

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SODYUM BORHİDRÜR KATKILI ALKOL-BENZİN KARIŞIM YAKITLARIN
BENZİNLİ BİR MOTORDA YAKIT OLARAK KULLANIMININ MOTOR
PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİNİN DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Ahmet YAKIN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Rasim BEHÇET

HAZİRAN 2022

**T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SODYUM BORHİDRÜR KATKILI ALKOL-BENZİN KARIŞIM YAKITLARIN
BENZİNLİ BİR MOTORDA YAKIT OLARAK KULLANIMININ MOTOR
PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİNİN DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Ahmet YAKIN
(36173618001)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Rasim BEHÇET

HAZİRAN 2022

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedi beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Rasim BEHÇET'e, başta tez izleme komitelerimde bulunan jüri üyelerine ve diğer tüm Makine Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyelerine,

Sodyum borhidrürün temin edilmesinde yardımcı olan Sigma Aldrich firmasına, katı yakıtın sınıvlaştırılmasında yardımlarını esirgemeyen Yüzüncü Yıl Üniversitesi kimya bölümü öğretim üyelerinden Beyza CEBİR ve Adnan YILDIZ'a

Deneylerin aşamalarında yardımlarını esirgemeyen Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliğine, öğretim üyelerine ve bölümü öğretim üyesi Prof.Dr. Hamit SOLMAZ'a, Prof.Dr. Atilla KOCA'ya, Arş. Gör. Serdar HALİS'e

Çalışmalarında ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışmalarım süresince benden her türlü desteklerini esirgemeyen, oğlum Tarık, kızım Buse ve eşim Nurhan'a

teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Doktora tezi olarak sunduğum “Sodyum Borhidrür Katkılı Alkol Benzin Karışımli Yakıtların Benzinli Bir Motorda Kullanımının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Ahmet Yakın



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	6
3. BENZİN, ETANOL, METANOL VE SODYUM BORHİDRÜRÜN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	20
3.1 Benzin	20
3.2 Etanol	21
3.3 Biyoetanol	22
3.4 Metanol	24
3.5 Biyokütleden Metanol Üretimi	26
3.6 Sodyum Borhidrür NaBH_4	27
3.7 Sodyum Borhidrürün Yanma Denklemi	28
3.8. Deney Yakıtlarının Maliyet Analizi	28
4. MATERYAL VE METOT	30
4.1 Materyal	30
4.1.1 NaBH_4 ve alkol (CH_3OH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) katkılı karışım yakıtların elde edilmesi... ..	30
4.1.2 Motor test yakıtları	31
4.1.3 Motor test deneyleri	34
4.1.4 Deney düzeneği	34
4.1.5 Motor test deneylerinde kullanılan yakıt özelliklerinin belirlenmesi.....	36
4.1.5.1 Yoğunluk ölçüm cihazı (KYOTO DA-130)	36
4.1.5.2 Kinematik viskozite ölçüm (TANAKA AKV-202)cihazı.....	37
4.1.5.3 Bakır şerit korozyon (KOEHLER K25339) cihazı.....	38
4.1.5.4 Oktan sayısı (16715 ZELTEX ZX440) ölçüm cihazı.....	39
4.1.6 Motor dinamometresi	42
4.2 Deneysel Metot	42
4.2.1 Motor performans parametreleri	42
4.2.2 Egzoz emisyon parametreleri	44
4.2.3 Deneysel çalışma.....	44
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	46
5.1 Benzin-Etanol Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri	46
5.1.1 Benzin-etanol karışım yakıtların motor momentleri	46
5.1.2 Benzin-etanol karışım yakıtların motor güçleri	47
5.1.3 Benzin-etanol karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri.....	48
5.1.4 Benzin-etanol karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları	49
5.1.5 Benzin-etanol karışım yakıtların CO emisyonları.....	50
5.1.6 Benzin-etanol karışım yakıtların HC emisyonları.....	51
5.1.7 Benzin-etanol karışım yakıtların CO_2 emisyonları.....	52
5.1.8 Benzin-etanol karışım yakıtların NO_x emisyonları	53
5.2 Benzin-Metanol Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri	54

