

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ETANOL-BENZİN VE METANOL-BENZİN KARIŞIMLARININ
BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN YANMA
KARAKTERİSTİĞİ VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Muharrem EYİDOĞAN

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi

Danışman: Doç.Dr. Mustafa ÇANAKCI

KOCAELİ, 2009

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ETANOL-BENZİN VE METANOL-BENZİN KARIŞIMLARININ BUJİ
ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN YANMA KARAKTERİSTİĞİ VE
EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS
Muharrem EYİDOĞAN**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 04.12.2008

Tezin Savunulduğu Tarih: 02.01.2009

Tez Danışmanı

Üye

Üye

Doç.Dr. Mustafa ÇANAKCI

Prof.Dr. İbrahim KILIÇASLAN

Yrd.Doç.Dr. Cenk SAYIN

(.....)

(.....)

(.....)

KOCAELİ, 2009

ÖNSÖZ

Teknolojinin gelişimiyle otomotiv sektöründe önemli değişimler olmuş ve motorlu taşıtların sayısı her geçen gün artarak, hayatın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Motorlu taşıt sayısındaki artış petrol rezervlerinin hızla tükenmesine, egzoz emisyonlarının çevre ve insan sağlığını olumsuz etkilemesine neden olmaktadır. Bu nedenle, fosil kökenli yakıtların sebep olduğu olumsuzlukları azaltmak ve motorlu taşıtların ihtiyacı olan enerjiyi sağlamak için alternatif yakıtlar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Günümüzde kullanılan alternatif yakıtlardan biri de alkollerdir ve en çok ilgi görenleri ise etanol ve metanoldur. Etanol, şeker pancarı, mısır, buğday vb. biyokütlelerden, metanol ise doğalgaz, kömür, odun vb. maddelerden üretilmektedir. Etanol ve metanol, benzine belirli oranlarda katılarak buji ile ateşlemeli motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir. Bu alkollerin kullanımı ile daha düşük egzoz emisyonu açığa çıkmakta ve fosil kökenli yakıtlardan kaynaklanan çevre problemleri azaltılabilmektedir.

Bu tez çalışmasında farklı oranlarda etanol ve metanol içeren benzin karışımları kullanılarak buji ile ateşlemeli bir motorun yanma, performans, emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Tez çalışmalarım esnasında fikir ve görüşleri ile beni yönlendiren saygıdeğer hocam Doç. Dr. Mustafa ÇANAKCI'ya, Bölüm Başkanımız Prof. Dr. İbrahim KILIÇASLAN'a, saygın hocam Yrd. Doç. Dr. Cenk SAYIN'a, Doç. Dr. Durmuş KAYA'ya, çalışmalarına katkılarından dolayı Arş. Gör. Dr. A.Necati ÖZSEZEN'e, Öğr. Gör. İsmail SARI'ya, Arş. Gör. Ali TÜRKCAN'a, Arş. Gör. Ertan ALPTEKİN'e, Arş. Gör. Ali ŞANLI'ya ve Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü personeline çok teşekkür ederim. Ayrıca tüm hayatım boyunca beni destekleyen, günlere getiren aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ.....	vii
SİMGELER.....	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
3. BENZİN, ETANOL VE METANOLUN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ.....	18
3.1. Etanol Üretimi.....	18
3.1.1. Fermantasyon.....	19
3.1.2. Distilasyon.....	19
3.2. Metanol Üretimi.....	20
3.3. Etanol ve Metanolun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	21
3.3.1. Yakıt içerisindeki oksijen.....	21
3.3.2. Oktan sayısı.....	21
3.3.3. Buharlaşma gizli ısısı.....	22
3.3.4. Faz ayrışması.....	23
3.3.5. Tutuşma noktası.....	23
3.3.6. Kaynama noktası.....	24
3.3.7. Elektrik iletkenliği.....	25
3.3.8. Korozif etkisi.....	25
3.4. Etanol ve Metanolun İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkisi.....	25
4. DENEYSEL MATERYAL VE METOTLAR.....	27
4.1. Testlerde Kullanılan Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	27
4.2. Deney Materyalleri ve Deney Düzenine Hazırlanması.....	28
4.3. Deneysel Hazırlık ve Deneyler.....	31
4.4. Deney Verileri ile Hesaplanan Performans Değerleri.....	32
4.4.1. Motor moment ölçümü.....	32
4.4.2. Efektif güç hesabı.....	33
4.4.3. Ortalama efektif basınç hesabı.....	34
4.4.4. Motora giren hava miktarı hesabı.....	34
4.4.5. Özgül yakıt tüketimi hesabı.....	36

4.4.6. Hava-yakıt oranı hesabı	37
4.4.7. Volumetrik verim hesabı	37
4.4.8. Termik verim hesabı	38
4.4.9. Sıcaklık ölçümü	39
4.4.10. Silindir basıncının mutlak basınca dönüştürülmesi	40
4.5. Performans Verilerinin Analizi	40
4.5.1. Buji ile ateşlemeli motorlarda yanma	41
4.5.2. Isı dağılımı analizi ve filtreleme	43
4.5.3. Basınç-hacim diyagramlarının analizi	45
4.6. Egzoz Emisyon Oluşumu	47
4.6.1. Egzoz emisyon verilerinin analizi	48
4.6.2. Egzoz emisyon standartları	48
4.6.3. CO emisyonu oluşumu	49
4.6.4. NO _x emisyonu oluşumu	50
4.6.5. HC emisyonu oluşumu	51
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	53
5.1. 60 km/h Taşıt Hızındaki Test Sonuçlarının Analizi	53
5.1.1. Performans parametrelerinin incelenmesi	53
5.1.1.1. Özgül yakıt tüketimi	53
5.1.1.2. Termik verim	54
5.1.1.3. Egzoz gazı sıcaklığı	55
5.1.2. Yanma karakteristiklerinin incelenmesi	56
5.1.2.1. Silindir gaz basınçları	56
5.1.2.2. Isı dağılımları	59
5.1.3. Egzoz emisyon sonuçlarının incelenmesi	62
5.1.3.1. CO emisyonları	62
5.1.3.2. CO ₂ emisyonları	63
5.1.3.3. HC emisyonları	64
5.1.3.4. NO _x emisyonları	66
5.2. 80 km/h Taşıt Hızındaki Test Sonuçlarının Analizi	67
5.2.1. Performans parametrelerinin incelenmesi	67
5.2.1.1. Özgül yakıt tüketimi	67
5.2.1.2. Termik verim	68
5.2.1.3. Egzoz gazı sıcaklığı	69
5.2.2. Yanma karakteristiklerinin incelenmesi	70
5.2.2.1. Silindir gaz basınçları	70
5.2.2.2. Isı dağılımları	73
5.2.3. Egzoz emisyon sonuçlarının incelenmesi	76
5.2.3.1. CO emisyonları	76
5.2.3.2. CO ₂ emisyonları	77
5.2.3.3. HC emisyonları	78

5.2.3.4. NO _x emisyonları	79
5.3. 100 km/h Taşıt Hızındaki Test Sonuçlarının Analizi	80
5.3.1. Performans parametrelerinin incelenmesi	80
5.3.1.1. Özgül yakıt tüketimi	80
5.3.1.2. Termik verim	82
5.3.1.3. Egzoz gazı sıcaklığı	83
5.3.2. Yanma karakteristiklerinin incelenmesi	84
5.3.2.1. Silindir gaz basınçları	84
5.3.2.2. Isı dağılımları	86
5.3.3. Egzoz emisyon sonuçlarının incelenmesi	89
5.3.3.1. CO emisyonları	89
5.3.3.2. CO ₂ emisyonları	91
5.3.3.3. HC emisyonları	92
5.3.3.4. NO _x emisyonları	93
5.4. 60, 80 ve 100 km/h Taşıt Hızındaki Test Sonuçlarının Karşılaştırılması	94
5.4.1. Performans parametreleri	94
5.4.2. Yanma karakteristikleri	95
5.4.3. Egzoz emisyonları	95
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	97
KAYNAKLAR	102
EKLER	108
ÖZGEÇMİŞ	110

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1: Biyokütleden etanol üretimi şematik resmi	18
Şekil 3.2: Etanol üretimi ve taşıt yakıtı olarak kullanımındaki karbon döngüsü	19
Şekil 3.3: Doğalgazdan metanol üretim prosesinin şematik görünüşü.....	20
Şekil 3.4: Etanol, metanol ve benzinin tutuşma aralığı	24
Şekil 4.1: Deney materyalleri şematik resmi.....	29
Şekil 4.2: Deney tesisatı resmi	30
Şekil 4.3: Testlerde kullanılan basınç sensörü	31
Şekil 4.4: Dinamometre şematik resmi	33
Şekil 4.5: Orifis plakalı hava debi ölçeri şematik resmi.....	35
Şekil 4.6: Deney sisteminde kullanılan yakıt miktarı ölçüm düzeneği şematik resmi....	37
Şekil 4.7: Buji ile ateşlemeli bir motorda türbülansın etkisi ile alevin yayılışı.....	42
Şekil 4.8: Buji ile ateşlemeli bir motorda yanma fazları	43
Şekil 4.9 Buji ile ateşlemeli bir motorda logP-logV grafiği.....	46
Şekil 4.10: Test sonucu elde edilen örnek bir logP-logV grafiği	46
Şekil 4.11: Eşdeğerlik oranının CO, HC, ve NO _x , üzerine etkisi.....	47
Şekil 5.1: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki özgül yakıt tüketimi değişimi	54
Şekil 5.2: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki termik verim değişimi	55
Şekil 5.3: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklık değişimi	56
Şekil 5.4: 60 km/h taşıt hızı ve 5 kW taşıt çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi	57
Şekil 5.5: 60 km/h taşıt hızı ve 10 kW taşıt çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi	58
Şekil 5.6: 60 km/h taşıt hızı ve 15 kW taşıt çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi	58
Şekil 5.7: 60 km/h taşıt hızı ve 20 kW taşıt çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi	59
Şekil 5.8: 60 km/h taşıt hızı ve 5 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı değişimi	60
Şekil 5.9: 60 km/h taşıt hızı ve 10 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı değişimi	60
Şekil 5.10: 60 km/h taşıt hızı ve 15 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı değişimi	61
Şekil 5.11: 60 km/h taşıt hızı ve 20 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı değişimi	61
Şekil 5.12: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki karbon monoksit emisyonu	63
Şekil 5.13: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki oksijen miktarı değişimi...	63
Şekil 5.14: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki karbondioksit emisyonu ...	64

Şekil 5.15: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki HC emisyonu değişimi.....	65
Şekil 5.16: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki NO _x emisyonu değişimi ...	67
Şekil 5.17: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki özgül yakıt tüketimi değişimi	68
Şekil 5.18: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki termik verim değişimi.....	69
Şekil 5.19: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklık değişimi	70
Şekil 5.20: 80 km/h taşıt hızı ve 5 kW taşıt çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi	71
Şekil 5.21: 80 km/h taşıt hızı ve 10 kW çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi ..	72
Şekil 5.22: 80 km/h taşıt hızı ve 15 kW çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi ..	72
Şekil 5.23: 80 km/h taşıt hızı ve 20 kW çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi ..	73
Şekil 5.24: 80 km/h taşıt hızı ve 5 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı değişimi	74
Şekil 5.25: 80 km/h taşıt hızı ve 10 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı değişimi	74
Şekil 5.26: 80 km/h taşıt hızı ve 15 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı değişimi	75
Şekil 5.27: 80 km/h taşıt hızı ve 20 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı değişimi	75
Şekil 5.28: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki CO emisyonu değişimi.....	76
Şekil 5.29: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki oksijen miktarı değişimi...	77
Şekil 5.30: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki karbondioksit emisyonu ...	78
Şekil 5.31: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki HC emisyonu değişimi.....	79
Şekil 5.32: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki NO _x emisyonu değişimi ...	80
Şekil 5.33: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki özgül yakıt tüketimi değişimi	81
Şekil 5.34: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki termik verim değişimi	82
Şekil 5.35: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklık değişimi	83
Şekil 5.36: 100 km/h taşıt hızı ve 5 kW çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi ..	84
Şekil 5.37: 100 km/h taşıt hızı ve 10 kW çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi	85
Şekil 5.38: 100 km/h taşıt hızı ve 15 kW çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi	85
Şekil 5.39: 100 km/h taşıt hızı ve 20 kW çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi	86
Şekil 5.40: 100 km/h taşıt hızı ve 5 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı	87
Şekil 5.41: 100 km/h taşıt hızı ve 10 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı	87
Şekil 5.42: 100 km/h taşıt hızı ve 15 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı	88
Şekil 5.43: 100 km/h taşıt hızı ve 20 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı	88
Şekil 5.44: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki CO emisyonu değişimi...	90
Şekil 5.45: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki oksijen miktarı değişimi.	91
Şekil 5.46: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki CO ₂ değişimi.....	92
Şekil 5.47: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki HC emisyonu değişimi...	93
Şekil 5.48: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki NO _x emisyonu değişimi .	94

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1: Bazı emisyonların küresel ısınma etkileri.....	1
Tablo 1.2: Buji ve sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlarda kullanılan alternatif yakıtlar.....	2
Tablo 3.1: Kurşunsuz benzin, etanol ve metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri	22
Tablo 3.2: Metanolün bazı çevresel ortamlardaki yarılanma süresi.....	26
Tablo 4.1: Testlerde kullanılan yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri	27
Tablo 4.2: Testlerde kullanılan etanol-benzin ve metanol benzin karışımlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	28
Tablo 4.3: Deney motorunun teknik özellikleri	29
Tablo 4.4: Deneyde kullanılan basınç sensörünün teknik özellikleri.....	30
Tablo 4.5: Capelec Cap 3200 marka gaz analizörünün teknik özellikleri.....	31
Tablo 4.6: Binek otomobilleri için Avrupa emisyon standartları.....	48
Tablo 4.7: Hafif ticari taşıtlar için Avrupa emisyon standartları	49
Tablo 4.8: Motorlu taşıtlardaki başlıca hidrokarbon kaynakları	52
Tablo 5.1: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki volümetrik verim.....	54
Tablo 5.2: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklıkları.....	56
Tablo 5.3: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki hava-yakıt oranı	62
Tablo 5.4: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki volümetrik verim.....	68
Tablo 5.5: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklıkları.....	70
Tablo 5.6: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki hava-yakıt oranı	77
Tablo 5.7: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki volümetrik verim.....	82
Tablo 5.8: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklıkları.....	83
Tablo 5.9: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki hava-yakıt oranı	89

SİMGELER

b_e	: Özgül yakıt tüketimi
C	: Silindir basıncı ile sinyal çıkış voltajı arasındaki oranı belirleyen bir katsayı
C_d	: Reynold sayısına göre türetilen deşarj katsayısı
D_1	: Orifis dış çapı
D_2	: Orifis iç çapı
e	: Genleşme katsayısı
$E_{AÖN}$: Piston alt ölü noktada iken sinyal şartlandırıcı çıkışında ölçülen voltaj,
E_θ	: Herhangi bir krank açısında ölçülen voltaj
h	: Özgül nem
H_u	: Yakıtın alt ısı değeri
\dot{m}_h	: Kütlesel hava debisi
\dot{m}_y	: Yakıt tüketimi
N	: Motor devri
$NO_{düz}$: Düzeltilmiş NO konsantrasyonu
$NO_{yaş}$: Ölçülen NO konsantrasyonu
$P_{AÖN}$: Piston alt ölü noktada iken ölçülen basınç değeri,
P_{atm}	: Atmosfer basıncı
P_b	: Efektif güç
P_{me}	: Ortalama efektif basınç
P_v	: Su buharının kısmi basıncı
P_w	: Yaş termometre sıcaklığındaki su buharının doyma basıncı
P_1	: Giriş basıncı
P_2	: Çıkış basıncı
Q_g	: Motora yakıtla sürülen ısı
\dot{Q}	: Isı dağılım oranı ve silindir duvarından geçen ısı
T	: Motor torku
T_w	: Yaş termometre sıcaklığı
T_{atm}	: Ortam sıcaklığı
V_H	: Yer değiştirme hacmi
V_h	: Silindire alınan gerçek havanın hacmi
V_s	: Silindir hacmi
\dot{V}	: Hacimsel debi
W_e	: Bir çevrimdeki iş
\dot{W}	: Sistem sınırının yer değiştirmesiyle sistemin yaptığı iş

ΔP	: Fark basıncı
ρ_{hava}	: Havanın yoğunluğu
ω	: Açısal hız
η_V	: Volumetrik verim
η_t	: Termik verim
C	: Karbon
CNG	: Sıkıştırılmış doğalgaz
COP	: Taraflar konferansı
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
ÇDK	: Çevrimsel değişim katsayısı
E5	: %5 etanol + %95 benzin
E10	: %10 etanol + %90 benzin
H	: Hidrojen
HC	: Hidrokarbon
HYO	: Hava-yakıt oranı
KA	: Krank açısı
KIP	: Küresel ısınma potansiyeli
LNG	: Sıvılaştırılmış doğalgaz
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MON	: Motor oktan sayısı
MTBE	: Methyl tertiary butyl ether
M5	: %5 metanol + %95 benzin
M10	: %10 metanol + %90 benzin
NO _x	: Azot oksitler
O ₂	: Oksijen
ÖYT	: Özgül yakıt tüketimi
PAH	: Poliaromatik hidrokarbon
RG	: Reformulated gasoline
RON	: Araştırma oktan sayısı
SO ₂	: Kükürt dioksit
THC	: Toplam hidrokarbon
UNFCCC	: The United Nations Framework Convention on Climate Change
ÜÖN	: Üst ölü nokta
YB	: Yanma başlangıcı
YS	: Yanma sonu
Y/H	: Yakıt- hava oranı

ETANOL-BENZİN VE METANOL-BENZİN KARIŞIMLARININ BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN YANMA KARAKTERİSTİĞİ VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Muharrem EYİDOĞAN

Anahtar Kelimeler: Etanol, Metanol, Buji ile ateşlemeli motor, Yanma karakteristiği, Performans, Emisyonlar

ÖZET: Bu çalışmada kurşunsuz benzin, etanol-benzin (E5, E10) ve metanol-benzin (M5, M10) karışımlarının motor performansı, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler dört zamanlı, dört silindirli, buji ile ateşlemeli motora sahip bir taşıtta, şasi dinamometresi kullanılarak 60, 80, 100 km/h taşıt hızı ve 5, 10, 15, 20 kW sabit güç şartlarında yapılmıştır. E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarından elde edilen sonuçlar, benzin ile yapılan test verileri referans alınarak karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda, etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının özgül yakıt tüketimleri benzine göre artış göstermiştir. Benzinin silindir gaz basıncı ve ısı dağılımı, alkol karışımlarına göre daha erken yükselmeye başlamış ve hemen hemen tüm test şartlarında en düşük ısı dağılımı tepe noktası ise benzinde elde edilmiştir. Ayrıca alkol karışımları kullanıldığında genel olarak CO, HC, CO₂ ve NO_x emisyonlarının azaldığı gözlenmiştir.

**INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF ETHANOL-GASOLINE AND
METHANOL-GASOLINE BLENDS ON THE COMBUSTION
CHARACTERISTIC AND EXHAUST EMISSIONS OF A SPARK IGNITION
ENGINE**

Muharrem EYİDOĞAN

Keywords: Ethanol, Methanol, Spark ignition engine, Combustion characteristics, Performance, Emissions

ABSTRACT: In this study, the effects of unleaded gasoline, ethanol-gasoline (E5, E10) and methanol-gasoline (M5, M10) blends on combustion characteristic and exhaust emissions were investigated experimentally. In the experiments, a vehicle which has a four-cylinder and four-stroke spark ignition engine was used. The experiments were performed at the 60, 80, 100 km/h vehicle speeds and 5, 10, 15, 20 kW constant vehicle power by using a chassis dynamometer. The results obtained from E5, E10, M5 and M10 were compared with the reference unleaded gasoline fuel. In the result of experiments, it was seen that the specific fuel consumptions of ethanol-gasoline and methanol-gasoline blends were increased. The increase in the cylinder gas pressure and heat release rate of gasoline was started earlier than alcohol-gasoline blends. Almost in the all test conditions, the lowest peak heat release rate was obtained in the gasoline fuel use. Moreover, when alcohol blends were used in the engine, it was generally seen that CO, HC, CO₂ and NO_x emissions decreased.

1. GİRİŞ

Dünyada enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil kökenli yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil kökenli yakıtların çevre ve insan sağlığı açısından yarattığı olumsuzluklara giderek artmaktadır. Ayrıca bu yakıtlar yakıldığında sera gazı olarak nitelendirilen gazların açığa çıkmasına neden olmaktadır. Küresel ısınmaya neden olan başlıca sera gazları; CO₂, N₂O ve metan'dır. Bazı emisyonların küresel ısınma potansiyeli, konsantrasyonu ve küresel ısınma etkileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1.1: Bazı emisyonların küresel ısınma etkileri [1]

Bileşik	Küresel ısınma potansiyeli (KIP)	Konsantrasyon (K)	(KIP)× K	Küresel ısınma etkisi %
CO ₂	1	375	375	74
CH ₄	23	1,75	40,3	7,9
N ₂ O	296	0,315	93,2	18

Küresel ısınmanın önlenmesi için hazırlanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (The United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC) 21 Mart 1994'de kabul edilerek yürürlüğe girmiştir. Küresel ısınmanın önlenmesi için sera gazlarının sınırlandırılmasını öngören bu sözleşme herhangi bir indirim hedefi belirlememiştir. UNFCCC'nin yürürlüğe girmesinin ardından her yıl toplanmaya başlayan " taraflar konferansının" (COP) üçüncüsü 11 Aralık 1997'de Japonya'nın Kyoto kentinde yapılmıştır. Bu toplantıda çerçeve sözleşmesine ek olarak Kyoto Protokolü kabul edilmiştir. Kyoto Protokolü, taraf olan sanayileşmiş ülkelere, 2008-2012 yılları arasında 1990 seviyesine göre en az %5 sera gazı indirim hedefine ulaşmayı şart koşmuştur. Avrupa Birliği ise %8'lik sera gazı indirim hedefini kabul etmiştir [2]. Türkiye'de ise sera gazı indiriminin aksine 1990-2004 yılları arasında sera gazları 170 milyon tondan %110 artışla 357 milyon tona çıkmıştır. Bu artışla birlikte, Türkiye dünyanın en fazla sera gazı üreten 13. ülkesi olmuştur.

Sera gazına neden olan emisyon kaynaklarından biri de içten yanmalı motorlardır. İçten yanmalı motorların çoğunda ham petrolden elde edilen sıvı yakıtlar kullanılmaktadır. 1970 yılına kadar üretilen motorlar fosil kökenli yakıtlarla çalışacak şekilde geliştirilmiştir. Özellikle 1973 petrol krizi ve 1991 körfez savaşından sonra dünya petrol fiyatları aşırı derecede yükselmiştir [3]. Petrol fiyatları ve taşıt sayısının artmasıyla birlikte yakıt temininde karşılaşılan güçlükler de giderek artmıştır.

Günümüzdeki yakıt tüketim eğilimi göz önüne alındığında doğalgazın 123, ham petrolün 67 ve kömürün ise 123 yıllık rezervleri olduğu tahmin edilmektedir [4, 5]. Fosil yakıt kaynaklarının tükenmeye başlamasıyla açığa çıkan enerji krizi, alternatif enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Hidrojen, metanol, etanol, LPG, çeşitli bitkisel yağlar vb. alternatif yakıt türleri taşıtlarda kullanılmış ve bazıları halen kullanılmaktadır. Bu kaynakların kullanılması durumunda bazı sorunlarla karşılaşmış ve bu sorunlar aşılmaya çalışılmıştır. Buji ve sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kullanılan bazı alternatif yakıtlar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1.2: Buji ve sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kullanılan alternatif yakıtlar

Buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılan alternatif yakıtlar	Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kullanılan alternatif yakıtlar
Metanol	Yeniden formüle edilmiş dizel yakıtı
Etanol	Biyodizel
Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG)	Sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG)*
Yeniden formüle edilmiş benzin (RG)	Sıkıştırılmış doğalgaz (CNG)*
Hidrojen	Bitkisel yağlar

*Buji ile ateşlemeli motorlarda da kullanılabilir.

Alternatif yakıtlardan biri olan metanol ve etanolun buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılması 19.YY’e kadar dayanmaktadır. 1970 yılındaki petrol krizinden sonra alternatif yakıtlar üzerinde yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Başlangıçta alkoller içerisinde en çok ilgiyi doğalgazdan ucuz ve kolay şekilde üretilebilen metanol görmüştür. Ancak uygulamada metanolün yakıt sisteminde bazı ekipmanlarda korozif etki yaptığı ortaya çıkmıştır. Etanol, üretimi metanole göre daha maliyetli olmasına rağmen biyokütleden üretildiği ve metanole göre ekipmanlar üzerindeki korozif etkisi daha az olduğu için birçok ülkede benzine katılarak kullanılmaktadır.

Amerika'daki birçok otomobil üreticisi benzine %10 etanol eklenmesinin motorda ve yakıt sisteminde herhangi bir olumsuz etki yapmadığını açıklamıştır [6, 7].

Alternatif yakıtların motorlu taşıtlarda kullanılma sebebi; petrol rezervlerinin yakın gelecekte tükenerek olması ile birlikte, fosil kökenli yakıtların açığa çıkardığı kirletici emisyonlardır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirletici emisyonların azaltılması için 2008 yılına kadar Avrupa otomobil firmaları, 140 gr/km'den daha az CO₂ emisyonu açığa çıkaran taşıt üretimine zorlanmaktadır. Bu yaklaşım 1990 yılı ile kıyaslandığında %25 azalmayı öngörmektedir [8]. Geçmiş yıllarda motor üreticileri için motorun gücünün artırılması ve motorun düzenli çalışması yeterli görülürken son 30 yıl içerisinde motor dizaynında yapılan çalışmalarda, egzoz emisyonlarına getirilen düzenlemeler ve petrol rezervlerinin yakın gelecekte bitecek olması da dikkate alınmıştır.

Buji ile ateşlemeli motorların gelişimi, temelde yakıt ekonomisi sağlayarak CO₂ emisyonlarını azaltmayı amaçlamaktadır. İçten yanmalı motorlarda, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını en az düzeye indirme çabaları; buji ile ateşlemeli motorlarda değişken zamanlı supap teknolojisi, elektronik enjeksiyonlu ve gaz kelebeksiz motor kullanımına geçişi sağlamıştır. Ayrıca motor üreticileri emisyon standartlarını sağlayabilmek için üç yollu katalitik konvertör kullanmaya başlamıştır [9].

Buji ile ateşlemeli motorların ilk kullanılmaya başlanmasından itibaren yakıt-hava karışımını oluşturma karbüratör tarafından yapılmıştır. Karbüratörlü sistemlerde emme manifoldunda basınç düşüşü meydana gelmekte, bu ise volümetrik verimi azaltmaktadır. Karbüratörlü sistemlerde yakıt silindirlere eşit dağıtılamamakta, bir silindir zengin karışımla çalışırken diğeri fakir karışımla çalışabilmektedir. Karbüratörün neden olduğu bu sorunu ortadan kaldırmak için elektronik enjeksiyon sistemine geçilmiştir. Elektronik enjeksiyon sistemleri; tek noktadan manifolda yakıt püskürtme, çok noktadan emme subabına yakıt püskürtme ve direkt enjeksiyon ile yakıt püskürtme olarak üç ana grupta toplanmaktadır. Tek noktadan enjeksiyonlu sistemde yakıt sürekli olarak emme manifolduna püskürtülmektedir. Bu yöntemde de karbüratörlü sistemde olduğu gibi her bir silindire gönderilen yakıt miktarları arasında farklılıklar bulunabilmektedir. Çok noktadan enjeksiyonlu sistemde ise her

bir silindir için bir adet enjektör bulunmakta ve enjektör yakıtı emme manifoldunun arkasına emme zamanında püskürtmektedir. Her silindir için bir adet enjektör bulunduğundan silindire püskürtülen yakıt miktarı eşit olarak dağıtılmaktadır.

Direkt enjeksiyonlu benzinli motorlarda yakıt doğrudan enjektörlerle silindire püskürtülmekte, motor yüküne göre homojen ve katmanlı karışım olmak üzere iki farklı karışım elde edilmektedir. Bu motorlar tam yük altında çalışırken emme zamanında yakıt püskürtülmekte ve emme zamanı sonunda homojen karışım elde edilmektedir. Fakat motor kısmi yükte ve düşük devirde çalışırken yakıt dizel motorlarda olduğu gibi sıkıştırma zamanının sonuna doğru püskürtülmektedir [10].

Yapılan bu çalışmada etanol-benzin ve metanol-benzin karışımları Honda Civic marka bir otomobilde kullanılarak, karışımların taşıt performansı, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Elde edilen her bir parametre (Özgül yakıt tüketimi, silindir basıncı, ısı dağılım grafiği, termik verim, egzoz gazı sıcaklığı, O₂, CO, CO₂, NO_x ve HC emisyonları) grafiklerle gösterilip yorumlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Alkollerin düşük oktanlı benzinin içerisinde oktan sayısı artırıcı olarak kullanılması 1920'li yıllara dayanmaktadır. 1970 yılındaki petrol krizine kadar alkol fiyatlarının yüksek olduğu gerekçesiyle içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanımı fazla yaygınlaşmamıştır. Ancak 1970 yılındaki petrol krizinin ardından alkollerin alternatif yakıt olarak benzinli ve dizel motorlarda kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Alkoller içerisinde en büyük ilgiyi ise metanol ve etanol görmüştür. Benzinde oktan sayısı artırıcı olarak kullanılan metil tertiarı bütül eter (MTBE) çevreye ve insan sağlığına zarar verdiği gerekçesiyle birçok petrol şirketi tarafından 2006 yılından itibaren MTBE'nin kullanılmayacağı, bunun yerine etanol kullanacağı belirtilmiştir. Etanol ve metanol benzinli motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan, dizel motorda ise küçük değişiklikler yapılarak kullanılmaktadır. Ayrıca bu yakıtlar petrole olan bağımlılığı ve egzoz emisyonlarını azalttığı için tercih edilmektedir. Bu bölümde metanol ve etanolun buji ile ateşlemeli motorlarda ve dizel motorlarda kullanımı incelenecektir.

Buji ile ateşlemeli (benzinli) motorlarda kullanımı; etanol veya metanol benzinle belirli oranlarda karıştırılarak motorda herhangi bir değişiklik yapılmaksızın veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılmaktadır. Ancak bu yakıtlar benzine karıştırılmadan kullanılacaksa motorlarda bazı önemli değişiklikler yapılması gerekmektedir. Ayrıca bu yakıtlar, yakıt sistemindeki bazı malzemeler üzerinde korozyon etkisi yaptığından yakıt sisteminin korozyona dayanıklı malzemelerden yapılması veya korozyon direnç gösteren malzemelerle kaplanması gerekmektedir.

Yüksel ve Yüksel [11], etanol-benzin karışımının karbüratörlü buji ateşlemeli bir motorda kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Etanol ve benzinin faz ayrışmasını engellemek için yeni bir karbüratör dizayn etmişler ve dizayn edilen bu karbüratörün motor devrinin artırılmasıyla birlikte yakıt içerisindeki alkol oranını da artırdığını belirtmişlerdir. Motor ilk çalıştırıldığında sadece benzinle çalıştırılmış, motor devri arttıkça yakıt

içerisindeki etanol oranı artmaya başlamıştır. Yakıt içerisinde etanol oranı arttıkça etanolün ısıl değeri (26,7Mj/Kg) benzinin ısıl değerine (42,5 Mj/kg) göre daha düşük olduğundan dolayı özgül yakıt tüketiminin (ÖYT) arttığını, motor torku ve gücünün azaldığını, termal verimde ise önemli bir değişiklik olmadığını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, etanol içerisinde oksijen bulunduğu için yakıt içerisindeki etanol oranı arttıkça yaklaşık olarak %80 CO ve %50 HC emisyonlarında azalma meydana geldiğini, tam yanma reaksiyonları arttığı için %20 CO₂ emisyonunda artış olduğunu belirtmişlerdir.

Topgül ve Yücesu [12], kurşunsuz benzin ve hacimsel olarak %60 etanol içeren etanol-kurşunsuz benzin karışımı (E60) kullanarak 8:1, 9:1, 10:1 sıkıştırma oranı ve farklı ateşleme zamanlarında motor momenti değişimini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler 2000 ve 3500 d/d sabit motor hızlarında ve tam yükte gerçekleştirilmiştir. Kurşunsuz benzin ve E60 yakıtları kullanımında maksimum motor momentini veren ateşleme zamanları arasında önemli bir fark olmadığını gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar 8:1 ve 9:1 sıkıştırma oranlarında ve rötarlü ateşleme zamanlarında E60 yakıtıyla daha yüksek motor momenti elde edildiğini, 10:1 sıkıştırma oranında ise; maksimum motor momentini veren ateşleme zamanından daha yüksek ateşleme avanslarında ve E60 yakıtının kullanımında motor momentinde daha fazla artış olduğunu ifade etmişlerdir. 2000 d/d motor devrinde maksimum motor momentinin 22° krank açısında (KA) ateşleme yapıldığında gerçekleştiğini, ateşleme zamanının avansa alınmasıyla 24° KA' dan itibaren kurşunsuz benzinde vuruñu gözlendiğini, bununla birlikte E60 yakıtıyla yapılan deneylerde ateşleme zamanı 36° KA' ya kadar artırılmasına rağmen vuruñu olmadığını belirtmişlerdir.

Yücesu ve ark. [13], %10, %20, %40 ve %60 etanol-benzin karışımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmışlardır. Deneyler 6 farklı sıkıştırma oranı (8:1, 9:1, 10:1, 11:1, 12:1, 13:1) kullanılarak yapılmıştır. Araştırmacılar, kurşunsuz benzin kullanıldığında sıkıştırma oranının 11:1'e kadar artırılmasıyla birlikte motor torkunda da artış olduğunu, 8:1 sıkıştırma oranı ile 11:1 sıkıştırma oranı karşılaştırıldığında, 11:1 sıkıştırma oranında yaklaşık olarak %8 tork artışı olduğunu ifade etmişlerdir. Kurşunsuz benzin kullanımında 11:1 sıkıştırma

oranı üzerindeki sıkıştırma oranlarında önemli bir değişiklik olmadığını gözlemişlerdir. E40 ve E60 etanol-benzin karışımlarında ise maksimum tork artışını 13:1 sıkıştırma oranında %14 olarak bulmuşlardır. Kurşunsuz benzin kullanımıyla minimum ÖYT 11:1 sıkıştırma oranında gerçekleşmiştir. E40 yakıtında minimum ÖYT'ni ise 2000 d/d'da 13:1 sıkıştırma oranında %15 olarak gözlemişlerdir. Sıkıştırma oranının artmasıyla birlikte, egzoz gazı sıcaklığında düşüş olduğunu fakat 10:1 sıkıştırma oranından itibaren sıkıştırma oranı arttıkça düşük oktan sayılı kurşunsuz benzin kullanımıyla detanasyon gerçekleştiği için egzoz gazı sıcaklığının arttığını ifade etmişlerdir. CO emisyonunda maksimum düşüş 2000 d/d'da E40 ve E60 yakıtı kullanımıyla %11, HC emisyonunda maksimum düşüş 5000d/d'da E40 yakıtında %9,9 ve E60 yakıtında %16,45 olarak gözlemlenmiştir.

Abdul ve Al-Baghdadi [14], dört zamanlı, tek silindirli, değişken sıkıştırma oranlı (7:1, 8:1, 9:1) buji ile ateşlemeli bir motorda benzinle birlikte hidrojen ve etanol kullanılmasının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Karışım içerisindeki hidrojen oranı arttıkça maksimum yanma sonu basınç ve sıcaklığı arttığından dolayı NO_x emisyonunun arttığını, karışım içerisindeki etanol oranı arttıkça (etanolün buharlaşma gizli ısı yüksek olduğundan dolayı) maksimum basınç ve sıcaklığın düştüğünü, bu nedenle NO_x emisyonunun azaldığını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, etanol ve hidrojen oranı arttıkça karışım içindeki karbon (C) atomu azaldığından ve yanma verimi iyileştiğinden dolayı, CO emisyonunun azaldığını, %8 (kütlesel) hidrojen ve %30 (hacimsel) etanol kullanıldığında yanma verimi arttığı için termal verimin de arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, karışımdaki hidrojen oranı arttıkça ÖYT'de azalma olduğunu, etanol kullanıldığında ise bir miktar artış olduğu ifade edilmiştir. Benzine %8 hidrojen, %30 etanol eklendiğinde ve motor 9:1 sıkıştırma oranında çalıştırıldığında %48,5 CO emisyonunda, %31,1 NO_x emisyonunda ve %58,5 ÖYT'de azalma olduğunu, ayrıca % 4,72 motor gücünde ve %10,1 termal verimde artış olduğunu gözlemişlerdir.

Abdel-Rahman ve Osman [15], değişik oranlardaki etanol-benzin karışımlarının farklı sıkıştırma oranlarında motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmışlardır. Motoru otto ve dizel çevrimlerine göre çalışabilecek şekilde tasarlamışlar ve motor sıkıştırma oranını piston tepesindeki bir mekanizma ile

değiştirmişlerdir. Yakıt karışımını E10, E20, E30 ve E40 etanol olacak şekilde hazırlamışlar, hazırlanan bu karışımları kapalı bir kapta 72 saat beklettikten sonra motorda kullanmışlar ve karışımda faz ayrışması olmadığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, etanolun su ile temas etmemesi için önlem alınması gerektiğini vurgulamışlardır. E10 yakıtı kullanıldığında maksimum silindir gaz basıncının benzine göre daha yüksek olduğunu, diğer karışımlarda ise benzinin maksimum silindir gaz basıncının etanolden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bunun nedenini ise, etanolun buharlaşma gizli ısısının daha yüksek olmasına ve ısıl değerinin daha düşük olmasına bağlamışlardır. Sıkıştırma oranı arttırıldığında, E10 dışındaki karışımlarda termal verimin arttığı, E10 yakıtının kullanılması durumunda 8:1 sıkıştırma oranının üzerindeki sıkıştırma oranlarında termal verimin azaldığı belirtilmiştir. Bunun nedeni ise, E10 yakıtının oktan sayısının diğer karışımlardan daha düşük olmasına, 8:1 sıkıştırma oranının üzerindeki sıkıştırma oranlarında vuruşta meydana geldiğinden dolayı termal verimin düşmesine bağlanmıştır.

El-Emam ve Desoky [16], benzin, alkol (metanol, etanol), hidrojen ve amonyak'ın buji ile ateşlemeli bir motorda kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Motor yakıtı olarak alkollerin seçilmesinin sebebini yüksek oktan sayısına sahip olmasına ve motorda küçük değişiklikler yapılarak kullanılmasına, hidrojenin seçilmesinin sebebini tutuşma aralığının yüksek olmasına ve içerisinde karbon bulundurmamasına, amonyak kullanımının sebebini de içerisinde karbon bulundurmadığından dolayı HC ve CO emisyonlarını azaltmasına bağlamışlardır. Ayrıca amonyak'ın 7,5 atm basınçta ve 25°C sıcaklıkta sıvı fazda depolanabileceğini belirtmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada dört silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı ve 6,5:1 sıkıştırma oranına sahip bir motor kullanmışlardır. Maksimum silindir basıncının, sıcaklığının ve motor termik veriminin yakıt-hava oranına ve yakıt türüne bağlı olduğunu, ortalama efektif basıncın küçükten büyüğe doğru amonyak, metanol, etanol, benzin ve hidrojen şeklinde sıralandığını, termal veriminse küçükten büyüğe amonyak, hidrojen, benzin, etanol ve metanol şeklinde sıralandığını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar kinetik NO konsantrasyonunun 0,9 yakıt-hava oranında maksimum olduğunu, en yüksek kinetik NO konsantrasyonunun hidrojen yakıtında, en düşük kinetik NO konsantrasyonunun ise amonyakta gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Kinetik CO konsantrasyonunun yakıt-

hava oranı arttığında artış gösterdiğini, en yüksek CO konsantrasyonun benzinde, en düşük CO konsantrasyonun metanol kullanımında gerçekleştiğini ifade etmişlerdir.

Ceviz ve Yüksel [17], etanol-kurşunsuz benzin karışımının, buji ile ateşlemeli bir motorda çevrimsel değişimlere ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Testlerde dört zamanlı, dört silindirli, 1,801 dm³ hacme sahip buji ile ateşlemeli bir motor kullanmışlardır. Araştırmacılar çevrimsel değişimleri belirleyebilmek için 50 çevrimi göz önüne almışlar, ortalama efektif basıncı bulabilmek için KISTLER 6117BFD17 tip piezzo-elektrik basınç transduseri kullanmışlar ve motoru sabit hızda (2000 d/d) hidrolik dinamometre ile yüklemişlerdir. Bu şartlarda en iyi çevrimsel değişim katsayısını (ÇDK) ve egzoz emisyonlarını %10 etanol ve %90 kurşunsuz benzin karışımında elde etmişlerdir. ÇDK'yı 2000 d/d'da kurşunsuz benzin için 3,077 olarak bulurlarken aynı şartlarda E10 karışımı için 2,352 bulmuşlardır. Araştırmacılar minimum ÇDK değerini E10 yakıt karışımında elde etmişlerdir. E10 karışımı kullanılması durumunda HC emisyonunda %20,2 ve CO emisyonunun da %30,1 azalma sağlamışlardır.

