmen, A. (2003) Internal Combustion Engines, Alfa basım yayım dağıtım Ltd., İstanbul, Türkiye.
- [82] Orifis plaka standardı, ISO 5167-2 (2003).
- [83] Deney ortamı nem oranı, TÜİK 2011, Türkiye İstatistik Yıllığı 2011, Türkiye İstatistik Kurum Matbaası, Ankara, Nisan 2012.
- [84] Brown, B.R. (2001) Combustion data acquisition and analysis. Final Year Project, Department of Aeronautical Automotive Engineering, Loughborough University, Leicestershire, United Kingdom, 12-45.
- [85] Checkel, M.D., Dale, J.D. (1986) Computerized knock detection from engine pressure records. SAE Technical Paper 860028.
- [86] Krieger R.B., Borman G. L. (1966) The computation of applied heat release for internal combustion engines. ASME paper 66 WA/DGP-4.4.
- [87] Omran, R.,Younes, R., Champoussin, J.C., Outbib, R. (2011) New indicated mean effective pressure (IMEP) model for predicting crankshaft movement. Energy Conversion and Management, 52, 3376-3382.
- [88] Sekmen, Y., Erduranlı, P., Akbaş, A., Salman, M.S. (2002) Sıkıştırma oranı değişiminin buji ateşlemeli motorlarda yakıt tüketimine etkisi. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(2), 139-148.
- [89] Yücel, N., Karel, A. (1998) Analysis of performance and emission behavior of ricardo engine for varying compression ratio. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 13(2), 181-191.
- [90] Balki, M.K., Sayin, C., Canakci, M. (2012) The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine. Fuel, in press.

- [91] Bayındır, H., Yücesu, H.S. (1999) Etanol-benzin karışımları ve emme manifoldu dolgu sıcaklığının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri. 6. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 19-21 Temmuz, İstanbul, Türkiye, p.395-408.
- [92] Salman, M.S., Sümer, M. (1999) Effect of using ethanol and ethanol-gasoline mixture on engine performance in spark ignition engines. *Journal of Polytechnic*, 2(2), 27-35.
- [93] El-Awad, M.M., Kheiralla, A.F., Chai, C.M. (2011) A computer-beased air-fuel model for analysing the performance of spark-ignition internal combustion engines. *University of Khartoum Engineering Journal*, 1(2), 40-46.
- [94] Karaaslan, S., Erman, C., Hepkaya, E., Yücel, N. (2011) Numerical investigation of ethanol fuel blends on engine performance characteristics by using diesel-rk software. *International Virtual Journal For Science, Technics and Innovations For the Industry*, 4, 36-39.
- [95] Szybist, J., Foster, M., Moore, W.R., Confer, K., Youngquist, A., Wagner, R. (2010) Investigation of knock limited compression ratio of ethanol gasoline blend. *SAE technical paper series*, 2010-01-0619.
- [96] Yoon, S.H., Lee, C.S. (2012) Effect of undiluted bioethanol on combustion and emissions reduction in a SI engine various charge air conditions. *Fuel*, 97, 887-890.
- [97] Cassady, P.E. (1976) The use of methanol as a motor vehicle fuel. *Symposium on Alternate Fuel Resources*, March 25-27, Vandenberg, California, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 257-272.
- [98] Stein, R., House, C., Leone, T. (2009) Optimal use of E85 in turbocharged direct injection engine. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 2(1), 670-682.
- [99] Aiana, T., Folayan C.O., Pam, G.Y. (2012) Influence of compression ratio on the performance characteristics of a spark ignition engine. *Advances in Applied Science Research*, 3(4), 1915-1922.
- [100] Farkade, H.S., Pathre, A.P. (2012) Experimental investigation of methanol, ethanol and butanol blends with gasoline on SI engine. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(4), 205-215.