5.2.1 Benzin-metanol karışım yakıtların motor momentleri	54
5.2.2 Benzin-metanol karışım yakıtların motor güçleri	55
5.2.3 Benzin-metanol karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri.....	56
5.2.4 Benzin-metanol karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları	57
5.2.5 Benzin-metanol karışım yakıtların CO emisyonları.....	58
5.2.6 Benzin-metanol karışım yakıtların HC emisyonları.....	59
5.2.7 Benzin-metanol karışım yakıtların CO ₂ emisyonları	61
5.2.8 Benzin-metanol karışım yakıtların NO _x emisyonları	61
5.3 NaBH ₄ Katkılı Etanol-Benzin Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri	62
5.3.1 Sodyum borhidrür katkı etanol-benzin karışım yakıtların motor momentleri	63
5.3.2 Sodyum borhidrür katkı etanol-benzin karışım yakıtların motor güçleri	64
5.3.3 Sodyum borhidrür katkı etanol-benzin karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri	65
5.3.4 Sodyum borhidrür katkı etanol-benzin karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları	65
5.3.5 Sodyum borhidrür katkı etanol-benzin karışım yakıtların CO emisyonları....	66
5.3.7 Sodyum borhidrür katkı etanol-benzin karışım yakıtların CO ₂ emisyonları ..	68
5.4 Sodyum Borhidrür Katkılı Metanol-Benzin Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri	71
5.4.1 Sodyum borhidrür katkı metanol-benzin karışım yakıtların motor momentleri	71
5.4.2 Sodyum borhidrür katkı metanol-benzin karışım yakıtların motor güçleri ..	72
5.4.3 Sodyum borhidrür katkı metanol-benzin karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri	72
5.4.4 Sodyum borhidrür katkı metanol-benzin karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları	73
5.4.5 Sodyum borhidrür katkı metanol-benzin karışım yakıtların CO emisyonları.	74
5.4.6 Sodyum borhidrür katkı metanol-benzin karışım yakıtların HC emisyonları.	75
5.4.7 Sodyum borhidrür katkı metanol-benzin karışım yakıtların CO ₂ emisyonları	76
5.4.8 Sodyum borhidrür katkı metanol-benzin karışım yakıtların NO _x emisyonları	77
5.5 %5 Alkol Katkılı Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri	79
5.5.1 Alkol katkı (%5) karışım yakıtların motor momentleri	79
5.5.2 Alkol katkı (%5) karışım yakıtların motor güçleri.....	80
5.5.3 Alkol katkı (%5) karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri.....	80
5.5.4 Alkol katkı (%5) karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları.....	81
5.5.5 Alkol katkı (%5) karışım yakıtların CO emisyonları.....	81
5.5.6 Alkol katkı (%5) karışım yakıtların HC emisyonları.....	82
5.5.7 Alkol katkı (%5) karışım yakıtların CO ₂ emisyonları	83
5.5.8 Alkol katkı (%5) karışım yakıtların NO _x emisyonları	83
5.6 %10 Alkol Katkılı Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri.....	84
5.6.1 Alkol katkı (%10) karışım yakıtların motor momentleri	84
5.6.2 Alkol katkı (%10) karışım yakıtların motor güçleri.....	85
5.6.3 Alkol katkı (%10) karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri.....	85
5.6.4 Alkol katkı (%10) karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları.....	86
5.6.5 Alkol katkı (%10) karışım yakıtların CO emisyonları.....	87
5.6.6 Alkol katkı (%10) karışım yakıtların HC emisyonları.....	88
5.6.7 Alkol katkı (%10) karışım yakıtların CO ₂ emisyonları	88
5.6.8 Alkol katkı (%10) karışım yakıtların NO _x emisyonları	89
5.7 %15 Alkol Katkılı Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri.....	90