Bayraktar [18], benzin-etanol karışımının buji ile ateşlemeli bir motorda, motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Araştırmacı teorik çalışmada matematiksel (quasi dimensional) modeli, benzin etanol karışımı kullanabilecek şekilde ve termodinamiğin birinci kanunu baz alarak geliştirmiştir. Deneysel çalışmada ise hacimsel olarak %1,5; %3; %4,5; %6; %7,5; %9; %10,5 ve %12 etanolü benzine karıştırarak kullanmıştır. Deneysel çalışmada tek silindirli, dört zamanlı, 7,75:1 ile 8,25:1 sıkıştırma oranına sahip bir motor kullanıldığını, motor çıkışına elektrikli bir dinamometre bağlandığını, motorun 1500 d/d' da tam yükte ve 10° ateşleme avansında çalıştırıldığını ifade etmiştir. Teorik model ve deneysel çalışma sonuçları karşılaştırıldığında birbirlerine yakın veriler (≈%6 fark) elde ettiğini, bu nedenle etanol benzin karışımının buji ile ateşlemeli bir motorda kullanımı için birçok parametrenin bu modelle kolayca hesaplanabileceğini belirtmiştir. Benzine etanol eklenmesi durumunda karışım içerisindeki oksijen miktarı artacağı için yanmanın iyileşeceğini, silindir basınç, sıcaklığının artacağını ve yanma süresinin azalacağını ifade etmiştir. Benzin-etanol karışımının CO emisyonunu azalttığını, ancak yanma sonu sıcaklığı arttığından dolayı NO

konsantrasyonunun arttığını belirtmiştir. Genel olarak teorik modelde %16,5 etanol karışımı en iyi sonucu verirken, deneysel çalışmada %7,5 etanol karışımının en iyi sonucu verdiğini gözlemlemiştir. Bunun nedenini ise, etanol içerisinde bulunan suyun faz ayrımına sebep olduğu, bu ayrışma sonucu motorda güç düşüşü olduğu için teorik modelle deneysel çalışma arasında fark oluşabileceğini vurgulamıştır.

Earl [19], etanol ve metanolun içten yanmalı motor yakıtı olarak kullanılabilmesi için bu yakıtın bazı önemli özelliklerini incelemiştir. Metanol ve etanolun hidrokarbon yapısının benzinin hidrokarbon yapısına benzemediğini fakat bu alkollerin kimyasal olarak birçok özelliğinin suyun özelliklerine benzediğini ve suyla faz oluşturmadan karışabildiğini ifade etmiştir. Metanolun hava-yakıt oranı 6:1, etanolun hava-yakıt oranı 9:1 ve benzinin hava-yakıt oranı 14,7:1 olduğundan dolayı benzine çalışan bir motorun hiçbir değişiklik yapılmaksızın bu alkollerle çalışamayacağını belirtmiştir. Metanol ve etanolun, benzin ve dizel yakıtına göre ısıl değerinin daha düşük olduğunu, bu alkollerin buharlaşma gizli ısılarının benzine göre daha yüksek olduğunu ve bu yüzden alkollerin hava-yakıt karışımı oluşturabilmesi için ısı transfer yüzeylerinin daha büyük olması gerektiğini tespit etmiştir. Araştırmacı metanolun 112, etanolun 110 ve benzinin 90-100 araştırma oktan sayısı sahip olduğunu fakat bu alkollerin benzine karışım oluşturduğunda 132 araştırma oktan sayısına sahip bir yakıt gibi davrandığını gözlemlemiştir. Alkollerin düşük setan sayısına sahip olduklarını, dizel yakıtı olarak kullanılmaya uygun olmadıklarını belirtmiştir. Ayrıca metanol ve etanolun oda sıcaklığında, içerisinde su bulunmayan benzine çözünebileceği ifade edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda karışımında su bulunması halinde (oda sıcaklığının altında) alkollerle benzin arasında faz ayrışması olacağını, ancak etanolun içersine butanol gibi katkı maddesi katılarak faz ayrışmasının önlenebileceğini söylemektedir. Metanol ve etanolun motorda kullanıldığında yanma sonu sıcaklığını düşürdüğünden dolayı, NO_x emisyonunu, içerisinde oksijen bulundurmasından dolayı CO ve HC emisyonlarını azalttığını ifade etmiştir.

Rajan ve Saniee [20], yakıt içerisinde bulunan suyun, etanol ve benzinin faz ayrışmasına, motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Ayrıca karışımında faz ayrışması olmaksızın etanolun içerisinde bulunabilecek maksimum su miktarını da belirlemişlerdir. Deneylerde dört silindri, dört zamanlı,

8,44:1 sıkıştırma oranına sahip buji ile ateşlemeli bir motor kullanmışlardır. Araştırmacılar, karışım içerisindeki etanol oranının, etanol içerisindeki su miktarının bir fonksiyonu olduğunu, etanol içerisindeki su miktarı azaldıkça benzin-etanol karışımı içindeki etanol miktarının faz ayırımı olmaksızın artırılabilineceğini belirtmişlerdir. Ayrıca karışıma izopropanol gibi çözücü maddeler eklenerek karışımın su bulundurma toleransının artırılabilceğini de ifade etmişlerdir. Etanol içerisindeki su oranı %6 olduğunda motorun sorunsuzca çalıştığını fakat bu oranın üzerine çıkıldığında motorun çalışmasında sorunlarla karşılaşıldığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar etanol içerisinde oksijen bulundurduğu için HC emisyonunun azaldığını, karışıma bir miktar su eklendiğinde HC emisyonunun bir miktar arttığını fakat yine de benzin kullanımına göre HC emisyonunun daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir.

Shenghua ve ark. [21], üç silindirli, buji ile ateşlemeli bir motorda metanol-benzin karışımı (%10, %15, %20, %25 ve %30 metanol) kullanarak, karışımın motor performansı, egzoz emisyonları ve soğuk çalışma özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Motorda herhangi bir değişiklik yapılmaksızın yakıt karışımı içerisindeki metanol oranı artırıldığında motor çıkış gücünde ve torkunda bir düşüşün olduğunu fakat tam yükte ateşleme avansı artırılması ile motor çıkış gücünde ve torkunda iyileşme olabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca metanol kullanımıyla birlikte termal verimin tüm çalışma şartlarında iyileştiğini de belirtmişlerdir. Araştırmacılar aynı motor devrinde (3000 d/d) ve ½ kelebek açıklığında M20 karışımı ortalama efektif basıncının (0,91 MPa) benzinin ortalama efektif basıncından (0,88 MPa) daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Metanol-benzin karışımının HC ve CO emisyonlarını bir miktar düşürdüğünü fakat katalizör dönüşüm verimini hissedilir derecede etkilemediğini ifade etmişlerdir. Ayrıca karışım içerisindeki metanol oranı arttıkça formaldehit emisyonunun arttığını gözlemlemişlerdir.

He ve ark. [22], elektronik enjeksiyonlu, buji ateşlemeli bir motorda etanol-benzin karışımının (E0, E10 ve E30) emisyonlara ve katalizör dönüşüm verimine etkisini incelemişlerdir. Benzine etanol eklenmesi durumunda karışımın oktan sayısının arttığını, ilk kaynama noktası dışında distilasyon sıcaklığının düştüğünü

belirtmişlerdir. Katalizör dönüşüm verimini belirlemek için emisyon ölçümlerini hem katalizörden önce hem de katalizörden sonra yapmışlar, katalizörden önce yapılan ölçümlerde etanol-benzin karışımı kullanıldığında yanmamış HC emisyonunda ciddi bir azalma olduğunu gözlemlemişler, CO ve NO_x emisyonlarında ise ciddi bir azalma olmadığını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar katalizör sonrası ölçülen egzoz emisyonlarının motor çıkış emisyonu, katalizör dönüşüm verimi, karışımdaki etanol oranı ve hava-yakıt oranıyla yakından ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Karışım içerisindeki etanol miktarı arttıkça motor çıkışındaki (katalizör öncesi) yanmamış etanol ve asetaldehit emisyonlarının arttığını, Pt/Rh bazlı katalizörün asetaldehit emisyonunu verimli bir şekilde dönüştürdüğünü fakat yanmamış etanolü dönüştürmede verimin bir miktar azaldığını ifade etmişlerdir.

Alasfour [23], metanol-benzin ve butanol-benzin karışımlarının ÖYT'ye, egzoz gazı sıcaklığına, termal ve volümetrik verime etkisini incelemiştir. Testlerde tek silindirli, 8,86:1 sıkıştırma oranına sahip ve yakıt-hava oranı ayarlanabilen buji ile ateşlemeli bir motor kullanmıştır. Ayrıca benzine alkollerin homojen şekilde karışabilmesi için yakıt deposuna bir karıştırıcı yerleştirmiştir. Maksimum motor torku hem benzine için hemde alkol-benzin karışımları için zengin yakıt-hava oranlarında ($\Phi \geq 1$) elde edilmiş ve 0,8 yakıt-hava (Φ) oranında benzine kullanıldığında motor torku B30 karışımına göre %11 ve M30 karışımına göre %16 azalmıştır. Araştırmacı, alkol karışımlarının fakir çalışabilme limitinin (hava-yakıt oranının minimum değeri) benzine göre daha düşük olduğunu gözlemlemiş, bunun sebebini ise alkollerin içerisinde oksijen bulunmasına bağlamıştır. Maksimum motor torkunun elde edildiği ateşleme avansının hem benzine hemde alkol karışımları için hemen hemen aynı olduğunu belirtmiştir. Φ oranı 1'i geçtiğinde her üç yakıt için de ÖYT'nin arttığını, en düşük ÖYT'nin $\Phi = 0,85$ değerinde elde edildiğini ve yakıt cinsine göre küçükten büyüğe sırasıyla benzine, butanol-benzin ve metanol-benzin şeklinde olduğunu ifade etmiştir. Araştırmacı, egzoz gaz sıcaklığının hava-yakıt oranının bir fonksiyonu olduğunu, büyükten küçüğe doğru sırasıyla benzine, butanol-benzin ve metanol-benzin şeklinde sıralandığını belirtmiştir. Alkol kullanıldığında egzoz gaz sıcaklığının düşmesinin sebebi ise, alkollerin buharlaşma gizli ısılarının yüksek olmasına ve ısı değerlerinin düşük olmasına bağlanmıştır. Maksimum termal verimin fakir karışımlarda elde edildiğini, karışım zenginleştikçe termal verimin düştüğünü ve büyükten küçüğe

doğru sırasıyla butanol-benzin, metanol-benzin ve benzin şeklinde olduğunu belirtmiştir. Volumetrik veriminse, $\Phi = 1,1$ değerinde minimum olduğunu, zengin ve fakir karışımlarda sıcaklık dūřmesinden dolayı arttığını ve bđyđkten kđcđđe doğru sırasıyla metanol-benzin, butanol-benzin ve benzin şeklinde olduğunu ifade etmiştir.

Metanol ve etanol yđksek buharlaşma gizli ısısına sahip olduklarından dolayı motor volümetrik verimini artırmaktadırlar. Oktan sayıları benzine gđre daha yđksek olduğundan dolayı motorun sıkıştırma oranının artırılmasına izin vererek termal verimin artmasını sağlamaktadırlar. Bu iki alkolđn ısıl değerı dđřđk olduğu için motor çıkış torku ve gđcđnđn dđřmesine, ÖYT'nin ise artmasına neden olmaktadır. Alkoller içersinde oksijen bulundurduğundan dolayı daha iyi yanma gerçekleşmekte, CO ve HC emisyonu azalmaktadır. Etanol ve metanolun buharlaşma gizli ısısı yđksek olduğundan dolayı yanma sonucu basınç ve sıcaklığı dđřmekte, bu da NO_x emisyonunun dđřmesini sağlamaktadır. Metanol ve etanol %100 saf halde bulunmamakta ve içerisinde bir miktar su bulundurmaktadır. Bazı araştırmacılar bu alkoller benzine karıştırıldığında içerisindeki su nedeniyle faz ayrışması gerçekleştiği, karışıma izopropanol ve butanol gibi katkı maddesi katılarak bu sorunun özđlebileceđini belirtmişlerdir.

Dizel motorlarda alkol kullanımı; Dizel yakıtlarında aranılan en önemli özelliklerinden biri setan sayısı ve yakıtın yağlayıcılık özelliğidir. Alkollerin setan sayısı ve yağlayıcılık özelliği dizel yakıtına gđre oldukça dđřđktđr. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için ya yakıt sisteminde kđklđ değişiklikler yapmak ya da alkollerin içerisine setan sayısını ve yağlayıcılığı artıran katkı maddesi eklemek gerekmektedir. Ancak her ne kadar bu değişiklikler yapılırsa da alkoller dizel yakıtına katılmaksızın tek başına kullanılamamaktadır [24].

Can ve ark. [25], 2 No'lu dizel yakıtına %10 ve %15 etanol eklenmesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini karşılaştırmışlardır. Deneylerde dđrt zamanlı, dđrt silindirli, n yanma odalı, 21,5:1 sıkıştırma oranına ve değişik enjektör basıncına (150, 200 ve 250 bar) sahip bir dizel motoru kullanılmıştır. Araştırmacılar etanolla 2 No'lu dizel yakıtı karışımında faz ayrışması olmaması için %1 izopropanol eklediklerini belirtmişlerdir. 150 bar enjektör basıncında E10 ve E15 karışımı

kullanıldığında motor torku ve gücünde sırasıyla %12,5 ve %20 azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Motor torku ve gücündeki azalmanın nedenini etanolun ısıl değerinin ve setan sayısının dizel yakıtına göre daha düşük olmasına bağlamışlardır. Setan sayısının düşük olması neticesinde tutuşma gecikmesinin arttığını ve yanma veriminin düştüğünü belirtmişlerdir. Dizel yakıtına etanol eklenmesi durumunda CO ve SO₂ emisyonlarının azaldığını fakat NO_x emisyonunun arttığını gözlemlemişlerdir. NO_x emisyonunun artmasının nedenini etanolun setan sayısının düşük olmasına bağlamışlardır. Aynı şekilde enjektör basıncı arttığında CO ve SO₂ emisyonlarının azaldığını, NO_x emisyonunun ise arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca araştırmacılar etanolun yağlayıcılık özelliğinin iyi olmamasından dolayı distribütör tipi yakıt pompasında aşınma meydana geldiğini de ifade etmişlerdir.

Li ve ark. [26], farklı etanol-dizel karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Testlerde kurşunsuz benzin, E10, E15 ve E20 yakıt karışımlarını, tek silindirli, su soğutmalı, 17,5/1 sıkıştırma oranına sahip direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda kullanmışlardır. Etanolun dizel yakıtı içerisinde çözünürlüğünü dizel yakıtının hidrokarbon yapısına ve çevre sıcaklığına bağlamışlardır. Sıcaklık arttıkça faz ayrışması olmaksızın karışımın su bulundurma toleransının arttığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar etanolun setan sayısı düşük (5-8) olduğu için karışımın setan sayısını da düşürdüğünü, oksijenli yakıtlarda yağlamanın bir problem olduğunu ve etanolun dizel yakıtından %33 daha az enerji içeriğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Yakıtın yüzey gerilmesinin, püskürtme karakteristiklerini ve atomizasyonunu etkilediğini, karışım içerisindeki etanol miktarı arttıkça yüzey geriliminin azaldığını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar dizel yakıtına etanol eklendiğinde ÖYT'nin arttığını, bu artışın nedenini etanolun ısıl değerinin dizel yakıtına göre daha düşük olmasına ve özellikle düşük yüklerde tutuşma gecikmesinden dolayı tam yanmanın gerçekleşmemesine bağlamışlar ve dizel yakıtına etanol eklendiğinde termal verimin arttığını gözlemlemişlerdir. Duman miktarının E15, E20 karışımları ve 2200 d/d düşük motor (%25 ve %50) yüklerinde arttığını fakat yüksek motor yüklerinde (%75, 90 ve tam yük) azaldığını belirtmiştir. 1760 d/d'da duman miktarının % 25 yükten % 90 yüke kadar dizel yakıtından daha düşük olduğunu, tam yükte tüm motor devirleri için dizel yakıtından daha yüksek

olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, etanol-dizel karışımının CO, NO_x emisyonlarını azalttığını fakat HC emisyonunu artırdığını ifade etmişlerdir.

Satge de Caro ve ark. [27], etanol-dizel karışımına A₁ olarak nitelendirdikleri 1-octylamino-3-octyloxy-2-propanol ve A₂ olarak nitelendirdikleri N-(2-nitrato-3-octyloxy propyl) katkı maddelerini ekleyerek karışımın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, motor performansına ve egzoz emisyonuna etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar deneyleri E10 ve E20 yakıt karışımlarına %2 katkı maddesi (A₁ ve A₂) ekleyerek direkt ve indirekt enjeksiyonlu motorlarda yapmışlardır. Deneylerde kullanılan direkt enjeksiyonlu motorun; hava soğutmalı, tek silindirli ve 18:1 sıkıştırma oranına sahip olduğunu, indirekt enjeksiyonlu motorunsa; su soğutmalı, dört silindirli, 21,5:1 sıkıştırma oranına sahip bir motor olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar dizel yakıtına etanol ve katkı maddesi eklediklerinde karışımın ısı değerinin bir miktar azaldığını, etanolün viskozitesi düşük olduğu için karışımın viskozitesinin düştüğünü fakat katkı maddesi eklenerek viskozitenin bir miktar artırıldığını ifade etmişlerdir. Aynı şekilde dizel yakıtına etanol eklendiğinde setan sayısının düştüğünü fakat katkı maddesi eklendiğinde karışımın setan sayısının 45'e kadar yükseldiğini belirtmişlerdir. Etanol-dizel karışımına katkı maddesi eklendiğinde motorun soğukta çalışma özelliğinin dizel yakıtına göre daha iyi olduğu, sıcaklık düşse dahi karışımın faz ayrışması olmadığını gözlemlemişlerdir. Direkt enjeksiyonlu dizel motorunda yapılan çalışmada karışımın NO_x emisyonunun dizel yakıtıyla hemen hemen aynı olduğunu, etanol-dizel karışımına katkı maddesi eklendiğinde HC emisyonunun azaldığını fakat dizel yakıtından daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar ön yanma odalı dizel motorunda yapılan çalışmada karışımına A₁ ve A₂ katkı maddesi eklendiğinde motorun daha sarsıntısız çalıştığını ifade etmişlerdir. Dizel yakıtına etanol ve katkı maddesi eklendiğinde motor gücünde yaklaşık olarak %11 azalma olduğunu, dizel yakıtına etanol eklenmesi ile meydana gelen tutuşma gecikmesinin katkı maddesiyle bir miktar azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca etanol-dizel karışımının duman miktarını yaklaşık olarak %45 oranında azalttığını, karışımına katkı maddesi eklendiğinde bu azalmanın %35 civarında olduğunu ifade etmişlerdir.

Bilgin ve ark. [28], farklı sıkıştırma oranlarına (19:1, 21:1 ve 23:1) sahip etanol dizel karışımıyla çalışan bir dizel motorunun performansını deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar yaptığı bu çalışmada en iyi performans ve verimi veren optimum sıkıştırma oranı ve etanol miktarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Yapılan deneysel çalışmada maksimum termal verimi %4 etanol için 21:1 sıkıştırma oranında %31,25 olarak, 23:1 sıkıştırma oranında ise %31,5 olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar termal verimdeki maksimum artışı 21:1 sıkıştırma ve %4 etanol oranında, 1200 d/d için % 3,5 ve 1500 d/d içinse % 4,5 olarak bulmuşlardır. Aynı şekilde ÖYT'deki maksimum düşüşü de 21:1 sıkıştırma ve %4 etanol oranında, 1200 d/d için % 2,5 ve 1500 d/d içinse %3 olarak belirlemişlerdir.

Abu-Qudais ve ark. [29], tek silindirli bir dizel motorda etanolun doğrudan emme manifolduna püskürtülmesi ve etanolün dizel yakıtıyla karıştırılarak silindir içine püskürtülmesinin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Etanolün manifolda püskürtülmesi ve diğer metodun kullanılması durumunda termal verim artışının %100 dizel yakıtı kullanımına göre sırasıyla %7,5 ve %5,4 olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar iki metodu karşılaştırdıklarında silindir içerisine püskürtülen metotta karışımın viskozitesinin ve setan sayısının düşeceğini, diğer metotta ise dizel yakıtıyla etanol birbirine karışmadığı için böyle bir durumun söz konusu olmadığını ifade etmişlerdir. Her iki metot kullanılması durumunda da CO emisyonlarının dizel yakıtına göre daha yüksek olduğunu, bunun nedeninin ise tutuşma gecikmesinden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Emme manifolduna doğrudan etanol püskürtülen yöntemde etanol-hava karışımının daha homojen olduğunu, bu nedenle de CO emisyonun diğer metoda göre daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar her iki metotta da HC emisyonlarının sadece %100 dizel yakıtı kullanılması durumuna göre daha fazla çıktığını, duman miktarındaki azalmanın ise büyükten küçüğe doğru sırasıyla manifolda etanol püskürtülen metot, silindir içerisine dizel yakıtıyla etanol püskürtülen metot ve %100 dizel yakıtı kullanılan metot olduğunu ifade etmişlerdir.

Genel olarak; alkoller (metanol ve etanol) ısıl değeri dizel yakıtından daha düşük olduğu için motor tork ve gücünde azalmaya, ÖYT'de ise artışa neden olmaktadır. CO emisyonu hava-yakıt oranına bağlı olarak değişiklik göstermesine rağmen

genelde dizel yakıtından daha düşük çıkmaktadır. Alkoller içerisinde kükürt bulundurmadığı için SO₂ emisyonunu azaltmaktadır. Ayrıca alkol kullanımı partikül ve is miktarını da azaltmaktadır. Bazı araştırmacılara göre NO_x emisyonunda ise bir miktar artışın olduğu belirtilmiştir. Etanol ve metanol gibi oksijenli yakıtların yağlayıcılık özelliği dizel yakıtlara göre daha azdır. Bu yakıtların yağlayıcılık özelliğinin az olması yakıt pompalarında ve enjektörlerde aşınmaya neden olabilmektedir. Ayrıca bu iki alkolün viskozitesi dizel yakıtına göre daha düşüktür, viskozitenin düşük olması ise enjektörlerde sızıntıya neden olarak yakıtın atomizasyonunu kötüleştirir.

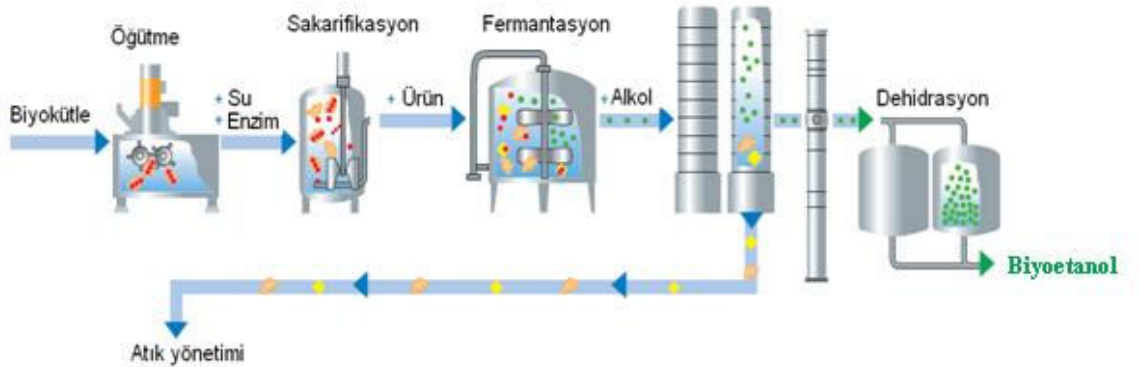
Günümüze kadar ki yapılan çalışmalar incelendiğinde gerek etanol-benzin gerekse metanol-benzin karışımları elektronik enjeksiyonlu buji ile ateşlemeli bir motorda silindir basınç verileri alınarak motor testlerinin yapılmadığı görülmüştür. Silindirlerde gerçekleşen yanmanın incelenebilmesi ve yanma sonucu oluşan emisyonların analiz edilebilmesi için silindir basınç verilerinin alınarak ısı dağılım grafiğinin çizdirilmesi gerekmektedir. Yapılan bu tez çalışması ile yukarıda bahsedilen literatürdeki eksikliğin giderilebileceği öngörülmektedir.

3. BENZİN, ETANOL VE METANOLUN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Dünya petrol rezervlerinin hızla tükeniyor olması, alternatif enerji kaynaklarına ilgiyi artırmıştır. Alternatif enerji kaynaklarından olan etanol ve metanolun kullanımı 1920'li yıllara kadar uzanmaktadır. Etanol; kimyasal formülü C_2H_5OH olarak bilinen, renksiz, su ile her oranda karışabilen, şeker kamışı, şeker pancarı, mısır, buğday vb gibi biyokütlelerden fermantasyon sonucu üretilen bir alkol grubu bileşiktir. Metanol ise CH_3OH kimyasal formülüyle ifade edilen, renksiz, su ile her oranda karışabilen, doğalgaz, kömür, odun vb gibi maddelerden üretilen bir bileşiktir.

3.1. Etanol Üretimi

Etanol birden çok farklı besin kaynaklarından, farklı yöntemlerle üretilmektedir. Etanol üretiminin temel adımları; rafine ederek nişasta haline getirmek, sıvılaştırmak ve sakarifikasyon, fermantasyon, damıtma, dehidrasyon ve opsiyonel olarak denaturasyondur. Biyokütleden etanol üretim süreci şematik resmi Şekil 3.1'de verilmiştir.



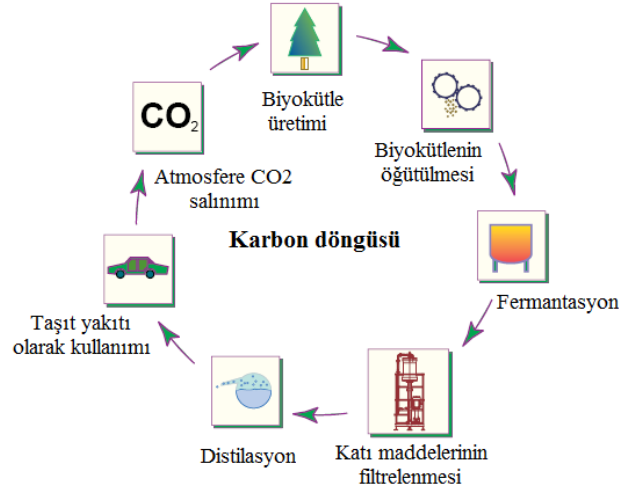
Şekil 3.1: Biyokütleden etanol üretimi şematik resmi

3.1.1. Fermantasyon

Etanol; glikozun mikrobiyal fermantasyonu ile üretilmektedir. Fermantasyon işlemi sırasında glikoz, etanol ve karbondioksite dönüşmektedir.



Etanolun üretilmesi ve buji ile ateşlemeli motorda kullanılması sonucu karbondioksit açığa çıkmaktadır. Bilindiği üzere karbondioksit sera gazına etki eden emisyonların başında gelmektedir. Fakat bitki büyürken fotosentez yoluyla karbondioksiti kullandığı için sera gazı artışına neden olmamaktadır [30]. Etanolun üretimi ve yakıt olarak kullanımındaki karbon döngüsü Şekil 3.2’de verilmiştir



Şekil 3.2: Etanol üretimi ve taşıt yakıtı olarak kullanımındaki karbon döngüsü

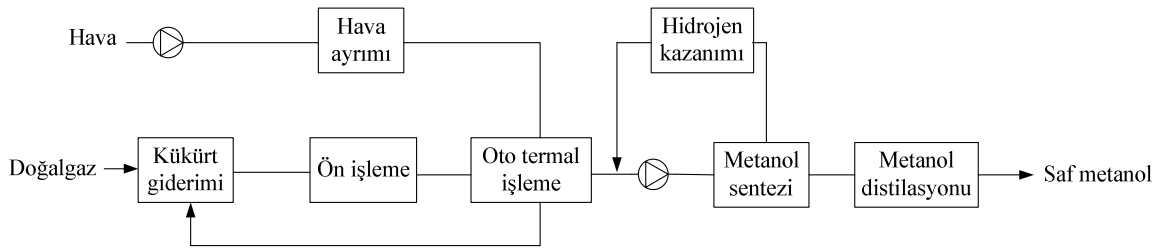
3.1.2. Distilasyon

Fermantasyon yöntemi ile suda çözülmüş etanol elde edilmektedir. Etanolun yakıt olarak kullanılabilmesi için içerisinde bulunan suyun uzaklaştırılması gerekmektedir. Etanol içerisindeki suyun büyük bir kısmı damıtma ile uzaklaştırılabilir. Fakat damıtma işlemi etanolü hacimsel olarak ancak %96’lık bir saflığa getirebilmektedir. %96 etanol, %4 su karışımı 78,2 °C’de kaynayan, fakat damıtma yöntemi ile daha fazla saflaştırılmayan bir azeotropdur. Azeotrop, damıtma işleminden sonra ancak kalsiyum oksit ya da tuz kullanılarak, kurutma yöntemi ile daha fazla saflaştırılabilir.

Kalsiyum oksit, etanolun içerisindeki su ile karıştırıldığı zaman kalsiyum hidroksit oluşturarak suyun, etanolden uzaklaştırılmasını sağlamaktadır [31].

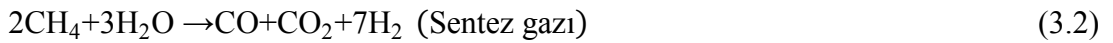
3.2. Metanol Üretimi

Doğalgazdan metanol üretimi diğer kaynaklara göre ucuz olması nedeniyle en çok tercih edilen yöntemlerden biridir [32]. Metanol üretiminde, yüksek basınç ve düşük basınç olmak üzere iki proses kullanılabilir. Yüksek basınç prosesinde reaksiyon, 300 atm basınçta, düşük basınç prosesinde ise 50-100 atm basınçta gerçekleşmektedir. Her iki proseste de katalizör olarak bakır, nikel vb gibi elementler kullanılmaktadır. Metanol üretimi için hammadde olarak doğalgaz kullanılan bir prosesin şematik resmi Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3: Doğalgazdan metanol üretim prosesinin şematik görünüşü

Hammadde olarak doğalgazın kullanıldığı bir metanol üretim tesisinde metanol üretimi iki adımda gerçekleşmektedir. Bu adımlardan ilki metanın su buharı ve katalizörle reaksiyona girdiği ve sentez gazı olarak nitelendirilen CO, CO₂ ve H₂ açığa çıkaran reaksiyon, denklem 3.2’de verilmiştir [33].



İkinci adımsa reaksiyon sonucu elde edilen CO, CO₂ ve H₂’nin kullanıldığı ve reaksiyon sonucunda metanol, H₂ ve H₂O’nun elde edildiği reaksiyon, denklem 3.3’de verilmiştir [33].



Eğer dışarıdan herhangi bir karbondioksit kaynağı bulunabilirse, metanol yanı sıra elde edilen H₂ ile reaksiyona sokularak ilave metanol üretilebilmektedir [33].



3.3. Etanol ve Metanolun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Etanol, metanol ve benzini motor performansı ve egzoz emisyonları bakımından karşılaştırmak, elde edilen verileri yorumlayabilmek, yakıtı güvenli şekilde taşımak ve depolamak için bu yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemek gerekmektedir. Bu bölümde etanol, metanol ve benzinin bazı önemli özellikleri birbirleri ile karşılaştırılacaktır.

3.3.1. Yakıt içerisindeki oksijen

Etanol ve metanol içeriğinde sırasıyla kütlece %34,7 ve %49,9 oranında oksijen bulundurmaktadır. Etanol ve metanol içeriğinde oksijen bulundurmaları nedeniyle benzinden daha düşük ısıl değere sahiptirler. Benzinle aynı motor çıkış gücünü elde edebilmek için kütle bazda yaklaşık olarak 1,5 kat etanole ve 2 kat metanole ihtiyaç duyulmaktadır [34]. Bu alkollerin yapılarındaki oksijen, motorun daha düşük hava-yakıt oranıyla çalışmasına imkan vermekte ve daha iyi yanma gerçekleştiği için CO ve yanmamış HC emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. Stokiyometrik şartlarda gerekli olan kütle bazda hava miktarı etanol ve metanol için sırasıyla 9 ve 6,4'dür. Kurşunsuz benzin, etanol ve metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

3.3.2. Oktan sayısı

Etanol ve metanol benzine göre daha yüksek oktan sayısına sahiptir. Etanol, metanol ve benzinin araştırma oktan sayıları (RON) sırasıyla 108,6; 108,7 ve 95'dir. Motor oktan sayıları ise sırasıyla 89,7; 88,6 ve 85'dir [34-36] Bu alkollerin daha yüksek oktan sayısına sahip olması vuruntu olmaksızın motorun sıkıştırma oranının artırılmasına izin vermektedir [24]. Motor sıkıştırma oranının artması ise motor torkunu, motor çıkış gücünü ve termik verimi artırmaktadır. Birçok ülkede etanol oktan sayısı artırıcı olarak benzine belirli oranlarda katılarak kullanılmaktadır.

Tablo 3.1: Kurşunsuz benzin, etanol ve metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	Birim	*EN 228		Kurşunsuz Benzin**	Etanol	Metanol
		Limitler				
		Min.	Max.			
Yoğunluk (15 °C)	kg/m ³	720	775	769,8	790	796
Araştırma oktan sayısı	-	95	-	-	108,6 ^a	108,7 ^a
Motor oktan sayısı	-	85	-	-	89,7	88,6
Kurşun	mg/l	-	5	-		
Benzen	% hacim	-	2,5	-		
Kükürt	mg/kg	-	500	70,2		
Mevcut gum	mg/100ml	-	5	-		
Bakır şerit korozyon (3 saat 50°C'de)	-	-	1	1	1	1
Oksidasyon kararlılığı	Dakika	360	-			
Damıtma						
İlk kaynama noktası				34,8	78	64
70 °C'de buharlaşma (%)						
Yaz	% hacim	15,0	48,0			
Kış	% hacim	17,0	50,0	31,5		
100 °C'de buharlaşma						
Yaz	% hacim	40,0	71,0			
Kış	% hacim	43,0	71,0	49,4		
150 °C'de buharlaşma						
°C	% hacim	75	-	81,7		
Son kaynama noktası		-	210	204,9		
Damıtma kalıntısı	% hacim	-	2,0	1,5		
Buhar basıncı						
Yaz	kPa	45,0	60,0		(38° C'de)	(38° C'de)
Kış	kPa	60,0	90,0	66,8	15,9	32
Buhar kilitlenme indeksi						
Yaz	-	-	1000			
Kış	-	-	1250			
Hidrokarbon içeriği						
Olefinler	% hacim	-	18,0			
Aromatikler	% hacim	-	35,0			
Oksijen içeriği	% kütle	-	2,7		34,7	49,9

*EN 228 standardı maksimum ve minimum limitler kurşunsuz benzin için verilmiştir.

** Petrol ofisi 95 oktan V/Max Kurşunsuz (kış) benzin analiz değerleri kullanılmıştır.

Etanol ve metanol için tüm değerler (a dışında) referans 39'dan alınmıştır.

a: Referans 35'den alınmıştır.

3.3.3. Buharlaşma gizli ısı

Hem etanol hem de metanolün buharlaşma gizli ısı benzine göre daha yüksektir. Buharlaşma gizli ısısının yüksek olmasının bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Etanol ve metanolün gizli ısılarının yüksek olması doğal emişli buji ile ateşlemeli bir motorda volümetrik verimi artırmaktadır. Buharlaşan alkol benzine göre daha fazla

ısı çekeceğinden yanma sonu basınç ve sıcaklığı azalmakta, sıcaklığın bir fonksiyonu olan NO_x emisyonu da düşebilmektedir. Soğuk havalarda, etanol ve metanolun benzine karıştırılmadan doğrudan kullanılması durumunda motoru ilk harekete geçirmek zorlaşmaktadır. Özellikle yüksek oranlarda metanol-benzin karışımları veya saf metanol kullanıldığında manifold'da buharlaşmak için yeterli ısıyı bulamayan metanol damlacıkları, silindir içerisine sıvı fazda girmekte, bu ise HC emisyonlarını artırmaktadır [37]. Ayrıca buharlaşma gizli ısısının etkisiyle sıkıştırma sıcaklığı azalacağı için karışımın yanma hızı da düşmektedir. Yanma hızının düşmesi, silindir cidarıyla olan ısı transferini artırmakta ve motor çıkış gücünü azaltmaktadır [38].

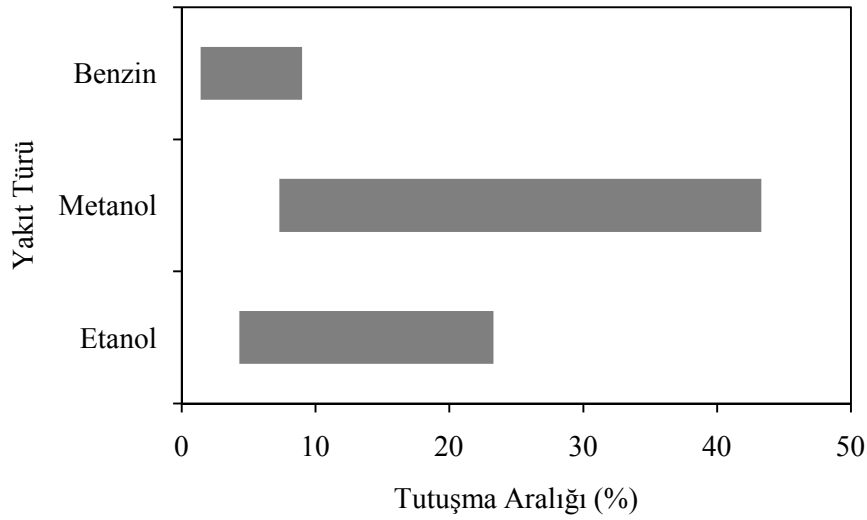
3.3.4. Faz ayrışması

Etanol ve metanol su ile her oranda homojen olarak karışabilmektedir. Fakat benzin ve dizel yakıtı suyla karıştığında faz ayrışması gerçekleşmektedir. Etanol ve metanolün taşınması ve depolanması sırasında (havadaki nemin etkisi gibi) içerisine su karışmaktadır. Etanol ve metanolün, benzin ve dizel yakıtına katılması durumunda karışım içerisindeki alkol oranına, karışımında bulunan su miktarına ve karışımın sıcaklığına bağlı olarak karışımında faz ayrışması gözlenmektedir. Faz ayrışması, yoğunluk farkından dolayı benzinin üst kısımda, alkolünse alt kısımda kalmasına neden olmaktadır [39]. Faz ayrışması oluşmuş yakıt karışımıyla çalışan bir motorda, deponun alt kısmında kalan alkol motora ulaştığında, alkolün düşük ısıl değere sahip olması nedeniyle motor çıkış gücünün azalmasına, motorun sarsıntılı çalışmasına, özellikle soğuk havalarda ilk hareket zorluğuna neden olmaktadır [40]. Faz ayrışmasını önlemek için etanol-benzin ve metanol-benzin karışımı içine izobutanol, n-butanol, izopropanol, tersiyel, siklohegzanol ve okaliptus yağı eklenebilmektedir [41,42].

3.3.5. Tutuşma noktası

Saf etanol ve metanol tek tip hidrokarbon, benzin ise farklı birçok tip hidrokarbon yapısına sahiptir. Hem etanol hem de metanolün yapısında tek tip hidrokarbon bulundurması, bu alkollerin tutuşma noktalarının benzinin tutuşma noktasına göre

daha yüksek olmasını sağlamaktadır. Benzin, metanol ve etanolun tutuşma noktaları yaklaşık olarak sırasıyla -43 , 11 ve 13 °C'dir. Bu alkollerin tutuşma noktasının yüksek olması benzine göre daha güvenli şekilde taşınması ve depolanmasının bir göstergesidir. Etanolun tutuşma limiti benzine göre daha yüksek ve tutuşma aralığı daha geniş olmasına rağmen metanole göre tutuşma limiti daha düşük ve tutuşma aralığı daha dardır. Etanol, metanol ve benzinin hacimce tutuşma aralığı Şekil 3.4'de verilmiştir. Tutuşma limitinin daha yüksek olması, bu alkollerin tutuşması için daha fazla buharın elde edilmesini ve havayla karışmasını gerekli kılmaktadır [39].



Şekil 3.4: Etanol, metanol ve benzinin tutuşma aralığı

Etanol ve metanolun, benzine göre daha geniş tutuşma aralığına sahip olması bazı çevre şartlarında dezavantaj olarak karşımıza çıkabilmektedir. Örneğin 20 °C'de doymuş havada metanol %13 oranında patlayıcı bölgededir. Benzin aynı çevre şartlarında hacimce buhar oranı yüksek olacağından dolayı bu oran tutuşma limiti dışındadır ve metanol kadar fazla tehlike arz etmemektedir.

3.3.6. Kaynama noktası

Benzin içerisinde birden çok hidrokarbon yapısı ihtiva ettiği için kaynama sıcaklığı sabit değildir. Saf etanol ve metanol ise tek tip hidrokarbon yapısına sahip olduğu için tek bir kaynama noktaları vardır [40]. Benzin, etanol, metanol, etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının kaynama noktaları ve distilasyon eğrileri Bölüm 4'de ayrıntılı olarak incelenecektir.

3.3.7. Elektrik iletkenliği

Etanolun elektrik iletkenliği, benzin ve dizel yakıtına göre daha yüksek, metanole göre daha düşüktür. Elektrik iletkenliğinin yüksek olması, etanolun ve metanolun taşınması, pompalanması vb gibi işlemlerde meydana gelen statik elektriğin benzin ve dizel yakıtına göre daha hızlı Şekilde dağıtılmasını sağlamaktadır. Bu zellikleri nedeniyle her iki alkolde benzine göre daha güvenli bir Şekilde taşınabilmektedir. Fakat metanol ve etanolun yüksek elektrik iletkenliği yakıt sistemlerinde galvanik ve elektrolitik korozyon etkisine neden olmaktadır [39].

3.3.8. Koroziif etkisi

Hem metanol hem de etanol silindir yüzeylerinde, supaplarda ve yakıt sisteminde kullanılan bazı alaşımlar ve polimerler üzerinde koroziif etki yapmaktadır. Özellikle düşük yanma odası sıcaklıklarında metanol; silindir cidarlarında, piston yüzeylerinde, üst kompresyon sekmanlarında aşınmalara neden olmaktadır [43]. Bu nedenle, yakıtla temas eden kısımlarda korozyona dirençli malzeme kullanılması gerekmektedir. Ayrıca bu alkoller, motorlarda kullanılan yağların özelliklerini bozabileceği için motor yağlarının yeniden formüle edilmesi gerekebilmektedir [24,44-46].

3.4. Etanol ve Metanolun İnsan Sağlığı ve evre zerine Etkisi

Metanol, renksiz, kokusuz, tatsız ve içerisindeki formaldehit ve formik asit nedeniyle oldukça toksik bir bileşiktir. Vücudun metanolle teması durumunda, deriden çok çabuk emilmekte, belirli konsantrasyona ulaştığında beyin hücrelerinin ölümüne, ani körlüğe, karaciğer yetmezliğine ve lme neden olabilmektedir. Etanol ise metanole göre daha düşük toksik etkiye sahipken, daha yüksek narkotik etkiye sahip bir bileşiktir.