- [101] Pourkhesalian, A.M., Shamekhi, A.H., Salimi, F. (2009) Performance and emission comparison and investigation of alternative fuels in SI engines. SAE paper, 2009-01-0936.
- [102] Pourkhesalian, A.M., Shamekhi, A.H., Salimi, F. (2010) Alternative fuel and gasoline in an SI engine: A comparative study of performance and emissions characteristic. *Fuel*, 89, 1056-1063.
- [103] Gravalos, I., Moshou, D., Gialamas, T., Xyradakis, P., Kateris, D., Tsiropoulos, Z. (2011) Performance and Emission Characteristics of Spark Ignition Engine Fuelled with Ethanol and Methanol Gasoline Blended Fuels, *Alternative Fuel*, Manzanera, M. Editor.; Intech, Rijeka, Croatia, p.155-174.
- [104] Yousufuddin, S., Mehdi, S.N. (2008) Effect of ignition timing, equivalence ratio, and compression ratio on the performance and emission characteristics of a variable compression ratio SI engine using ethanol-unleaded gasoline blends. *International Journal of Engineering, Applications*, 21(1), 97-106.
- [105] Bayındır 1, H., Yücesu, H.S. (1999) The effects of compression ratio and preheating on engine characteristics and air pollution in gasoline engines using alternative fuels. 11th International THERMO Conference, 16-18 June, Budapest, Hungary, p. 273-278.
- [106] Ebersole, G.D., Manning, F.S. (1972) Engine performance and exhaust emissions: Methanol versus isooctane. SAE technical paper series, 720692.
- [107] Yejian, Q., Chengji, Z., Hongming, X. Jian, T., Qin, T. (2007) Experimental investigation of using ethanol-gasoline in electronic control gasoline injection engine, *Transactions Hong Kong Institution of Engineers*, 14 (2), 26-30.
- [108] Tan, M., Guo, Y., Liu, J., Huang, W. (2005) Performance and exhaust emission of carburetor engine fueled with different ethanol-gasoline blends. *Jilin Daxue Xuebao (Gongxueban)/Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 35 (1) 24-28.
- [109] Çelik M.B., Balcı, M. (2002) Sabit yük ve hız şartlarında sıkıştırma oranının motor karakteristiklerine etkisi. *Teknoloji*, 5(3-4), 39-45.
- [110] Abdel-rahman, A.A., Osman, M.M. (1997) Experimental investigation on varying the compression ratio of SI engine working under different ethanol-gasoline fuel blends. *International Journal of Energy Research*, 21, 31-40.

- [111] Bilgin, A., Sezer, İ. (2008) Effect of methanol addition to gasoline on the performance and fuel cost of a spark ignition engine. *Energy&Fuel*, 22, 2782-2788.
- [112] Boretti, A. (2010) Analysis of design of pure ethanol engines. SAE paper, 2010-01-1453.
- [113] Boretti, A. (2012) Towards 40% efficiency with BMEP exceeding 30 bar in directly injected turbocharged, spark ignition ethanol engines, *Energy Conversion and Management*, 57, 154-166.
- [114] Kamboj, S.K., Kairimi, M.N. (2012) Effects of compression ratios, fuels, and specific heats of the energy distribution in spark-ignition engine. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(8), 482-491.
- [115] Caton J.A. (2010) Implications of fuel selection for an SI engine: Results from the first and second laws of thermodynamics. *Fuel*, 89, 3157-3166.
- [116] Gümüş, M. (2011) Effects of volumetric efficiency on the performance and emissions characteristic of a dual fueled (gasoline and LPG) spark ignition engine. *Fuel Processing Technology*, 92, 1862-1867.
- [117] Gümüş, M. (2009) The effect of LPG using ratio on performance and emission characteristics in a spark ignition engine with dual fuel injection. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 24(2), 265-373.
- [118] He, B.Q., Wang, J.X., Hao, J.M., Yan, X.G., Xiao, J.H. (2003) A study on emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels. *Atmospheric Environment*, 37, 949-957.
- [119] Özsezen, A.N., Çanakcı, M., Kılışaslan, İ. (2010) Investigation of combustion efficiency of alcohol-gasoline blends used in a vehicle. 11th International Combustion Symposium, Jun 24th-27th, Sarajevo, Bosna Hersek, 1-5.
- [120] Wyman, C. (1996) *Handbook on Bioethanol: Production and Utilization*. CRC press, p.43.
- [121] Tangroon, M., Zho, H. (2010) Combustion characteristics of CAI combustion with alcohol fuels, SAE paper, 2010-01-0843.
- [122] Aleiferis, P.G., Pereira, J.S., Richardson, D. (2013) Characterization of flame development with ethanol, butanol, iso-octane, gasoline, and methane in direct-injection spark ignition engine. *Fuel*, in press.