5.7.1 Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların motor momentleri	90
5.7.2 Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların motor güçleri.....	90
5.7.3 Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri.....	91
5.7.4 Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları.....	92
5.7.5 Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların CO emisyonları.....	92
5.7.6 Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların HC emisyonları.....	93
5.7.7 Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların CO ₂ emisyonları	94
5.7.8 Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların NO _x emisyonları	94
5.8 %20 Alkol Katkılı Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri.....	95
5.8.1 Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların motor momentleri	95
5.8.2 Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların motor güçleri.....	96
5.8.3 Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri.....	96
5.8.4 Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları.....	97
5.8.5 Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların CO emisyonları.....	98
5.8.6 Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların HC emisyonları.....	98
5.8.7 Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların CO ₂ emisyonları	99
5.8.8 Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların NO _x emisyonları	100
5.9 % 25 Alkol Katkılı Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri.....	101
5.9.1 Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların motor momentleri	101
5.9.2 Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların motor güçleri.....	102
5.9.3 Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri.....	102
5.9.4 Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklığı.....	103
5.9.5 Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların CO emisyonları.....	103
5.9.6 Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların HC emisyonları.....	104
5.9.7 Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların CO ₂ emisyonları	105
5.9.8 Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların NO _x emisyonları	106
5.10 %30 Alkol katkılı Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri	107
5.10.1 Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların motor momentleri	107
5.10.2 Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların motor güçleri.....	107
5.10.3 Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri.....	108
5.10.4 Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları.....	109
5.10.5 Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların CO emisyonları.....	109
5.10.6 Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların HC emisyonları.....	110
5.10.7 Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların CO ₂ emisyonları	111
5.10.8 Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların NO _x emisyonları.....	111
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	113
6.1 Sonuç.....	113
6.2 Öneriler	117
KAYNAKLAR.....	118
ÖZGEÇMİŞ	129

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1: Deneysel çalışmada yakıt katkı maddesi olarak kullanılan NaBH_4 'ün bazı özellikleri (Bilici, 2004).	28
Çizelge 4.1: Test motorunun özellikleri	34
Çizelge 4.2: Deney Motorunun ölçülen doğrulukları ve hesaplanan belirsizlikler	36
Çizelge 4.3: Deneylerde kullanılan test yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri (Elfasakhany, 2016; Pulkrabek, 1997; Çukurova, 2001; Yakın ve Behçet, 2021).....	41
Çizelge 4.4: Egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri	44



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1:Fosil kaynaklı yakıtların kullanımındaki dağılımı (Oyedepo, 2012).	4
Şekil 1.2:Küresel petrol kullanımındaki dağılım (Oyedepo, 2012).....	4
Şekil 3.1: Etanol üretimi ve taşıt yakıtı olarak kullanımındaki karbon döngüsü(Eyidoğan, 2009).....	22
Şekil 3.2: Biyoetanolün üretim aşamaları(Adıgüzel, 2013).	24
Şekil 3.3: Doğalgazdan metanol üretim prosesinin şematik görünüşü.....	25
Şekil 3.4: Biyokütleden metanol üretim şeması (Nakagawa ve diğ, 2007).....	26
Şekil 4.1: Katı haldeki NaBH ₄ ve alkol içerisinde çözündürülmüş sıvı haldeki NaBH ₄ çözeltisi	33
Şekil 4.2: Benzin-etanol karışım yakıtlarının akış diyagramı	33
Şekil 4.3: Benzin-metanol karışım yakıtlarının akış diyagramı	33
Şekil 4.4: Sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların akış diyagramı	33
Şekil 4.5: Sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların akış diyagramı	34
Şekil 4.6: Deney düzeneğinin şematik görünümü	35
Şekil 4.7: Deney motoru	35
Şekil 4.8: Kyoto (Da-130) portatif dijital yoğunluk ölçme cihazı.....	37
Şekil 4.9: Tanaka (AKV-202) otomatik kinematik viskozimetre ölçme cihazı	38
Şekil 4.10: Koehler (K25339) bakır şerit korozyon cihazı.....	39
Şekil 4.11: Zeltex 16715 (ZX440) oktan sayısı ölçüm cihazı	40
Şekil 4.12: Deneylerde kullanılan elektrikli dinamometre	42
Şekil 4.13: Deney motorunun kontrol paneli.....	43
Şekil 4.14: Egzoz gaz analiz cihazı	44
Şekil 5.1.1: Benzin ve benzin-etanol karışım yakıtlarına ait motor momenti değerlerinin motor devrine bağlı değişimi	47
Şekil 5.1.2: Benzin ve benzin-etanol karışım yakıtlarına ait motor gücü değerlerinin motor devrine bağlı değişimi	48
Şekil 5.1.3: Benzin ve benzin-etanol karışım yakıtlarına ait özgül yakıt tüketimi değerlerinin motor devrine bağlı değişimi	49
Şekil 5.1.4: Benzin ve benzin-etanol karışım yakıtlarına ait egzoz gaz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi	50
Şekil 5.1.5: Benzin ve benzin-etanol karışım yakıtlarına ait CO emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi	51
Şekil 5.1.6: Benzin ve benzin-etanol karışım yakıtlarına ait HC emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi	52
Şekil 5.1.7: Benzin ve benzin-etanol karışım yakıtlarına ait CO ₂ emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi	53
Şekil 5.1.8: Benzin ve benzin-etanol karışım yakıtlarına ait NO _x emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi	54
Şekil 5.2.1: Benzin ve benzin-metanol karışım yakıtlarına ait motor momentlerinin motor devrine bağlı değişimi	55
Şekil 5.2.2: Benzin ve benzin-metanol karışım yakıtlarına ait motor güçlerinin motor devrine bağlı değişimi	56
Şekil 5.2.3: Benzin ve benzin-metanol karışım yakıtlarına ait özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi	57
Şekil 5.2.4: Benzin ve benzin-metanol karışım yakıtlarına ait egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi	58
Şekil 5.2.5: Benzin ve benzin-metanol karışım yakıtlarına ait CO emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi	59