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 [47]. Metanolun çevrede tahmini yarılanma süresi Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Metanolun bazı çevresel ortamlardaki yarılanma süresi

Çevresel Ortam	Metanol Yarılanma Ömrü (Gün)
Toprak	1-7
Hava	3-30
Yüzey suyu	1-7
Yer altı suyu	1-7

Metanol, başta benzen, 1.3 butadiyen ve poliaromatik hidrokarbon (PAH) olmak üzere bazı toksik emisyonlarda önemli ölçüde azalma sağlamaktadır. Ancak metanolun en büyük emisyon dezavantajı toksik ve kansorejen madde olan formaldehit emisyonunu artırmasıdır. Etanol de metanol gibi benzen, 1.3 butadiyen ve PAH emisyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Metanolden farklı olarak daha yüksek asetaldehit (formaldehitten daha az toksiktir) emisyonu açığa çıkarmaktadır [24]. PAH’lar, karbon ve hidrojen içeren organik maddelerin eksik yanmaları sonucu oluşan üç veya daha fazla aromatik halkalı bileşiklerdir. Aynı zamanda PAH’lar, insanlarda tümör başlatıcı, geliştirici ve ilerletici özellikleri olan kansorejen maddelerdir. Formaldehit, aldehitlerin en küçük üyesi olup, insanlarda kansere neden olmaktadır. Asetaldehit ise formaldehitten daha düşük kansorejen potansiyeline sahip aldehit grubu üyesi bir bileşiktir.

4. DENEYSEL MATERYAL VE METOTLAR

4.1. Testlerde Kullanılan Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Testlerde kullanılmak üzere %5, %10 etanol-benzin ve metanol-benzin karışımları oluşturulmuştur. Oluşturulan karışımların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümü Yakıt Laboratuvarında belirlenmiştir. Belirlenemeyen özellikler ise literatürden alınmıştır. Etanol, metanol ve benzinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 4.1’de, etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri ise Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Testlerde kullanılan yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	Birim	Kurşunsuz Benzin	Etanol	Metanol	Deney Yöntemi
Yoğunluk (15 °C)	kg/m ³	750,8	809,9	796	TS 1013 EN ISO 3675
Araştırma oktan sayısı (RON)	-	95 ^a	108,6 ^b	108,7 ^b	TS 2431 EN 25164 veya ASTM D 2699
Motor oktan sayısı (MON)	-	85 ^a	89,7 ^c	88,6 ^c	TS 2232 EN 25163 veya ASTM D 2700
Viskozite (40 °C’de)	mm ² /s	0,494	1,221	0,596	
Alt ısı değeri	kJ/kg	42.600	26.700	19.850	
Bakır şerit korozyon (3 saat 50°C’de)	-	1a	1a	1a	TS 2471 EN ISO 2160
Damıtma					TS 1232 EN ISO 3405
İKN		45	78	64	
%10		54	78	64	
%20		62	78	64	
%30		71	78	64	
%40		82	78	64	
%50		96	78	64	
%60		113	78	64	
%70		131	78	64	
%80		146	78	65	
%90		168	79	65	
SKN		207	79	66	
Dönüşüm	%	96,0	99,2	99,2	

a: Petrol ofisi 95 oktan V/Max Kurşunsuz (kış) benzin analiz değerleri kullanılmıştır

b: Referans 35’den alınmıştır.

c: Referans 39’dan alınmıştır

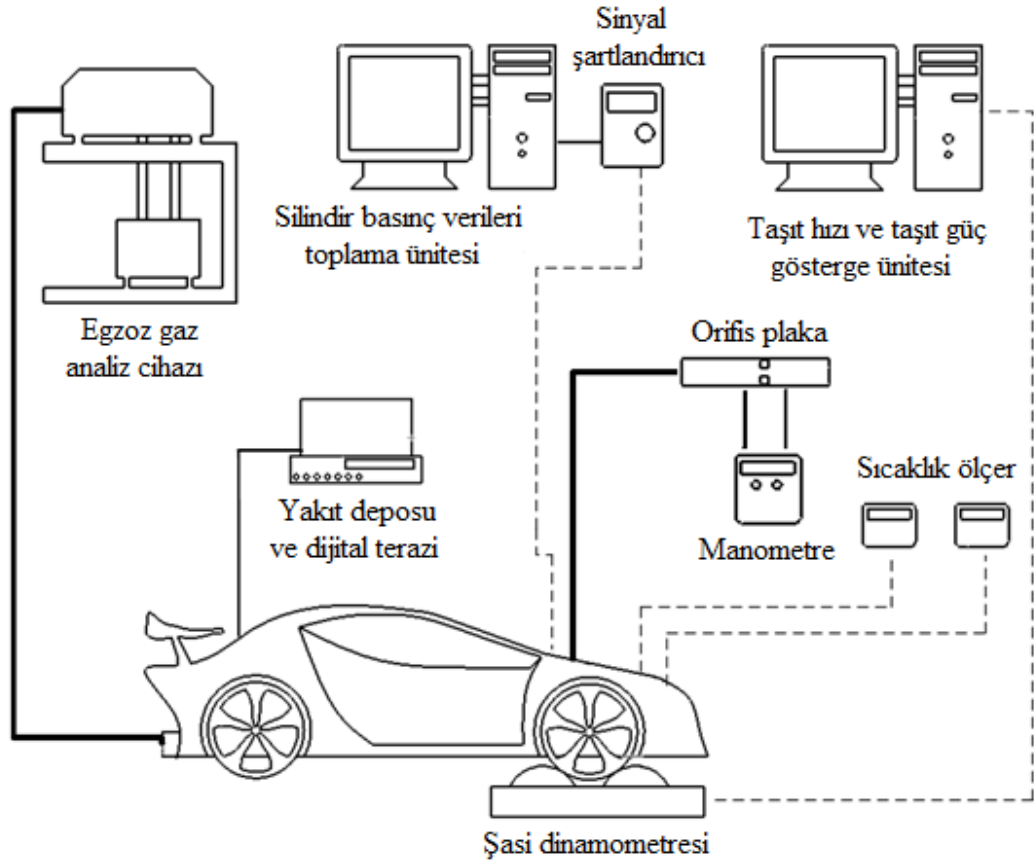
Tablo 4.2: Testlerde kullanılan etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	Birim	E5	E10	M5	M10
Yoğunluk (15 °C'de)	kg/m ³	752,8	755,4	751,9	754,1
Viskozite (40 °C'de)	mm ² /s	0,497	0,572	0,529	0,545
Alt ısı değer	kJ/kg	41.799	40.969	41.462	40.268
Bakır şerit korozyon (3 saat 50°C'de)	-	1a	1a	1a	1a
Damıtma					
İlk kaynama noktası	°C	46	46	42	43
%10		53	53	48	48
%20		57	54	51	51
%30		61	57	58	55
%40		67	61	73	60
%50		79	66	91	81
%60		101	74	110	108
%70		123	110	128	127
%80		140	135	143	144
%90		162	160	163	165
Son kaynama noktası			208	207	207
Dönüşüm	%	96,8	96,7	96,4	96,4

4.2. Deney Materyalleri ve Deney Düzenekinin Hazırlanması

Deneyler Honda Civic marka bir otomobilde şasi dinamometresi kullanılarak yapılmıştır. Otomobil dört zamanlı, dört silindirli, su soğutmalı, elektronik enjeksiyonlu buji ile ateşlemeli bir motora sahip olup, deneylerden önce motor fabrika ayarlarına getirilmiştir. Kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 4.3'de verilmiştir.

Taşıtın motor performansını belirlemek için elektromanyetik (Eddy Current) prensiple çalışan şasi dinamometresi kullanılmıştır. Eddy Current dinamometresi bir adet stator ve bir adet rotordan ibaret olup, elektromanyetik alan oluşturmak için stator üzerinde sargılar bulunmaktadır. Şasi dinamometresinin silindirlerine bağlı olan rotor, dinamometre yüksüzken hiçbir dirence maruz kalmadan dönerken, dinamometre yüklenmeye başladığında (statora akım gönderildiğinde) statorda oluşan manyetik alan rotoru frenlemeye çalışmaktadır. Bu frenleme kuvveti statora bağlı olan yük hücresi (load cell) tarafından ölçülerek motor torku belirlenmektedir. Deney materyallerinin şematik resmi Şekil 4.1 ve deney tesisatı Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Deney materyalleri şematik resmi

Tablo 4.3: Deney motorunun teknik özellikleri

Motor	1.4i Honda Civic
Tipi	4 Zamanlı
Soğutma şekli	Su soğutmalı
Enjeksiyon tipi	Çok noktadan enjeksiyonlu
Silindir sayısı	4
Silindir hacmi	1396 cm ³
Supap sayısı	16
Sıkıştırma oranı	10,4/1
Maksimum moment	130 Nm (4300 d/d)
Maksimum güç	66 KW (5600 d/d)
Ateşleme sırası	1-3-4-2
Rölanti devri	750 d/d

Silindir basıncını ölçmek için Kistler 6117 BFD17 tip piezzo elektrik kristalli basınç sensörü kullanılmıştır. Kullanılan basınç sensörü birinci silindirde bujinin yerine

takılmış olup, hem buji hem de basınç sensörü görevi görmektedir. Sensör kalibrasyonu üretici firma tarafından yapılmış olup, kalibrasyon sertifikasıyla birlikte alınmıştır. Deneyde kullanılan sensör Şekil 4.3’de görülmektedir. Sensöre ait teknik özellikler Tablo 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.2: Deney tesisatı resmi

Tablo 4.4: Deneyde kullanılan basınç sensörünün teknik özellikleri

Özellikler	Birim	Değer
Ölçüm aralığı	bar	0-200
Kalibre edilmiş kısmi ölçüm aralığı	bar	0-50
Aşırı yükleme	bar	250
Hassasiyet (200 °C’de)	pC/bar	≈ -15
Doğal frekans	kHz	≈ 130

Basınç sensöründen gelen bilgiler, Kistler 5015A 1000 model sinyal şartlandırıcı ve Advantech PCI 1716 veri toplama kartı kullanılarak bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayara aktarılan veriler LabVIEW bilgisayar yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Motora giren hava miktarını ölçmek için emme manifoldu hattına (ISO 5167) 45 mm orifis çapına sahip orifis plakası yerleştirilmiştir. Orifis plakanın iki ucu arasındaki basınç farkını ölçmek için Kimo MP 102 tip manometre kullanılmıştır.



Şekil 4.3: Testlerde kullanılan basınç sensörü

Tüketilen yakıt miktarını ölçmek için yeni bir depo yapılmış ve taşıt üzerindeki yakıt deposunda bulunan yakıt pompası sökülerek yeni depoya yerleştirilmiştir. Yapılan bu depo 1 g hassasiyetli CAS SW-1 terazi üzerine konularak yakıt tüketimi ölçülmüştür. Birim zamandaki yakıt tüketimini belirlemek için dijital kronometre kullanılmıştır. Motor sıcaklıklarını belirlemek için motor soğutma suyu girişi, soğutma suyu çıkışı, motor yağı ve egzoz manifolduna K tipi termokupl yerleştirilmiştir. Termokupllara ait kalibrasyon eğrileri Ek A'da verilmiştir. Deneyler sırasındaki ortam sıcaklığı ve izafi nemi belirlemek için Meitav M4000 marka sıcaklık ve nemölçer kullanılmıştır. Motor egzoz çıkışındaki HC, O₂, CO, CO₂ ve NO_x emisyonları belirlemek için Capelec Cap 3200 gaz analizörü kullanılmıştır. Testlerde kullanılan gaz analizörünün teknik özellikleri Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5: Capelec Cap 3200 marka gaz analizörünün teknik özellikleri

Parametre	Birim	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
HC	ppm	0-20000	1
CO	%	0-15	0,01
CO ₂	%	0-20	0,1
O ₂	%	0-21,7	0,01
Lamda	-	0,6-1,2	0,01
NO _x	ppm	0-5000	1

4.3. Deneysel Hazırlık ve Deneyler

Deneyler başlamadan taşıt üzerindeki motor fabrika ayarlarına getirilmiştir. Motorun gerçek performans değerlerini belirleyebilmek için motorun üzerinde herhangi bir

değişiklik yapılmamıştır. Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının motor performansı, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkisini belirlemek için referans yakıt olarak 95 oktanlı benzin alınmıştır. Hem etanol hem de metanolün motorda hiçbir değişiklik yapılmadan benzine katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için %5 ve %10 etanol-benzin ve metanol-benzin karışımları seçilmiştir. Motor çalıştırılıp kararlı hale geldikten sonra, 60, 80 ve 100 km/h taşıt hızı ve 5, 10, 15 ve 20 kW sabit güçte testler gerçekleştirilmiş olup yanma karakteristiği, motor performansı ve emisyon değerleri belirlenmiştir. Silindir basınç sensörüyle her 0,25° krank açısında alınan silindir basınç dataları, LabVIEW programında yazılmış bir kullanıcı ara yüzü ile bilgisayara aktarılmıştır. Çevrimden çevrime olan farklılıkların ortadan kalkması için bilgisayara aktarılan dataların 50 çevriminin ortalaması alınmıştır. Motor torku, motor devri, birim zamandaki yakıt tüketimi, sıcaklıklar, egzoz emisyonları, ortam sıcaklığı ve nemi hazırlanan test çizelgesine kaydedilmiştir.

4.4. Deney Verileri ile Hesaplanan Performans Değerleri

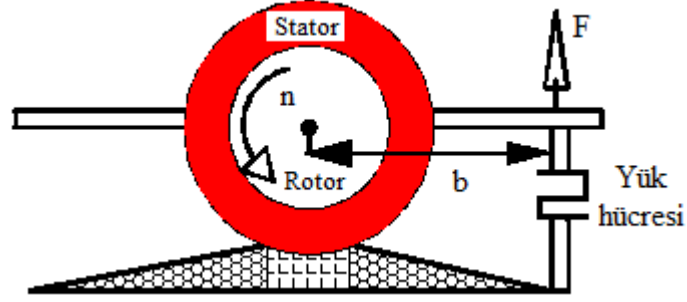
Yakıtların motor performansı ve egzoz emisyonlarını analiz edebilmek için elde edilen veriler kullanılarak efektif gücün, özgül yakıt tüketiminin, ortalama efektif basıncın, hava yakıt oranının, volümetrik verimin, termik verimin, silindir basıncının, ısı dağılımı ve düzeltilmiş NO_x emisyonlarının hesaplanması gerekmektedir. Bu kısımda, testlerde kullanılan ölçüm ve hesaplama yöntemlerinden bahsedilmektedir.

4.4.1. Motor moment ölçümü

Motor momenti, krank miline uygulanan döndürme momenti olarak tanımlanmaktadır. Motor momenti; proni freni, hidrolik dinamometre, elektromekanik dinamometre veya şasi dinamometresi ile ölçülebilmektedir. Yapılan deneyler de Eddy Current prensibiyle çalışan şasi dinamometresi kullanılmıştır.

Eddy Current dinamometresi, bir rotor (disk) ve yataklar üzerine oturtulmuş bir stator dan meydana gelmektedir. Dinamometre yüklenmek istendiğinde stator sargıları doğru akımla beslenerek bir manyetik alan oluşturulmakta ve oluşan manyetik alan rotoru frenlemeye çalışmaktadır. Oluşan frenleme kuvveti ise statora bağlı bir strain gauge tarafından ölçülmektedir. Ölçülen kuvvet, kuvvet kolu ile

çarpılarak moment hesaplanmaktadır. Dinamometre şematik resmi Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Dinamometre şematik resmi [48]

Ölçülen kuvvet $F(N)$, motor torku $T (Nm)$:

$$T=F \times b \quad \text{veya} \quad (4.1)$$

$$T = \frac{P_b}{\omega} \quad (4.2)$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad (4.3)$$

Burada;

P_b : Efektif güç (W)

ω : Açısal hız (rad/s)

N: Motor devri (dev/dak)

olarak ifade edilmektedir.

4.4.2. Efektif güç hesabı

Efektif güç, motorun volanından alınan net güçtür.

$$P_b = \omega T \quad (4.4)$$

4.3 eşitliği 4.4'de yerine konulacak olursa;

$$P_b = \frac{2\pi NT}{60} \quad (4.5)$$

eşitliği elde edilir.

4.4.3. Ortalama efektif basınç hesabı

Ortalama efektif basınç, motordan çevrim başına elde edilen işin, piston yer değiştirme hacmine oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$W_e = \frac{P_{me} V_H}{n_R} \quad (4.6)$$

$$W_e = 2\pi T \quad (4.7)$$

4.6 eşitliği 4.7 eşitliğinde yerine konursa,

$$2\pi T = \frac{P_{me} V_H}{n_R} \quad (4.8)$$

İki zamanlı motorlarda $n_R=1$ alınırken dört zamanlı motorlarda $n_R=2$ olarak alınmaktadır. Testlerde kullanılan dört zamanlı motor için ortalama efektif basınç

$$P_{me} = \frac{4\pi T}{V_H} \quad (4.9)$$

eşitliği ile elde edilir.

Burada;

W_e : Bir çevrimdeki iş

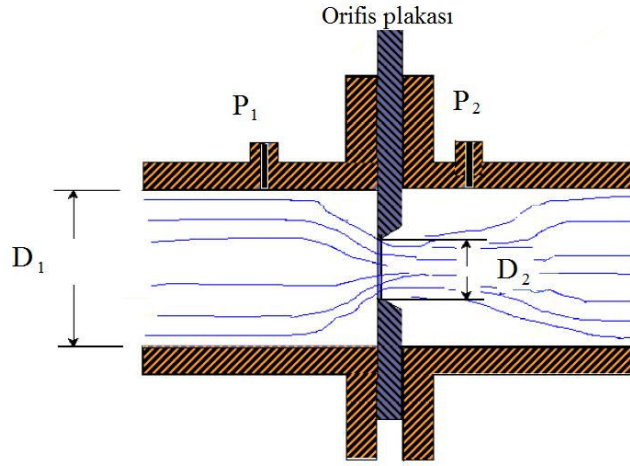
P_{me} : Ortalama efektif basınç

V_H : Yer değiştirme hacmi

olarak ifade edilmektedir.

4.4.4. Motora giren hava miktarı hesabı

Motora giren hava miktarı, motor performansı ve egzoz emisyonlarını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Motor düzeneklerinde emme hava debisi, genellikle emme manifoldu önüne yerleştirilen bir orifis plaka ve orifis plakanın iki ucuna yerleştirilen manometre ile ölçülmektedir. Hava debisi ölçümünde kullanılan orifis plakasının şematik resmi Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5: Orifis plakalı hava debi ölçeri şematik resmi

$$\dot{V} = C_d e E \frac{\pi D_2^2}{4} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \quad (4.10)$$

Burada;

\dot{V} : Hacimsel debi (m³/s)

P_1 : Giriş basıncı (Pa)

C_d : Deşarj katsayısı

P_2 : Çıkış basıncı (Pa)

e : Genleşme katsayısı

ΔP : Fark basıncı

D_1 : Orifis dış çapı (m)

D_2 : Orifis iç çapı (m)

C_d : Standartta verilen sonsuz Reynold sayısına göre türetilen deşarj katsayısıdır.

$$C_d = 0,5959 + 0,0312\beta^{2,1} - 0,184\beta^8 + 2,286 \frac{\beta^4}{D(1-\beta^4)} - 0,856 \frac{\beta^3}{D} \quad (4.11)$$

formülü ile hesaplanmaktadır [49].

$$\beta = \frac{D_2}{D_1} \quad (4.12)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Genleşme katsayısı (e);

$$e = 1 - (0,41 + 0,35\beta^4) \frac{\Delta P}{kP_1} \quad (4.13)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Burada, hava ideal gaz ($k=1,4$) olarak kabul edildiğinde

$$E = \sqrt{\frac{1}{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4}} \quad (4.14)$$

eşitliği elde edilir.

Havanın kütleli debisi \dot{m} ,

$$\dot{m} = \rho \dot{V} \quad (\text{kg/s}) \quad (4.15)$$

Havanın yoğunluğu

$$\rho = \frac{P_{\text{atm}}}{RT_{\text{atm}}} \quad (4.16)$$

formülüyle hesaplanabilir.

4.4.5. Özgül yakıt tüketimi hesabı

Motorun birim güç için tükettiği yakıt miktarına özgül yakıt tüketimi denir. Özgül yakıt tüketimi, motor karakteristiğini belirleyen önemli parametrelerden biridir. Deney düzeneğinde kullanılan yakıt miktarı ölçüm elemanları Şekil 4.6'da görülmektedir.

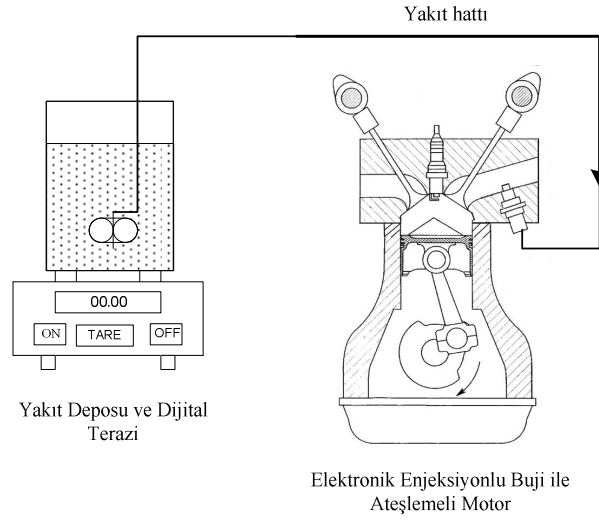
$$b_e = \frac{\dot{m}_y \times 3600}{P_b} \quad (4.17)$$

b_e = Özgül yakıt tüketimi (g/kW-Saat)

\dot{m}_y = Yakıt tüketimi (g/sn)

P_b = Efektif güç (kW)

şeklinde ifade edilir.



Şekil 4.6: Deneysel sistemde kullanılan yakıt miktarı ölçüm düzeneği şematik resmi

4.4.6. Hava-yakıt oranı hesabı

Hava-yakıt oranı, yanma sürecinde silindire alınan hava kütlelerinin yakıt kütlelerine oranıdır. Hacimsel verim, indike güç, ısıl verim, yakıt tüketimi, egzoz emisyonları vb. parametreler hava/yakıt oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

$$HYO = \frac{\dot{m}_h}{\dot{m}_y} \quad (4.18)$$

\dot{m}_h : Kütleli hava debisi (g/s)

\dot{m}_y : Kütleli yakıt debisi (g/s)

olarak ifade edilir.

4.4.7. Volumetrik verim hesabı

Volumetrik verim (η_v), motorun herhangi bir devrindeki gerçek hava tüketiminin teorik olarak o devirde tüketmesi gereken hava miktarına oranıdır.

Buna göre volumetrik verim;

$$\eta_v = \frac{V_h}{V_s} \quad (4.19)$$

$$V_h = \frac{n_R \dot{m}_h \times 60}{\rho_{hava} N} \quad (4.20)$$

Dört zamanlı bir motorda 4.20 eşitliği, 4.19 eşitliğine konulursa,

$$\eta_V = \frac{2\dot{m}_h}{\rho_{hava} V_s N} \quad (4.21)$$

eşitliği elde edilir.

Burada;

n_R : dört zamanlı motorlar için 2, iki zamanlı motorlar için 1 alınır.

η_V : Volumetrik verim

V_h : Silindire alınan gerçek havanın hacmi (m^3)

V_s : Silindir hacmi (m^3)

\dot{m}_h : Havanın kütleli debisi (kg/s)

ρ_{hava} : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

N : Motor devri

olarak tanımlanır.

4.4.8. Termik verim hesabı

Termik verim; yakıtın yanması sonucunda oluşan ısı enerjisine karşılık, motorun bu enerjiyi faydalı işe dönüştürme oranıdır. Yanma sonunda oluşan ısı enerjisinin bir kısmı soğutma sistemi, yağlama sistemi ve yanmış egzoz gazları ile motordan dışarı atılmaktadır. Dolayısıyla dışarı atılan bu enerji işe dönüştürülemez. Buna göre termik verim,

$$\eta_t = \frac{W_e}{Q_g} \quad (4.22)$$

η_t : Termik verim

W_e : Motordan alınan iş (kJ)

Q_g : Motora yakıtla sürülen ısı (kJ)

şeklinde ifade edilebilir.

Ayrıca, termik verim

$$\eta_t = \frac{P_b}{\dot{m}_y H_u} \quad (4.23)$$

P_b : Motordan elde edilen efektif güç (kW)

\dot{m}_y : Yakıtın kütleli debisi (kg/s)

H_u : Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

Şeklinde de ifade edilebilir.

Etanol-benzin karışımı kullanılması durumunda yakıtın alt ısı değeri;

$$H_{uk} = \frac{m_b H_{ub} + m_e H_{ue}}{m_b + m_e} \quad (4.24)$$

Metanol-benzin karışımı kullanılması durumunda yakıtın alt ısı değeri;

$$H_{uk} = \frac{m_b H_{ub} + m_m H_{um}}{m_b + m_m} \quad (4.25)$$

formülleriyle bulunur.

Burada;

H_{uk} : Karışımın alt ısı değeri,

m_b : Benzinin kütlesi,

H_{ub} : Benzinin alt ısı değeri,

m_e : Etanolün kütlesi,

H_{ue} : Etanolün alt ısı değeri,

m_m : Metanolün kütlesi,

H_{um} : Metanolün alt ısı değeri,

olarak tanımlanır.

4.4.9. Sıcaklık ölçümü

Motor testleri sırasında motor soğutma suyu girişi ve çıkışı, motor yağı, egzoz gazı ve yakıt sıcaklıkları ölçülmüştür. Bu sıcaklıkları ölçmek için K tipi termokupl kullanılmış ve bu termokupllara ait kalibrasyon eğrileri Ek A'da verilmiştir. Motorun kararlı hale gelip gelmediğine motor yağ sıcaklığı ölçülerek karar verilmiştir. Bu sıcaklık 80 °C'ye ulaştığında (motor kararlı hale geldiğinde) motor testleri yapılmaya başlanmıştır.

4.4.10. Silindir basıncının mutlak basınca dönüştürülmesi

Silindir basınç sensörü, üzerine etki eden kuvvetle orantılı olarak pC cinsinden yük üretmektedir. Bu yük değeri ise sinyal şartlandırıcı vasıtasıyla voltaja (+/- 10V) dönüştürülmektedir. Herhangi bir krank açısında elde edilen çıkış voltajından yararlanılarak mutlak basınç;

$$P_{\theta}=C(E_{\theta}-E_{A\ddot{O}N})+P_{A\ddot{O}N} \quad (4.26)$$

formülü ile bulunur.

Burada;

$E_{A\ddot{O}N}$: Piston alt ölü noktada iken sinyal şartlandırıcı çıkışında ölçülen voltaj,

$P_{A\ddot{O}N}$: Piston alt ölü noktada iken ölçülen basınç değeri,

E_{θ} : Herhangi bir krank açısında ölçülen voltaj,

C: Silindir basıncı ile sinyal çıkış voltajı arasındaki oranı belirleyen bir katsayıdır.

Silindir basınç sensörü 0-200 bar ölçüm aralığına sahip olup, 200 bar basınç için 10 volt gerilim üretmektedir. Sensör, 20 bar basınca karşılık 1 volt gerilim ürettiği için C katsayısı 20 olarak bulunmaktadır.

4.5. Performans Verilerinin Analizi

Kurşunsuz benzin, etanol-benzin ve metanol-benzin karışımları çok noktadan enjeksiyonlu motora sahip bir taşıtta kullanılarak, yakıtların motor performansına etkisi incelenmiştir. Motor sabit yük ve değişik devir şartlarında çalışırken silindir basınç verileri alınmıştır. Alınan verilerden silindir basıncı-krank açısı (KA) grafiği ve ısı dağılımı-KA grafiği oluşturularak yorumlanmıştır. Bu işlemlerin nasıl yapıldığı aşağıdaki alt başlıklarda anlatılmıştır.

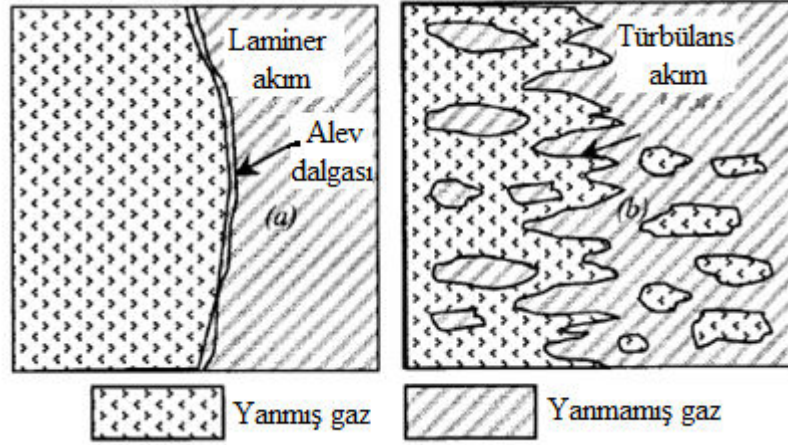
4.5.1. Buji ile ateşlemeli motorlarda yanma

Buji ile ateşlemeli motorlarda silindire emme zamanında gönderilen hava ile yakıtın buji ile ateşlenene kadar geçen sürede homojen bir şekilde karıştığı kabul edilmektedir. Buji ile ateşleme yapıldıktan sonra alevin yayılma hızı ise;

- Silindir sıcaklığı,
- Reaksiyona giren molekül konsantrasyon yoğunluğu,
- Yakıtın moleküler yapısı,
- Yakıt-hava karışımı içerisindeki inert gazlar
- Karışım akımına (türbülans, laminer akış) bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Silindir sıcaklığı arttığında moleküllerin kinetik enerjisi artmaktadır. Moleküllerin kinetik enerjisinin artması; moleküllerin birim zamandaki çarpma sayısını ve moleküller arasındaki çarpma hızını artırmaktadır. Reaksiyona giren konsantrasyon yoğunluğunun artması ise birim zamanda moleküllerin çarpma sayılarının artmasını sağlamaktadır. En yüksek çarpma sayısı hava/yakıt oranının $\lambda=1$ olduğu durumda gerçekleşmektedir [50].

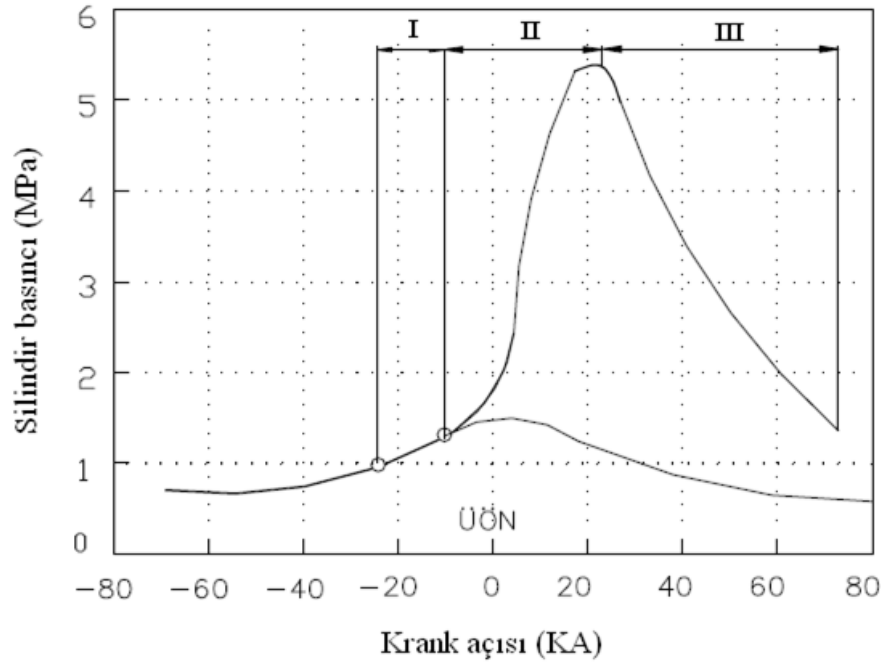
Karışım akımının laminer olması durumunda alev yayılma hızı çok düşük olup, homojen hava-yakıt karışımları için yaklaşık olarak 0,5 m/s'dir. Alev hızının bu şekilde devam etmesi durumunda yanma odasına tamamen yayılması için 600 ms süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak motorun 3000 d/d hızla çalışması durumunda maksimum 10 ms'de alevin tüm yanma odasına yayılması gerekmektedir. Karışım akımının türbülanslı olması durumunda alev yayılma hızı artmakta, alevin yanma odasına yayılma süresi 10 ms'nin altına düşerek motorun yüksek hızlarda çalışmasını mümkün kılmaktadır. Türbülansın etkisi ile alevin girdaplar arasında yayılışı Şekil 4.7'de verilmiştir [50].



Şekil 4.7: Buji ile ateşlemeli bir motorda türbülansın etkisi ile alevin yayılışı [50]

Buji ile ateşlemeli içten yanmalı motorlarda yanma üç fazda gerçekleşmektedir. İlk faz ateşleme fazı olup laminer alevde yanma gerçekleşmektedir. Hava ile yakıtın homojen şekilde dağılmaması neticesinde istenmeyen çevrimsel değişimlerin gerçekleştiği durum bu ilk fazdır. İlk fazdaki yanma, sıcaklığın, yoğunluğun, yakıt türünün ve hava-yakıt oranının bir fonksiyonudur. İkinci yanma fazı ise yanma reaksiyonunun türbülanslı akımda meydana geldiği fazdır. Türbülans mekaniği bu fazın en önemli olayıdır [50]. Buji ile ateşlemeli bir motordaki yanma fazları Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Yapılan çalışmalar alev yayılma hızının türbülans yoğunluğu ile orantılı olduğunu göstermektedir. Üçüncü faz ise yanmanın bujiden uzak bölgelerde gerçekleştiği durum olup, bu fazda yanma hızını bölgesel türbülans belirlemektedir. Üçüncü fazdaki yanma, vuruntu ve yanma odası cidarlarındaki alev varlığı ile yakından ilgilidir [50].



Şekil 4.8: Buji ile ateşlemeli bir motorda yanma fazları [51]

4.5.2. Isı dağılımı analizi ve filtreleme

Silindir gaz basıncı verileri kullanılarak elde edilen ısı dağılımı, motor performansı, motor çalışma şartlarının performans üzerindeki etkisi ve aynı şartlarda farklı motorların performanslarının değerlendirilmesinde kullanılabilir [52]. Isı dağılımı termodinamiğin birinci kanunu ve ideal gaz denkleminde yararlanılarak hacmi bilinen bir silindirden alınan basınç datalarıyla analiz edilebilmektedir. Bu çalışmada kullanılacak olan modelde silindir içerisindeki yanmanın termodinamik dengede meydana geldiği kabul edilmiştir. Ani sıcaklık ve basınç değişimleri, dengede olmayan şartlar, yakıtın buharlaşması vb. durumlar ihmal edilmiştir.

Termodinamiğin birinci kanunundan

$$\frac{du}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} \quad (4.27)$$

$$mC_v \frac{dT}{dt} = \dot{Q} - P \frac{dv}{dt} \quad (4.28)$$

Burada;

\dot{Q} : Isı dağılım oranı ve silindir duvarından geçen ısı transferinin toplamıdır.

\dot{W} : Sistem sınırının yer değiştirmesiyle sistemin yaptığı iştir.

Denklemleri basitleştirmek için karışım ideal gaz kabul edilirse,

$$PV=mRT \quad (4.29)$$

denklemlerde kütle sabit kabul edilerek zamana göre türevi alınırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{mR} \left[P \frac{dV}{dt} + V \frac{dP}{dt} \right] \quad (4.30)$$

Bu iki ifade birleştirildiğinde

$$\dot{Q} = \left[\frac{C_v}{R} + 1 \right] P \frac{dV}{dt} + \frac{C_v}{R} V \frac{dP}{dt} \quad (4.31)$$

ifadesi elde edilir.

$\frac{C_v}{R}$, k özgül ısı oranı cinsinden ifade edilirse,

$$\frac{C_v}{R} = \frac{1}{k-1} \quad (4.32)$$

şeklinde yazılır.

Bu ifade de zaman (t) yerine krank açısı (θ) konduğunda

$$\dot{Q} = \left[\frac{k}{k-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{d\theta} \right] \quad (4.33)$$

ifadesi elde edilir.

Monyem yaptığı çalışmada 4.33'deki denklemlerde iki veya üç noktanın birinci türevini almış fakat ısı dağılımındaki istenmeyen ani dalgalanmaların oluşumunu engelleyememiştir. Daha sonra, merkez noktanın iki ileri ve iki gerisindeki

değerlerin türevini almış ve titreşimleri elimine ederek istediği sonuçları bu şekilde elde etmiştir [53]. Aynı yöntem bu çalışmada da kullanılmıştır.

Alınan dört noktanın birinci türevi;

$$\left(\frac{du}{dx}\right)_i = \frac{(-u_{i+2} + 8u_{i+1} - 8u_{i-1} + u_{i-2})}{(12 * \Delta\theta)} \quad (4.34)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Burada;

i: i noktasındaki krank açısı

u_i : i krank açısındaki basınç

$\Delta\theta$: i ve i+1 arasındaki krank açısı

Isı dağılımındaki ani dalgalanmaları bir miktar daha azaltabilmek için dijital filtreleme adı verilen tekniğin kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan dijital filtreleme tekniği;

$$g_i = (f_{i-1} + f_{i+1}) / 2 \quad (4.35)$$

$$h_i = (g_{i-1} + g_i + g_{i+1}) / 3 \quad (4.36)$$

şeklindedir.

Burada;

f_i : orijinal data

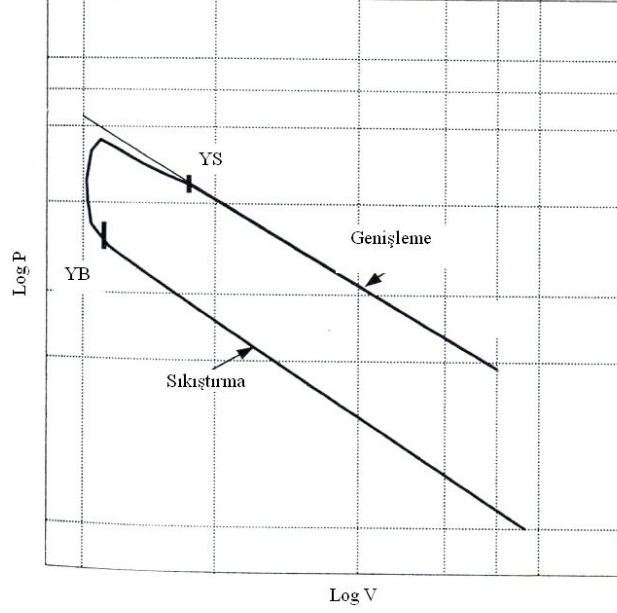
g_i : ara değer

h_i : filtrelenmiş datayı ifade etmektedir.

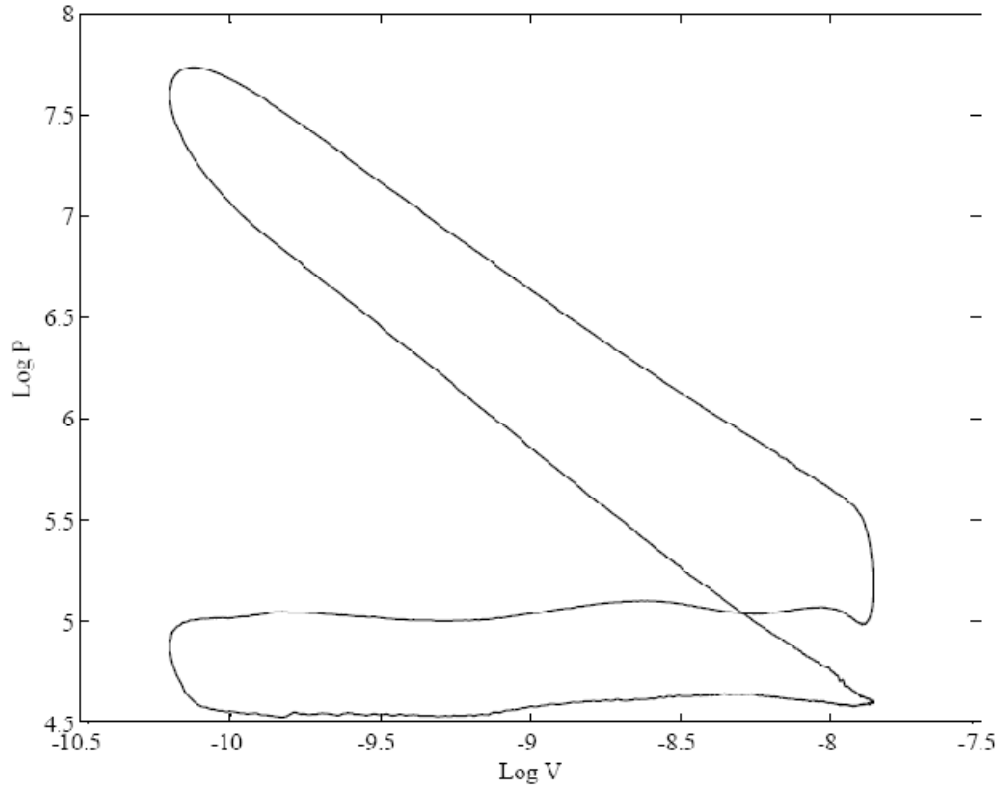
4.5.3. Basınç-hacim diyagramlarının analizi

Buji ile ateşlemeli motorlarda yanma analizi için kullanılan yöntemlerden biri de logaritmik P-V diyagramlarıdır. İçten yanmalı motorlarda sıkıştırma ve genleşme zamanında politropik ($PV^n = \text{sabit}$) hal değişimi olduğu kabul edilir. Bu sebepten dolayı sıkıştırma ve genleşme zamanında log P-V diyagramının yanma başlangıcı (YB) ile yanma sonu (YS) arasında kalan bölge dışındaki diğer kısımların Şekil

4.9'da gösterildiği gibi düzgün bir şekilde ilerlemesi gerekmektedir [54]. 60 km/h taşıt hızı ve 10 kW taşıt çıkış gücündeki örnek logP-logV grafiği Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



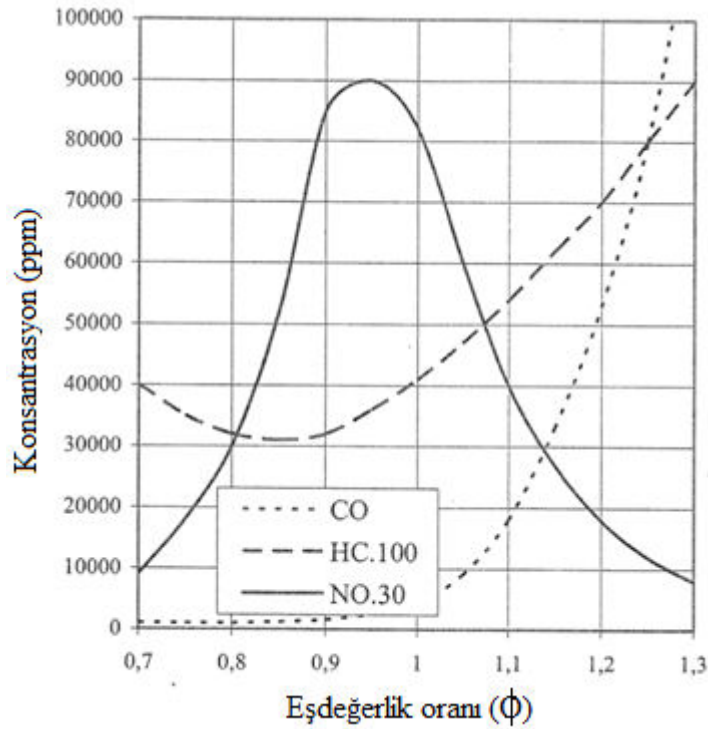
Şekil 4.9 Buji ile ateşlemeli bir motorda logP-logV grafiği [54]



Şekil 4.10: Test sonucu elde edilen örnek bir logP-logV grafiği

4.6. Egzoz Emisyon Oluşumu

Benzinli ve dizel motorlarda kullanılan hidrokarbon kökenli yakıtların, ideal koşullarda hava ile tam yanması sonucu oluşan ürünler arasında karbondioksit, su buharı ve azot bileşikleri bulunmaktadır. Ancak uygulamada ideal koşulların sağlanamaması nedeniyle tam yanma gerçekleşmemekte ve kirletici bileşikler oluşmaktadır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan toplam kirleticilerin %75'ini oluşturan egzoz gazlarının bileşiminde; parafinler, olefinler ve aromatikler gibi yanmamış hidrokarbonlar, aldehitler, ketonlar, CO, NO_x, SO₂, kurşun bileşikleri ve partikül maddeler bulunmaktadır [55]. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlardan en çok ilgiyi çekenler CO, yanmamış HC, ve NO_x'dir. Bu emisyonların varlığı motor dizaynı ve çalışma şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Şekil 4.11'de buji ile ateşlemeli geleneksel bir motorun eşdeğerlik oranının (Φ) egzoz gazındaki kirleticilere etkisi görülmektedir.