- [123] Bayraktar, H., Durgun, O. (2003) Buji ateşlemeli motorlar için alternatif yakıtların teorik değerlendirilmesi ve pratik kullanılabilirliği. *Makine ve Mühendislik Dergisi*, 45 (533), 48-57.
- [124] Yanju, W., Shenghua, L., Hongsong, L., Rui, Y., Jie, L., Ying, W. (2008) Effect of methanol/gasoline blends on a spark ignition engine performance and emissions. *Energy&Fuels*, 22, 1254-1259.
- [125] Balaji, D., Govindarajan, P., Venkatesan, J. (2010) Emission and combustion characteristics of SI engine working under gasoline blended with ethanol oxygenated organic compounds. *American Journal of Environmental Sciences*, 6(6), 495-499.
- [126] Najjar, Y.S.H. (2009) Alternative fuels for spark ignition engines. *The Open Fuels&Energy Science Journal*, 2, 1-9.
- [127] Srinivasan, C.A., Saravanan, C.G. (2010) Study of combustion characteristics of an SI engine fuelled with ethanol and oxygenated fuel additives. *Journal of Sustainable Energy&Environment*, 1, 85-91.
- [128] Yeliana (2010) Parametric combustion modeling for ethanol-gasoline fuelled spark ignition engines, Degree of Doctor, Michigan Technological University, Michigan, USA, 39-40.
- [129] Ghojel, J., Honnery, D. (2005) Heat release model for the combustion of diesel oil emulsions in DI diesel engines. *Applied Thermal Engineering*, 25 (14-15), 2072-2085.
- [130] Sekmen, Y., Sekmen, P., Salman, M.S. (2007) The effect of compression ratio on engine performance and exhaust emission in a spark ignition engine. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 22(4), 745-751.
- [131] Topgül, T., Yücesu, H.S., Okur, M. (2005) The experimental investigation of the effects of operating parameters on exhaust emissions on a spark ignition engine. *Journal of Polytechnic*, 8(1), 43-47.
- [132] Yaman, H., Çelik, M.B. (2004) Benzinli motorlarda egzoz emisyonlarına etki eden faktörlerin deneysel olarak incelenmesi. *Teknoloji*, 7 (4), 681-691.
- [133] Soruşbay, C., Ergeneman, M., Öztürk, H.A.T., Sel, E. (2010) Binek araçlarında sürüş koşullarının kirletici egzoz emisyonlarına etkisi. IV. Ulusal Hava Kirliliği

ve Kontrolü Sempozyumu, ODTÜ Kültür ve kongre merkezi, 25-27 Ekim, Ankara, Türkiye.

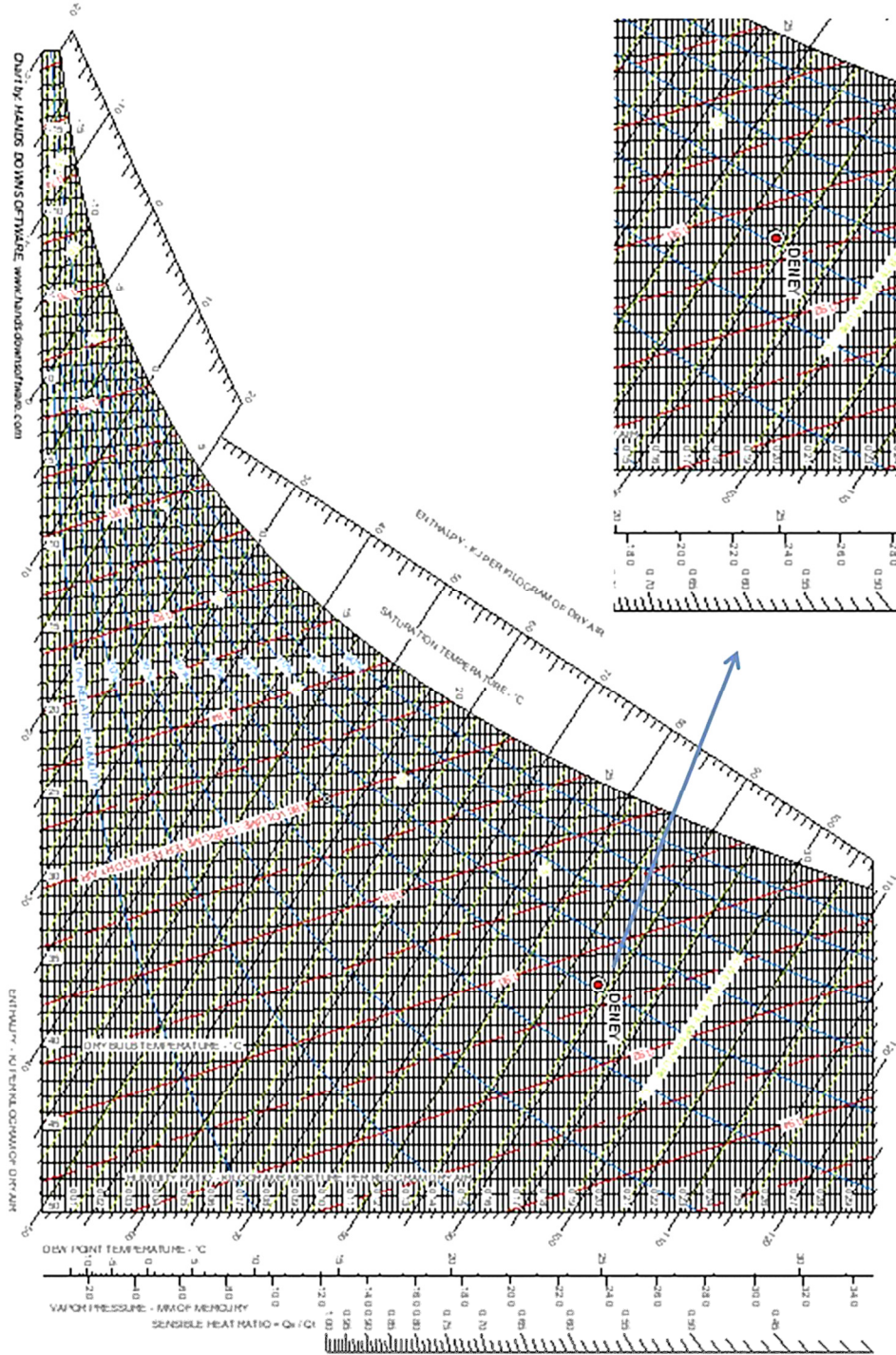
- [134] Velliangiri, M., Krishnan, A.S. (2012) An experimental investigation of performance and emission in ethanol fuelled direct injection internal combustion engines with Zirconia coating. *Journal of Energy Technologies and Policy*, 2(2), 42-53.
- [135] Moore, W., Foster, M., Hoyer, K. (2011) Engine efficiency improvements enabled by ethanol fuel blends in a GDI VVA flex fuel engine. SAE paper, 2011-01-0900.
- [136] Krishna, M.M.S.V., Kishor, K. (2008) Performance of copper coated spark ignition engine with methanol-blended gasoline with catalytic converter. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 67, 543-548.
- [137] Zhao, H., Ge, Y., Tan, J., Yin, H., Guo, J., Zhao, W., Dai, P. (2011) Effects of different mixing ratios on emissions from passenger cars fueled with methanol/gasoline blends. *Journal of Environmental Sciences*, 23(11), 1831-1838.
- [138] Sarkar, A., Chowdhuri, A.K., Bhowal, A.J., Mandal, B.K. (2012) The performance and emission characteristics of SI engine running on different ethanol-gasoline blends. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3(6), 1-6.
- [139] Bayındır, H. (2006) Effect of ethanol-gasoline blends on exhaust emission in a SI engine; Ethanol potential in GAP. *Natural and Applied Sciences*, 4(1), p.121-130.
- [140] Ansari, F.T., Verma, A.P., Choube, A. (2012) Experimental determination of suitable ethanol-gasoline blend for Spark ignition engine. *International Journal of Engineering Research Technology*, 1(5), 1-10.
- [141] Lio, S.Y., Jiang, D.M., Cheng, Q., Huang, Z.H., Zeng, K. (2006) Effect of methanol addition into gasoline on the combustion characteristics at the relatively low temperatures. *Energy&Fuels*, 20, 84-90.
- [142] Sugözü, İ., Deniz, T., Mutlu, İ. (2009) The effect of compression ratio on engine performance and exhaust emission in a spark ignition engine. *Electronic Journal of Vehicle Technologies*, 1(1), 17-24.