Şekil 5.2.6: Benzin ve benzin-metanol karışım yakıtlarına ait HC emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi	60
Şekil 5.2.7: Benzin ve benzin-metanol karışım yakıtlarına ait CO ₂ emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi	61
Şekil 5.2.8: Benzin ve benzin-metanol karışım yakıtlarına ait NO _x emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi	62
Şekil 5.3.1: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların motor momentlerinin motor devrine bağlı değişimi	63
Şekil 5.3.2: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların motor güçlerinin motor devrine bağlı değişimi.....	64
Şekil 5.3.3: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların özgül yakıt tüketimlerinin motor devrine bağlı değişimi	65
Şekil 5.3.4: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi	66
Şekil 5.3.5: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların CO emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi.....	67
Şekil 5.3.6: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların HC emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi.....	68
Şekil 5.3.7: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların CO ₂ emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi.....	69
Şekil 5.3.8: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların NO _x emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi.....	70
Şekil 5.4.1: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların motor momentlerinin motor devrine bağlı değişimi	71
Şekil 5.4.2: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların motor gücünün motor devrine bağlı değişimi	72
Şekil 5.4.3: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi	73
Şekil 5.4.4: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi	74
Şekil 5.4.5: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	75
Şekil 5.4.6: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların HC emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	76
Şekil 5.4.7: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların CO ₂ emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	77
Şekil 5.4.8: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların NO _x emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	78
Şekil 5.5.1: Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların motor momentinin motor devrine bağlı değişimi	79
Şekil 5.5.2: Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların motor gücünün motor devrine bağlı değişimi	80
Şekil 5.5.3: Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi	80
Şekil 5.5.4: Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi	81
Şekil 5.5.5: Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	82
Şekil 5.5.6: Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların HC emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	82