Şekil 4.11: Eşdeğerlik oranının CO, HC, ve NO_x üzerine etkisi [56-58]

4.6.1. Egzoz emisyon verilerinin analizi

Bu çalışmada, etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının egzoz emisyonlarına etkisini incelemek için katalitik konvertörden önce HC, CO, CO₂ ve NO_x emisyon değerleri ölçülerek, benzin yakıtı kullanıldığında açığa çıkan emisyonlarla karşılaştırılması yapılmıştır. Aşağıda emisyon standartlarından ve emisyonların oluşumundan bahsedilecektir.

4.6.2. Egzoz emisyon standartları

Avrupa'da hafif taşıtlarda 1970 yılından beri, ağır vasıtalarda ise 1980 yılından beri emisyon standartları uygulanmaktadır. Bu standartlar otomobil teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak belirli sürelerde yeni emisyon standartlarıyla değiştirilmektedir. Benzinli ve dizel motorlar için başlıca emisyonlar; HC, CO, CO₂, NO_x, ve sadece dizel motorlar için partikül madde miktarıdır. Avrupa emisyon standartlarıyla Tablo 4.6'da binek otomobiller için ve Tablo 4.7'de ise hafif ticari taşıtlar için verilmiştir.

Tablo 4.6: Binek otomobilleri için Avrupa emisyon standartları [59]

Standart	Tarih	CO (g/km)	HC (g/km)	HC+NO _x (g/km)	NO _x (g/km)	PM (g/km)
Euro 1	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	-
Euro 2	1996.01	2.2	-	0.5	-	-
Euro 3	2000.01	2.30	0.20	-	0.15	-
Euro 4	2005.01	1.0	0.10	-	0.08	-
Euro 5	2009.09 ^a	1.0	0.10 ^b	-	0.06	0.005 ^c
Euro 6	2014.09	1.0	0.10 ^b	-	0.06	0.005 ^c
a- 2001. 01 Tüm modeller		b - HC = 0.068 g/km				
c- Sadece direkt enjeksiyonlu motorlarda						

Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de görüldüğü gibi Euro 1 emisyon standardından Euro 6 emisyon standardına kadar her bir standartta HC, CO ve NO_x emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. Ayrıca Euro 5 ve Euro 6 emisyon standartlarında, direkt enjeksiyonlu motorlar için partikül madde miktarına da kısıtlama getirilmiştir.

Tablo 4.7: Hafif ticari taşıtlar için Avrupa emisyon standartları [59]

Kategori	Standart	Tarih	CO (g/km)	HC (g/km)	HC+NO _x (g/km)	NO _x (g/km)	PM (g/km)
Sınıf I ≤1305 kg	Euro 1	1994.10	2.72	-	0.97	-	-
	Euro 2	1998.01	2.2	-	0.50	-	-
	Euro 3	2000.01	2.3	0.20	-	0.15	-
	Euro 4	2005.01	1.0	0.1	-	0.08	-
	Euro 5	2009.09 ^a	1.0	0.10 ^d	-	0.06	0.005 ^c
	Euro 6	2014.09	1.0	0.10 ^d	-	0.06	0.005 ^c
Sınıf II 1305- 1760 kg	Euro 1	1994.10	5.17	-	1.40	-	-
	Euro 2	1998.01	4.0	-	0.65	-	-
	Euro 3	2001.01	4.17	0.25	-	0.18	-
	Euro 4	2006.01	1.81	0.13	-	0.10	-
	Euro 5	2010.09 ^b	1.81	0.13 ^e	-	0.075	0.005 ^c
	Euro 6	2015.09	1.81	0.13 ^e	-	0.075	0.005 ^c
Sınıf III >1760 kg	Euro 1	1994.10	6.90	-	1.70	-	-
	Euro 2	1998.01	5.0	-	0.80	-	-
	Euro 3	2001.01	5.22	0.29	-	0.21	-
	Euro 4	2006.01	2.27	0.16	-	0.11	-
	Euro 5	2010.09 ^b	2.27	0.16 ^f	-	0.082	0.005 ^c
	Euro 6	2015.09	2.27	0.16 ^f	-	0.082	0.005 ^c
a- 2001. 01 Tüm modeller					b - HC = 0.068 g/km		
c- Sadece direkt enjeksiyonlu motorlarda					d - HC = 0.068 g/km		
e - HC = 0.090 g/km					f - HC = 0.108 g/km		

4.6.3. CO emisyonu oluşumu

Karbon monoksit kimyasal formülü CO olarak bilinen, renksiz, kokusuz ve oldukça zehirli bir gazdır. Karbon içeren bileşiklerin kısmi yanması sonucu karbon monoksit oluşmaktadır. Karbon monoksitin oluştuğu yerlerden biri de içten yanmalı motorlardır. Buji ile ateşlemeli içten yanmalı bir motordaki CO oluşumu öncelikli olarak yakıt / hava oranıyla kontrol edilebilmektedir. Şekil 4.11’de görüldüğü gibi eşdeğerlik oranının artmasıyla birlikte CO emisyonu da artış göstermektedir. CO oluşum reaksiyonu basit olarak aşağıdaki denklemle ifade edilebilmektedir.



CO oluşumu, yakıt / hava oranının yanı sıra silindir içerisindeki yakıtla havanın homojen karışımına da bağlıdır.

4.6.4. NO_x emisyonu oluşumu

İçten yanmalı motorlarda yanma sonucu meydana gelen yüksek sıcaklıklarda havanın içerisinde bulunan azot ve oksijenin reaksiyonu sonucu NO, NO₂ ve N₂O emisyonları oluşmaktadır. Bu emisyonlar atmosferde oksijenle birleştiklerinde nitrik asit oluşturarak asit yağmurlarına neden olmaktadır. NO_x'in atmosferdeki yarılanma süresi 6-10 gündür. N₂O'nun atmosferdeki yarılanma süresi ise yaklaşık 100 yıldır ve sera etkisine neden olan emisyon olarak nitelendirilmektedir. Atmosferde bulunan NO_x emisyonları belirli seviyenin üzerine çıktığında ozonla (O₃) birleşerek sis oluşturmaktadır [50]. NO_x emisyonu havadaki nemden önemli ölçüde etkilenmektedir. Yapılan testlerde yakıtların birbirleriyle emisyon bakımından karşılaştırılabilmesi için gerçek NO_x değerinin bulunması gerekmektedir. Gerçek NO_x değerine ise nem düzeltme faktörü olarak nitelendirilen denklem ve ölçülen NO değerinin çarpılması sonucu ulaşılmaktadır [60]. Bu çalışmada gerçek NO_x değerinin hesaplanması için SAE (The Society of Automotive Engineers) [61]'nin geliştirmiş olduğu denklem kullanılmıştır. Buna göre havanın özgül nemi,

$$h = \frac{621,10 \times P_v}{P_{atm} - P_v} \quad (4.38)$$

Burada;

h : Özgül nem (g H₂O/kg-kuru hava)

P_v : Su buharının kısmi basıncı (kPa)

P_{atm} : Atmosfer basıncı (kPa)

Su buharının kısmi basıncı bulmak için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$P_v = P_w - 1,8A \times P_{atm} (T_{atm} - T_w) \quad (4.39)$$

$$A = 3,67 \times 10^{-4} \times (1 + 0,001152 \times T_w) \quad (4.40)$$

Burada;

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

T_w : Yaş termometre sıcaklığı (°C)

T_{atm} : Ortam sıcaklığı (°C)

A : Deneysel olarak elde edilmiş sabit katsayı

olarak ifade edilmektedir.

Yaş termometre sıcaklığındaki su buharının doyma basıncı aşağıdaki buhar denkleminde bulunmuştur.

$$P_w=0,6048346+4,59058 \times 10^{-2} T_w+1,2444 \times 10^{-3} T_w^2+3,52248 \times 10^{-5} T_w^3+9,32206 \times 10^{-8} T_w^4+4,18128 \times 10^{-9} T_w^5 \quad (4.41)$$

Bu değerler elde edildikten sonra NO_x düzeltme faktörü hesaplanmıştır.

$$NO_{düz}=NO_{yaş} \times \frac{1}{k} \quad (4.42)$$

$$k=1+7A \times (h-10,714)+1,8 \times B \times (T_{emme}-29,444) \quad (4.43)$$

$$A=0,44 \times (Y/H)+0,0038 \quad (4.44)$$

$$B=-0,166 \times (Y/H)+0,0053 \quad (4.45)$$

Burada;

NO_{düz}: Düzeltilmiş NO konsantrasyonu (ppm)

NO_{yaş}: Ölçülen NO konsantrasyonu (ppm)

olarak tanımlanmaktadır.

4.6.5. HC emisyonu oluşumu

Hidrokarbon emisyonları (HC), yanmamış veya kısmi yanmış hidrokarbon yakıtlardan meydana gelmektedir. Yakıt, normal yanma prosesinde silindirdeki kompresyon kaçakları, karbon kalıntısı, yağ tabakası vb yollarla silindirden yanmadan veya kısmi yanarak ayrılmaktadır. İçten yanmalı motorların egzozundan çıkan hidrokarbonlar birçok sınıfta gruplandırılmasına rağmen en yaygın olanları toplam hidrokarbon (THC) ve metan olmayan (Non-methane) hidrokarbondur [62]. Motora gönderilen yakıtın yaklaşık olarak %9'u iş zamanı boyunca yanmamaktadır. Yanmayan bu yakıtın %7'si diğer üç zamanda (emme, sıkıştırma ve egzoz) oksijenle reaksiyona girerek yanmakta, geriye kalan %2'lik kısım ise hiç yanmadan egzoz gazından dışarı atılmaktadır [63]. İçten yanmalı motorlardaki başlıca önemli hidrokarbon kaynakları ve oranları Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8: Motorlu taşıtlardaki başlıca hidrokarbon kaynakları [63]

Hidrokarbon kaynağı	Yanmayan yakıt (%)	HC emisyonları (%)
Çatlaklar	5,2	38
Yağ tabakası	1,0	16
Karbon kalıntıları	1,0	16
Sıvı yakıtlar	1,2	20
Alevin ulaşmaması	0,5	5
Egzoz subabı kaçakları	0,1	5
Toplam	9,0	100

İçten yanmalı motorlarda hidrokarbon emisyonu en çok motorun ilk çalışması sırasında meydana gelmektedir. Hidrokarbon emisyon miktarının silindir cidar sıcaklığının bir fonksiyonu olduğu ve silindir cidar sıcaklığı düştükçe hidrokarbon miktarının arttığı yapılan çalışmalarla belirlenmiştir [64].

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, 60, 80, 100 km/h taşıt hızı ve 5, 10, 15, 20 kW taşıt çıkış gücünde kurşunsuz benzin, E5, E10, M5 ve M10 yakıtları kullanılarak yapılan testlerde elde edilen özgül yakıt tüketimi, termik verim, egzoz gazı sıcaklığı, silindir basıncı, ısı dağılımı, karbon monoksit (CO), oksijen miktarı (O₂), karbondioksit (CO₂), hidrokarbon (HC) ve azot oksit (NO_x) emisyonları incelenmiştir.

5.1. 60 km/h Taşıt Hızındaki Test Sonuçlarının Analizi

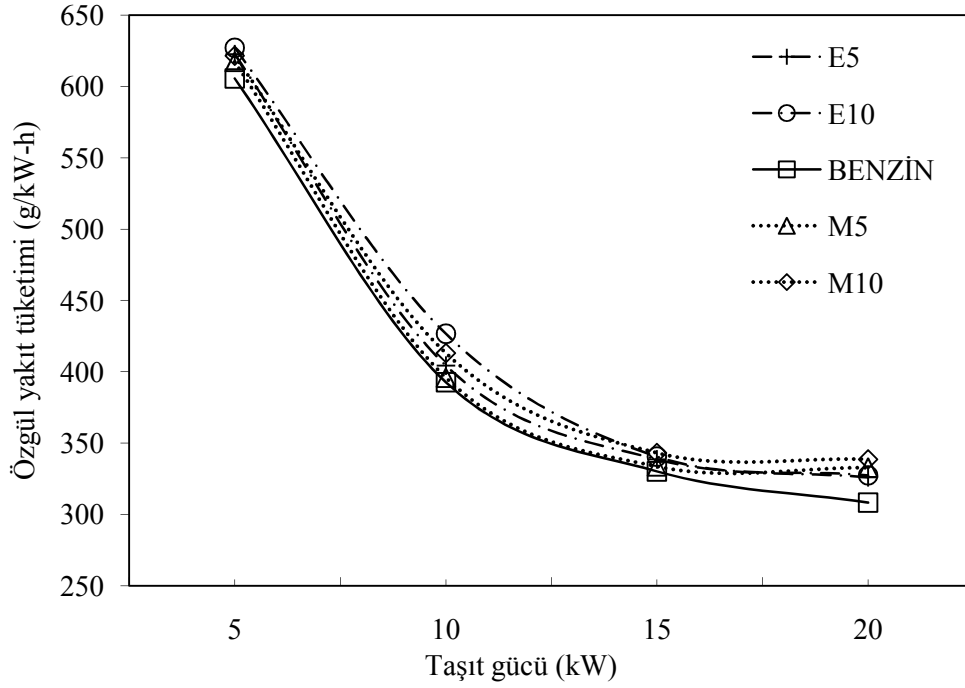
5.1.1. Performans parametrelerinin incelenmesi

5.1.1.1. Özgül yakıt tüketimi

60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki özgül yakıt tüketimi değişimi Şekil 5.1'de gösterilmiştir. 60 km/h taşıt hızında etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının özgül yakıt tüketimleri, benzine göre daha yüksek çıkmıştır. Taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte özgül yakıt tüketimi tüm yakıtlarda azalma göstermektedir. Taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte tüm yakıtlarda volümetrik verim artmaya başlamıştır. Volümetrik verimde meydana gelen artışla birlikte özgül yakıt tüketiminin azaldığı düşünülmektedir. 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki volümetrik verim Tablo 5.1'de verilmiştir. En düşük özgül yakıt tüketimi ise 20 kW taşıt çıkış gücünde elde edilmiştir. E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarında özgül yakıt tüketiminin benzine göre ortalama artış miktarları sırasıyla %3,51; %5,40; %2,95 ve %5,39 olarak belirlenmiştir. Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarında meydana gelen özgül yakıt tüketimi artışının temel nedeni, etanol ve metanolün içeriğinde oksijen bulundurması neticesinde ısı değerlerinin benzine göre daha düşük olmasıdır [39]. Metanol, etanole göre daha düşük ısı değere sahiptir. Buna rağmen 5, 10 ve 15 kW taşıt çıkış gücünde M5 ve M10 yakıtlarında E5 ve E10 yakıtlarına göre daha düşük özgül yakıt tüketimi meydana gelmiştir. Metanol içeriğinde etanole göre daha fazla oksijen bulundurmakta, yakıt içerisindeki oksijen ise yanma verimini artırmaktadır. Yanma veriminin artması ise özgül yakıt tüketimini azaltmaktadır.

Tablo 5.1: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki volümetrik verim (%)

Yakıt \ Çıkış gücü	5 kW	10 kW	15 kW	20 kW
Benzin	32,13	41,89	56,11	80,80
E5	30,76	40,95	53,76	92,27
E10	30,48	40,95	54,00	91,57
M5	30,62	39,32	51,81	80,70
M10	30,90	40,14	52,54	89,29

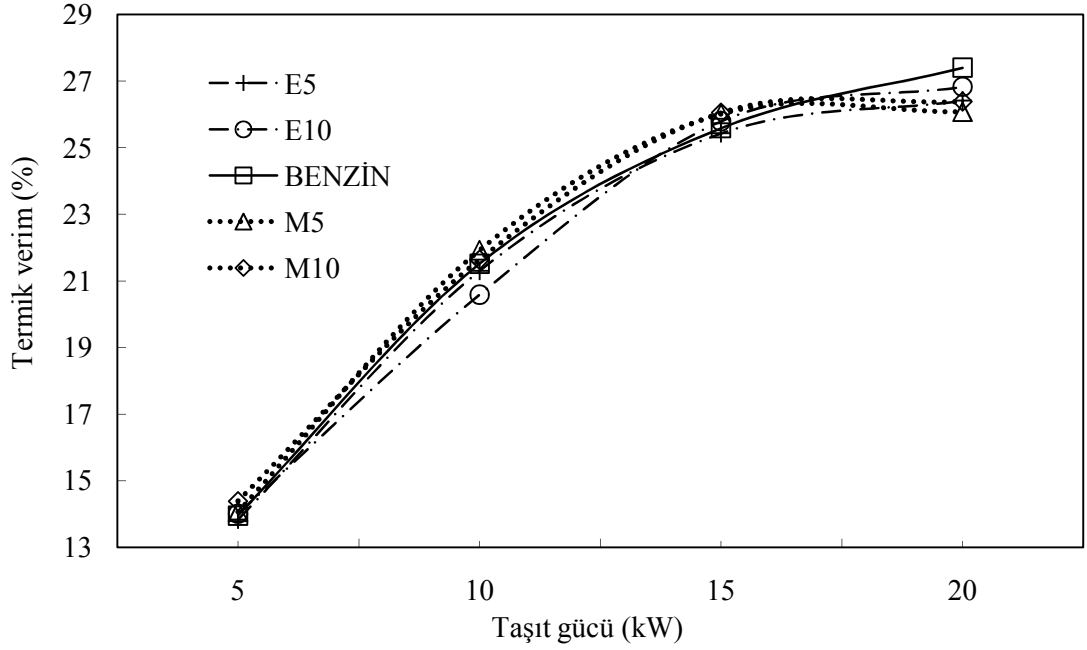


Şekil 5.1: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki özgül yakıt tüketimi değişimi

5.1.1.2. Termik verim

Termik verim, motordan alınan net işin motora sürülen ısıya oranıdır. 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki termik verim değişimi Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Taşıt gücünün artmasıyla birlikte özgül yakıt tüketimi azalmaya, termik verim artmaya başlamıştır. En yüksek termik verim ise 20 kW taşıt çıkış gücünde benzinde %27,40 olarak gerçekleşmiştir. E5, E10 ve M5 yakıtlarında benzine göre ortalama azalma miktarı sırasıyla %1,52; %1,30 ve %0,12 olarak tespit edilmiştir. M10 yakıtında meydana gelen ortalama artış miktarı ise %0,45’dir. E5, E10 ve M5 yakıtlarında termik verimin azalmasının temel nedeni, etanol ve metanolun ısıl değerlerinin düşük olması sebebiyle özgül yakıt tüketimlerinin artmasıdır. M10

yakıtının ısı değeri benzine göre düşük olmasına rağmen içeriğindeki oksijen miktarı hem benzin hem de diğer yakıt karışımlarına göre daha yüksektir. Oksijen miktarının yüksek olması neticesinde daha iyi yanma gerçekleşmekte ve termik verim artmaktadır.



Şekil 5.2: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki termik verim değişimi

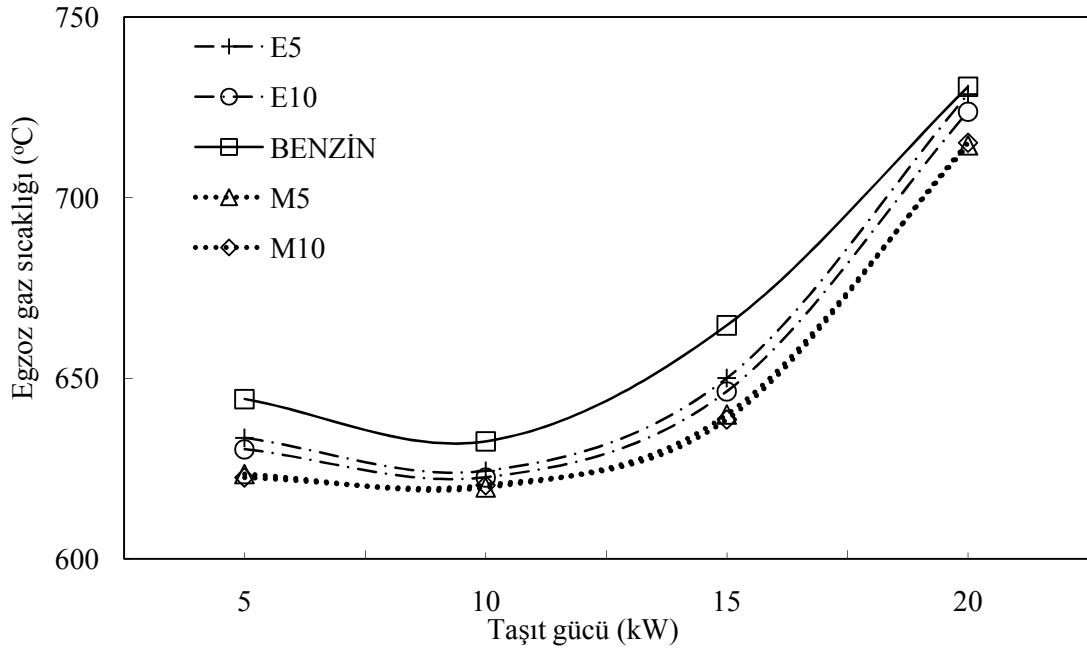
5.1.1.3. Egzoz gazı sıcaklığı

Deneysel olarak kullanılan yakıtların her bir taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklıkları Tablo 5.2’de verilmiştir. Ayrıca, egzoz gazı sıcaklığı değişimi ise Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Egzoz gazı sıcaklığı, silindirde yanma sonucu ulaşılan maksimum sıcaklıkla orantılı olarak değişmektedir. Etanol ve metanol, benzine göre daha yüksek buharlaşma gizli ısısına sahiptir. Benzin, etanol ve metanolün buharlaşma gizli ısıları sırasıyla 349, 923 ve 1178 kJ/kg’dır [34]. Etanol ve metanol buharlaşma esnasında ortamdan daha fazla ısı çektiği için bu yakıtların adyabatik alev sıcaklıkları benzine göre daha düşüktür [65]. Tüm yakıtlarda minimum ve maksimum egzoz gazı sıcaklığı sırasıyla 10 kW ve 20 kW taşıt çıkış gücünde elde edilmiştir.

Tablo 5.2: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklıkları (°C)

Yakıt \ Çıkış gücü	5 kW	10 kW	15 kW	20 kW
Benzin	644,3	632,6	664,7	730,7
E5	633,5	624,4	650,1	728,7
E10	630,4	622,6	646,4	723,8
M5	623,5	619,8	640,0	714,5
M10	622,5	620,4	638,6	715,2

E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarında benzine göre egzoz gazı sıcaklıklarındaki ortalama azalma miktarı sırasıyla %1,36; %1,86; %2,8 ve %2,84 şeklindedir. Metanol, etanol ve benzine göre daha yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olduğundan egzoz gazı sıcaklığında en çok azalma metanolde meydana gelmiştir. Ayrıca yakıt karışımlarındaki etanol ve metanol miktarının artmasıyla birlikte sıcaklıktaki düşüş de artmaya başlamıştır.



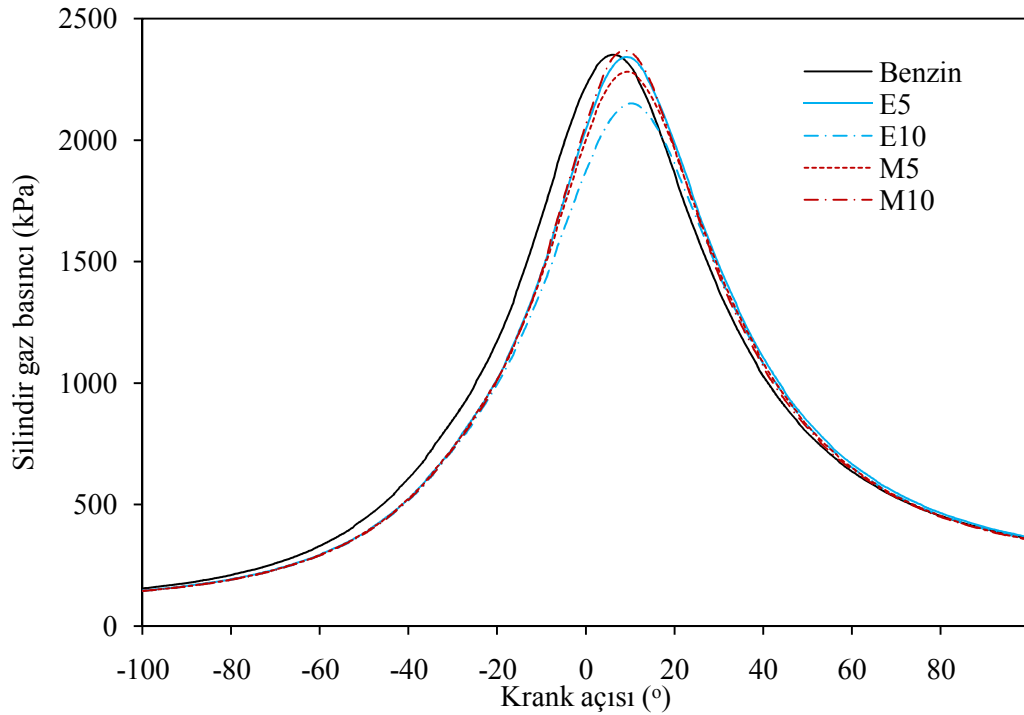
Şekil 5.3: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklık değişimi

5.1.2. Yanma karakteristiklerinin incelenmesi

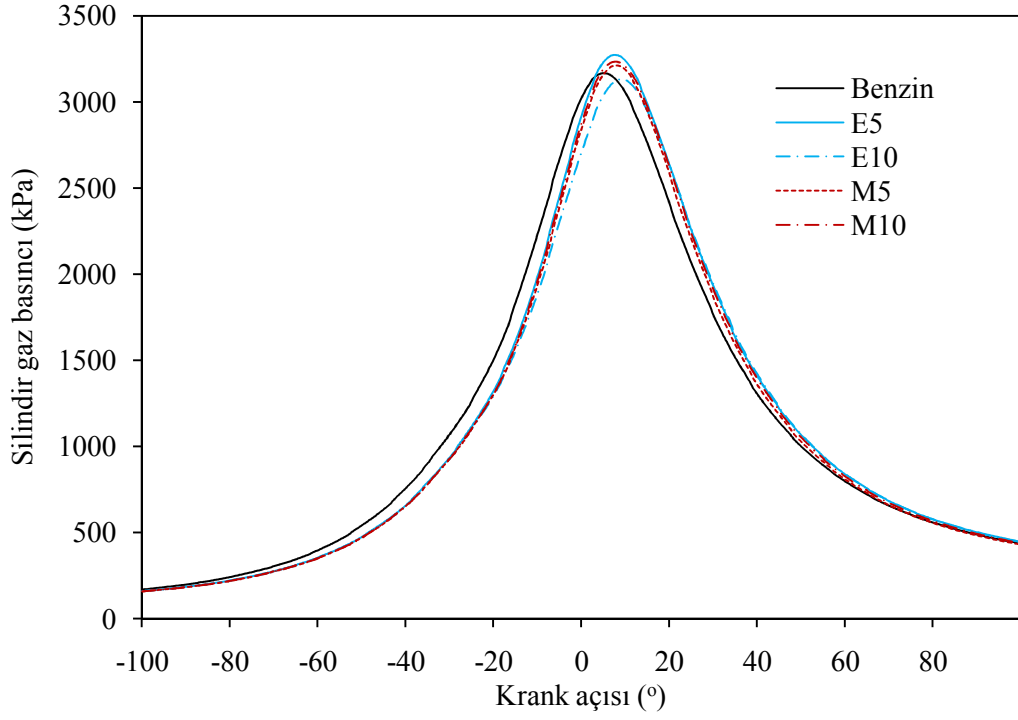
5.1.2.1. Silindir gaz basınçları

60 km/h taşıt hızı ve 5, 10, 15 ve 20 kW taşıt çıkış güçlerinde silindir gaz basıncının krank açısına (KA) göre değişimi Şekil 5.4, 5.5, 5.6 ve 5.7'de gösterilmektedir. Taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte tüm yakıtların silindir gaz basıncı artmaya

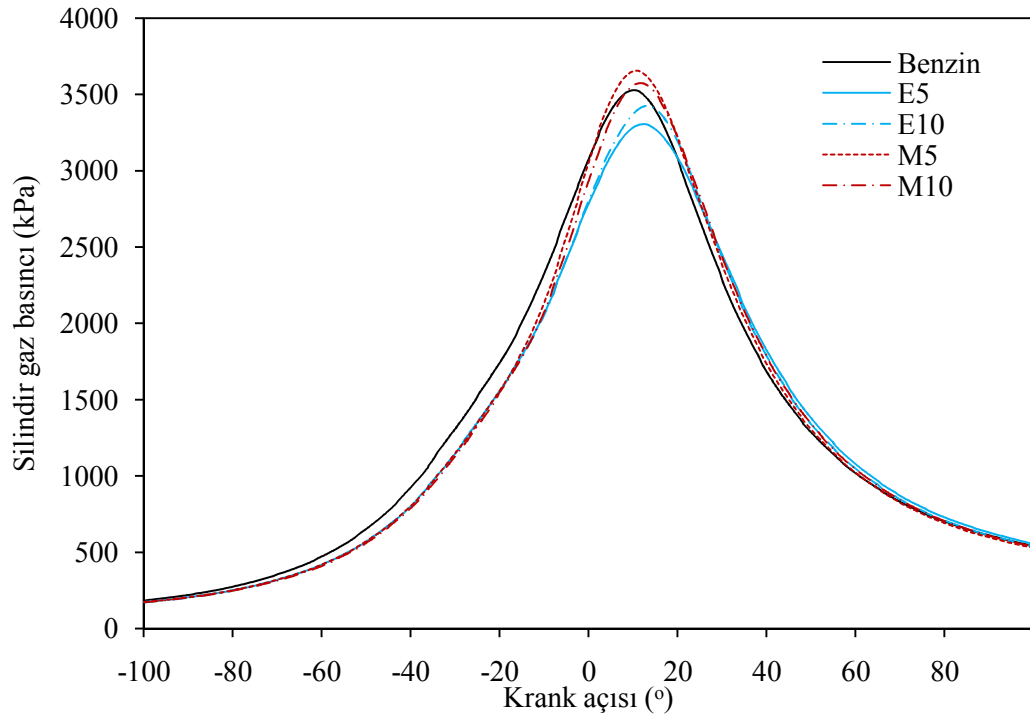
başlamıştır. Bu artışın nedeni, silindirlere gönderilen yakıt miktarı ve volümetrik verimin artması şeklinde ifade edilebilir. Ayrıca taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte maksimum silindir gaz basıncı üst ölü noktadan uzaklaşmaya başlamıştır. Taşıt çıkış gücü arttıkça içeri alınan yakıt miktarı artmakta, yakıtın buharlaşması için daha fazla ısıya ve yakıtın yanması içinse daha fazla zamana ihtiyaç vardır. Bu nedenle, çıkış gücü arttıkça maksimum silindir gaz basıncı üst ölü noktadan uzaklaşmaktadır. 5, 10, 15 ve 20 kW çıkış güçlerinde maksimum silindir gaz basınçları sırasıyla M10, E5, M5 ve M5 yakıtlarında elde edilmiştir. Benzinde silindir gaz basıncı, 20 kW dışında diğer güçlerde etanol ve metanol karışımlarına göre daha erken yükselmeye başlamış ve maksimum silindir basıncı ÜÖN'ya daha yakın gerçekleşmiştir. 20 kW çıkış gücünde ise E5 yakıtında silindir gaz basıncı daha erken yükselmeye başlamıştır. Benzinde silindir gaz basıncının daha erken yükselmeye başlamasının sebebi, metanol ve etanolün gizli buharlaşma ısılarının benzine göre yüksek olması neticesinde yakıtın buharlaşması için daha fazla ısı çekmesi ve benzinin ısıl değerinin diğer yakıt karışımlarına göre daha yüksek olması şeklinde düşünülmektedir.



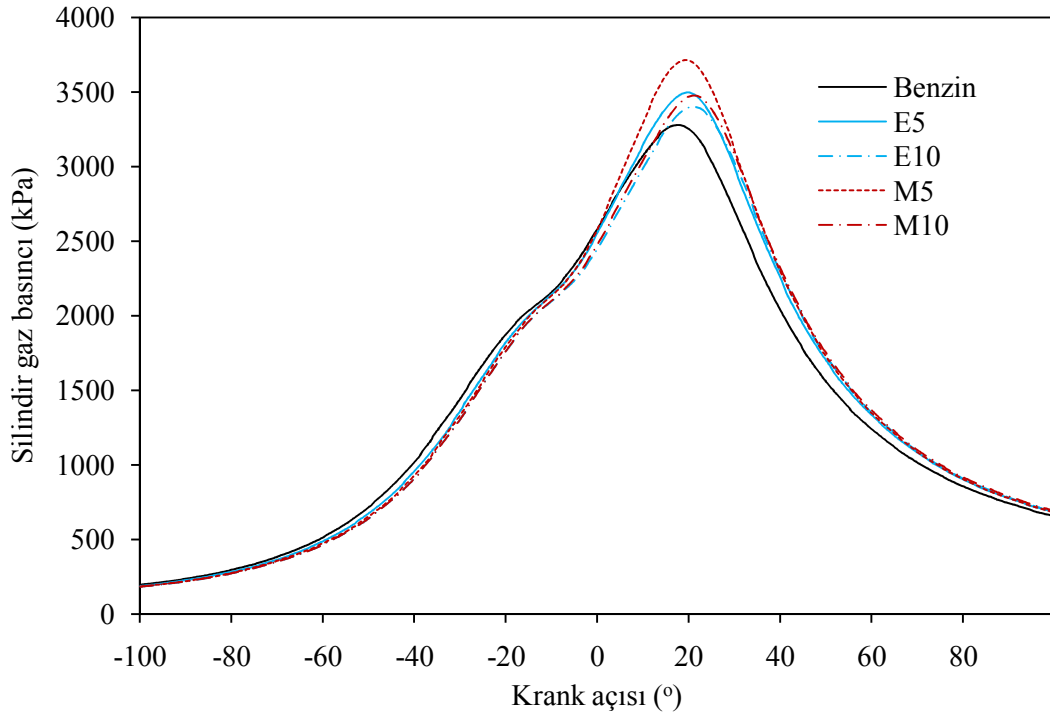
Şekil 5.4: 60 km/h taşıt hızı ve 5 kW taşıt çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi



Şekil 5.5: 60 km/h taşıt hızı ve 10 kW taşıt çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi



Şekil 5.6: 60 km/h taşıt hızı ve 15 kW taşıt çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi

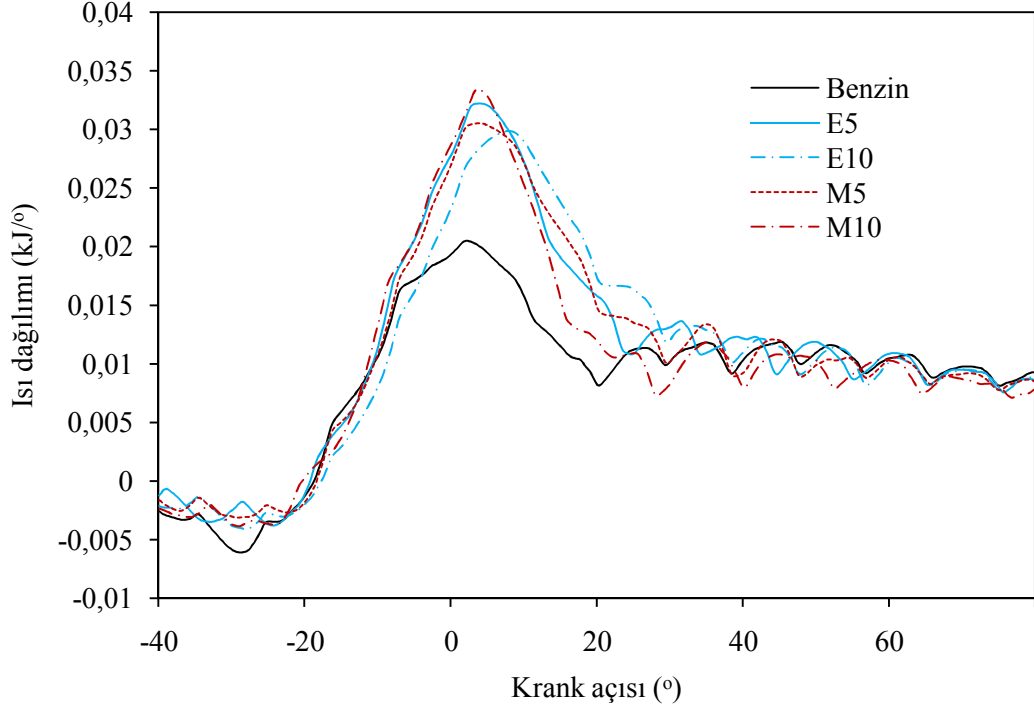


Şekil 5.7: 60 km/h taşıt hızı ve 20 kW taşıt çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi

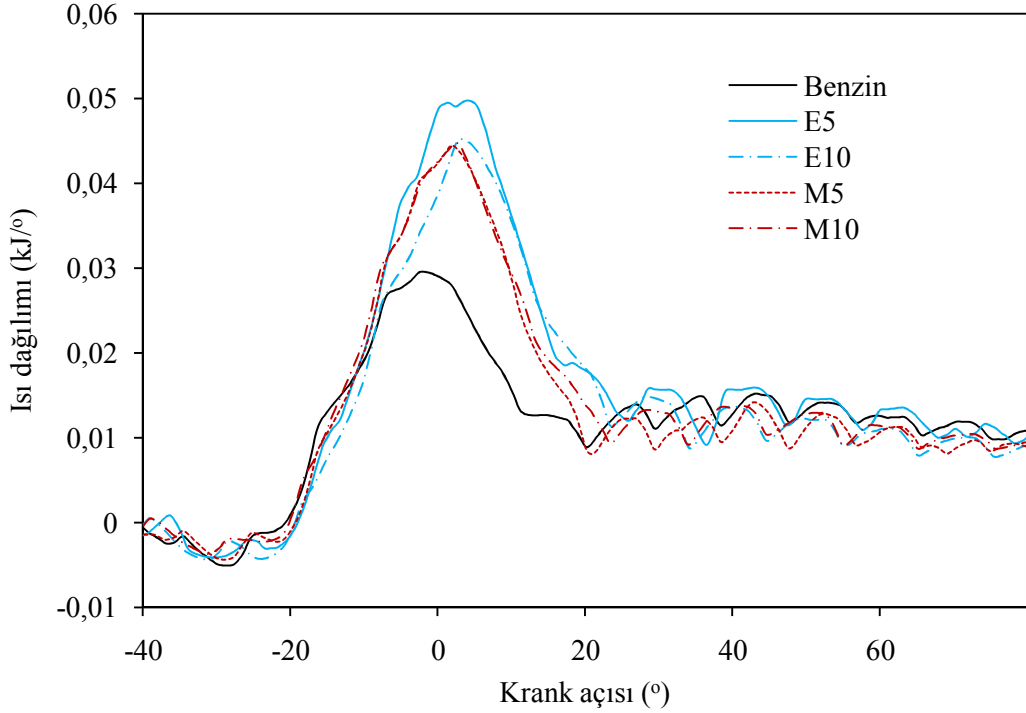
5.1.2.2. Isı dağılımları

Isı dağılımı motor performansı, farklı çalışma koşullarının motor performansına etkisi ve aynı şartlardaki farklı motorların performanslarının belirlenmesinde kullanılmaktadır [66]. Ayrıca içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri ısı dağılımını etkileyen başlıca parametrelerden biridir. 60 km/h taşıt hızı ve 5, 10, 15 ve 20 kW taşıt çıkış güçlerindeki ısı dağılımı Şekil 5.8, 5.9, 5.10 ve 5.11’de verilmiştir. Isı dağılım grafiğinde ani artışın gözlemlendiği kısım bölüm 4’de II. faz olarak belirtilen ana yanma safhasıdır. Ana yanma safhası maksimum silindir basıncı elde edilen noktaya kadar devam etmektedir. Maksimum silindir basıncına ulaşılan noktadan sonrası ise III. faz olarak nitelendirilen son yanma safhasıdır. Grafikte ısı dağılımının sıfırın altına düştüğü bölge ise silindir içerisindeki yakıtın buharlaşması esnasında ortamdan ısı çekildiğini göstermektedir. Benzin, metanol ve etanole göre daha düşük buharlaşma gizli ısısına sahiptir. Buna rağmen yakıtın buharlaşması esnasında ısı dağılımında en çok azalma benzinde görülmüştür. Ayrıca tüm taşıt çıkış güçlerinde en düşük maksimum ısı dağılımı yine benzinde gerçekleşmiştir. Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarında

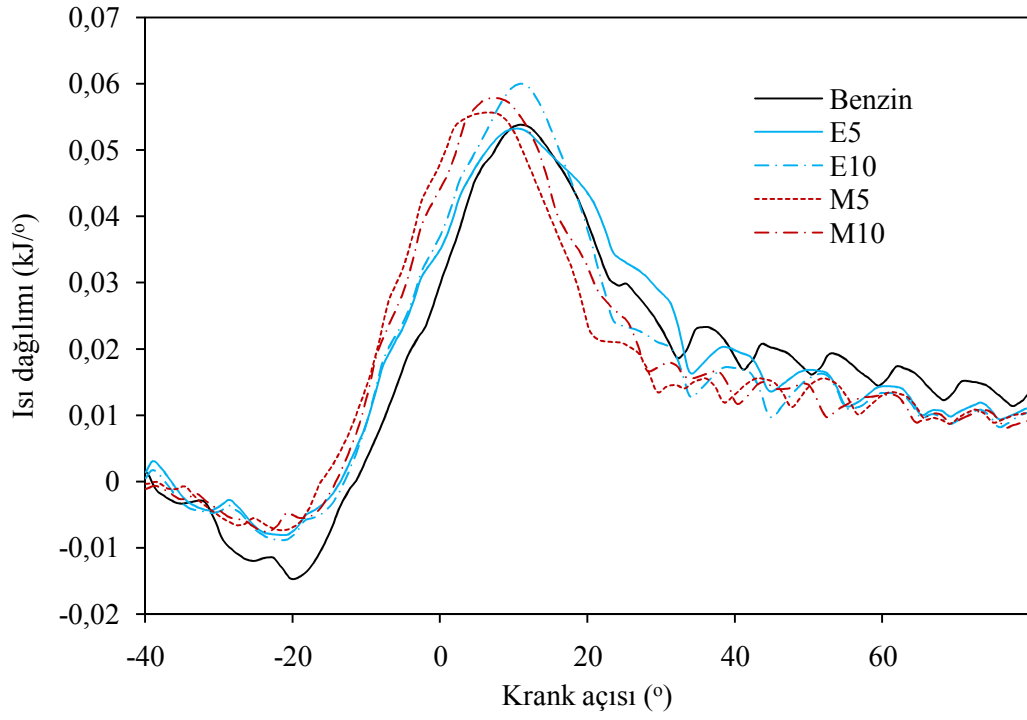
maksimum ısı dağılımının elde edilmesinin nedeni ise etanol ve metanolun içeriğindeki oksijenin yakıtın yanma hızını artırdığı ve yanma verimini iyileştirdiği düşünülmektedir.