- [143] Yousufiddin, S., Venkateswarlu, K., Sastry, G.R.K. (2012) Effects of compression ratio and equivalence ratio on the emission characteristics of a hydrogen-ethanol fuelled spark ignition engine. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 40, 91-100.
- [144] Vancoillie, J., Demuynck, J., Sileghem, L., Ginste, M.V.D., Verhelst, S., Brabant L., Hoorebeke, L.V. (2013) The potential of methanol as a fuel for flex-fuel and dedicated spark-ignition engines. *Applied Energy*, 13(102), 140-49.
- [145] Kumar, C.R., Nagarajan, G. (2009) Investigation of aldehyde emission from an alcohol fueled SI engine. *Journal of Environmental Research and Development*, 3(3), 685-694.
- [146] Yaşar, A. (2010) Effects of alcohol-gasoline blends on exhaust and noise emissions in small scaled generators. *Metalurgija*, 49(4), 335-338.
- [147] Daniel, R., Tian, G., Xu, H., Shuai, S. (2012) Ignition timing sensitivities of oxygenated biofuels compared to gasoline in a direct-injection SI engine. *Fuel*, 99, 72-82.
- [148] Yousufiddin, S., Masood, M. (2009) Effect of ignition timing and compression ratio on the performance of a hydrogen-ethanol fueled engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34, 6945-6950.
- [149] Gupta, P., Sae-Wang, V., Kanbua, P., Laoounal, Y. (2010) Impact of water contents blended with ethanol on SI engine performance and emissions. TSME-ICOME, 20-22 October, Ubon Ratchathani, Thailand.
- [150] Kakaee, A.H., Shojaeefard, M.H., Zareei, J. (2011) Sensitivity and effect of ignition timing on the performance of a spark ignition engine: An experimental and modeling study. *Journal of Combustion*, 2011, 1-8.
- [151] Li, J., Gong, C.M., Su, Y., Dou, H.L., Liu, X.J. (2010) Effect of injection and ignition timings on performance and emissions from a spark-ignition engine fueled with methanol. *Fuel*, 89, 3919-3925.
- [152] Türköz, N., Erkuş, B., Karamangil, M.İ., Sürmen, A., Arslanoğlu, N. (2012) Experimental investigation of performance and emission improvement altering ignition timing with use of E85 ethanol blend in an SI engine. ICS 2012, 24-26 Mayıs, Kocaeli, Türkiye.