Şekil 5.5.7: Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların CO ₂ emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	83
Şekil 5.5.8: Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların NO _x emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	84
Şekil 5.6.1: Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların motor momentinin motor devrine bağlı değişimi	84
Şekil 5.6.2: Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların motor gücünün motor devrine bağlı değişimi	85
Şekil 5.6.3: Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi	86
Şekil 5.6.4: Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi	86
Şekil 5.6.5: Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	87
Şekil 5.6.6: Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların HC emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	88
Şekil 5.6.7: Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların CO ₂ emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	89
Şekil 5.6.8: Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların NO _x emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	89
Şekil 5.7.1: Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların motor momentinin motor devrine bağlı değişimi	90
Şekil 5.7.2: Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların motor gücünün motor devrine bağlı değişimi	91
Şekil 5.7.3: Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi	91
Şekil 5.7.4: Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi	92
Şekil 5.7.5: Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	92
Şekil 5.7.6: Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların HC emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	93
Şekil 5.7.7: Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların CO ₂ emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	94
Şekil 5.7.8: Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların NO _x emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	94
Şekil 5.8.1: Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların motor momentinin motor devrine bağlı değişimi	95
Şekil 5.8.2: Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların motor gücünün motor devrine bağlı değişimi	96
Şekil 5.8.3: Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi	96
Şekil 5.8.4: Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi	97
Şekil 5.8.5: Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	98
Şekil 5.8.6: Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların HC emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	98
Şekil 5.8.7: Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların CO ₂ emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	99

Şekil 5.8.8: Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların NO _x emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	100
Şekil 5.9.1: Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların motor momentinin motor devrine bağlı değişimi	101
Şekil 5.9.2: Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların motor gücünün motor devrine bağlı değişimi	102
Şekil 5.9.3: Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi	102
Şekil 5.9.4: Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi	103
Şekil 5.9.5: Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	104
Şekil 5.9.6: Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların HC emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	104
Şekil 5.9.7: Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların CO ₂ emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	105
Şekil 5.9.8: Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların NO _x emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	106
Şekil 5.10.1: Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların motor momentinin motor devrine bağlı değişimi	107
Şekil 5.10.2: Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların motor gücünün motor devrine bağlı değişimi	107
Şekil 5.10.3: Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi	108
Şekil 5.10.4: Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi	109
Şekil 5.10.5: Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	109
Şekil 5.10.6: Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların HC emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	110
Şekil 5.10.7: Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların CO ₂ emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	111
Şekil 5.10.8: Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların NO _x emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	111

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

B100	: Benzin
C₂H₅OH	: Ethanol
C₈H₁₈	: Benzin
CH₃OH	: Metanol
E5	: %5 Etanol + %95 saf benzin karışımı
E10	: %10 Etanol + %90 saf benzin
E15	: %15 Etanol + %85 saf benzin
E20	: %20 Etanol + %80 saf benzin
E25	: %25 Etanol + %75 saf benzin
E30	: %30 Etanol + %70 saf benzin
ES5	: %5 Etanolde çözünmüş sodyum borhidrür + %95 saf benzin
ES10	: %10 Etanolde çözünmüş sodyum borhidrür + %90 saf benzin
ES15	: %15 Etanolde çözünmüş sodyum borhidrür + %85 saf benzin
ES20	: %20 Etanolde çözünmüş sodyum borhidrür + %80 saf benzin
ES25	: %25 Etanolde çözünmüş sodyum borhidrür + %75 saf benzin
ES30	: %30 Etanolde çözünmüş sodyum borhidrür + %70 saf benzin
M5	: %5 Metanol + %95 saf benzin
M10	: %10 Metanol + %90 saf benzin
M15	: %15 Metanol + %85 saf benzin
M20	: %20 Metanol + %80 saf benzin
M25	: %25 Metanol + %75 saf benzin
M30	: %30 Metanol + %70 saf benzin
MS5	: %5 Metanolde çözünmüş sodyum borhidrür + %95 saf benzin
MS10	: %10 Metanolde çözünmüş sodyum borhidrür + %90 saf benzin
MS15	: %15 Metanolde çözünmüş sodyum borhidrür + %85 saf benzin
be	: Özgül yakıt tüketimi
Be	: Yakıt tüketimi
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
EGT	: Egzoz gaz sıcaklığı
HC	: Hidrokarbon
HCCI	: Homojen DolguluSıkıştırma İle Ateşlemeli Motorlar
LHV	: Alt ısı değer
Me	: Motor momenti

n	: Motor devir sayısı
Ne	: Motor gücü
NO_x	: Azotoksit
ÖYT	: Özgöl yakıt tüketimi
VOC	: Uçucu organik bileşik
Teg	: Egzoz gaz sıcaklığı



ÖZET

Doktora Tezi

SODYUM BORHİDRÜR KATKILI ALKOL BENZİN KARIŞIMLI YAKITLARIN BENZİNLİ BİR MOTORDA KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Ahmet YAKIN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