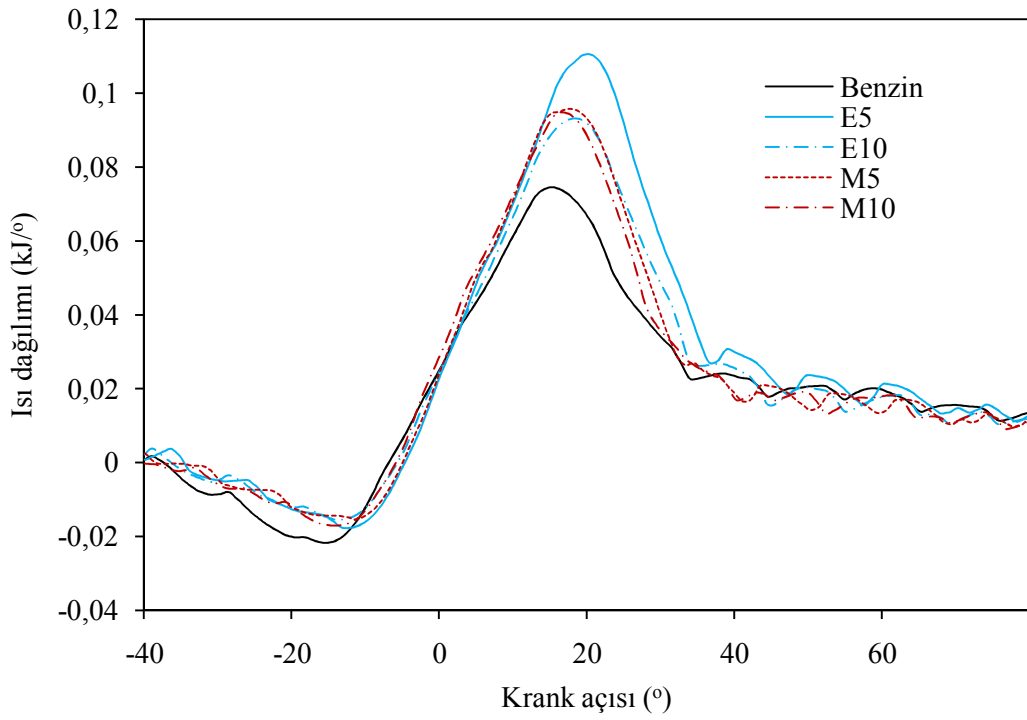
Şekil 5.8: 60 km/h taşıt hızı ve 5 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı değişimi



Şekil 5.9: 60 km/h taşıt hızı ve 10 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı değişimi



Şekil 5.10: 60 km/h taşıt hızı ve 15 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı değişimi



Şekil 5.11: 60 km/h taşıt hızı ve 20 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı değişimi

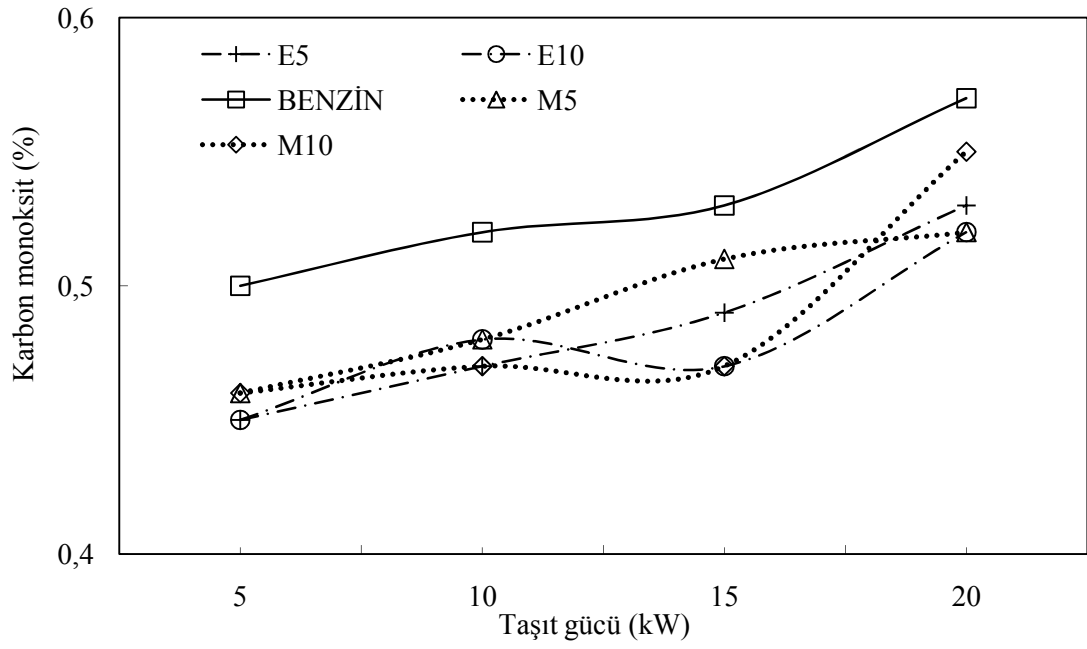
5.1.3. Egzoz emisyon sonuçlarının incelenmesi

5.1.3.1. CO emisyonları

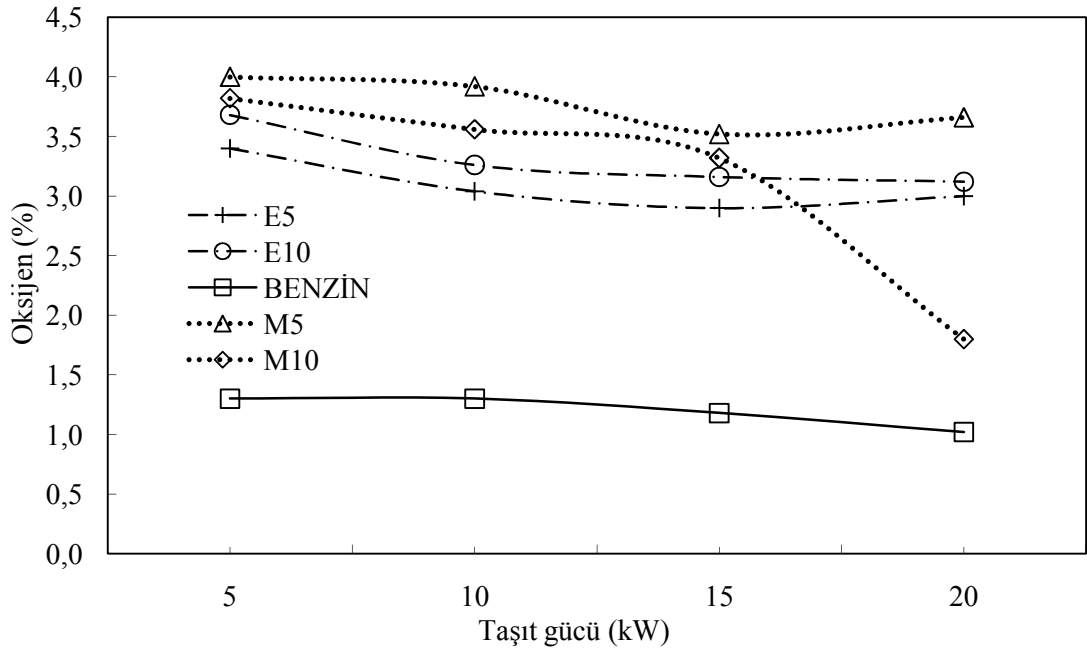
60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki karbon monoksit emisyonu değişimi Şekil 5.12’de verilmiştir. Karbon monoksit, içeriğinde karbon bulunduran bileşiklerin kısmi yanması sonucu oluşan bir emisyondur. CO emisyonunu etkileyen başlıca faktörler, hava-yakıt oranı, yanma odasındaki türbülans ve yakıtın moleküler yapısıdır. Testlerde kullanılan yakıtların hava-yakıt oranları Tablo 5.3’de verilmiştir. Tüm güçlerde E5, E10, M5 ve M10 kullanımıyla CO emisyonunda benzine göre azalma meydana gelmiştir. E5, E10, M5 ve M10 kullanımında benzine göre ortalama azalma miktarları sırasıyla %8,55; %9,45; %7,06 ve %8,11’dir. Bu azalmanın başlıca nedeni, etanol ve metanolün içeriğinde oksijen bulundurmasıdır [39]. Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarında, etanol ve metanol oranının artmasıyla birlikte tam yanma için ihtiyaç duyulan hava-yakıt oranı da azalmaktadır. Genel olarak incelendiğinde taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte, CO emisyonunda artış olduğu gözlenmiştir. 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki oksijen miktarının değişimi Şekil 5.13’de gösterilmektedir. Egzoz gazının içerdiği oksijen miktarına bakıldığında, etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarındaki oksijen miktarı benzine göre daha yüksektir. Bu sonuç yakıtın oksijen içeriğinin yanmada oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, etanol ve metanol karışımı benzin yakıtının yanmasında oksijen fazlalığı elde edilmiştir.

Tablo 5.3: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki hava-yakıt oranı

Yakıt \ Çıkış gücü	5 kW	10 kW	15 kW	20 kW
Benzin	11,00	11,06	11,74	13,58
E5	10,34	10,50	10,97	14,67
E10	10,08	9,95	10,86	14,36
M5	10,47	10,48	10,83	12,79
M10	10,31	10,16	10,48	13,66



Şekil 5.12: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki karbon monoksit emisyonu

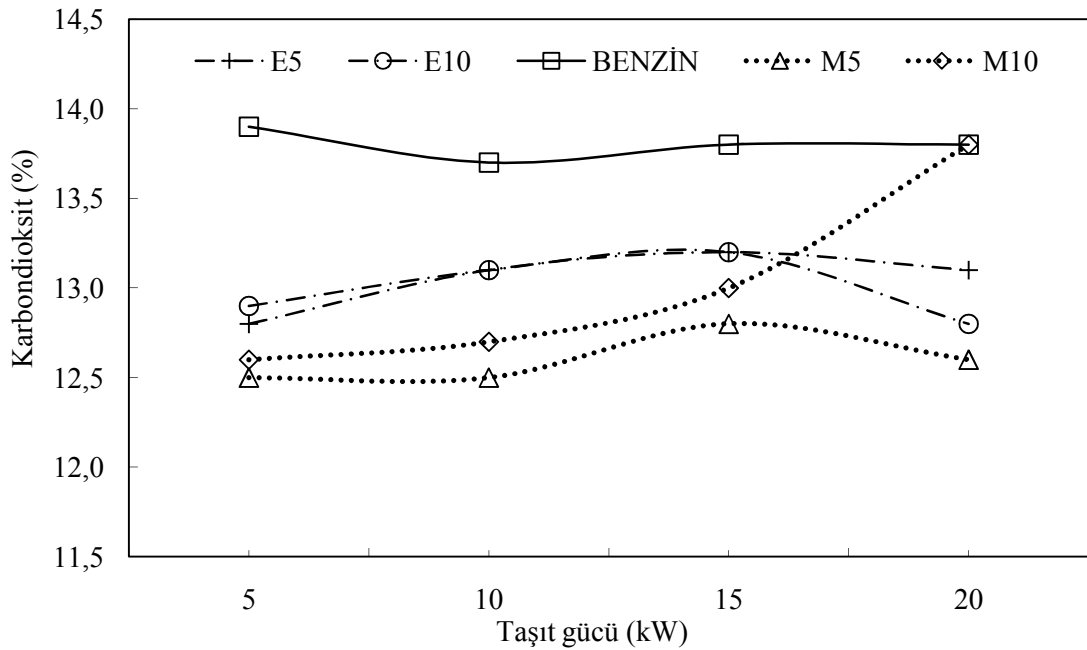


Şekil 5.13: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki oksijen miktarı değişimi

5.1.3.2. CO₂ emisyonları

Karbondioksit, içeriğinde karbon bulunduran hidrokarbonların tam yanması sonucu oluşan emisyonudur. Ayrıca CO₂, küresel ısınmaya neden olan başlıca sera

gazlarından biridir. Etanol ve metanol, benzine göre daha düşük karbon/hidrojen oranına sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı yanma sonucunda daha az miktarda CO₂ emisyonu açığa çıkarmaktadırlar [24]. 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki karbondioksit emisyonu değişimi Şekil 5.14’de verilmiştir. E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarıyla yapılan deneylerde benzine göre daha düşük CO₂ emisyonu oluşmuştur. E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarında benzine göre ortalama azalma miktarı sırasıyla %5,43; %5,79; %8,69 ve %5,61 olarak elde edilmiştir. CO₂ emisyonu değişimi, taşıt çıkış gücünün artışına bağlı olarak önemli bir farklılık göstermemektedir. Sadece 20 kW taşıt çıkış gücünde M10 yakıtında ani bir artış meydana gelmiştir. Bu, M10 yakıtının 20 kW test şartlarında daha iyi bir yanma göstermesinin bir sonucudur. Şekil 5.13’de görüldüğü gibi bu test şartlarında egzoz gazı içerisindeki oksijen miktarı azalmıştır.

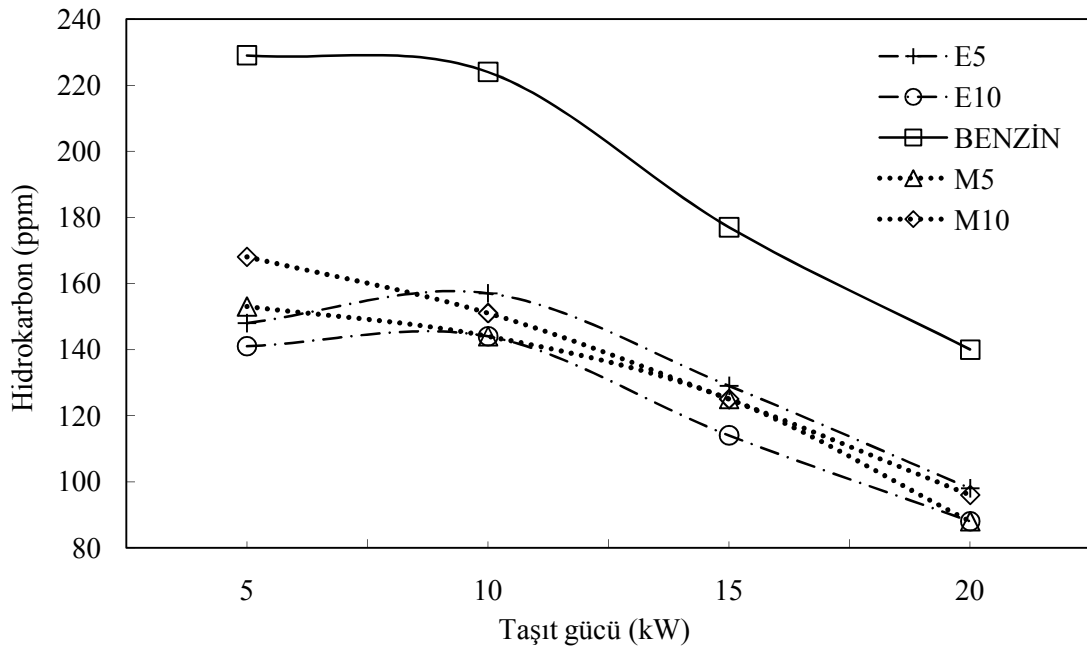


Şekil 5.14: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki karbondioksit emisyonu

5.1.3.3. HC emisyonları

Hidrokarbon emisyonları (HC), yanmamış veya kısmi yanmış hidrokarbon yakıtlardan meydana gelmektedir. HC emisyonlarının oluşmasına neden olan başlıca etkenler, oldukça zengin veya fakir karışımlar sonucu meydana gelen eksik yanma,

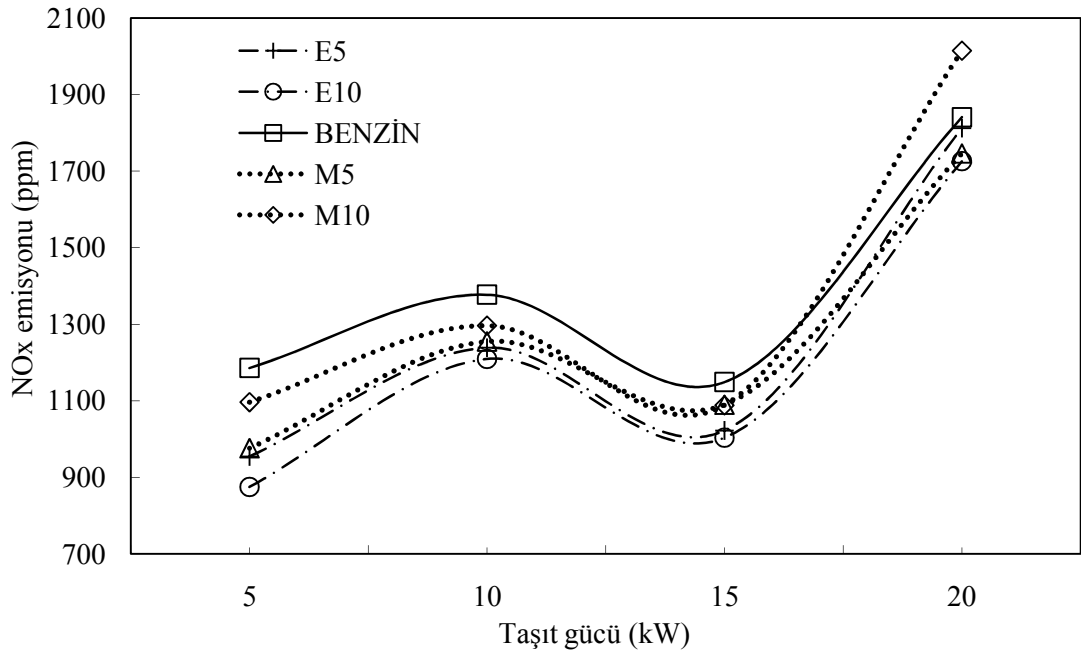
hava-yakıt karışımı içerisinde bulunan yüksek miktardaki yanmış egzoz gazları, yanma odası yüzeylerinde meydana gelen alev sönmesi, yanma odasındaki karbon kalıntısı ve silindir cidarındaki yağ tabakasının yakıt tutması şeklinde sıralanabilir [67]. Silindir içerisinde soğuk olan bölgelerde alev sıcaklığı düşmektedir. Alev sıcaklığının düşmesi ise hava-yakıt karışımının tam yanmasını engellemektedir [68-70]. 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki hidrokarbon emisyonu değişimi Şekil 5.15’de verilmiştir. E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarıyla yapılan çalışmada benzine göre daha düşük HC emisyonu açığa çıkmıştır. Taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte etanol karışımları dışında diğer yakıtlarda HC emisyonu azalma göstermiştir. HC emisyonundaki bu azalışın nedeni, taşıt çıkış gücüyle birlikte hava-yakıt oranının artmasıdır. Etanol karışımlarında ise 10 kW çıkış gücünde HC emisyonu artış göstermiş ve çıkış gücünün artmasıyla birlikte tekrar azalmaya başlamıştır. Bunun nedeni ise 10 kW taşıt çıkış gücünde etanol karışımları için hava-yakıt oranının kısmen azalması olarak gösterilebilir. E5, E10, M5 ve M10 kullanımında benzine göre ortalama HC azalma miktarları sırasıyla %30,60; %36,72; %33,86 ve %30,01 olarak belirlenmiştir. Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarında HC emisyonunun azalmasının temel sebebi, etanol ve metanolun yapılarında oksijen bulundurmalarıdır. Bu ise daha iyi bir yanma sağlamaktadır.



Şekil 5.15: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki HC emisyonu değişimi

5.1.3.4. NO_x emisyonları

Azot oksitler (NO_x), havanın içerisinde bulunan azotun yüksek sıcaklıklarda oksijenle reaksiyona girmesi sonucu meydana gelmektedir. Buji ile ateşlemeli bir motorda oluşan NO_x emisyonunun büyük bir kısmı (yaklaşık %99'u) NO ve çok küçük bir kısmı (%1'den daha küçük) ise NO₂'den meydana gelmektedir [57]. NO_x emisyonunun oluşabilmesi için silindir içerisindeki sıcaklığın 1800 K'den daha yüksek bir sıcaklığa ulaşması gerekmektedir [58, 70]. Obert [71] tarafından önerilen, yanma sonu basıncının azaltılmasıyla NO_x emisyonu kontrol yöntemleri; sıkıştırma oranının azaltılması, ateşleme avansının düşürülmesi, hava-yakıt karışımı sıcaklığının düşürülmesi, motor devrinin azaltılması, egzoz gazı geri dönüşümünün yapılması, havadaki nem artışı veya karışıma su püskürtülmesi, motorun çok zengin veya çok fakir hava-yakıt oranlarında çalıştırılması şeklinde sıralanmıştır. 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki NO_x emisyonu değişimi Şekil 5.16'da görülmektedir. E5, E10 ve M5 yakıtlarında NO_x emisyonunun benzine göre ortalama azalma miktarı sırasıyla %6,24; %10,27 ve %3,34'dir. M10 yakıtında meydana gelen ortalama artış miktarı ise %1,38 olarak hesaplanmıştır. Etanol ve metanol kullanımıyla NO_x emisyonlarında meydana gelen azalmanın temel nedeni, etanol ve metanolun buharlaşma gizli ısılarının benzine göre daha yüksek olmasıdır. Buharlaşma gizli ısısının yüksek olması, yanma sonu silindir basınç ve sıcaklığını düşürmektedir. Silindir basınç ve sıcaklığının düşmesi ise NO_x emisyonunu azaltmaktadır. Metanol-benzin karışımlarının NO_x emisyonunun etanol-benzin karışımlarına göre daha yüksek çıkmasının nedeni ise metanolun, etanole göre içeriğinde daha fazla oksijen bulundurmasıdır. M10 yakıtının 20 kW çıkış gücünde daha fazla NO_x üretmesinin nedeni olarak yanmanın daha verimli olması, daha az CO ve HC açığa çıkarması şeklinde yorumlanabilir.



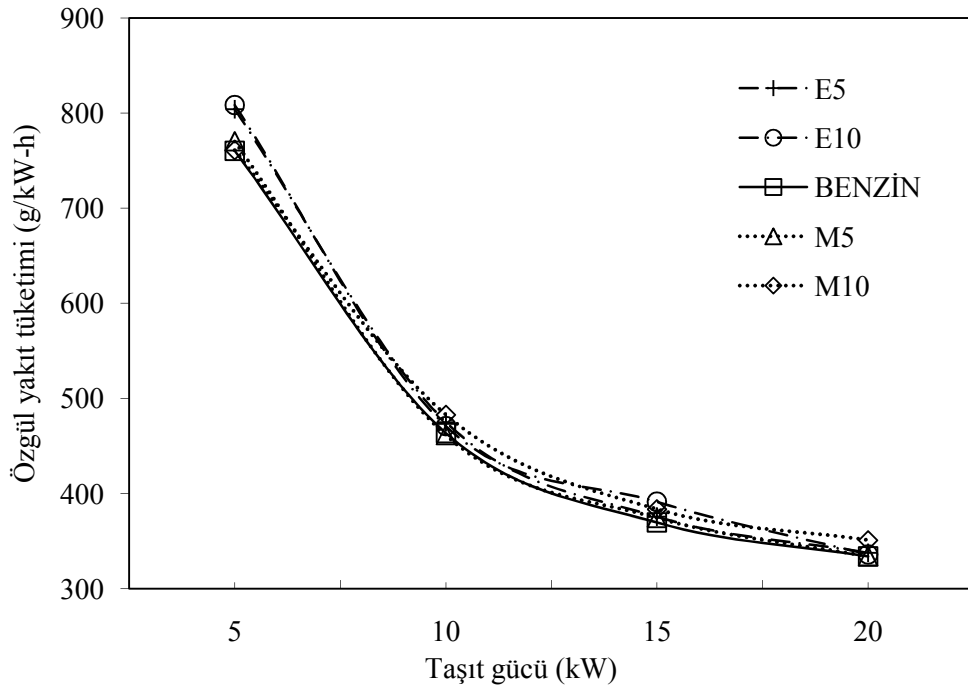
Şekil 5.16: 60 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki NO_x emisyonu değişimi

5.2. 80 km/h Taşıt Hızındaki Test Sonuçlarının Analizi

5.2.1. Performans parametrelerinin incelenmesi

5.2.1.1. Özgül yakıt tüketimi

80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki özgül yakıt tüketimi değişimi Şekil 5.17'de verilmiştir. E5, E10, M5 ve M10 kullanımında benzine göre ortalama artış miktarları sırasıyla %2,75; %3,61; %0,54 ve %3,28 olarak ölçülmüştür. Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının özgül yakıt tüketiminin artmasının temel nedeni, etanol ve metanolün benzine göre daha düşük ısıl değere sahip olmalarıdır. Metanol, etanole göre daha düşük ısıl değere sahip olmasına rağmen M5'de E5'e ve M10'da E10'a göre daha düşük artış olduğu gözlenmiştir. 60 km/h taşıt hızında olduğu gibi 80 km/h taşıt hızında da, taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte özgül yakıt tüketiminde azalma meydana gelmiştir. Taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte volümetrik verim ve yanma verimi arttığından, özgül yakıt tüketiminin azaldığı düşünülmektedir. 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki volümetrik verim değerleri Tablo 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.17: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki özgül yakıt tüketimi değişimi

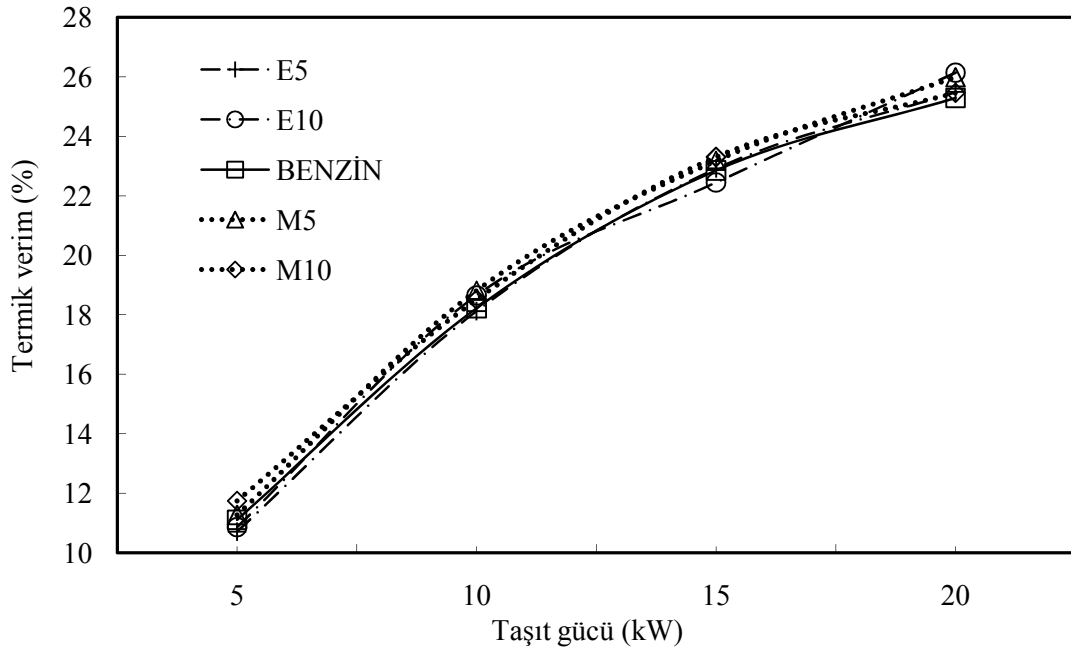
Tablo 5.4: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki volümetrik verim (%)

Çıkış gücü	5 kW	10 kW	15 kW	20 kW
Yakıt				
Benzin	29,48	40,89	44,88	53,33
E5	29,78	35,57	43,08	53,45
E10	29,48	35,55	43,89	51,44
M5	26,91	33,15	41,84	51,46
M10	26,05	34,61	41,88	52,83

5.2.1.2. Termik verim

80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki termik verim değişimi Şekil 5.18'de gösterilmiştir. 60 km/h taşıt hızında olduğu gibi, 80 km/h taşıt hızında da çıkış gücünün artmasıyla birlikte termik verim artmaya başlamıştır. Taşıt çıkış gücüyle birlikte termik verimin artış nedeni, özgül yakıt tüketimindeki azalmadır. E10, M5 ve M10 yakıtında benzine göre ortalama termik verim artış miktarları sırasıyla %0,42; %2,2 ve %2,47 olarak hesaplanmıştır. E5'de meydana gelen ortalama termik verim azalma miktarı ise %0,78'dir. E10, M5 ve M10 yakıtları içeriğinde E5 göre daha fazla oksijen bulundurduğundan dolayı daha iyi yanma meydana gelmekte ve termik verim artmaktadır. Bununla birlikte, Al-hasan [72], yakıtın buharlaşma gizli ısısının artması durumunda sıkıştırma zamanında da buharlaşmanın devam edeceğini, yakıt

buharlaştırırken silindirden ısı çekeceği için yakıt-hava karışımının sıkıştırılması için ihtiyaç duyulan işin azalacağını ve bu durumun termik verimi artıracığını belirtmiştir. Literatürde yapılan bazı çalışmalarda, sıkıştırma oranının artmasıyla birlikte termik verimin arttığı belirtilmiştir [11, 73]. Etanol ve metanol, benzine göre daha yüksek oktan sayısına sahiptir. Yakıtın oktan sayısının yüksek olması ise vuruşta olmaksızın sıkıştırma oranının artırılmasına izin vermektedir. Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının oktan sayısına uygun bir motor kullanılması durumunda, termik verimin daha da artacağı düşünülmektedir.

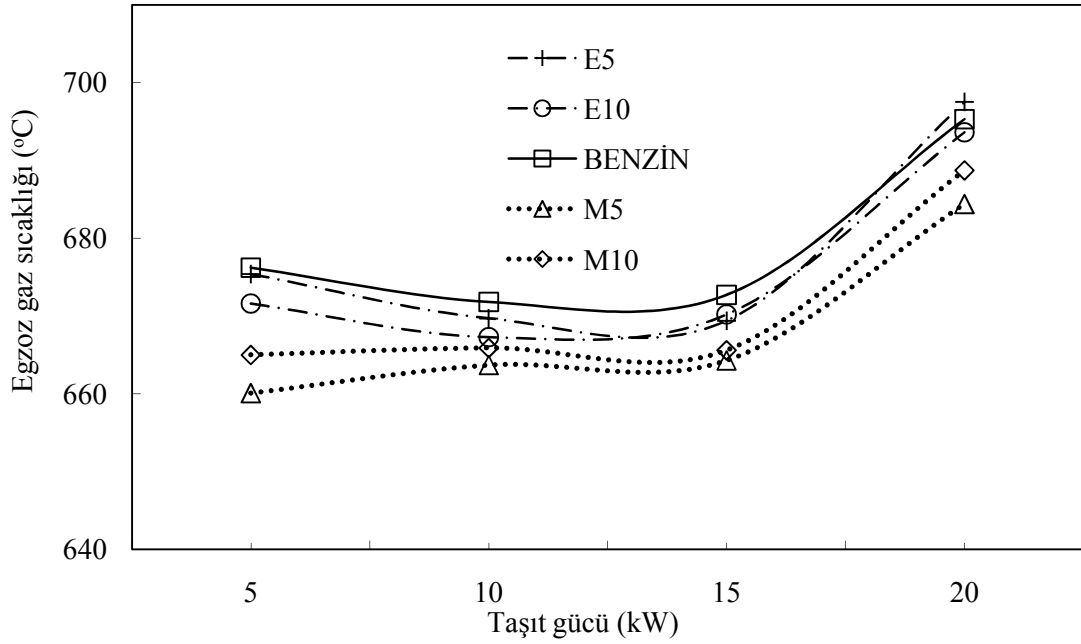


Şekil 5.18: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki termik verim değişimi

5.2.1.3. Egzoz gazı sıcaklığı

80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklığı değişimi Şekil 5.19'da gösterilmiştir. E5, E10, M5, ve M10 yakıtlarında benzine göre egzoz gazı sıcaklıklarındaki ortalama azalma miktarı sırasıyla %0,15; %0,49; %1,60 ve %1,13 olarak belirlenmiştir. 60 km/h taşıt hızında olduğu gibi, 80 km/h taşıt hızında da genel olarak tüm yakıtlarda egzoz gazı sıcaklığında azalma meydana gelmiştir. Bu azalmanın temel nedeni, etanol ve metanolün gizli buharlaşma ısısının benzine göre yüksek olmasıdır. Ayrıca etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarında özgül yakıt

tüketimi daha fazla olduğundan, aynı çıkış gücünü sağlamak için silindire alınan fazla yakıtın buharlaşması egzoz gazı sıcaklığını kısmen azaltmaktadır.



Şekil 5.19: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklık değişimi

Testlerde kullanılan yakıtların her bir taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklıkları Tablo 5.5’de verilmiştir. Tüm yakıtlar için en yüksek egzoz gazı sıcaklığı, maksimum gücün elde edildiği 20 kW taşıt çıkış gücünde ölçülmüştür. M10’un buharlaşma gizli ısısı diğer yakıtlara göre daha yüksek olmasına rağmen, minimum egzoz gazı sıcaklıkları M5’de elde edilmiştir.

Tablo 5.5: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklıkları (°C)

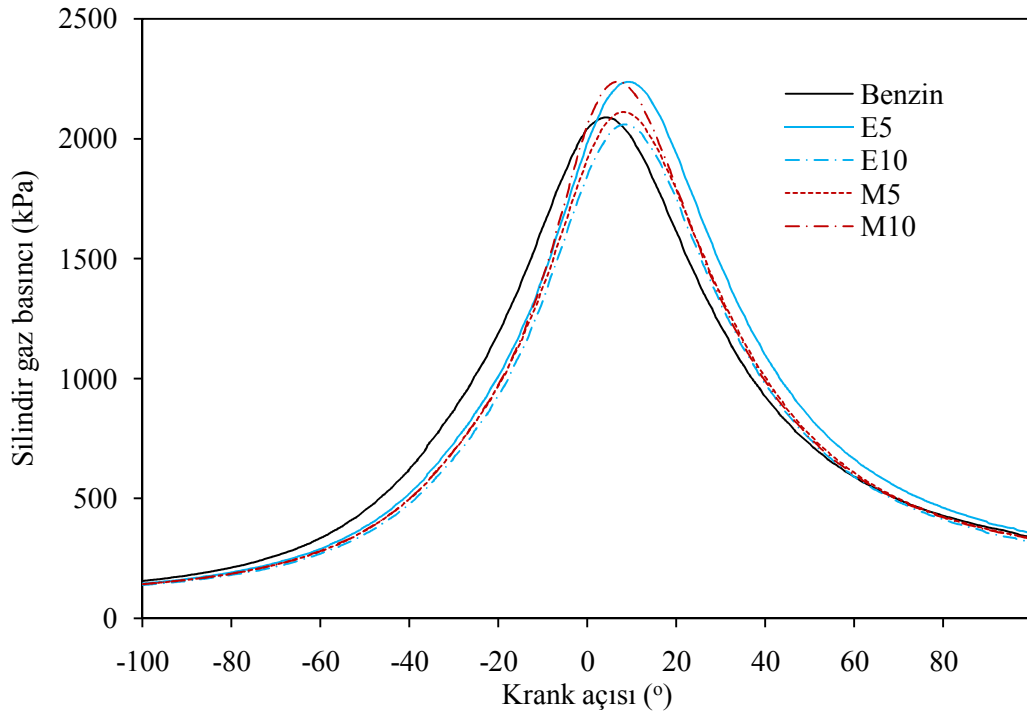
Yakıt \ Çıkış gücü	5 kW	10 kW	15 kW	20 kW
Benzin	676,2	671,8	672,7	695,3
E5	675,4	669,7	669,4	697,5
E10	671,6	667,3	670,2	693,6
M5	660,1	663,7	664,3	684,4
M10	665,0	665,9	665,6	688,7

5.2.2. Yanma karakteristiklerinin incelenmesi

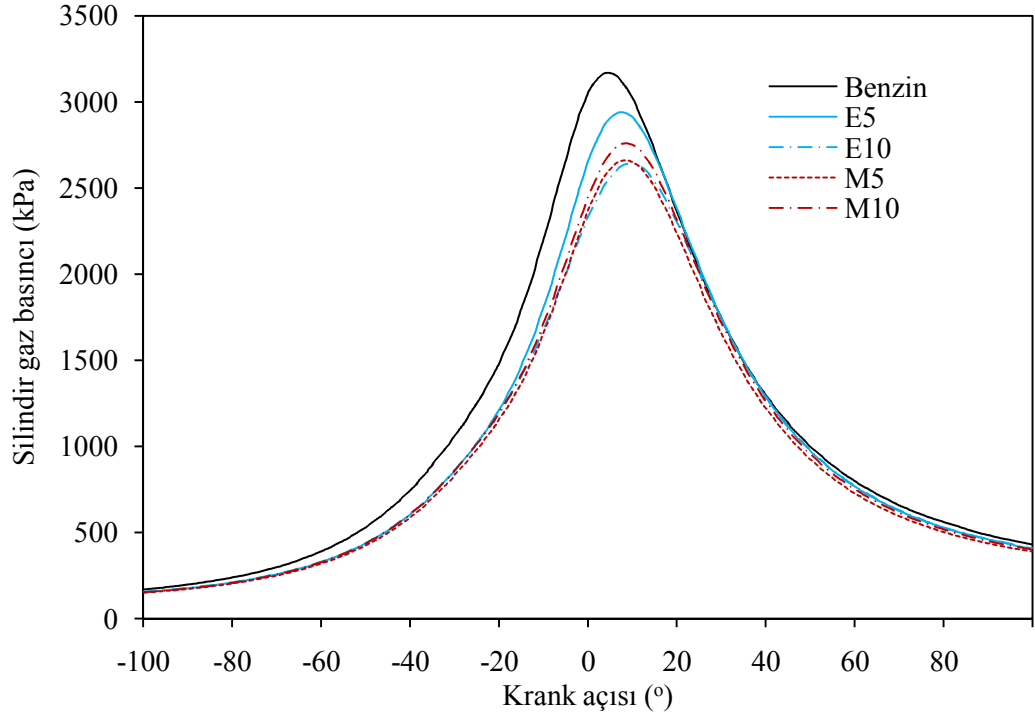
5.2.2.1. Silindir gaz basınçları

80 km/h taşıt hızı ve 5, 10, 15 ve 20 kW taşıt çıkış güçlerinde silindir gaz basıncının KA’a göre değişimi Şekil 5.20, 5.21, 5.22 ve 5.23’de gösterilmiştir. 60 km/h taşıt

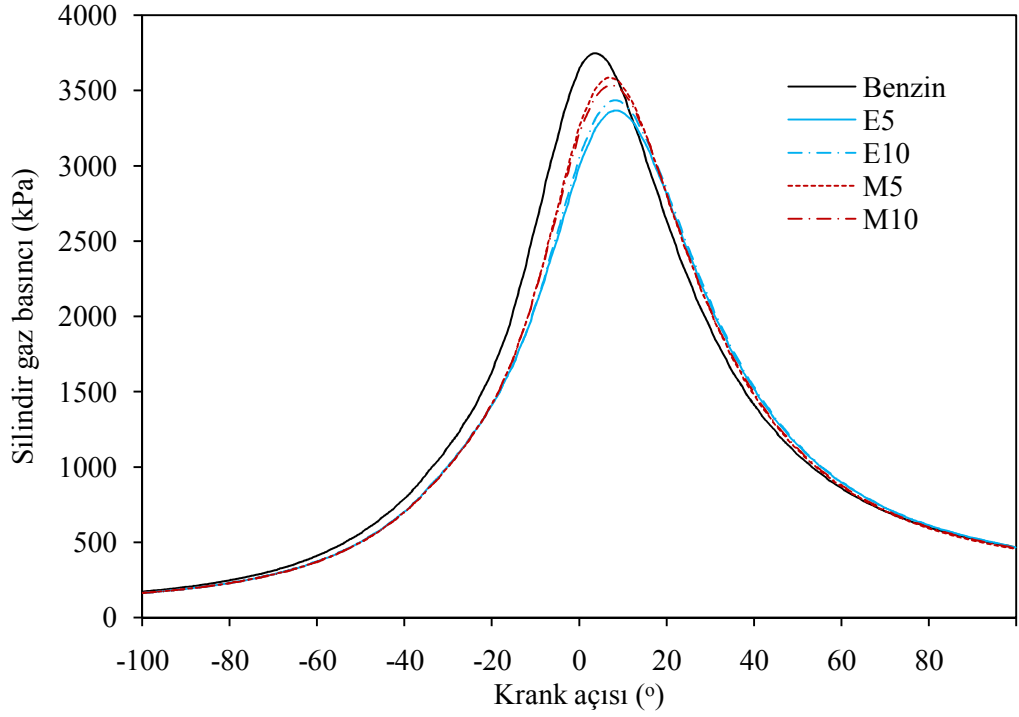
hızında olduğu gibi 80 km/h taşıt hızında da çıkış gücünün artmasıyla birlikte silindir gaz basıncı artış göstermiştir. 10, 15 ve 20 kW çıkış gücünde maksimum silindir gaz basıncı benzinde elde edilmiştir. 5 kW çıkış gücünde ise maksimum silindir gaz basıncı M10'da gerçekleşmiştir. Ayrıca 60 km/h'de olduğu gibi tüm çıkış güçlerinde benzinin silindir gaz basıncı daha erken yükselmeye başlamış ve maksimum silindir basıncı ÜÖN'ya daha yakın oluşmuştur. Motorun daha kararlı çalıştığı 10, 15 ve 20 kW çıkış güçlerinde, benzinin silindir gaz basıncı altında kalan alan etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarına göre daha geniştir. Bunun nedeni; benzinin, metanol ve etanole göre daha uzun süreli bir yanma gerçekleştiği şeklinde ifade edilebilir.