- [153] Xie, F.X., Li, X.P., Wang, X.C., Su, Y., Hong, W. (2013) Research on using EGR and ignition timing to control load of a spark-ignition engine fueled with methanol. *Applied Thermal Engineering*, 50, 1084-1091.
- [154] Bayındır, H. (1996) Effects of spark timing and air-fuel ratio on exhaust emission and fuel consumption in gasoline engines using methanol-gasoline blends. *Proceeding of the First Trabzon International Energy and Environment Symposium*, July 29-31, Karadeniz Technical University, Trabzon, p.1189-1196.

EKLER

EK 1-Şekil 1 Psikrometrik diyagram yardımıyla deney ortamının hava yoğunluğu hesabı



EK 2. Motor testlerinden ve hesaplamalardan elde edilen sonuçlar**EK 2-Tablo 1.** Dört farklı SO’da ve 23° AA’da benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar (HFK: 1,0)

	BENZİN				ETANOL				METANOL			
SO	8,0:1	8,5:1	9,0:1	9,5:1	8,0:1	8,5:1	9,0:1	9,5:1	8,0:1	8,5:1	9,0:1	9,5:1
Motor hızı (d/d)	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
Motor momentı (Nm)	9,0743	11,10	11,323	10,240	10,934	11,406	11,656	11,683	11,545	12,072	12,183	12,266
Efektif güç (kW)	2,281	2,790	2,846	2,574	2,748	2,867	2,930	2,936	2,902	3,034	3,062	3,083
Ortalama efektif basınç (kPa)	581,788	711,707	725,941	656,550	701,031	731,279	747,292	749,071	740,175	773,981	781,098	786,436
Efektif verim (%)	23,829	29,15	29,733	26,891	28,276	29,496	30,142	30,214	28,674	29,983	30,259	30,466
Yakıt tüketimi (kg/s)x10 ⁻³	0,216	0,216	0,216	0,216	0,3613	0,3613	0,3613	0,3613	0,506	0,506	0,506	0,506
Hava tüketimi (kg/s)x10 ⁻²	0,3179	0,3163	0,3148	0,3148	0,3284	0,3284	0,3254	0,3239	0,3313	0,3313	0,3299	0,3299
Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)	341,03	278,777	273,31	302,197	473,291	453,715	443,992	442,938	627,754	600,335	594,865	590,828
Özgül enerji tüketimi (kJ/kWh)x10 ³	15,108	12,350	12,108	13,387	12,732	12,205	11,943	11,915	12,555	12,007	11,897	11,817
HC (ppm)	195	162	165	204	151	115	132	164	129	97	138	158
CO (%)	1,32	1,27	1,02	1,38	1,4	1,08	0,83	0,96	1,07	0,84	0,7	0,92
CO ₂ (%)	13	13,7	14,1	12,7	12,8	13,6	13,9	13	12,9	13,8	14	13,3
O ₂ (%)	0,76	0,58	0,56	0,91	2,12	1,67	1,41	1,82	2,2	2,02	1,76	1,98
NO (ppm)	1180	1560	1650	1660	650	860	1280	1060	590	830	1200	965
NO ₂ (ppm)	19	20	50	24	4	15	14	14	10	10	17	19
NO _x (ppm)	1199	1580	1700	1684	654	875	1294	1074	600	840	1217	984
Yanma verimi (%)	97,270	97,575	97,481	97,184	99,041	99,262	98,973	98,715	99,270	99,452	98,947	98,880
Egzoz gaz sıcaklığı (°C)	590	642	670	730	465	498	520	485	490	514	450	415
Ortalama deney ortamı sıcaklığı (°C)	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7
Ortalama bağıl nem oranı (%)	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
Eğik manometre sıvı yüksekliği (mmH ₂ O)	52	51,5	51	51	55,5	55,5	54,5	54	56,5	56,5	56	56

EK 2-Tablo 2. Dört farklı SO’da ve 20° AA’da benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar (HFK: 1,0)

Yakıt türü	BENZİN				ETANOL				METANOL			
SO	8,0:1	8,5:1	9,0:1	9,5:1	8,0:1	8,5:1	9,0:1	9,5:1	8,0:1	8,5:1	9,0:1	9,5:1
Motor hızı (d/d)	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
Motor momentı (Nm)	9,963	10,684	10,879	9,907	11,295	11,794	11,933	12,044	11,905	12,350	12,46	12,627
Efektif güç (kW)	2,504	2,685	2,734	2,490	2,839	2,964	2,99	3,027	2,992	3,104	3,132	3,173
Ortalama efektif basınç (kPa)	638,767	685,018	697,47	635,198	724,161	756,189	765,085	772,201	763,305	791,774	798,891	809,566
Efektif verim (%)	26,162	28,057	28,567	26,017	29,21	30,501	30,86	31,147	29,57	30,673	30,948	31,362
Yakıt tüketimi (kg/s)x10 ⁻³	0,216	0,216	0,216	0,216	0,361	0,361	0,361	0,361	0,506	0,506	0,506	0,506
Hava tüketimi (kg/s)x10 ⁻²	0,318	0,3163	0,315	0,3148	0,328	0,328	0,3254	0,3239	0,3313	0,3313	0,330	0,330
Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)	310,615	289,638	284,466	312,355	458,174	438,770	433,668	429,670	608,731	586,845	581,616	573,947
Özgül enerji tüketimi (kJ/kWh)x10 ³	13,760	12,831	12,602	13,838	12,325	11,803	11,666	11,558	12,175	11,737	11,632	11,479
HC (ppm)	300	340	277	320	145	108	116	158	125	102	119	144
CO (%)	1,42	1,63	1,5	1,54	1,25	0,8	0,82	0,88	1,13	0,75	0,75	0,79
CO ₂ (%)	12,4	12,7	13,2	12,8	12,9	13,6	13,9	13,6	13,2	13,8	14	13,8
O ₂ (%)	1,18	1,23	1,17	1,2	2,08	1,7	1,41	1,82	2,2	2,02	1,76	1,98
NO (ppm)	890	1210	1342	825	680	860	1450	1170	850	1000	1600	1085
NO ₂ (ppm)	10	28	50	25	9	15	36	24	7	12	23	15
NO _x (ppm)	900	1238	1392	850	689	875	1486	1794	857	1012	1623	1100
Yanma verimi (%)	97,333	97,463	98,06	97,165	99,038	99,117	99,181	98,738	99,132	99,196	99,245	98,942
Egzoz gaz sıcaklığı (°C)	480	490	510	480	453	500	490	485	465	514	461	415
Deney ortamı sıcaklığı (°C)	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7
Deney ortamı bağıl nem oranı (%)	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
Eğik manometre sıvı yüksekliği (mmH ₂ O)	52	51,5	51	51	55,5	55,5	54,5	54	56,5	56,5	56	56

EK 2-Tablo 3. Dört farklı SO’da ve 26°AA’da benzin, etanol ve metanol ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar (HFK: 1,0)

Yakıt türü	BENZİN				ETANOL				METANOL			
SO	8,0:1	8,5:1	9,0:1	9,5:1	8,0:1	8,5:1	9,0:1	9,5:1	8,0:1	8,5:1	9,0:1	9,5:1
Motor hızı (d/d)	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
Motor momenti (Nm)	10,49	11,683	11,822	-	10,601	11,156	11,405	-	11,10	11,656	11,933	11,378
Efektif güç (kW)	2,636	2,937	2,97	-	2,664	2,804	2,867	-	2,789	2,930	2,99	2,860
Ortalama efektif basınç (kPa)	672,563	749,071	757,967	-	679,680	715,265	731,278	-	711,707	747,292	765,085	729,500
Efektif verim (%)	27,547	30,681	31,045	-	27,415	28,85	29,496	-	27,571	28,95	29,639	26,26
Yakıt tüketimi (kg/s)x10 ⁻³	0,216	0,216	0,216	-	0,361	0,361	0,361	-	0,506	0,506	0,506	0,506
Hava tüketimi (kg/s)x10 ⁻²	0,318	0,3163	0,3148	-	0,3284	0,3284	0,3254	-	0,3313	0,3313	0,330	0,330
Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)	295,002	264,871	261,762	-	488,160	463,873	453,715	-	652,865	621,775	607,315	636,94
Özgül enerji tüketimi (kJ/kWh)x10 ³	13,069	11,734	11,596	-	13,13	11,156	12,205	-	13,057	11,656	12,147	12,74
HC (ppm)	175	142	124	-	200	194	214	-	184	180	186	194
CO (%)	0,85	1,13	0,92	-	1,57	1,31	1,2	-	1,32	1,2	1,14	1,23
CO ₂ (%)	13,3	14	14,4	-	12,6	13	13,2	-	12,7	13,1	13,4	13
O ₂ (%)	0,58	0,52	0,48	-	2,16	2,06	2,1	-	2,34	2,15	2,13	2,2
NO (ppm)	1120	1570	1785	-	510	720	930	-	530	830	900	910
NO ₂ (ppm)	30	30	70	-	9	12	16	-	11	7	20	11
NO _x (ppm)	1150	1600	1855	-	519	732	946	-	541	837	920	921
Yanma verimi (%)	98,239	98,825	98,947	-	98,429	98,571	98,22	-	98,663	98,82	98,18	98,101
Egzoz gaz sıcaklığı (°C)	480	642	670	-	425	420	401	-	360	400	405	340
Deney ortamı sıcaklığı (°C)	36,7	36,7	36,7	-	36,7	36,7	36,7	-	36,7	36,7	36,7	36,7
Deney ortamı bağıl nem oranı (%)	51	51	51	-	51	51	51	-	51	51	51	51
Eğik manometre sıvı yüksekliği (mmH ₂ O)	52	51,5	51	-	55,5	55,5	54,5	-	56,5	56,5	56	56