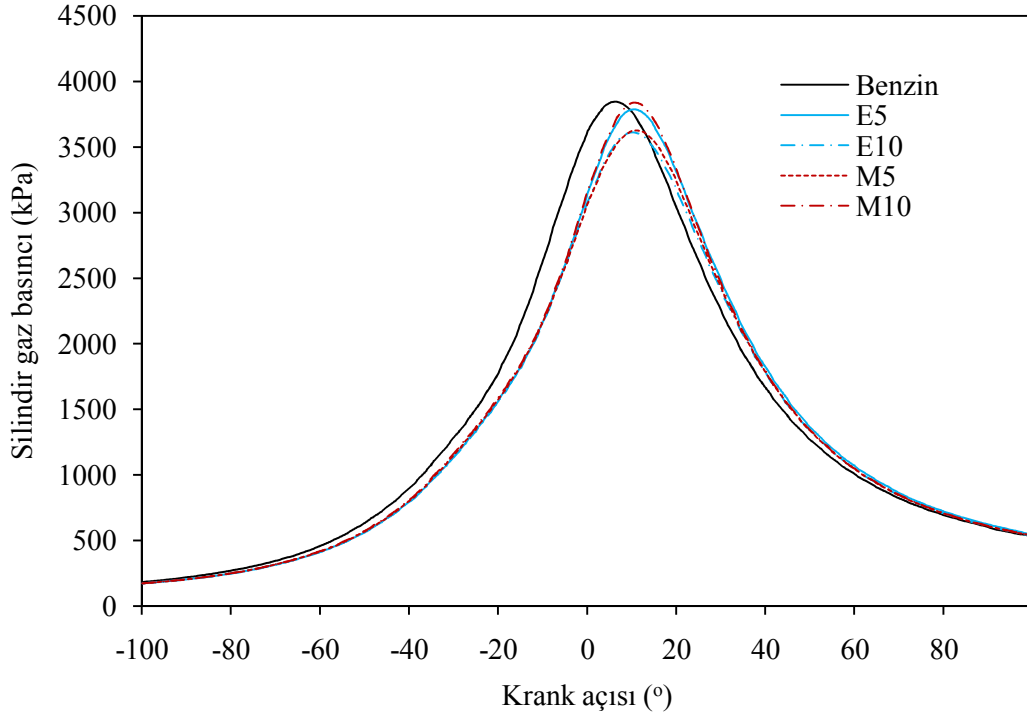
Şekil 5.20: 80 km/h taşıt hızı ve 5 kW taşıt çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi



Şekil 5.21: 80 km/h taşıt hızı ve 10 kW çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi



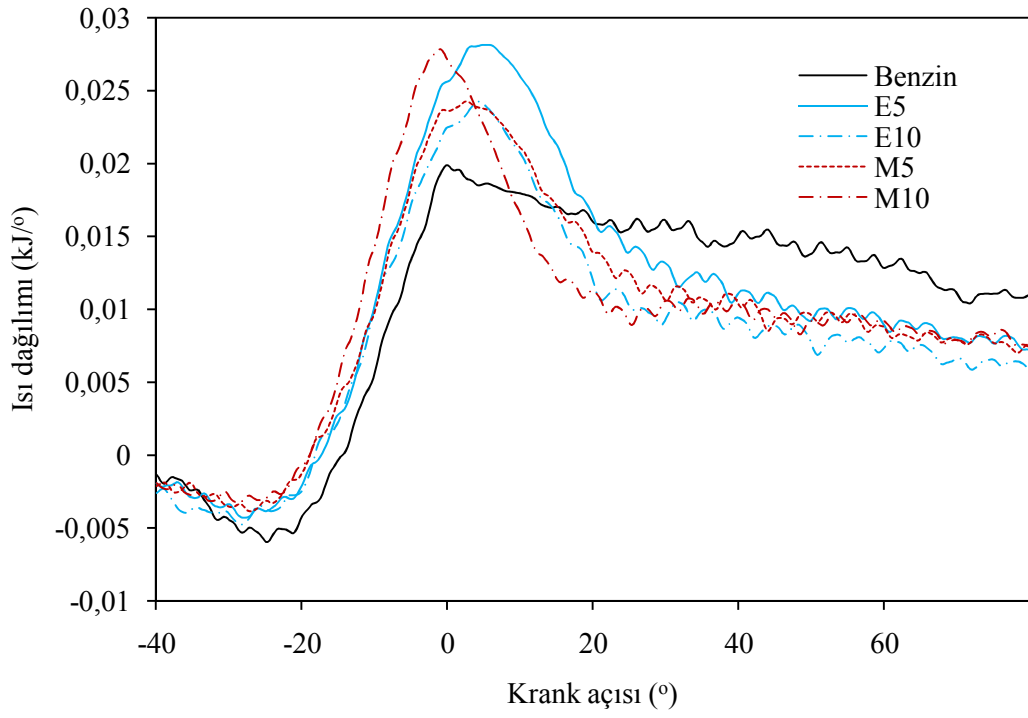
Şekil 5.22: 80 km/h taşıt hızı ve 15 kW çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi



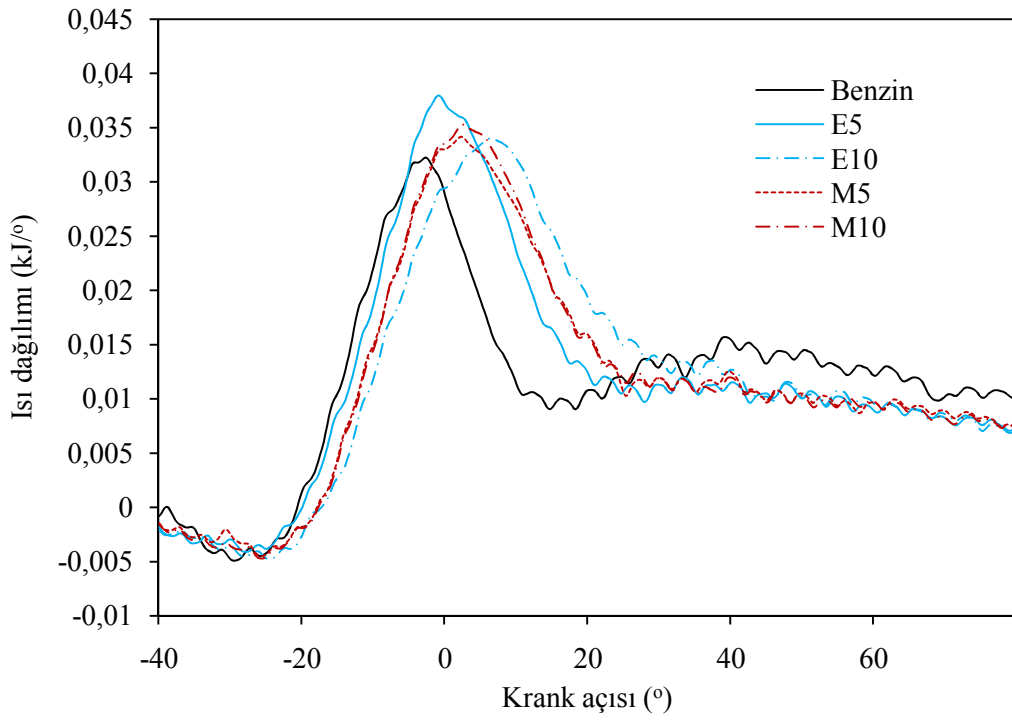
Şekil 5.23: 80 km/h taşıt hızı ve 20 kW çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi

5.2.2.2. Isı dağılımları

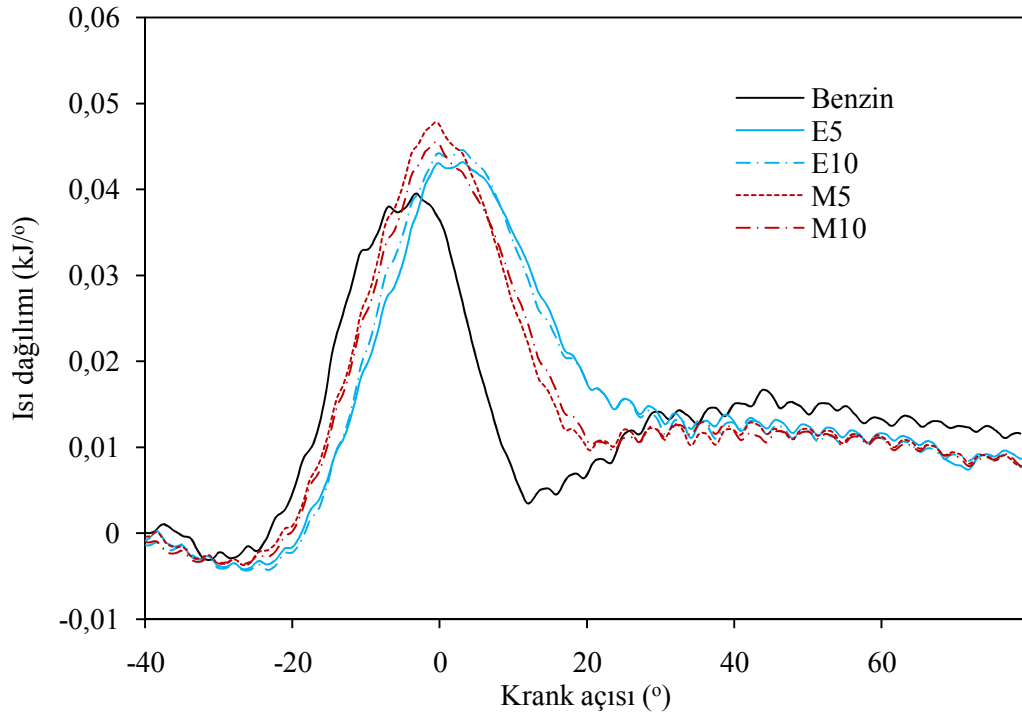
80 km/h taşıt hızı ve 5, 10, 15 ve 20 kW taşıt çıkış güçlerinde ısı dağılımının KA'a göre değişimi Şekil 5.24, 5.25, 5.26 ve 5.27 gösterilmiştir. 60 km/h'de olduğu gibi, 80 km/h taşıt hızında da en düşük maksimum ısı dağılımı benzinde meydana gelmiştir. 10, 15 ve 20 kW çıkış güçlerinde benzinin ısı dağılımı başlangıcı diğer yakıtlara göre daha erken oluşmaya başlamıştır. Bu durum önceki bölümde sunulan basınç grafikleri ile de paralellik göstermektedir. Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının ani ısı dağılımı tepe noktalarının benzine göre daha geniş olduğu belirlenmiştir. Benzinin ısı dağılımı ise özellikle 20° krank açısından sonra diğer yakıtlara göre daha yüksektir. Bunun sebebi, etanol ve metanolün tek tip hidrokarbon yapısına sahip olmasından dolayı tek bir kaynama noktalarının olması şeklinde düşünülmektedir. Taşıtların çıkış gücünün artmasıyla birlikte ısı dağılımı ÜÖN'ya yakın bölgelerde gerçekleşmekte ve ÜÖN'dan uzaklaştıkça ani bir düşüş göstermektedir. Isı dağılımının büyük bir kısmının ÜÖN'ya yakın bir bölgede gerçekleşmesi ise termik verimin artmasını sağlamaktadır.



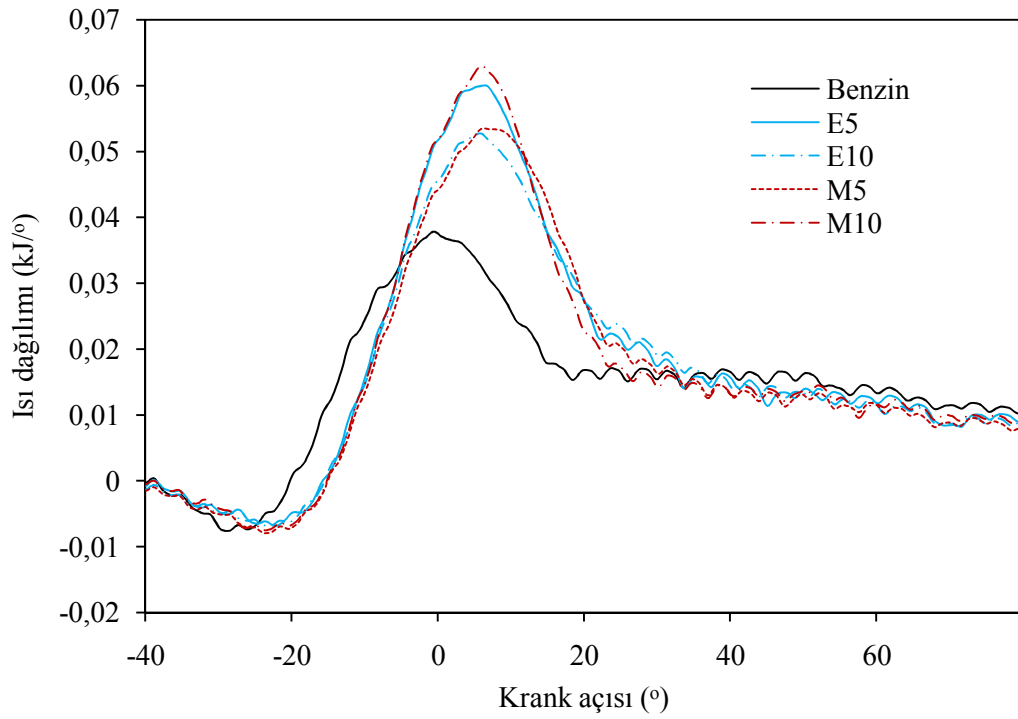
Şekil 5.24: 80 km/h taşıt hızı ve 5 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı değişimi



Şekil 5.25: 80 km/h taşıt hızı ve 10 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı değişimi



Şekil 5.26: 80 km/h taşıt hızı ve 15 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı değişimi

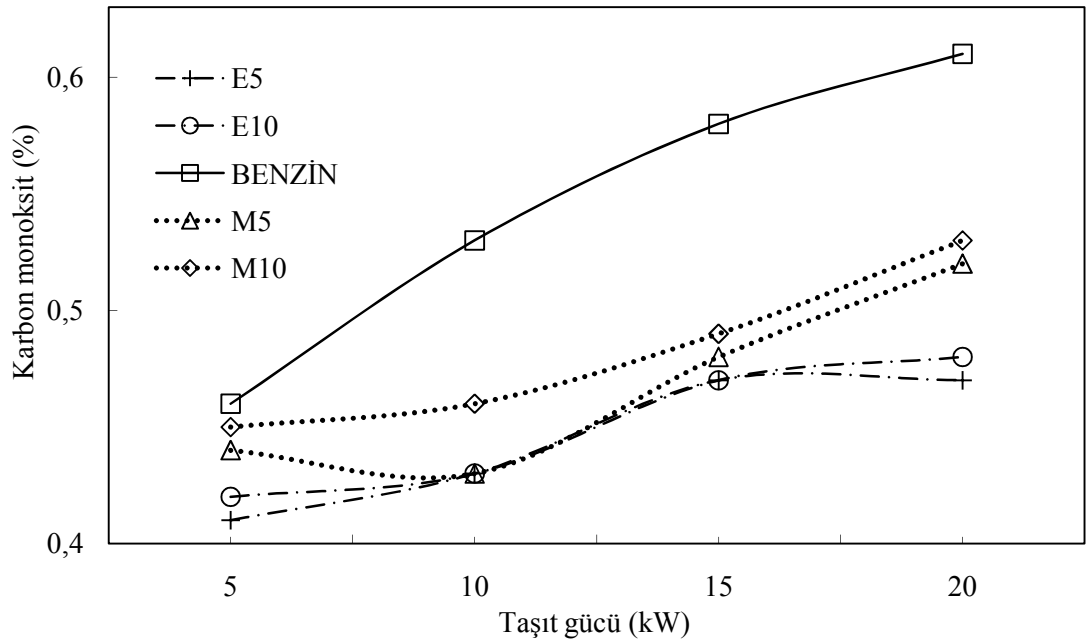


Şekil 5.27: 80 km/h taşıt hızı ve 20 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı değişimi

5.2.3. Egzoz emisyon sonuçlarının incelenmesi

5.2.3.1. CO emisyonları

80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki karbon monoksit emisyonu değişimi Şekil 5.28’de gösterilmiştir. Literatürde birçok çalışmada belirtildiği gibi, CO emisyonu hem metanol-benzin hem de etanol-benzin karışımlarında kurşunsuz benzine göre azalma göstermiştir [22, 39, 74, 75]. Yapılan bu çalışmada E5, E10, M5 ve M10 kullanımında benzine göre ortalama CO azalma miktarları sırasıyla %17,91; %16,96; %13,8 ve %11 olarak tespit edilmiştir. Alkoller tek bir kaynama noktasına sahip oldukları için yakıtın tamamı birlikte buharlaşmakta ve benzine göre daha homojen karışım oluşturmakta ve daha temiz yanmaktadır. Ayrıca etanol ve metanolün içeriğindeki oksijen bu yakıtların daha iyi yanmasını sağlamaktadır [76].



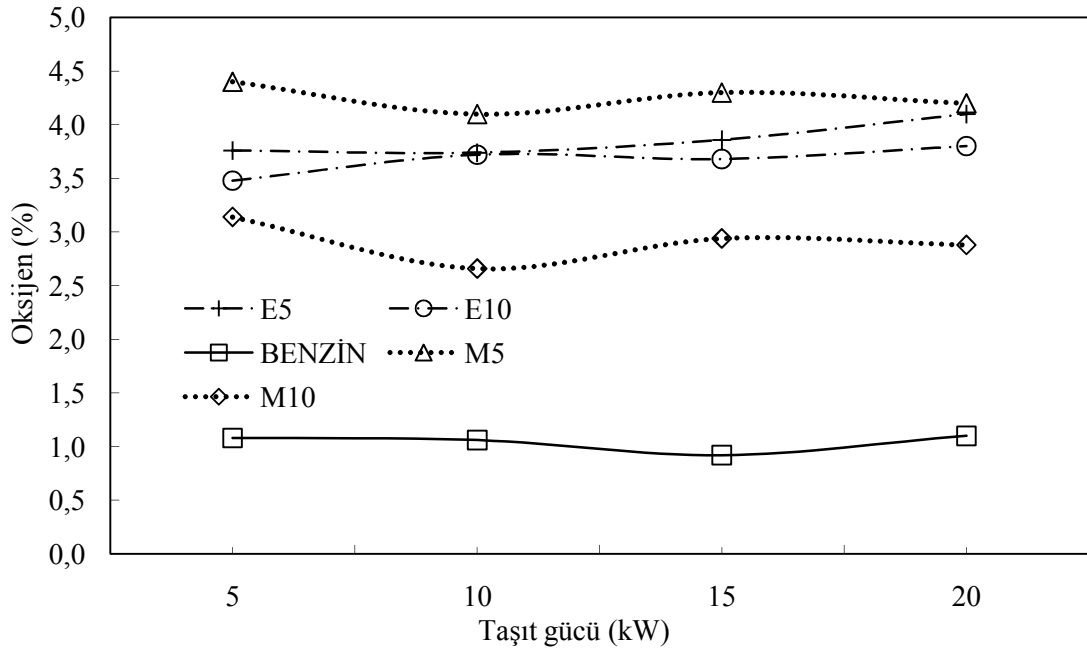
Şekil 5.28: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki CO emisyonu değişimi

80 km/h taşıt hızında da 60 km/h’de olduğu gibi, taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte tüm yakıtlarda karbon monoksit emisyonu artmıştır. Metanol, etanole göre içeriğinde daha fazla oksijen bulundurmasına rağmen metanol-benzin karışımlarının CO emisyonu, etanol-benzin karışımlarına göre daha yüksek çıkmıştır. Bu sonucun temel nedeni olarak metanol-benzin karışımlarının kullanıldığı testlerde hava-yakıt oranlarının kısmen düşük olması gösterilebilir. Testlerde kullanılan yakıtların hava-yakıt oranları Tablo 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5.6: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki hava-yakıt oranı

Yakıt \ Çıkış gücü	5 kW	10 kW	15 kW	20 kW
Benzin	11,25	12,80	11,74	11,69
E5	10,85	10,96	11,09	11,48
E10	10,58	10,95	10,75	11,10
M5	10,32	10,61	10,81	11,28
M10	10,02	10,40	10,46	10,92

Hava-yakıt oranı genel olarak incelendiğinde, taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte benzin dışında diğer yakıtlarda artış göstermektedir. Benzinde ise 10 kW çıkış gücünde maksimum hava-yakıt oranı 12,80 olarak elde edilmiştir. E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarının testlerinde egzoz gazında ölçülen oksijen miktarları, benzine göre daha yüksektir. Etanol-benzin karışımlarında oksijen değişimi benzer eğilimler gösterirken, M5 ve M10 yakıtları arasında farklılıklar gözlenmiştir. 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki oksijen değişimi Şekil 5.29'da görülmektedir.

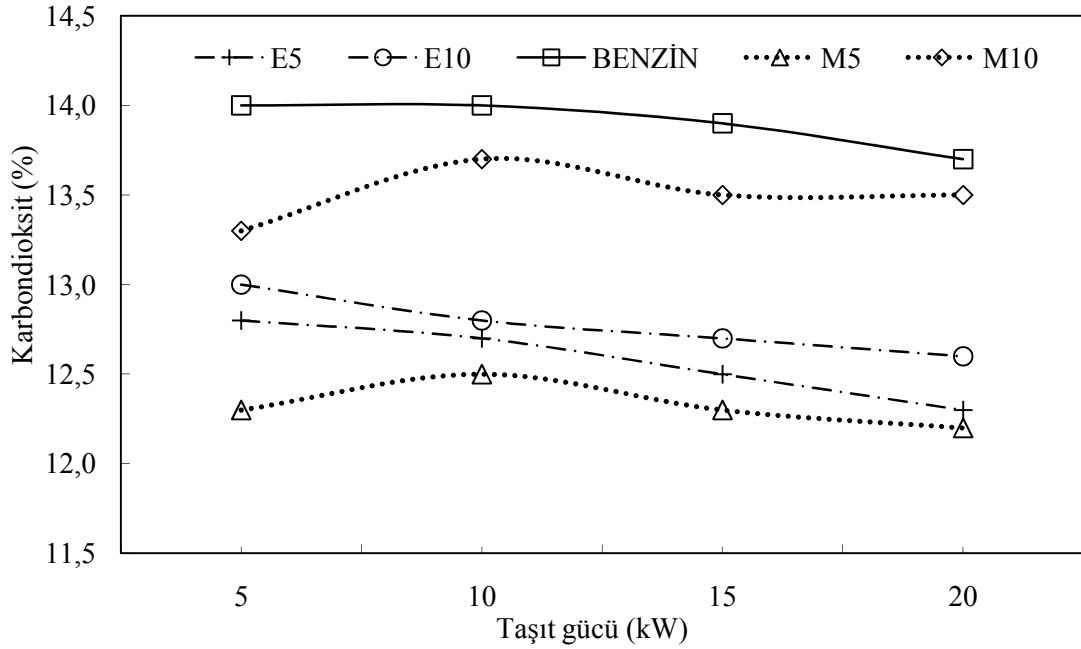


Şekil 5.29: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki oksijen miktarı değişimi

5.2.3.2. CO₂ emisyonları

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan CO₂ emisyonlarını azaltma yöntemlerinden biri de, içeriğinde karbon atomu az olan veya hiç olmayan yakıtlar kullanmaktır [77]. 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki karbondioksit emisyonu değişimi Şekil

5.30'da gösterilmiştir. E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarında benzine göre meydana gelen ortalama CO₂ azalma miktarları sırasıyla %9,54; %8,09; %11,33 ve %2,87 olarak belirlenmiştir. CO₂ emisyonlarında meydana gelen azalmanın temel sebebi alkollerin C/H oranlarının benzine göre daha düşük olmasıdır. Karışım içerisindeki etanol ve metanol miktarı arttıkça CO₂ emisyonunda artış meydana gelmiştir. Bu durumun temel nedeni, aynı çıkış gücünü elde etmek için daha fazla oksijen içerikli yakıt kullanılmasıdır. E10'daki CO₂ artışının nedeni, yanmanın iyileşmesi sonucu yanmamış HC emisyonunun E5'e göre azalmasıdır. M10 yakıtında M5'e göre meydana gelen CO₂ artışının nedeni ise hava-yakıt oranının daha düşük olması şeklinde ifade edilebilir.

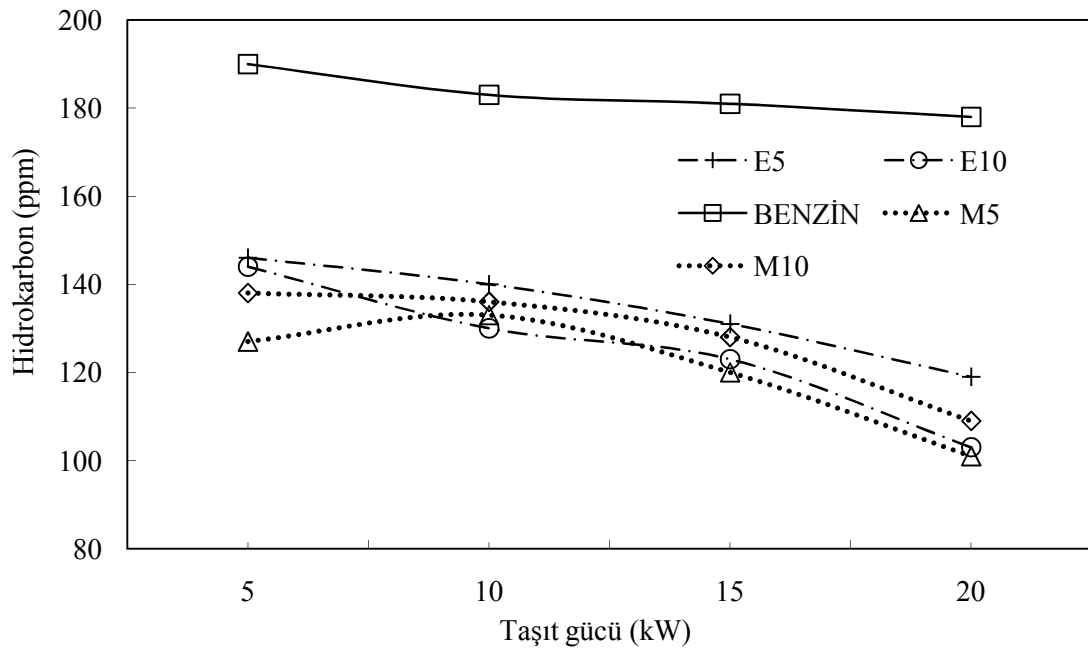


Şekil 5.30: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki karbondioksit emisyonu

5.2.3.3. HC emisyonları

80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki hidrokarbon emisyonu değişimi Şekil 5.31'de gösterilmiştir. E5, E10, M5 ve M10 kullanımındaki HC emisyonlarının benzine göre ortalama azalma miktarları sırasıyla %26,86; %31,84; %34,36 ve %30,27'dir. Yakıt karışımındaki etanol oranı arttıkça HC emisyonu azalmaktadır. M10 yakıtında ise HC emisyonu M5'e göre artmıştır. Bunun nedeni, metanolun

yüksek buharlaşma gizli ısı nedeniyle ortam sıcaklığın düşmesidir. Özellikle silindir duvarlarına yakın bölgelerde düşük sıcaklıktan dolayı alev sönmesi meydana gelmekte ve HC emisyonu artış göstermektedir. Taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte, M5 dışında diğer yakıtlarda HC emisyonunda azalma meydana gelmiştir. M5’de ise 10 kW taşıt çıkış gücünde HC emisyonu bir miktar artış göstermiş ve tekrar azalmaya başlamıştır. Taşıt çıkış gücünün artmasıyla HC emisyonunda meydana gelen azalmanın temel sebebi, yanmanın iyileşmesi, hava-yakıt oranı ve volümetrik verimin artması olarak değerlendirilebilir.

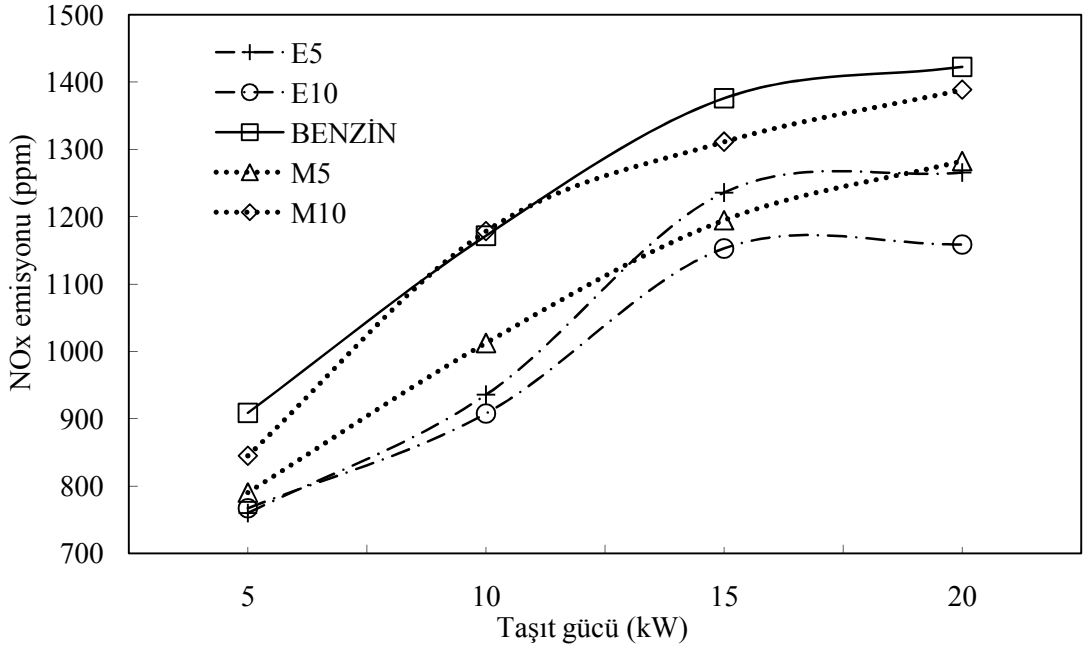


Şekil 5.31: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki HC emisyonu değişimi

5.2.3.4. NO_x emisyonları

Havanın içerisinde bulunan azot ve oksijenin yüksek sıcaklıklardaki reaksiyonu sonucu azot oksit emisyonu oluşmaktadır. En önemli azot oksitler ise NO ve NO₂'dir. NO emisyonu oluşumunu etkileyen başlıca faktörler, oksijen konsantrasyonu, hava-yakıt oranı, yüksek sıcaklıktaki bekleme süresi ve yüksek basınçtır. Maksimum NO emisyonu 2200-2400 K sıcaklıkta meydana gelmekte, daha yüksek sıcaklıklarda ise azalmaya başlamaktadır. Maksimum NO_x konsantrasyonu ise stokiyometrik şartlardan biraz daha fakir karışımlarda ($\lambda=1,05-1,1$) meydana gelmektedir [78]. 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki NO_x emisyonu

değişimi Şekil 5.32’de gösterilmiştir. Yapılan bu çalışmada E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarında benzine göre meydana gelen ortalama NO_x azalma miktarları sırasıyla %10,99; %15,54; %8,97 ve %1,32’dir. Metanol ve etanol, benzine göre daha yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olduğu için E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarında NO_x emisyonu azalmaktadır [79]. M10 yakıtında NO_x emisyonunda meydana gelen azalmanın M5’e göre daha düşük olmasının nedeni ise M10’un içeriğinde M5’e göre daha fazla oksijen bulundurmasıdır. M10 içerisinde bulunan oksijen havanın içerisinde bulunan azotla reaksiyona girerek daha fazla NO_x emisyonu oluşturmaktadır.



Şekil 5.32: 80 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki NO_x emisyonu değişimi

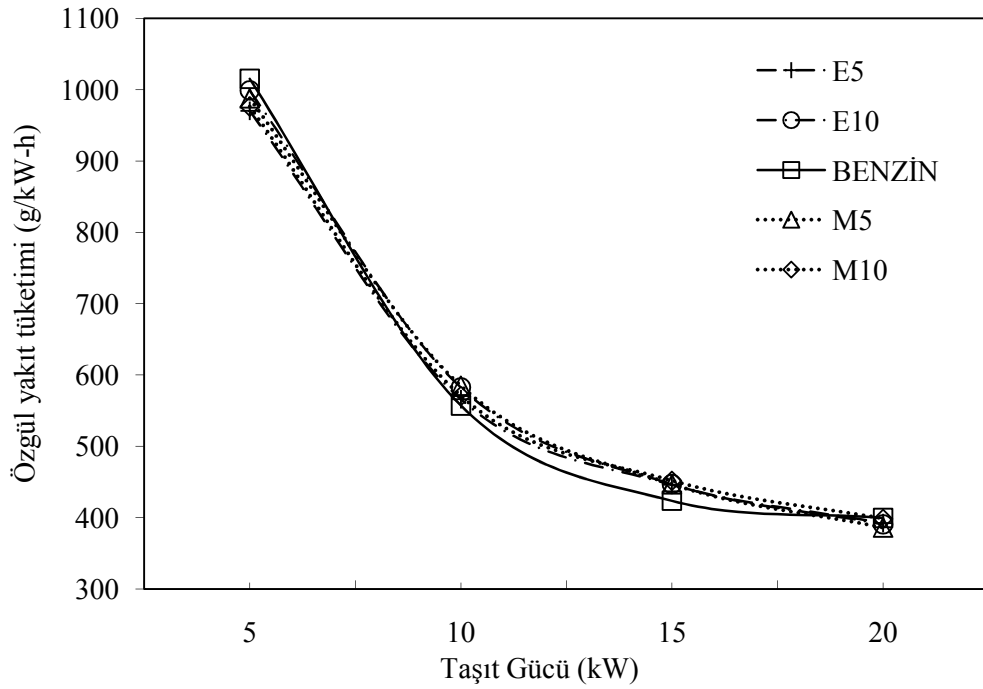
5.3. 100 km/h Taşıt Hızındaki Test Sonuçlarının Analizi

5.3.1. Performans parametrelerinin incelenmesi

5.3.1.1. Özgül yakıt tüketimi

100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki özgül yakıt tüketimi değişimi Şekil 5.33’de görülmektedir. 5 ile 20 kW taşıt çıkış gücü dışındaki diğer güçlerde benzinin özgül yakıt tüketimi E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarına göre daha düşük olarak elde edilmiştir. 5 ve 20 kW çıkış gücünde ise maksimum özgül yakıt tüketimi benzinde

gerçekleşmiştir. Benzinde meydana gelen özgül yakıt tüketiminin artış nedeni, yanma için gerekli sürenin olmaması neticesinde yakıtın tamamının yanamaması olarak düşünülmektedir. Şekil 5.47’de hidrokarbon emisyonu incelendiğinde benzinin özgül yakıt tüketiminin artış gösterdiği 5 ile 20 kW çıkış gücünde, HC emisyonunun da ani bir şekilde arttığı görülmektedir. Ayrıca testler esnasında 5 kW taşıt çıkış gücünde motor devrinin yüksek, motor yükünün düşük olması nedeniyle motorun daha düzensiz çalıştığı gözlenmiştir.



Şekil 5.33: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki özgül yakıt tüketimi değişimi E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarında özgül yakıt tüketiminin benzine göre ortalama artış miktarları sırasıyla %0,15; %1,54; %1,09 ve %1,22 olarak hesaplanmıştır. Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarında (özellikle motorun daha düzenli çalıştığı 10 ile 15 kW çıkış gücünde) özgül yakıt tüketiminde meydana gelen artışın sebebi, etanol ve metanolün ısı değerlerinin benzine göre daha düşük olmasıdır. Ayrıca taşıt çıkış gücünün artmasıyla meydana gelen özgül yakıt tüketimindeki azalışın nedeni, volümetrik verim ve yanma veriminin artması olarak düşünülmektedir. 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki volümetrik verim değerleri Tablo 5.7’de verilmiştir. Bu test şartlarında elde edilen volümetrik verim değerleri 80 km/h taşıt hızında elde edilen volümetrik verim değerleri ile karşılaştırıldığında, volümetrik verim değerlerinde bir azalma görülmektedir. Bu durum, yüksek hızlarda emme

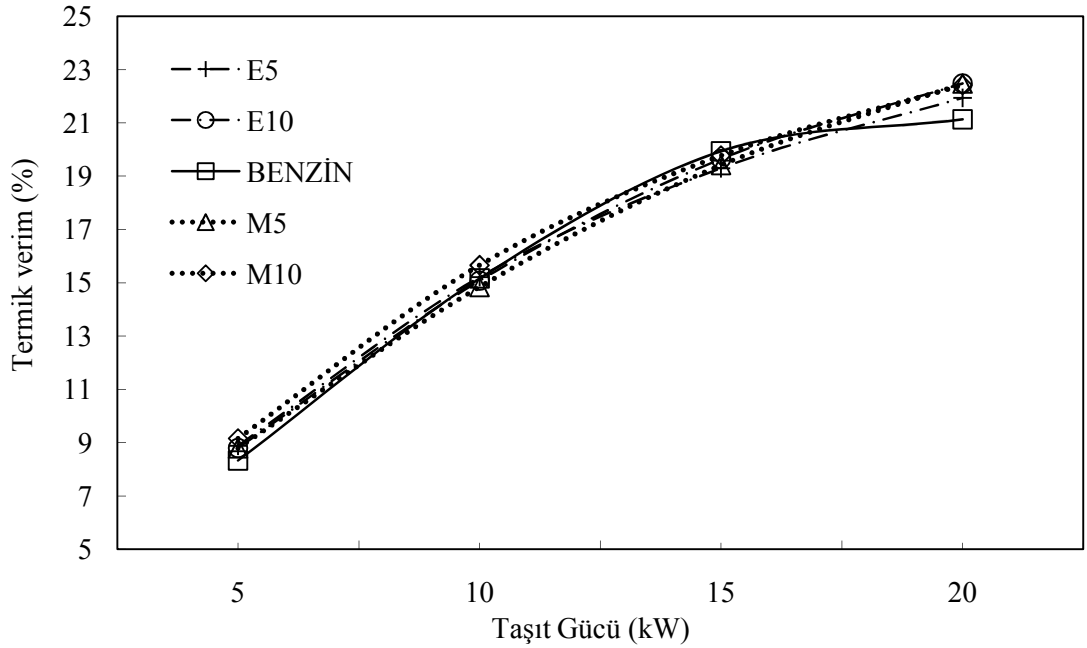
subabının daha kısa süre açık kaldığını göstermektedir. Bu nedenle sisteme giren hava miktarı azalmaktadır.

Tablo 5.7: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki volümetrik verim (%)

Yakıt \ Çıkış gücü	5 kW	10 kW	15 kW	20 kW
Benzin	31,94	32,09	39,75	49,91
E5	28,79	33,49	39,88	48,07
E10	28,51	33,65	39,75	47,05
M5	26,75	32,82	39,91	45,97
M10	28,22	32,74	39,43	46,62

5.3.1.2. Termik verim

100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki termik verim değişimi Şekil 5.34'de gösterilmiştir. Tüm yakıtlarda taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte özgül yakıt tüketiminde azalma, termik verimde ise artış meydana gelmiştir. 5 ve 20 kW taşıt çıkış gücünde metanol-benzin ve etanol-benzin karışımlarının özgül yakıt tüketiminin azalması nedeniyle termik verimde benzine göre artış meydana gelmiştir. E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarında benzine göre ortalama termik verim artış miktarı sırasıyla %1,89; %2,52; %1,81 ve %4,67 olarak tespit edilmiştir.