EK 2-Tablo 4. Volumetrik verim değişimleri (HFK: 1,0; n: 2400 d/d, orijinal avans)

		Benzin	Etanol	Metanol
SO	8,0:1	73,4639	75,8960	76,5767
	8,5:1	73,1099	75,8960	76,5767
	9,0:1	72,7541	75,2091	76,2371
	9,5:1	72,7541	74,8633	76,2371

EK 2-Tablo 5. Teorik ve gerçek H/Y oranı değerleri ve sapmalar (n: 2400 d/d, orijinal avans)

			Benzin	Etanol	Metanol
SO	Teorik H/Y		14,6	9,0	6,46
	8,0:1	Gerçek H/Y	14,7126589	9,089235333	6,548579569
		Sapma (%)	0,771636	0,991504	1,3712
	8,5:1	Gerçek H/Y	14,64175411	9,089235333	6,548579569
		Sapma (%)	0,285987	0,91504	1,371201
	9,0:1	Gerçek H/Y	14,57050427	9,006978117	6,519539162
		Sapma (%)	-0,20203	0,077535	0,921659
	9,5:1	Gerçek H/Y	14,57050427	8,965566504	6,519539162
		Sapma (%)	-0,20203	-0,38259	0,921659

EK 3. Motor performanslarının ve egzoz emisyonlarının karşılaştırılması

EK 3-Tablo 1. Etanol ve metanol kullanımıyla elde edilen motor performanslarının benzinli OÇP'ye göre yüzdesel değişimleri

		Egzoz emisyonları	AA					
			20°		23°		26°	
			Etanol	Metanol	Etanol	Metanol	Etanol	Metanol
SO	8,0:1	OEB	1,75	7,25	-1,5	4	-4,5	0,1
		ÖYT	64,35	118,36	69,78	125,18	75,10	134,19
		EFV	0,20	1,44	-3	-1,64	-5,96	-5,42
		ÖET	0,20	-1,42	3,10	1,67	6,33	5,73
	8,5:1	OEB	6,25	11,25	2,75	8,75	0,5	5
		ÖYT	57,39	110,51	62,75	115,37	66,40	123,04
		EFV	4,63	5,22	1,19	2,86	-1,03	-0,69
		ÖET	-4,43	-4,96	-1,18	-2,78	1,04	0,69
	9,0:1	OEB	7,5	12,25	5	9,75	2,75	7,5
		ÖYT	55,56	108,63	59,26	113,39	62,75	117,85
		EFV	5,86	6,17	3,4	3,8	1,19	1,68
		ÖET	-5,54	-5,81	-3,3	-3,66	-1,17	-1,65
	9,5:1	OEB	8,5	13,75	5,25	10,5	-	2,5
		ÖYT	54,13	105,89	58,89	111,94	-	128,48
		EFV	6,85	7,59	3,65	4,51	-	-3,05
		ÖET	-6,41	-7,05	-3,52	-4,32	-	3,15

EK 3-Tablo 2. Etanol ve metanol yakıtlı çalışmaların OÇP’de benzin yakıtlı çalışmaya göre egzoz emisyonlarında görülen yüzdesel değişimleri

			AA					
			20°		23°		26°	
SO	8,0:1	HC	-26,02	-36,22	-22,96	-34,18	2,04	-6,12
		CO	-1,57	-11,02	10,24	-15,75	23,62	3,94
		CO ₂	-5,84	-3,65	-6,57	-5,84	-8,03	-7,30
		NO _x	-54,67	-43,62	-60,92	-56,58	-65,86	-64,41
	8,5:1	HC	-44,90	-47,96	-41,33	-44,90	2,04	-6,12
		CO	-37,01	-40,95	-14,96	-33,86	23,62	3,94
		CO ₂	-0,73	0,73	-3,65	-2,92	-8,03	-7,30
		NO _x	-42,43	-33,42	-46,91	-42,76	-65,86	-64,41
	9,0:1	HC	-35,71	-39,29	-32,65	-29,60	9,18	-5,10
		CO	-35,43	-40,95	-27,56	-36,22	-5,51	-10,24
		CO ₂	1,46	2,19	-1,46	0	-3,65	-2,19
		NO _x	-2,24	6,78	-20,13	-17,96	-37,76	-39,47
	9,5:1	HC	-19,39	-26,53	-16,33	-19,39	-	-1,02
		CO	-30,71	-37,80	-24,41	-27,56	-	-3,15
		CO ₂	-0,73	0,73	-2,92	-2,19	-	-5,11
		NO _x	-21,45	-27,63	-29,34	-35,26	-	-39,41