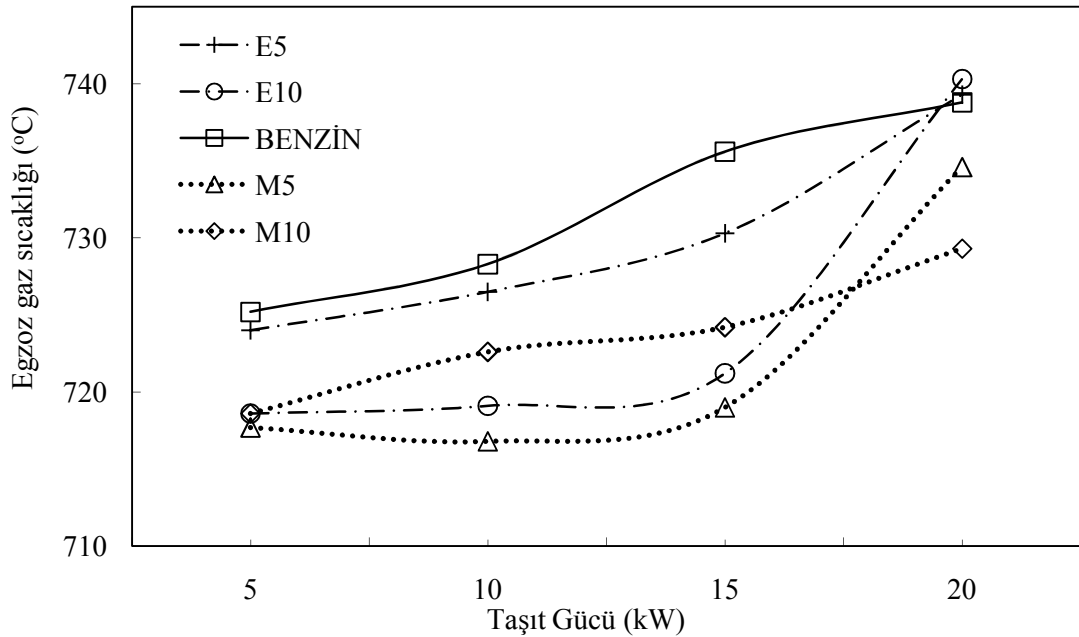
Şekil 5.34: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki termik verim değişimi

5.3.1.3. Egzoz gazı sıcaklığı

100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklığı değişimi Şekil 5.35’de verilmiştir. Tüm yakıtlarda taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte egzoz gazı sıcaklığı artış göstermiştir. E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarında egzoz gazı sıcaklığının benzine göre ortalama azalma miktarları sırasıyla %0,27; %0,98; %1,36 ve %1,13’dür. Bölüm 5.2.1.3’de belirtildiği gibi metanol ve etanolun gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması nedeniyle yanma sonu silindir basınç ve sıcaklığı düşmekte ve egzoz gazı sıcaklığı azalmaktadır. 80 km/h taşıt hızında olduğu gibi, M10’un buharlaşma gizli ısı diğer yakıtlara göre daha yüksek olmasına rağmen minimum egzoz gazı sıcaklıkları M5’de elde edilmiştir. Testlerde kullanılan yakıtların farklı taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklıkları Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.8: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklıkları (°C)

Yakıt \ Çıkış gücü	5 kW	10 kW	15 kW	20 kW
Benzin	725,2	728,3	735,6	738,8
E5	724,0	726,5	730,3	739,3
E10	718,6	719,1	721,2	740,3
M5	717,7	716,8	719,0	734,6
M10	718,6	722,6	724,2	729,3

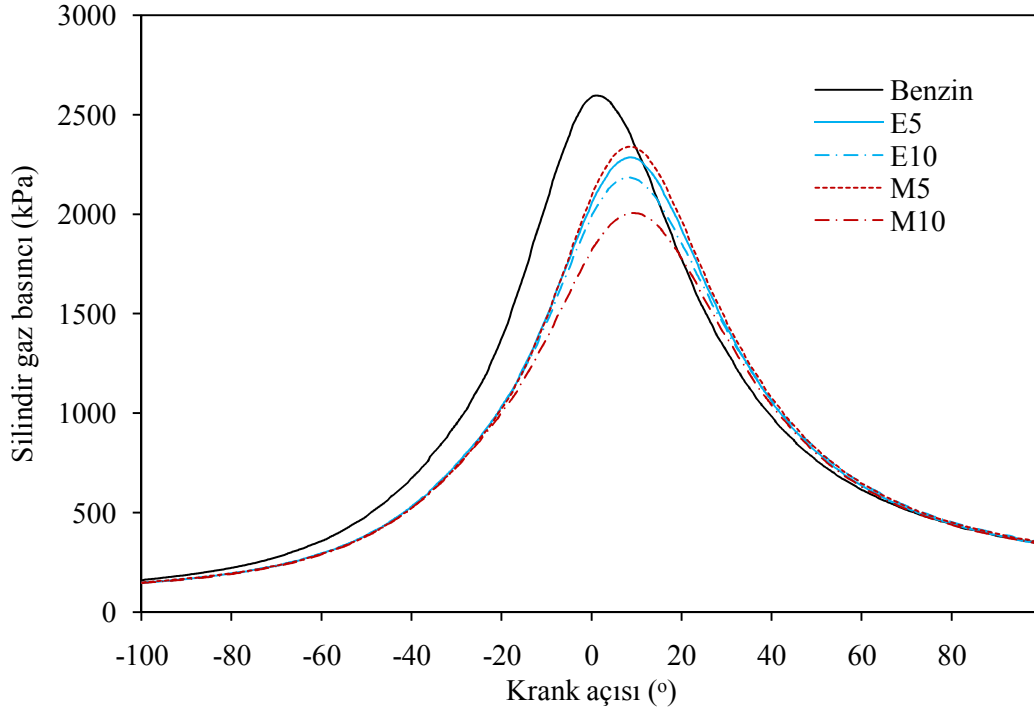


Şekil 5.35: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki egzoz gazı sıcaklık değişimi

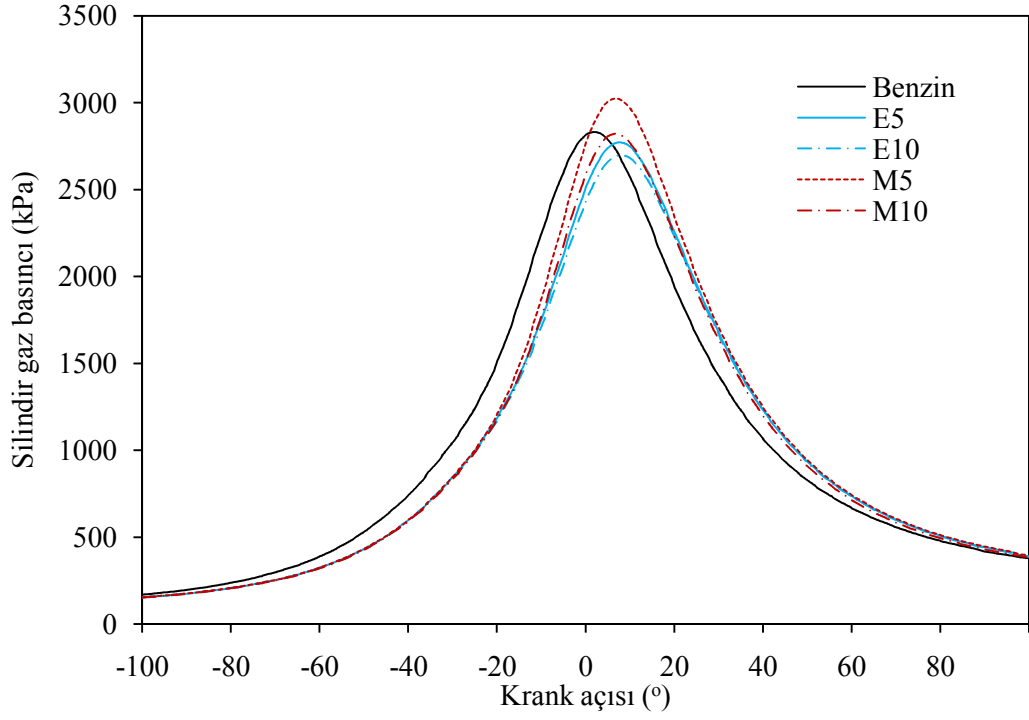
5.3.2. Yanma karakteristiklerinin incelenmesi

5.3.2.1. Silindir gaz basınçları

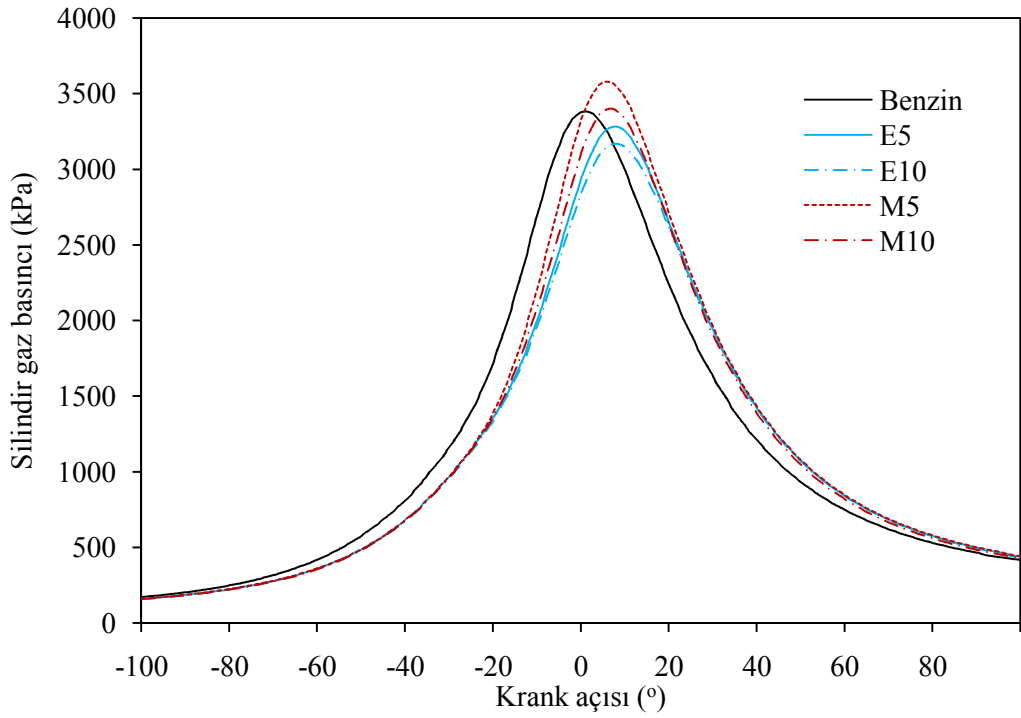
100 km/h taşıt hızı ve 5,10, 15 ve 20 kW çıkış güçlerinde silindir gaz basıncının KA'ya göre değişimi Şekil 5.36, 5.37, 5.38 ve 5.39'da gösterilmiştir. 60 ve 80 km/h taşıt hızında olduğu gibi, 100 km/h taşıt hızında da çıkış gücünün artmasıyla birlikte silindir gaz basıncı artmaya başlamıştır. 5 ile 20 kW çıkış güçlerinde maksimum silindir basıncı benzinde, 10 ile 15 kW çıkış güçlerinde ise M5'de gerçekleşmiştir. En düşük silindir gaz basıncı 5 kW çıkış gücünde M10'da, 10, 15 ve 20 kW çıkış güçlerinde ise E10 yakıtında elde edilmiştir. Ayrıca tüm çıkış güçlerinde benzinin silindir gaz basıncı diğer yakıtlara göre daha erken yükselmeye başlamıştır. Özellikle 5 ile 20 kW güçlerinde bu fark çok belirgin şekilde kendini göstermektedir. 100 km/h taşıt hızında, silindir gaz basınçları 80 km/h taşıt hızında olduğu gibi kararlı bir şekilde değişim göstermemiştir. Maksimum silindir gaz basınçları 5 ve 20 kW taşıt çıkış güçlerinde benzinde elde edilirken, 10 ve 15 kW taşıt çıkış güçlerinde maksimum silindir gaz basınçları M5 yakıtında elde edilmiştir. Bu durum, karışımın yakıt özelliklerinden ve motor işletim parametrelerinin değişmesinden kaynaklanmaktadır.



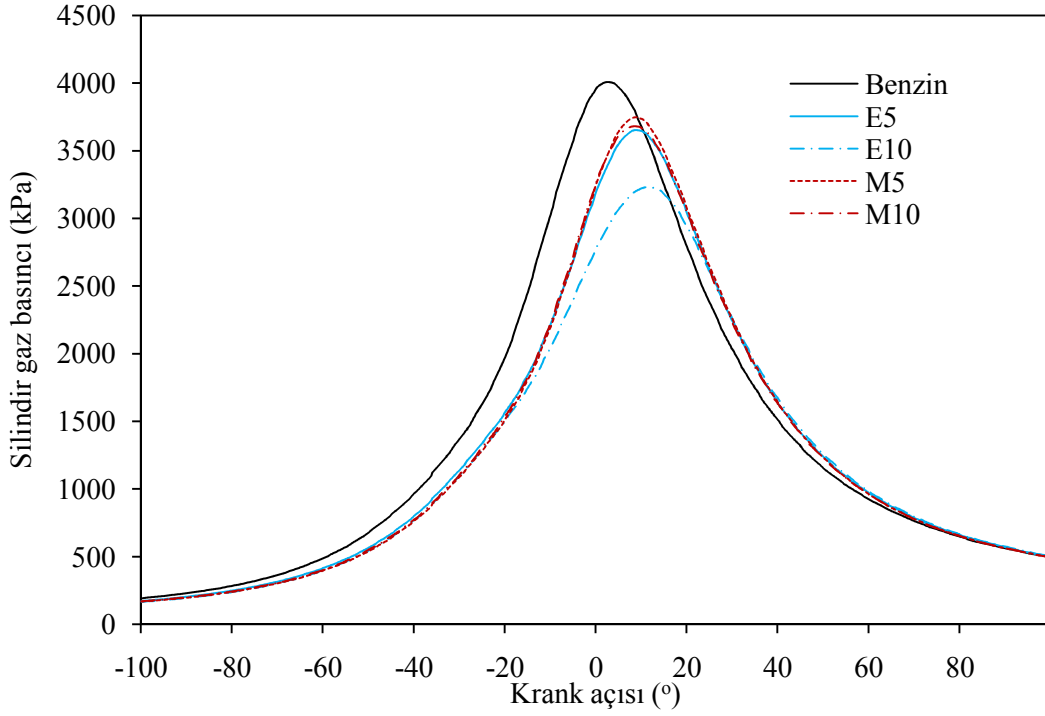
Şekil 5.36: 100 km/h taşıt hızı ve 5 kW çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi



Şekil 5.37: 100 km/h taşıt hızı ve 10 kW çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi



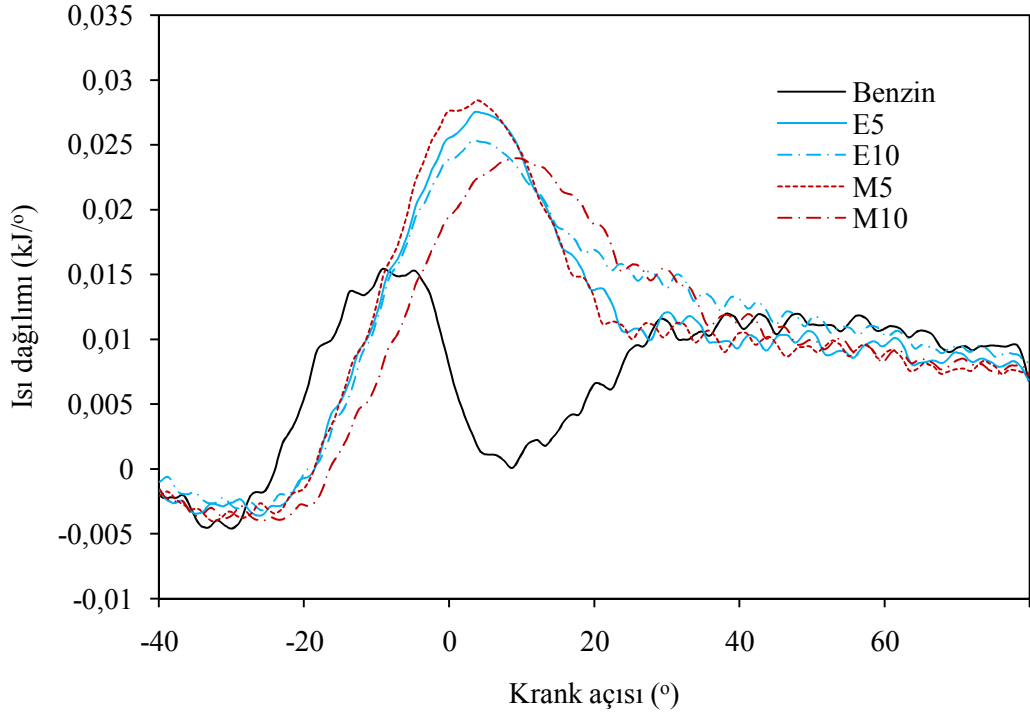
Şekil 5.38: 100 km/h taşıt hızı ve 15 kW çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi



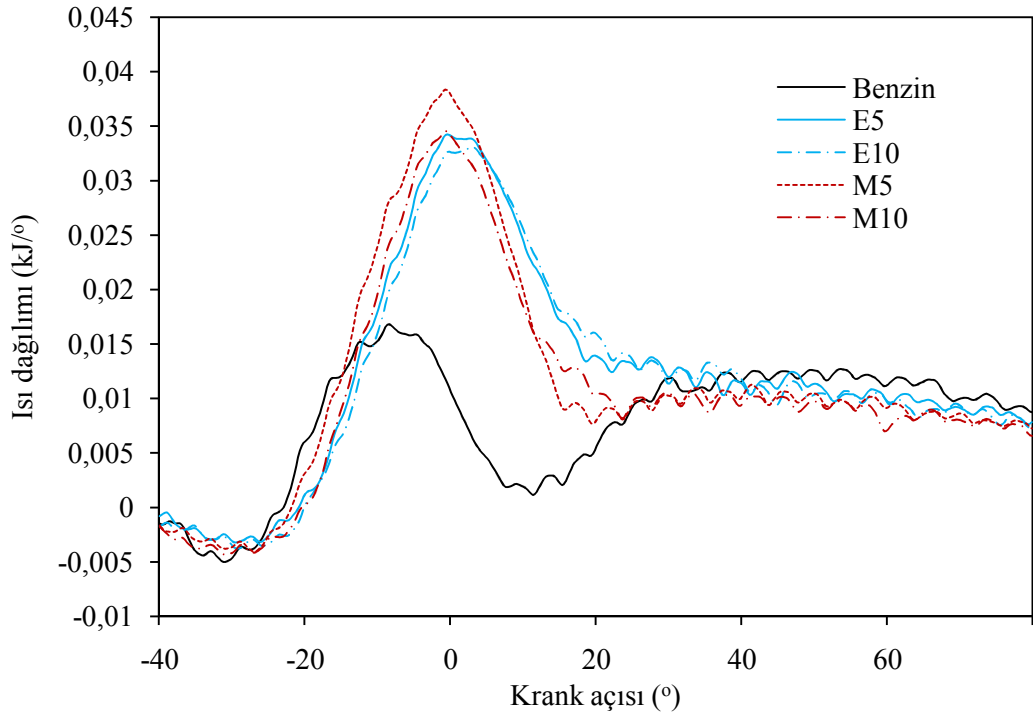
Şekil 5.39: 100 km/h taşıt hızı ve 20 kW çıkış gücündeki silindir gaz basıncı değişimi

5.3.2.2. Isı dağılımları

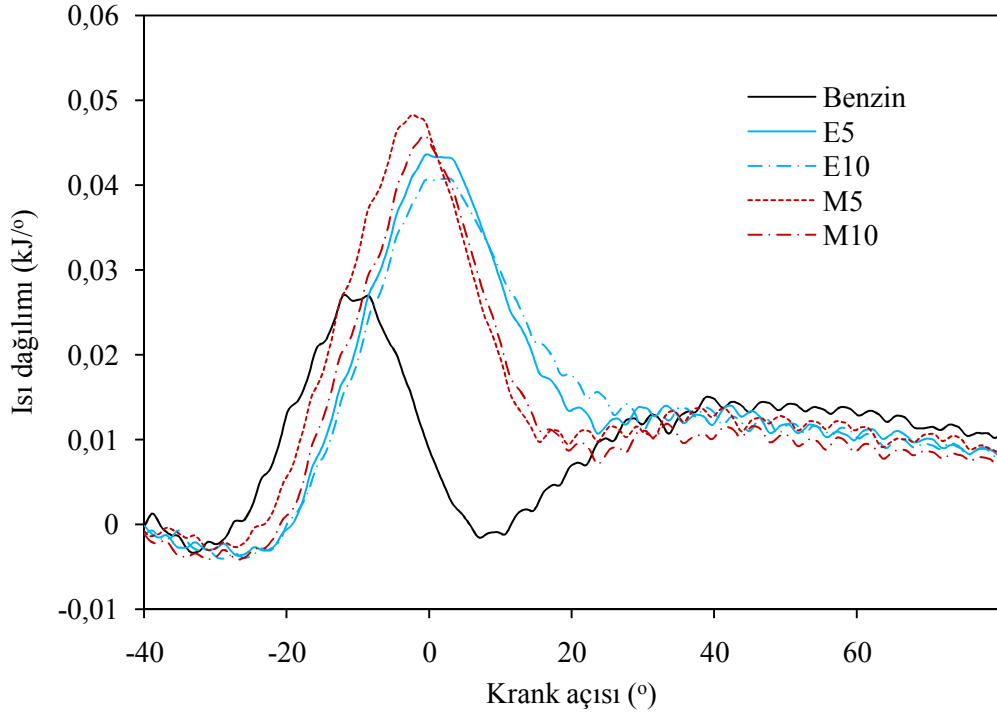
100 km/h taşıt hızı ve 5, 10, 15 ve 20 kW taşıt çıkış güçlerinde ısı dağılımının KA'a göre değişimi Şekil 5.40, 5.41, 5.42 ve 5.43'de gösterilmiştir. 80 km/h taşıt hızında olduğu gibi, 100 km/h'de de benzinin ısı dağılımı diğer yakıtlara göre daha erken oluşmaya başlamıştır. Ayrıca benzinin maksimum ısı dağılımının etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarına göre düşük olduğu gözlenmiştir. Bu düşüşün nedeni, yüksek motor hızlarında yakıtın (içeriğinde oksijen bulundurmayan) hava ile homojen karışamaması sonucu yanmanın kötüleşmesidir. Özellikle yüksek motor hızlarında içeriğinde oksijen bulunduran yakıtlar yanmayı iyileştirmekte ve yakıtın büyük bir kısmı ÜÖN'ya yakın bölgelerde tamamen yanmaktadır. Yakıtın büyük bir kısmının ÜÖN'ya yakın bölgelerde yanması ise termik verimi artırmaktadır.



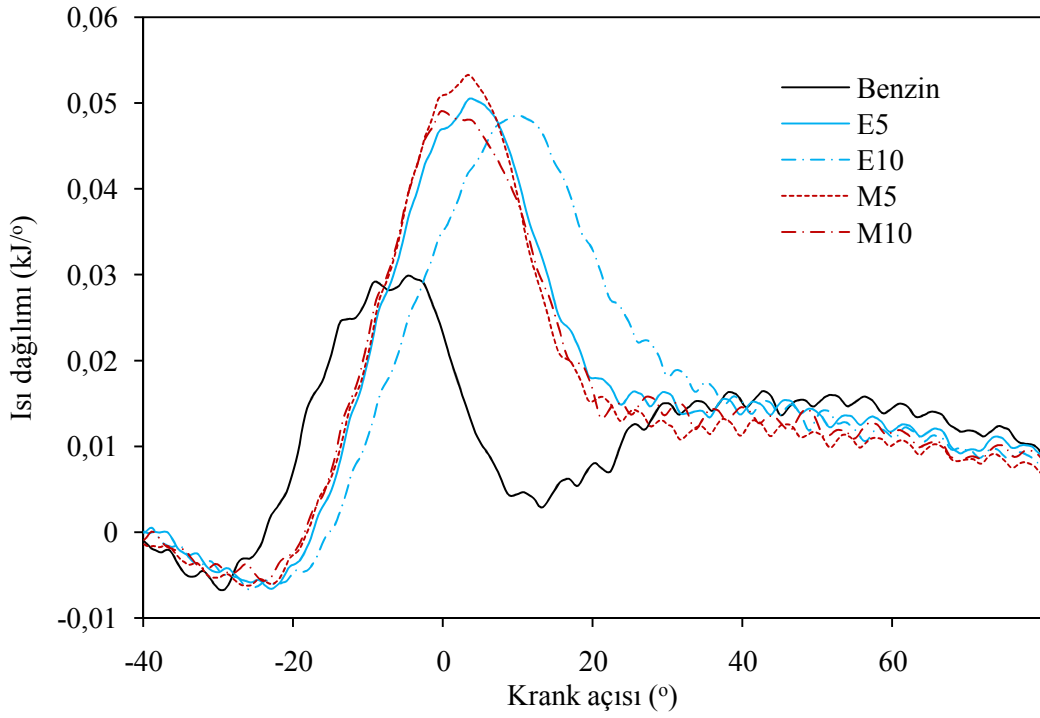
Şekil 5.40: 100 km/h taşıt hızı ve 5 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı



Şekil 5.41: 100 km/h taşıt hızı ve 10 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı



Şekil 5.42: 100 km/h taşıt hızı ve 15 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı



Şekil 5.43: 100 km/h taşıt hızı ve 20 kW taşıt çıkış gücündeki ısı dağılımı

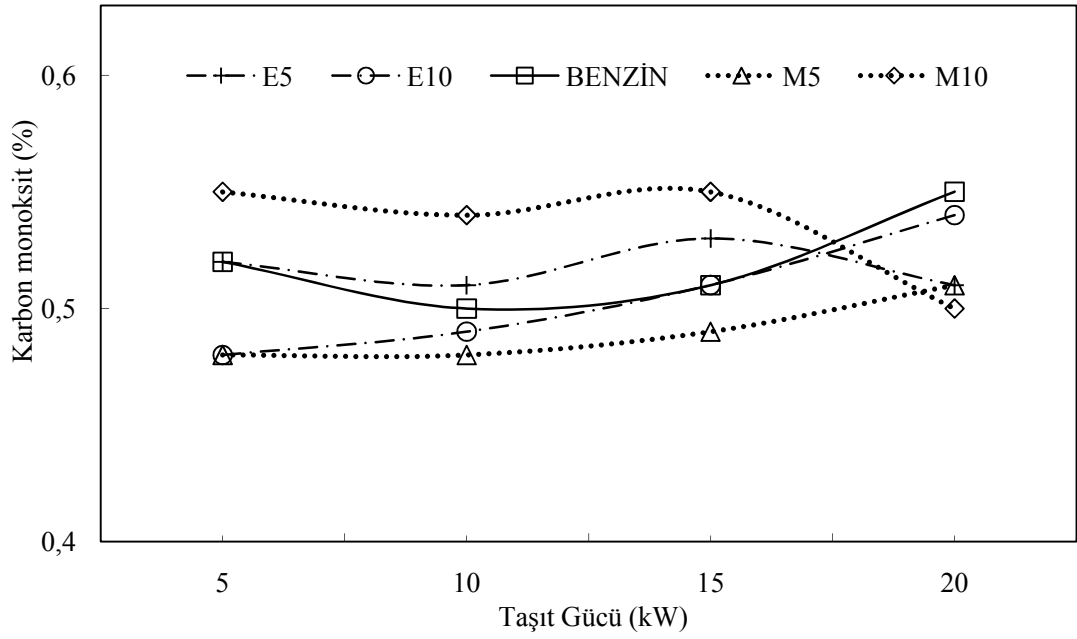
5.3.3. Egzoz emisyon sonuçlarının incelenmesi

5.3.3.1. CO emisyonları

Karbon monoksit emisyonu, metanol-benzin ve etanol-benzin karışımları için 60 ile 80 km/h taşıt hızında olduğu gibi düzgün bir değişim göstermemiştir. E5 ve M10 yakıtlarında 5, 10 ve 15 kW taşıt çıkış gücünde CO emisyonu benzine göre artış, 20 kW gücünde ise düşüş göstermiştir. M5 ve E10 yakıtlarında ise hemen hemen her taşıt çıkış gücünde benzine göre azalma gözlenmiştir. 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki karbon monoksit emisyonu değişimi Şekil 5.44'de verilmiştir. E5, E10 ve M5 yakıtlarında CO emisyonunun benzine göre ortalama azalma miktarları sırasıyla %0,34; %2,88 ve %5,72'dir. M10'da benzine göre meydana gelen ortalama artış miktarı ise %3,13 olarak hesaplanmıştır. M10'daki CO emisyonu artışının nedeni, egzoz gazındaki oksijen miktarının azalması ve kısmen hava-yakıt oranındaki azalma olarak gösterilebilir. E5, E10 ve M5'deki azalmanın sebebi ise içeriklerindeki oksijenden dolayı yanmanın iyileşmesi şeklinde düşünülebilir. Ayrıca, alkollerin petrol esaslı yakıtlara göre daha düşük alev sıcaklığına sahip olmaları, yanma işleminin iyileşmesini ve CO emisyonunun azalmasını sağlamaktadır [80]. Deneyleerde kullanılan yakıtların hava-yakıt oranı Tablo 5.9'da verilmiştir.

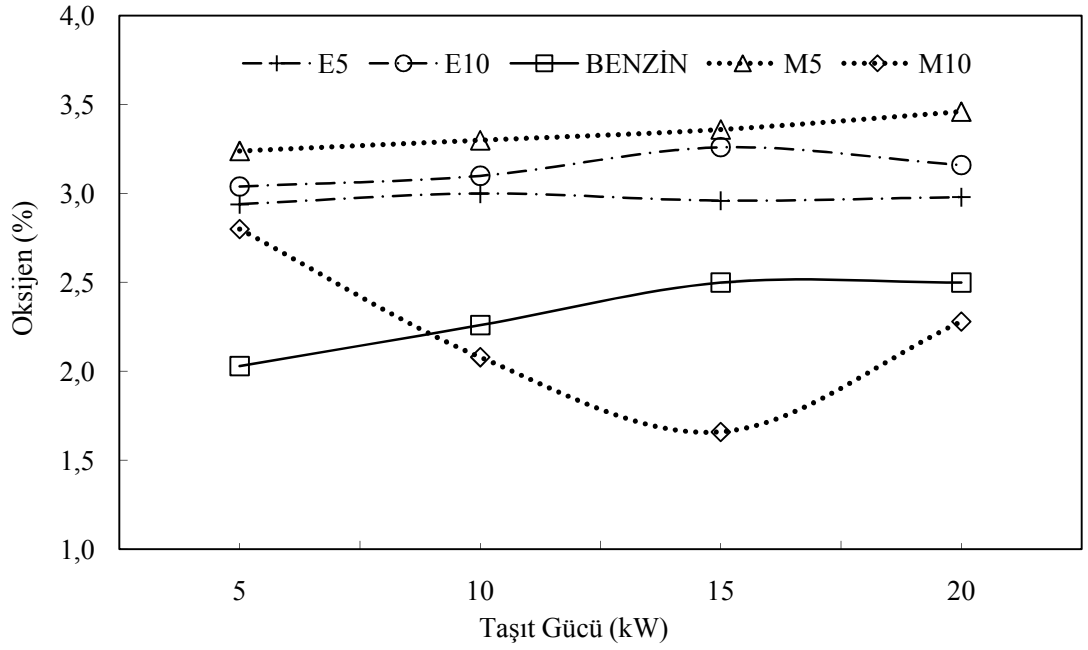
Tablo 5.9: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki hava-yakıt oranı

Yakıt	Çıkış gücü			
	5 kW	10 kW	15 kW	20 kW
Benzin	11,56	10,48	11,27	11,56
E5	10,80	10,77	10,84	11,14
E10	10,49	10,41	10,68	10,85
M5	10,03	10,39	10,93	11,02
M10	10,62	10,44	10,49	10,74



Şekil 5.44: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki CO emisyonu değişimi

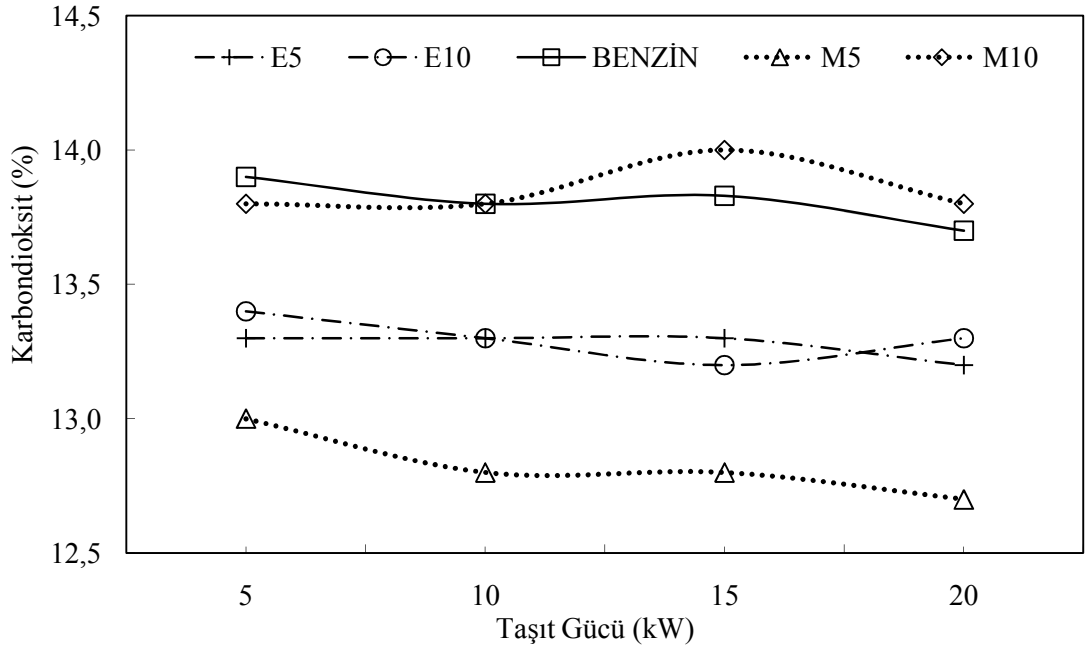
E5, E10 ve M5 yakıtlarında egzoz gazından çıkan oksijen miktarı, benzine göre daha fazladır. M10'da ise 10, 15 ve 20 kW taşıt çıkış gücünde egzoz gazı içerisindeki oksijen miktarı, benzine göre daha düşüktür. M10'da oksijende meydana gelen bu azalmanın nedeni, silindirdeki HC emisyonunun, tam yanma ürünü olan CO₂ dönüşmesi olarak düşünülmektedir. 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki oksijen miktarı değişimi Şekil 5.45'de verilmiştir.



Şekil 5.45: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki oksijen miktarı değişimi

5.3.3.2. CO₂ emisyonları

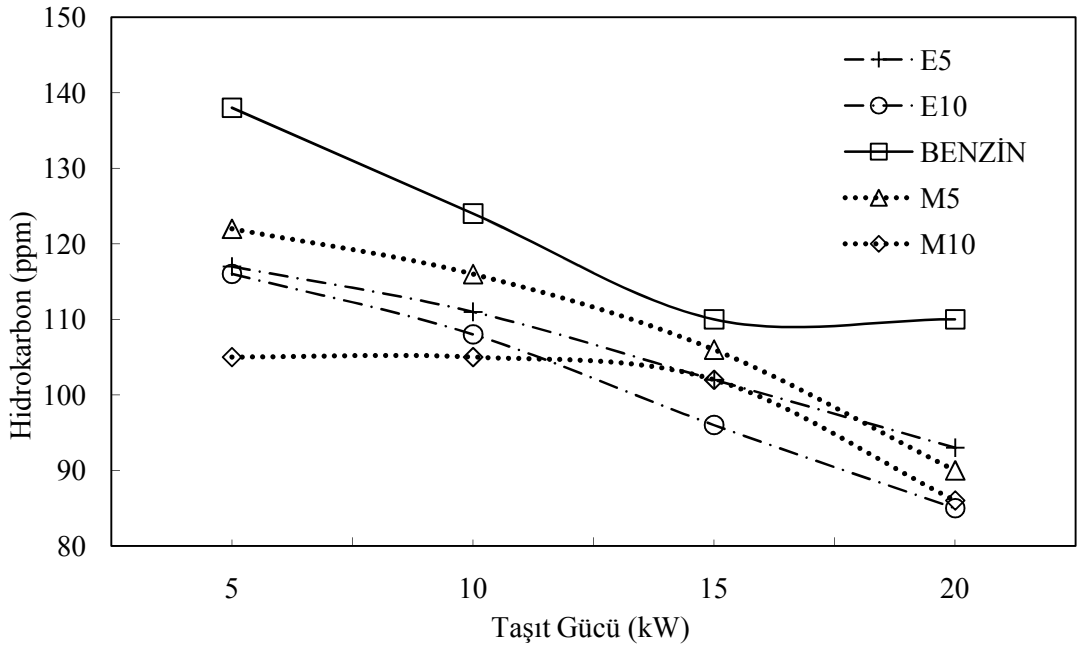
100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki CO₂ emisyon değişimi Şekil 5.46'da gösterilmiştir. Yapılan testlerde E5, E10 ve M5 yakıtlarında tüm taşıt çıkış güçlerinde CO₂ emisyonunda benzine göre azalma meydana gelmiştir. M10 yakıtında ise 5 kW'da azalma, 15 ve 20 kW'da ise artış meydana gelmiştir. E5, E10 ve M5 yakıtlarında CO₂ emisyonunun benzine göre ortalama azalma miktarı sırasıyla %3,86; %3,67 ve %7,12 olarak belirlenmiştir. M10'da meydana gelen ortalama artış miktarı ise %0,31'dir. E5, E10 ve M5 yakıtlarındaki CO₂ emisyonunun azalma sebebi, bölüm 5.2.3.2'de belirtildiği gibi etanol ve metanolün C/H oranının benzine göre daha düşük olmasıdır. M10'da CO₂ emisyonlarında meydana gelen artışın nedeni ise yakıt içerisindeki oksijenin etkisiyle HC emisyonunun azalması, tam yanma ürünü olan CO₂'in artması şeklinde düşünülmüştür.



Şekil 5.46: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki CO₂ değişimi

5.3.3.3. HC emisyonları

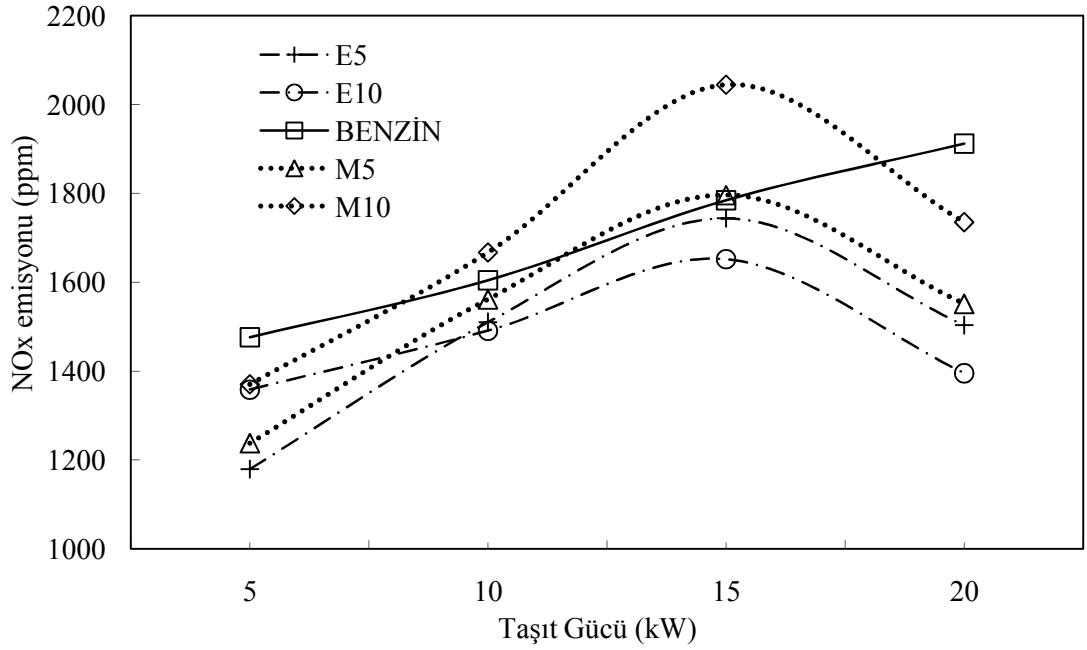
100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki HC emisyonu değişimi Şekil 5.47’de gösterilmiştir. Taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte benzin, E5, E10 ve M5 yakıtlarda HC emisyonu düzgün bir şekilde azalma göstermiştir. M10’da ise 5,10 ve 15 kW gücünde HC emisyonu sabit kalırken 20 kW güçte ani bir azalma göstermiştir. E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarında HC emisyonunun benzine göre ortalama azalma miktarı sırasıyla %12,11; %16,07; %9,97 ve %17,08 olarak ölçülmüştür. HC emisyonundaki bu azalışın temel nedeni, bölüm 5.1.3.3’de belirtildiği gibi, bu yakıtların içerisindeki oksijenin, silindir içerisinde homojen bir karışım oluşmasına yardımcı olarak yanmayı iyileştirmesidir.



Şekil 5.47: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki HC emisyonu değişimi

5.3.3.4. NO_x emisyonları

100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki NO_x emisyonu değişimi Şekil 5.48'de gösterilmiştir. E5, E10 ve M5 yakıtlarında benzine göre meydana gelen ortalama NO_x azalma miktarları sırasıyla %10,48; %13,43 ve %5,11'dir. M10'da meydana gelen ortalama artış miktarı ise %2,76'dır. Bölüm 5.2.3.4'de belirtildiği gibi metanol ve etanol, benzine göre daha yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olduğundan E5, E10 ve M5 yakıtlarında NO_x emisyonu azalmaktadır. M10 yakıtının da buharlaşma gizli ısısı yüksek olmasına rağmen özellikle 10 ile 15 kW çıkış güçlerinde maksimum silindir gaz basıncının benzinden daha yüksek çıkması NO_x emisyonunu artırmaktadır. Özellikle 100 km/h taşıt hızında yanma sonu basınç ve sıcaklığının artmasıyla birlikte M10 içerisindeki bulunan oksijenin azotla reaksiyonu sonucu NO_x emisyonunda artış meydana gelmektedir. Bu durum egzoz gazının içerdiği oksijen miktarı göz önüne alındığında daha iyi anlaşılmaktadır.



Şekil 5.48: 100 km/h taşıt hızı ve farklı taşıt çıkış gücündeki NO_x emisyonu değişimi

5.4. 60, 80 ve 100 km/h Taşıt Hızındaki Test Sonuçlarının Karşılaştırılması

5.4.1. Performans parametreleri

Özgül yakıt tüketimlerinin karşılaştırılması: Taşıt hızının artmasıyla birlikte özgül yakıt tüketimi artmaya başlamıştır. 60, 80 ve 100 km/h taşıt hızındaki minimum ve maksimum özgül yakıt tüketimleri sırasıyla 308,40-627,10; 334,09-808,50 ve 386,34-1015,08 g/kW-h olarak hesaplanmıştır. Tüm taşıt hızlarında da taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte özgül yakıt tüketiminde azalma gözlenmiştir. Bunun nedeni ise çıkış gücünün artmasıyla birlikte volümetrik verimin ve hava-yakıt oranının artması şeklinde düşünülmektedir.

Termik verimlerin karşılaştırılması: Taşıt hızının artmasıyla birlikte tüm yakıtlarda termik verim düşmeye başlamıştır. 60, 80 ve 100 km/h taşıt hızındaki minimum ve maksimum termik verimler sırasıyla %13,84-27,40; %10,71-26,14 ve %8,33-22,48 olarak belirlenmiştir. Taşıt hızının artmasıyla termik verimde meydana gelen bu azalmanın sebebi, taşıt hızının artmasıyla birlikte özgül yakıt tüketiminin artış göstermesi olarak ifade edilebilir. Tüm taşıt hızlarında taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte özgül yakıt tüketiminin aksine termik verimde artış meydana gelmiştir.

Egzoz gazı sıcaklıklarının karşılaştırılması: 60, 80 ve 100 km/h taşıt hızındaki minimum ve maksimum egzoz gazı sıcaklıkları sırasıyla 622,5-730,7 °C; 663,1-697,5 °C ve 717,7-743,3 °C'dir. 60 ve 100 km/h taşıt hızlarında taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte egzoz gazı sıcaklığı artış gösterirken, 80 km/h taşıt hızında taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte önce azalma göstermiş, daha sonra tekrar artmaya başlamıştır.

5.4.2. Yanma karakteristikleri

Silindir gaz basınçlarının karşılaştırılması: Taşıt hızının artmasıyla birlikte silindir gaz basınçlarında önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Tüm taşıt hızlarında taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte silindir gaz basınçları artış göstermiştir. Tüm taşıt hızlarında benzin kullanıldığında, silindir gaz basıncı diğer yakıtlara göre daha erken yükselmeye başlamıştır. Bunun nedeni, metanol ve etanolun buharlaşma gizli ısısının benzine göre daha yüksek olması şeklinde ifade edilmektedir.

Isı dağılımlarının karşılaştırılması: Genellikle tüm yakıtlarda taşıt hızının artmasıyla birlikte ısı dağılımı azalma göstermiştir. 60, 80 ve 100 km/h taşıt hızlarında çıkış gücünün (yükün) artmasıyla birlikte ısı dağılımında da artış gözlenmiştir. Tüm taşıt hızlarında ve her bir taşıt çıkış gücünde en düşük maksimum ısı dağılımı benzinde gerçekleşmiştir. Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarında oksijen bulunması, benzinin içeriğinde ise oksijen bulunmaması bu durumun temel sebebi olarak düşünülmektedir.

5.4.3. Egzoz emisyonları

Karbon monoksit emisyonu ve oksijen miktarlarının karşılaştırılması: 60, 80 ve 100 km/h taşıt hızındaki minimum ve maksimum karbon monoksit emisyonları sırasıyla %0,45-0,57; %0,41-0,61 ve %0,48-0,55 olarak ölçülmüştür. 60 ve 80 km/h taşıt hızlarında, taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte CO emisyonu da artış göstermiştir. 100 km/h taşıt hızında ise çıkış gücünün artmasıyla birlikte önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. 60 ve 80 km/h taşıt hızlarında en yüksek CO emisyonu benzinde, 100 km/h taşıt hızında ise en yüksek CO emisyonu M10'da meydana gelmiştir. 60,

80 ve 100 km/h taşıt hızlarında M10 yakıtı dışında diğer yakıtlarda taşıt çıkış gücü değişimi CO emisyonunu önemli ölçüde etkilememiştir.

Karbondioksit emisyonlarının karşılaştırılması: 60 ve 80 km/h taşıt hızlarında en yüksek CO₂ emisyonu benzinde elde edilmiştir. 100 km/h'de ise en yüksek CO₂ emisyonu M10'da gerçekleşmiştir. Genellikle tüm taşıt hızlarında, taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte CO₂ emisyonunda önemli bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Sadece 60 km/h taşıt hızında 20 kW'da M10 yakıtında ani bir artış meydana gelmiştir.

Hidrokarbon emisyonlarının karşılaştırılması: Taşıt hızının artmasıyla birlikte HC emisyonları azalmaya başlamıştır. 60, 80 ve 100 km/h taşıt hızlarındaki minimum ve maksimum hidrokarbon emisyonları sırasıyla 88-229 ppm; 101-190 ppm ve 85-138 ppm olarak ölçülmüştür. Tüm taşıt hızlarında en yüksek HC emisyonu benzinde gözlenmiştir. En düşük hidrokarbon emisyonu ise genellikle E10 yakıtında meydana gelmiştir. Ayrıca her bir taşıt hızında taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte HC emisyonu azalma göstermiştir.

Azot oksit emisyonlarının karşılaştırılması: 60, 80 ve 100 km/h taşıt hızındaki minimum ve maksimum NO_x emisyonları sırasıyla 894-1959 ppm; 776-1384 ppm ve 1176-2008 ppm'dir. 60 km/h taşıt hızında çıkış gücünün artmasıyla birlikte NO_x emisyonu 10 kW'da bir miktar artış, 15 kW'da bir miktar azalma ve 20 kW çıkış gücünde ise ani bir artış göstermiştir. 80 km/h taşıt hızında tüm yakıtlarda çıkış gücünün artmasıyla birlikte NO_x miktarında düzgün bir artış gözlenmiştir. 100 km/h taşıt hızında ise 15 kW çıkış gücüne kadar düzenli bir artış, 20 kW'da benzin dışındaki diğer yakıtlarda azalma ve benzinde ise artış meydana gelmiştir. Genel olarak incelendiğinde taşıt hızının artmasıyla birlikte NO_x emisyonunda artış olduğu ifade edilebilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

60, 80, 100 km/h taşıt hızı ve 5,10, 15, 20 kW taşıt çıkış gücünde benzin, E5, E10, M5 ve M10 yakıtları kullanılarak buji ile ateşlemeli motora sahip bir taşıtta yapılan testler doğrultusunda elde edilen sonuçlar özet halinde aşağıda sunulmuştur.

1. 60 ve 80 km/h taşıt hızlarında tüm çıkış güçlerinde etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının özgül yakıt tüketimleri, benzine göre daha yüksek çıkmıştır. Bu artışın temel nedeni, etanol ve metanolun ısıl değerlerinin benzine göre daha düşük olmasıdır. 100 km/h taşıt hızında ise 5 ile 20 kW taşıt çıkış gücü dışındaki diğer güçlerde E5, E10, M5 ve M10'un özgül yakıt tüketimi benzine göre daha yüksek, 5 ve 20 kW çıkış gücünde ise benzine göre daha düşük olarak elde edilmiştir. 5 ve 20 kW çıkış gücünde benzinde meydana gelen özgül yakıt tüketimi artışının nedeni, yanma için gerekli olan oksijenin sağlanamamasıdır. Ayrıca 60, 80 ve 100 km/h taşıt hızlarında, taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte, tüm yakıtların kullanıldığı testlerde volümetrik verim ve yanma verimi arttığından özgül yakıt tüketimi azalma göstermiştir.
2. 60, 80 ve 100 km/h taşıt hızlarında, taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte özgül yakıt tüketiminde azalma, termik verimde ise artış gözlenmiştir. 60 km/h taşıt hızında termik verim E5, E10 ve M5 yakıtlarında benzine göre azalma, M10 yakıtında ise benzine göre artış göstermiştir. M10 yakıtının ısıl değeri benzine göre düşük, içeriğindeki oksijen miktarı ise hem benzin hem de diğer yakıt karışımlarına göre daha yüksektir. Oksijen miktarının yüksek olması, yanmayı iyileştirmekte ve termik verimi artırmaktadır. 80 km/h taşıt hızında E10, M5 ve M10 yakıtlarında termik verim benzine göre artış gösterirken, E5'de azalma göstermiştir. 100 km/h taşıt hızında ise tüm yakıt karışımlarında termik verimde benzine göre artış meydana gelmiştir.
3. Egzoz gazı sıcaklığı, silindirde yanma sonucu ulaşılan maksimum sıcaklıkla orantılı olarak değişmektedir. Etanol ve metanol buharlaşma esnasında ortamdan

daha fazla ısı çektiği için bu yakıtların adyabatik alev sıcaklıkları benzine göre daha düşüktür. 60, 80 ve 100 km/h taşıt hızında, etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının egzoz gazı sıcaklıkları benzine göre azalma göstermiştir.

4. 60, 80 ve 100 km/h taşıt hızlarında, taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte tüm yakıtların silindir gaz basıncı artmaya başlamıştır. Bu artışın nedeni, silindirlere gönderilen yakıt miktarı ve volümetrik verimin artması olarak gösterilebilir. 60 km/h taşıt hızı ve 5, 10, 15, 20 kW çıkış güçlerinde maksimum silindir gaz basınçları sırasıyla M10, E5, M5 ve M5 yakıtlarında elde edilmiştir. 80 km/h taşıt hızında 10, 15 ve 20 kW çıkış güçlerinde maksimum silindir gaz basıncı benzinde, 5 kW çıkış gücünde ise maksimum silindir gaz basıncı M10'da gerçekleşmiştir. 100 km/h taşıt hızında, maksimum silindir gaz basıncı 5 ile 20 kW çıkış güçlerinde benzinde, 10 ile 15 kW çıkış güçlerinde ise M5 yakıtında elde edilmiştir.
5. Genellikle 60, 80 ve 100 km/h taşıt hızlarında benzinin silindir gaz basıncı diğer yakıt karışımlarına göre daha erken yükselme göstermiştir. Bunun başlıca nedeni olarak, benzinin buharlaşma gizli ısısının düşük olması ve diğer karışımların buharlaşması için daha fazla zaman gerektirmesidir.
6. 60, 80 ve 100 km/h taşıt hızları ve tüm çıkış güçlerinde en düşük maksimum ısı dağılımı benzinde gerçekleşmiştir. Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarında maksimum ısı dağılımının elde edilmesinin nedeni, etanol ve metanolün içeriğindeki oksijenin yakıtın yanma hızını artırdığı şeklinde düşünülmektedir. Benzin, metanol ve etanole göre daha düşük buharlaşma gizli ısısına sahiptir. Buna rağmen 60 km/h taşıt hızında yakıtın buharlaşması esnasında ısı dağılımında en çok azalma benzinde gözlenmiştir.
7. 80 ve 100 km/h taşıt hızlarında, benzinin ısı dağılımı diğer yakıtlara göre daha erken yükselme göstermiştir. 80 km/h taşıt hızında, etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının ani ısı dağılımı tepe noktalarının benzine göre daha geniş olduğu tespit edilmiştir. Benzinin ısı dağılımı ise, özellikle 20° krank açısından sonra diğer yakıtlara göre daha yüksektir. Ayrıca 80 km/h'de, taşıt çıkış gücünün

artmasıyla birlikte ısı dağılımı ÜÖN'ya yakın bölgelerde gerçekleşmekte ve ÜÖN'dan uzaklaştıkça ani bir düşüş göstermektedir. Isı dağılımının büyük bir kısmının ÜÖN'ya yakın bir bölgede gerçekleşmesinin termik verimi artırdığı ifade edilebilir.

8. 60 ve 80 km/h taşıt hızları ve tüm güçlerde E5, E10, M5 ve M10 kullanımıyla CO emisyonunda benzine göre azalma meydana gelmiştir. Bu azalmanın başlıca nedeni, etanol ve metanolun içeriğinde oksijen bulundurmasıdır. Genel olarak incelendiğinde, bu hızlarda taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte, CO emisyonunda artış olduğu gözlenmiştir. 80 km/h taşıt hızında metanol, etanole göre içeriğinde daha fazla oksijen bulundurmasına rağmen metanol-benzin karışımlarının CO emisyonu, etanol-benzin karışımlarına göre daha yüksek çıkmıştır. Bu sonucun temel nedeni olarak, metanol-benzin karışımlarının kullanıldığı testlerde hava-yakıt oranının kısmen düşük olması gösterilebilir.
9. 100 km/h taşıt hızında E5 ve M10 yakıtlarında 5, 10 ve 15 kW taşıt çıkış güçlerinde CO emisyonu benzine göre artış, 20 kW gücünde ise düşüş göstermiştir. M5 ve E10 yakıtlarında ise hemen hemen her taşıt çıkış gücünde benzine göre azalma meydana gelmiştir.
10. 60 ve 80 km/h taşıt hızlarında egzoz gazının içerdiği oksijen miktarına bakıldığında, etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarındaki oksijen miktarı benzine göre daha yüksektir. 100 km/h'de E5, E10 ve M5 yakıtlarında egzoz gazında ölçülen oksijen miktarı, benzine göre daha fazladır. M10'da ise 10, 15 ve 20 kW taşıt çıkış güçlerinde egzoz gazı içerisindeki oksijen miktarı benzine göre daha düşüktür. Bu düşüşün nedeni, silindirdeki HC'un tam yanma ürünü olan CO₂'ye dönüşmesi olarak düşünülmektedir.
11. 60 ve 80 km/h taşıt hızlarında E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarıyla yapılan deneylerde benzine göre daha düşük CO₂ emisyonu elde edilmiştir. CO₂ emisyonlarında meydana gelen bu azalmanın temel sebebi, alkollerin C/H oranlarının benzine göre daha düşük olmasıdır. 60 ve 80 km/h taşıt hızlarında CO₂ emisyonu değişimi genellikle taşıt çıkış gücünün artışına bağlı olarak

önemli bir değişiklik göstermemektedir. Sadece 60 km/h'de, 20 kW taşıt çıkış gücünde M10 yakıtında ani bir artış tespit edilmiştir. 100 km/h taşıt hızında yapılan testlerde ise, E5, E10 ve M5 yakıtlarında tüm taşıt çıkış güçlerinde CO₂ emisyonunda benzine göre azalma meydana gelmiştir. M10 yakıtında ise 5 kW'da azalma, 15 ve 20 kW'da ise artış gözlenmiştir. M10'da CO₂ emisyonlarında meydana gelen artışın nedeni, yakıt içerisindeki oksijenin etkisiyle HC emisyonunun azalması, tam yanma ürünü olan CO₂'in artması şeklinde düşünülmüştür.

12. 60 km/h taşıt hızında E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarında benzine göre daha düşük HC emisyonu elde edilmiştir. Taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte etanol karışımları dışında diğer yakıtlarda HC emisyonu azalma göstermiştir. Etanol karışımlarında ise 10 kW çıkış gücünde HC emisyonu artış göstermiş ve çıkış gücünün artmasıyla birlikte tekrar azalmaya başlamıştır. Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarında HC emisyonunun azalmasının temel sebebi, etanol ve metanolün yapısında oksijen bulundurması ve yanmanın daha verimli hale gelmesi şeklinde yorumlanabilir.
13. 60 km/h taşıt hızında olduğu gibi 80 km/h taşıt hızında da E5, E10, M5 ve M10 yakıtlarında benzine göre daha düşük HC emisyonu elde edilmiştir. Yakıt karışımındaki etanol oranı arttıkça HC emisyonu azalmaktadır. M10 yakıtında ise HC emisyonu M5'e göre artmıştır. Bunun nedeni, metanolün yüksek buharlaşma gizli ısısı nedeniyle ortam sıcaklığının düşmesi şeklinde ifade edilebilir. Özellikle silindir duvarlarına yakın bölgelerde düşük sıcaklıktan dolayı alev sönmesi meydana gelmekte ve HC emisyonu artış göstermektedir. 100 km/h taşıt hızında ise, taşıt çıkış gücünün artmasıyla birlikte benzin, E5, E10 ve M5 yakıtlarda HC emisyonu düzgün bir şekilde azalma göstermiştir. M10'da ise 5,10 ve 15 kW güçlerinde HC emisyonu sabit kalırken, 20 kW güçte ani bir azalma göstermiştir.
14. 60 km/h taşıt hızında E5, E10 ve M5 yakıtlarında NO_x emisyonunda benzine göre azalma, M10'da ise artış meydana gelmiştir. Etanol ve metanol kullanımıyla NO_x emisyonlarında meydana gelen azalmanın temel nedeni,

etanol ve metanolun buharlaşma gizli ısılarının benzine göre daha yüksek olması şeklinde yorumlanabilir. M10 yakıtının 20 kW çıkış gücünde daha fazla NO_x emisyonu açığa çıkarmasının nedeni, yanmanın daha verimli olması şeklinde ifade edilebilir. 80 km/h taşıt hızında tüm etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarında NO_x emisyonu azalma göstermiştir. Bu taşıt hızında, M10 yakıtında NO_x emisyonunda meydana gelen daha az düşüşün nedeni ise M10'nun içeriğinde M5'e göre daha fazla oksijen bulundurmasıdır. M10 içerisinde bulunan oksijen, havanın içerisinde bulunan azotla yüksek sıcaklıklarda reaksiyona girerek daha fazla NO_x emisyonu oluşturmaktadır. 100 km/h taşıt hızında ise 60 km/h'de olduğu gibi, E5, E10 ve M5 yakıtlarında NO_x emisyonu benzine göre azalma, M10'da ise artış göstermiştir. M10 yakıtının buharlaşma gizli ısı yüksek olmasına rağmen özellikle 10 ile 15 kW çıkış güçlerinde maksimum silindir gaz basıncının benzinden daha yüksek çıkması NO_x emisyonunu artırmaktadır.

15. Yapılan bu çalışmada elde edilen test sonuçları, etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli motorlarda herhangi bir tasarım değişikliği yapmaksızın kullanılabilmesini göstermektedir. Benzinli motorlarda emisyon standartlarının sağlanabilmesi için katalitik konvertör kullanımı bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu nedenle, farklı oranlarda alkol karışimli yakıtların kullanılması durumunda katalitik konvertörün emisyonlar üzerine etkisi daha sonra yapılacak çalışmalarda incelenmesi gerekir. Bu doğrultuda yapılacak bir çalışma taşıt ve yakıt üreticilerine ışık tutacaktır. Bununla birlikte, motorda herhangi bir tasarım değişikliği yapılmaksızın, hangi oranlara kadar alkol karışimli yakıt kullanılabilmesi tespit edilmelidir.
16. Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının yakıt sistemi ve motor parçalarındaki korozif etkilerinin araştırılması için uzun süreli motor testlerinin yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] “Blending of Ethanol in Gasoline for Spark Ignition Engines-problem Inventory and Evaporative Measurements”, *AVL MTC AB, Stockholm University*, page 41, (2004-2005).
- [2] “United Nations Framework Convention on Climate Change” http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php (Ziyaret Tarihi: 01.03.2008)
- [3] Durgun, O., “Motorlarda benzin-etilalkol-izopropanol karışımlarının kullanılması”, *İkinci Yanma Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı, 325-335 İstanbul, (1989).
- [4] Bilgin, A., Durgun, O., Şahin, Z., “Dizel Yakıtına MTBE Katılmasının Motor Performansına Etkisi”, ULIBTK’01 13. *Ulusal Isı Bilim ve Tekniği Kongresi*, Bildiriler Kitabı, 141-146 Konya, (2001).
- [5] Borman, G.L., Rangland, K.W., “Combustion Engineering”, *McGraw-Hill Book Company*, New York, (1998).
- [6] Science Fair Projects Encyclopedia, *Alcohol fuel* (2004).
- [7] Launder, K., “Opportunities and Constraints for Ethanol Based Transportation Fuels- A Plan B Research Report”, Submitted to Michigan State University in partial fulfillment of the requirements for the of masters of science, *Department of Resource Development*, (2001).
- [8] Canakci, M., “Idealized Engine Emissions Resulting from the Combustion of Isooctane Supplemented with Hydrogen”, Ms Thesis, *Vanderbilt University*, Tennessee, August, (1996).
- [9] Çanakçı, M., Sayın, C., “Benzinli Motorlardaki Gelişmeler”, *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, 471-477, Bursa, (2004).
- [10] Özsezen, A, N., Çanakçı, M., Sayın, C., “Direkt Püskürtmeli Benzinli Motorların Tasarım ve Performans Açısından İncelenmesi”, *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, 87-95, Bursa, (2006).
- [11] Yüksel, F., Yüksel, B., “The Use of Ethanol-gasoline Blend as A Fuel in An SI Engine”, *Renewable Energy*, Vol.29, 1181-1191, (2004).
- [12] Topgül, T., Yücesu, H.S., “Etanol-benzin Karışımı Kullanılan Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranı ve Ateşleme Zamanının Motor Momentine Etkisi”, *III. Ege Enerji Sempozyumu*, Muğla, 542-553, (2006).

- [13] Yücesu, H.S., Topgül, T., Çınar, C., Okur, M., “Effect of Ethanol-gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in Different Compression Ratios”, *Applied Thermal Engineering*, Vol.26, 2272-2278, (2006).
- [14] Abdul, M., Al-Baghdadi, R.S., “Performance Study of A Four-stroke Spark Ignition Engine Working Both of Hydrogen and Ethyl Alcohol as Supplementary Fuel”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol.25, 1005-1009, (2000).
- [15] Abdel-Rahman AA., Osman MM., “Experimental Investigation on Varying the Compression Ratio of SI Engine Working Under Different Ethanol–gasoline Fuel Blends”, *International Journal of Energy Research*, Vol.21, 31-40, (1997).
- [16] El-Emam, S.H., Desoky, A.A., “A Study on the Combustion of Alternative Fuels in Spark-ignition Engines”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol.10, 497-504, (1985).
- [17] Ceviz, M.A., Yüksel, F., “Effects of Ethanol-unleaded Gasoline Blends on Cyclic Variability and Emissions in An SI Engine”, *Applied Thermal Engineering*, Vol.25, 917-925, (2005).
- [18] Bayraktar, H., “Experimental and Theoretical Investigation of Using Gasoline-Ethanol Blends in Spark-ignition Engines”, *Renewable Energy*, Vol.30, 1733-1747, (2005).
- [19] Earl, W.B., “Alcohol Use in Engines”, *Energy in Agriculture*, Vol.3, 351-362, (1984).
- [20] Rajan, S., Saniee, F.F., “Water-ethanol-gasoline Blends as Spark Ignition Engine Fuels”, *Fuel*, Vol.62, 117-121, (1983).
- [21] Shenghua, L., Cuty Clemente, E.R., Tiegang, H., Yanjv, W., “Study of Spark Ignition Engine Fueled with Methanol/gasoline Fuel Blends”, *Applied Thermal Engineering*, Vol.27, 1904-1910, (2007).
- [22] He, Bang-Quan., Wang, Jian-Xin., Hao, Ji-Ming., Yan, Xiao-Guang., Xiao, Jian-Hua., “A Study on Emission Characteristics of An EFI Engine with Ethanol Blended Gasoline Fuels”, *Atmospheric Environment*, Vol.37, 949-957, (2003).
- [23] Alasfour, F. N., “Butanol-A Single Cylinder Engine Study: Engine Performance”, *International Journal of Energy Research*, Vol.21, 21-30, (1997).
- [24] Poulton M.L., “Alternative Fuels for Road Vehicles”, *Computational Mechanics Publications*, 29-66, (1994).
- [25] Can, Ö., Çelikten, İ., Usta, N., “Effects of Ethanol Addition on Performance and Emissions of A Turbocharged Indirect Injection Diesel Engine Running at Different Injection Pressures”, *Energy Conversion & Management*, Vol.45, 2429-2440, (2004).

- [26] Li, D., Zhen, H., Xingcai, L., Wu-gao, Z., Jian-guang, Y., “Physico-chemical Properties of Ethanol-diesel Blend Fuel and Its Effect on Performance and Emission of Diesel”, *Renewable Energy*, Vol.30, 967-976, (2005).
- [27] Satge de Caro, P., Mouloungui, Z., Vaitilingom, G., Berge, J.Ch., “Interest of Combining An Additive with Diesel-ethanol Blends for Use in Diesel Engines”, *Fuel*, Vol.80, 565-574, (2001).
- [28] Bilgin, A., Durgun, O., Şahin, Z., “ The Effects of Diesel-ethanol Blends on Diesel Engine Performance”, *Energy Sources*, Vol.24, 431-440, (2002).
- [29] Abu-Qudais, M., Haddad, O., Oudaisat, M., “The Effect of Alcohol Fumigation on Diesel Engine Performance and Emissions”, *Energy Conversion & Management*, Vol.41, 389-399, (2000).
- [30] Wang, M., Saricks, C., Santini, D., “Effects of Fuel Ethanol Use on Fuel-Cycle Energy and Greenhouse Gas Emissions”, *Argonne National Laboratory Report*, (1999).
- [31] Ethanol Fuel, http://en.wikipedia.org/wiki/Ethanol_fuel#Fermentation (**Ziyaret Tarihi: 05.01.2008**).
- [32] Holman, C., Fergusson, M., Mitchell, C., “Road Transport and Air Pollution: Future Prospect”, *Rees Jeffreys Discussion*, Paper 25, Oxford University (1991).
- [33] Methanol Fuel, http://en.wikipedia.org/wiki/Methanol#Health_and_safety (**Ziyaret Tarihi: 05.01.2008**).
- [34] “Alcohols and Ethers”, *American Petroleum Institute*, API Publication 4261, July (1988).
- [35] Hunwartz, I., “Modification of CFR Test Engine Unit to Determine Octane Numbers of Pure Alcohols and Gasoline-Alcohol Blends”, *SAE Paper* 820002, Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa., (1982).
- [36] Machiele, P.A., “Flammability and Toxicity Tradeoffs with Methanol Fuels”, *SAE Paper* 872064, Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa., (1987).
- [37] Korematsu, K., Yuo, K., “Effects of Fuel Absorbed in Oil Film Unburnt Hydrocarbon Emissions from Spark Ignition Engines”, *Transaction, of the Japan Society of Mechanical Eng.*, Part B, Vol.55, No.519, P.3581-3585 (1989).
- [38] Borat, O., “Benzin-Metanol Karışımı Otto Motorlar”, *TÜBİTAK-MAG*, Proje No.483, İstanbul (1979).
- [39] Richard, L., Bechtold, P.E., “Alternative Fuels Guidebook”, *Society of Automotive Engineers*, Inc. Warrendale, Pa, U.S.A (1997).

- [40] Çay, Y., “Alternatif Yakıtlı Motorların Enerji Dağılımının İncelenmesi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 18-60 (1996)
- [41] Gülder, Ö.L., “Etanol, Etanol-Benzin Karışımlarının Otomobil Yakıtı Olarak Teknik Yönleri”, *TÜBİTAK-MAG*, Proje No.526, Ankara, (1981).
- [42] Barton, A.F.M., Tjandra, J., “Eucalyptus Oil as a Cosolvent in Water-Ethanol-Gasoline Mixtures Fuel”, Vol.68, *Butterworth and Co. Pub. Ltd.* (1989).
- [43] “Effects of the Metals of Combustion Chamber Wall on Methanol Ignition in Compression Ignition Engines”, *Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu*, B.Hen, Vol.54, No.507, p.3454-3458, (1988).
- [44] Nautival, P., Gondal, A.K., Kumar, D., “Wear and Lubrication Characteristic of Methanol Fueled Compression Ignition Engine”, *Wear*, Vol.135, No.1, p.67-68, (1989).
- [45] Ryan, T.W., Bond, T.J., “Understanding the Mechanism of Cylinder Bore and Ring Wear in Methanol Fueled SI Engines”, *SAE Tech. Paper Series Pub.*, (1986).
- [46] Nautial, P.C., Gondal, A.K., “Effect of Methanol Substation on Top Piston Ring Wear-A Comparative Assessment of Spark Ignited and Compression Ignited Engines”, *SAE Tech. Paper Series Pub.*, (1986).
- [47] <http://www.tapdk.gov.tr/alkol/dokuman/20051109> **Metanol_Hakkında_Genel Bilgi (Ziyaret Tarihi: 09.01.2008).**
- [48] Türkcan, A., “Bir Dizel Motorun Performans Parametrelerinin Deneysel Tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2006).
- [49] Figliola, R.S., Beasley, D.E., “Theory and Desing for Mechanical Measurements”, Fourth edition, *John Wiley&Sons, Inc.*, 389-396, (2006).
- [50] Öz, I.H., Borat, O., Sürmen, A., “Internal Combustion Engines”, *Alfa Yayınevi*, İstanbul, (2003).
- [51] Uygur, C., “İçten Yanmalı Motor Çevriminin Similasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi*, İstanbul, (1989).
- [52] Ghojel, J., Honnery, D., “Heat Release Model for the Combustion of Diesel Oil Emulsions in DI Engines”, *Applied Thermal Engineering*, 25: 2072-2085, (2005).
- [53] Monyem, A., “The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emissions”, Ph.D. Thesis, *Iowa State University*, USA, (1998).
- [54] Zhao, H., Ladammatos, N., “Engine Combustion Instrumentation and Diagnostics” *SAE Publication*, 2-109, (2001).

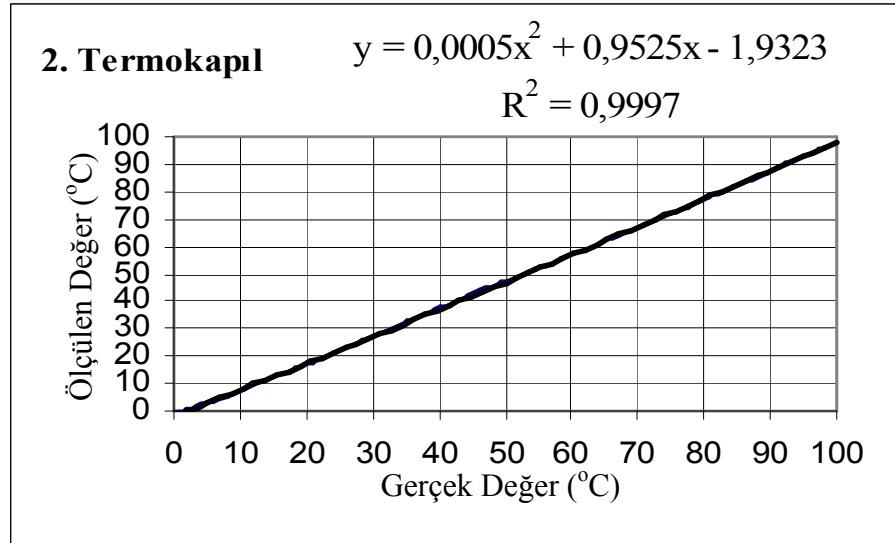
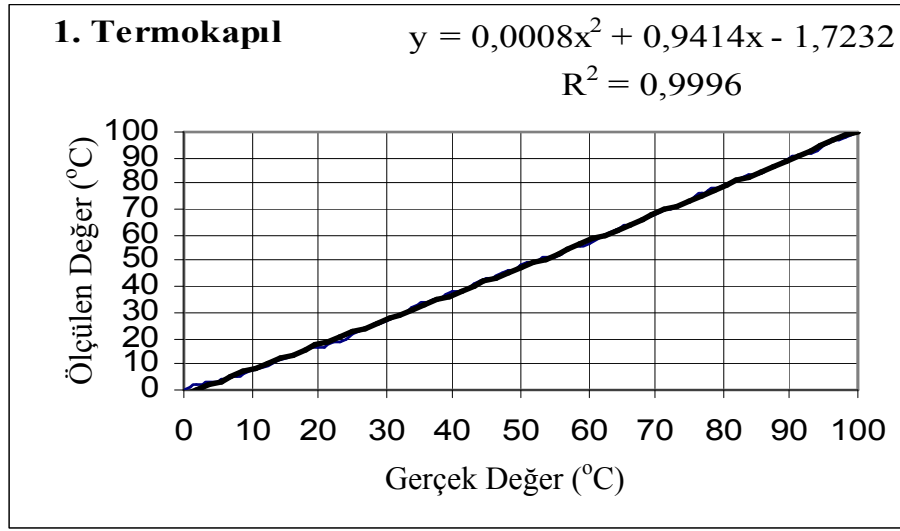
- [55] Alkaya, B., Yıldırım, A.M., “Taşıt Kaynaklı Kirleticilerin Azaltılma Yöntemi”, *Çevre Koruma Dergisi*, Cilt: 9, Sayı: 34, 15-20, (2000).
- [56] Heywood, J.B., “Pollutant Formation and Control in SI Engines”, *Pergamon Press*, (1976).
- [57] Heywood, J.B., “Internal Combustion Engine Fundamentals”, *McGraw-Hill, Inc.*, (1988).
- [58] Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., “Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği”, *Teknik Eğitim Vakfı yayınları-3*, Ankara, 24-25 (1992).
- [59] <http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php> (**Ziyaret tarihi: 07.08.2008**).
- [60] Özsezen A.N., “Atık Bitkisel Yağlardan Üretilen Biyodizelin Motor Performans ve Emisyon Karakterleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2007).
- [61] SAE Handbook, *Society of Automotive Engineers*, Inc., Warrendale, MI, Vol.1, 1304-1306, (2001).
- [62] Ferguson, C.R., Kirkpatrick, A.T., “Internal Combustion Engines”, *Applied Thermosciences*, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc (2001).
- [63] Cheng, W., Hamrin, D., Heywood, S., Hochgreb, K., Norris, M., “An overview of Hydrocarbon Emission Mechanism in Spark Ignition Engines”, *SAE Paper*, 932708, (1993).
- [64] Wentworth, J., “Effect of Combustion Chamber Surface Temperature on Exhaust Hydrocarbon Concentration”, *SAE paper*, 710587, (1971).
- [65] Turns, S.R., “An Introduction to Combustion-Concepts and Applications”, *McGraw-Hill*, New York, 32-51, (2000).
- [66] Ghojel, J., Honnery, D., “Heat Release Model for the Combustion of Diesel Oil Emisions in DI Diesel Engines”, *Applied Thermal Engineering*, 25, 2072-2085, (2005).
- [67] Wu, C.W., Chen, R.H., Pu, J.Y., Lin, T.H., “The Influence of Air-Fuel Ratio on Engine Performance and Pollutant Emission of An SI Engine Using Ethanol-gasoline-Blended Fuels”, *Atmospheric Environment*, 38 (40 SPEC.ISS.), pp. 7093-7100, (2004).
- [68] Bayındır, H., “Etanol-Benzin Karışımlarının Benzinli Motorlarda Motor Karakteristikleri ve Hava Kirliliğine Etkileri” Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 128-131, (1998).
- [69] Kutlar, O.A., Ergeneman, M., Mutlu, M., Arslan, H., “Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler”, Birsen Yayınevi, 10-30, (1998).

- [70] Aytav, E., “Benzinli Motorlarda Çalışma Parametrelerinin Karbon Monoksit ve Hidrokarbon Oluşumuna Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 38-42, (2005).
- [71] Obert, E.F., “Internal Combustion Engines and Air Pollution”, **Harper&Row Publishers, Inc.**, (1973).
- [72] Al-Hasan, M., “Effect of Ethanol-Unleaded Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emission”, **Energy Conversion & Management**, Vol.44, 1547-1561, (2003).
- [73] Topgül, T., “Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Etil Alkol-Benzin Karışımı Kullanımında Optimum Çalışma Parametrelerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 68-72, (2006).
- [74] Pitstick, M.E., “Emissions from Ethanol and LPG Fueled Vehicles”, Preprint Paper No 930527, **Transportation Research Board 72nd Annual Meeting**, Washington, DC, United States of America, 10-14 January, (1993).
- [75] Magnusson, R., Nilson, C., “Emissions of Aldehydes and Ketones from A Two-Stroke Engine Using Ethanol and Ethanol Blended Gasoline As Fuel”, **Environmental Science and Technology**, 36 (8), 1656-1664, (2002).
- [76] Charalampos, A.I., Anastasios, K.N., Panagiotis, S.D., “Gasoline-Ethanol, Methanol Mixtures and A Small Four-Stroke Engine”, **Heat and Technology**, 22 (2), 69-73, (2004).
- [77] Çelik, M.B., Çolak, A., “Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Alternatif Yakıt Olarak Saf Etanolün Kullanılması”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.** 23 (3), 619-626, (2008).
- [78] Van Basshuysen, R., Schafer, F., “Internal Combustion Engine Handbook”, **SAE International**, Warrendale, Pa. USA, 565-576, (2004).
- [79] Varde, K., Jones, A., Knutsen, A., Mertz, D., Yu, P., “Exhaust Emissions and Energy Release Rates from A Controlled Spark Ignition Engine Using Ethanol Blends”, **Proc. Instn Mech. Engrs, Part D: J. Automobile Engineering**, 221, 933-941, (2007).
- [80] Çetinkaya, S., Çelik, M.B., “Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Olarak Metanol-Benzin Karışımlarının Kullanılması”, **Beşinci Yanma Sempozyumu**, Kirazlıyayla, Bursa, 20-23 Temmuz, (1997).

EKLER

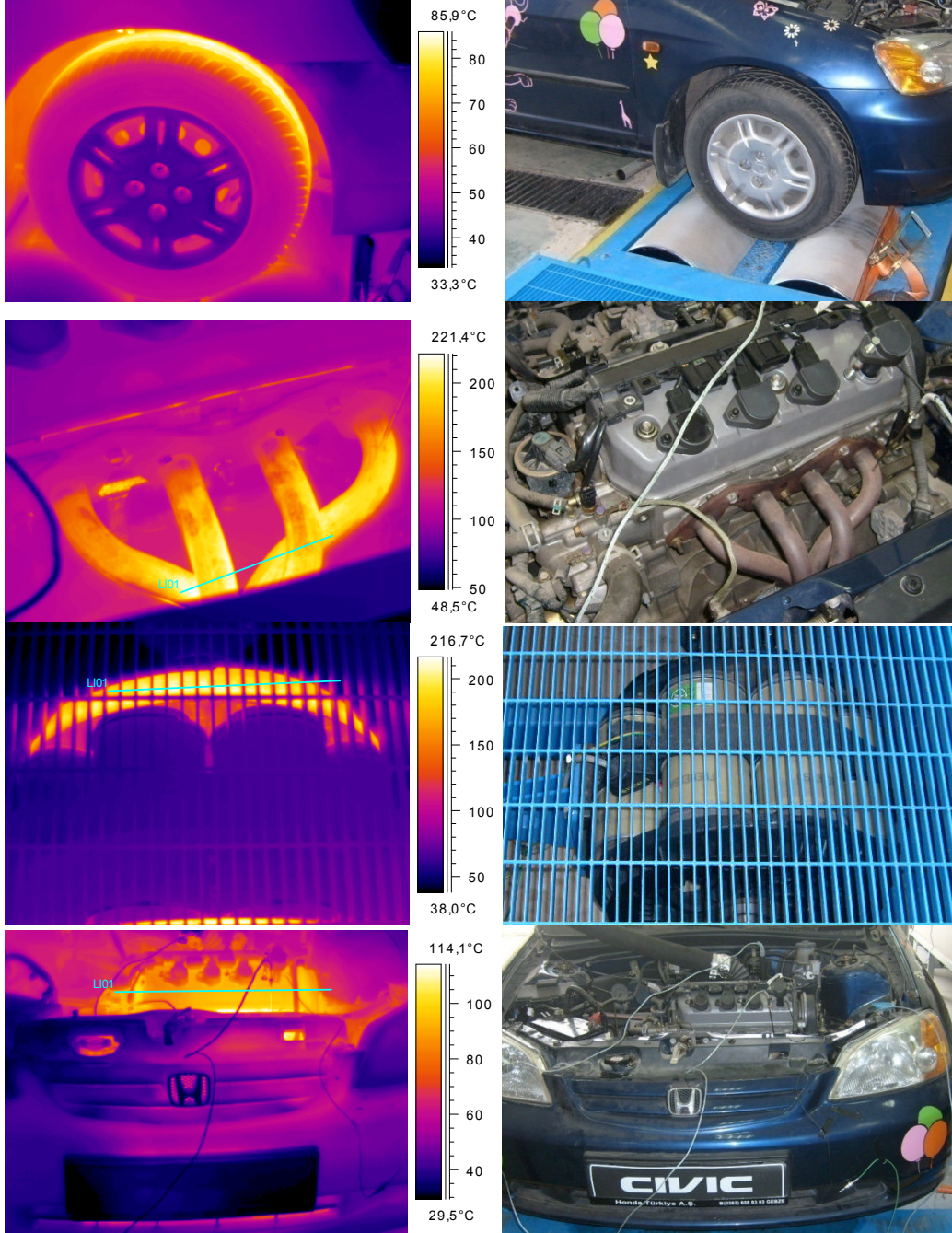
EK A

TERMOKUPLLARA AİT KALİBRASYON EĞRİLERİ



EK B

TESTLER ESNASINDAKİ TERMAL KAMERA GÖRÜNTÜLERİ



ÖZGEÇMİŞ (Muharrem EYİDOĞAN)

1984 yılında Sivas’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sivas’da tamamladı. 2002 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim dalından 2006 yılında mezun oldu. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsünde yüksek lisansa başladı. 2007 yılından beri “Bitkisel ve Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi ve Entegre Enerji Üretim Sisteminde Kullanımı (Biyogaz)” adlı TÜBİTAK TARAL (KAMAG) projesinde araştırmacı olarak görev yapmaktadır.