EK 4. Yanma karakteristikleri sonuçları ve karşılaştırmaları

EK 4-Tablo1. Dört farklı SO ve üç farklı AA'dan elde edilen maksimum SGB'lerin ÜÖN'ye göre olduğu KA değerleri

		Yakıt Türü	AA		
			20°	23°	26°
SO	8,0:1	Benzin	18	17	8
		Etanol	16	15	7
		Metanol	13	14	4
	8,5:1	Benzin	15	17	16
		Etanol	13	16	11
		Metanol	9	13	9
	9,0:1	Benzin	14	12	0
		Etanol	10	8	-1
		Metanol	9	6	-3
	9,5:1	Benzin	14	12	-
		Etanol	10	9	-
		Metanol	9	9	-3

EK 4-Tablo 2. Dört farklı SO ve üç farklı AA'dan elde edilen maksimum AÇI'ların ÜÖN'ye göre olduğu KA değerleri

		Yakıt Türü	AA		
			20°	23°	26°
SO	8,0:1	Benzin	11	13	-5
		Etanol	8	10	-5
		Metanol	3	6	-9
	8,5:1	Benzin	14	12	11
		Etanol	7	11	5
		Metanol	0	5	-2
	9,0:1	Benzin	9	7	-8
		Etanol	3	-1	-16
		Metanol	0	-5	-20
	9,5:1	Benzin	10	8	-
		Etanol	3	-4	-
		Metanol	0	-4	-20

EK 4-Tablo 3. Etanol ve metanol yakıtlı çalışmaların OÇP’de benzin yakıtlı çalışmaya göre SGB ve AÇI’da görülen yüzdesel değişim

			AA					
			20°		23°		26°	
			Değişkenler	<i>Etanol</i>	<i>Metanol</i>	<i>Etanol</i>	<i>Metanol</i>	<i>Etanol</i>
SO	8,0:1	SGB	-14,68	-5,31	-9,24	-0,67	13,23	23,96
		AÇI	-14,73	-7,70	-2,22	-0,17	-21,56	3,86
	8,5:1	SGB	11,79	26,64	10,37	15,51	15,83	35,58
		AÇI	-4,33	-4,69	14,04	1,19	2,75	3,63
	9,0:1	SGB	45,44	47,02	47,97	59,46	87,62	96,15
		AÇI	25,45	21,26	15,76	26,89	55,56	64
	9,5:1	SGB	48,28	51,33	51,57	54,66	-	94,16
		AÇI	22,28	18,13	-0,40	5,11	-	57,86

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa Kemal BALKİ
Doğum Yeri ve Tarihi : SUÇATI GÜRÜN/SİVAS 1981
Yabancı Dili : İngilizce
E-Posta : mkbalki@sinop.edu.tr

Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm/Program	Üniversite/Lise	Mezuniyet Yılı
Lise	Motor	Sivas Endüstri Meslek ve Teknik Lisesi	1998
Üniversite	Makine Eğitim Bölümü/Otomotiv Öğretmenliği A.B.D.	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi/Karabük Teknik Eğitim Fakültesi	2002
Y. Lisans	Makine Eğitimi A.B.D	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü	2005
Doktora	Makine Eğitimi A.B.D	Marmara Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü	2013

İş Deneyimi

Yıl	Kurum	Görevi
2006-2007	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sinop Meslek Yüksekokulu	Öğretim Görevlisi
2007-devam	Sinop Üniversitesi Meslek Yüksekokulu	Öğretim Görevlisi

Bilimsel Eserler:

1. Çelik, MB., Balki, MK. The effect of LPG usage on performance and emissions at various compression ratios in a small engine. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 2007;22(1):81-86.
2. Balki, MK., Sayın, C., Çanakcı, M. The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine. Fuel 2012, in press.
3. Balki, MK., Sayın C., Çanakcı, M. Farklı alkol yakıtların buji ateşlemeli bir motorun performans, emisyon ve yanma karakteristiklerine etkisinin deneysel incelenmesi. 12th International Combustion Symposium (12. Uluslararası Yanma Sempozyumu) ICS 2012, Kocaeli-TÜRKİYE, 24-26 May 2012;1:228-234.