116+xi sayfa

2022

Danışman: Prof. Dr. Rasim BEHÇET

Bu çalışmada, sodyum borhidrür katkıli alkoller (CH_3OH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) ile benzin belirli oranlarda karıştırılarak motor test yakıtlarının oluşturulması ve bu yakıtların benzinli bir motorda test edilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda katı haldeki sodyum borhidrür, metil alkol ve etil alkol içerisinde ayrı ayrı çözündürülerek sodyum borhidrür- metil alkol ve sodyum borhidrür-etil alkol çözeltileri elde edilmiştir. Motor deneylerinde kullanılmak üzere saf benzin, metil alkol katkıli karışım yakıtlar, etil alkol katkıli karışım yakıtlar, sodyum borhidrür-metil alkol katkıli karışım yakıtlar ve sodyum borhidrür-etil alkol katkıli karışım yakıtlar olmak üzere beş farklı türde yakıtlar elde edilmiştir. Saf alkoller (metil alkol ve etil alkol) ve sodyum borhidrür katkıli metanol ve sodyum borhidrür katkıli etanol çözeltilerinin herbiri belirli oranlarda (hacimsel olarak %5, %10, %15, %20, %25, %30) saf benzinle karıştırılarak (E5, M5, ES5, MS5, E10, M10, ES10, MS10, E15, M15, ES15, MS15... olarak isimlendirilen) motor test yakıtları elde edilmiştir. Motor önce saf benzinle çalıştırılarak kararlı rejime geldikten sonra performans ve emisyon ölçümleri yapıldı. Daha sonra sırasıyla oluşturulan karışım yakıtlar herbiri ayrı ayrı deney motorunda test edilerek performans ve emisyon ölçümleri elde edildi. Elde edilen performans ve emisyon değerleri saf benzinle çalıştırılan motorun değerleriyle karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Motor testlerinden elde edilen veriler dikkate alındığında alkol yakıtların benzine ilave edilmesiyle, tüm alkol-benzin karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri artarken, egzoz gaz sıcaklıkları ise düşmüştür. Bununla beraber, NaBH_4 katkıli alkol benzin karışimli yakıtlar ile çalışan bazı motor moment değerlerinde azalma meydana gelirken bazılarında da artma olmuştur. Benzer şekildeki artma ve azalmalar karışım yakıtlar ile yakıtlı motor güç değerlerinde de olmuştur. Diğer taraftan saf alkollerin ve NaBH_4 katkıli alkol çözeltilerinin benzine ilave edilmesi ile oluşturulan karışım yakıtlar ile çalıştırılan motorun CO ve NO_x emisyonları saf benzin ile çalıştırılan motorun egzoz emisyonlarına göre azalırken CO_2 emisyonları artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Benzinli motor, sodyum borhidrür, etanol, metanol, motor performansı, egzoz emisyonu

ABSTRACT

Phd Thesis

ENGINE PERFORMANCE OF SODIUM BORHYDRIDE ADDED ALCOHOL GASOLINE MIXED FUEL IN USING ON A GASOLINE ENGINE AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ITS EFFECT ON EXHAUST EMISSIONS

Ahmet YAKIN

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

116+xi sayfa

2022

Supervisor: Prof. Dr. Rasim BEHÇET

In this study, it was aimed to create engine test fuels by mixing gasoline with sodiumborhydrideadded alcohols (CH_3OH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) in certain proportions and to test these fuels in a gasoline engine. In accordance with this goal, sodium borhydride in solid form was dissolved separately in methyl alcohol and ethyl alcohol to obtain sodium borhydride-methyl alcohol and sodium borhydride-ethyl alcohol solutions. To be used in engine experiments, five types of fuel, namely; pure gasoline, methyl alcohol, ethyl alcohol, methyl alcohol with sodiumborhydrideadditives and ethyl alcohol with sodiumborhydrideadditives, were obtained. Engine test fuels were obtained by means of adding each of ethanol solutions to pure alcohols (methyl alcohol and ethyl alcohol), sodium borohydride added methanol and sodium borohydride at certain rates (5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% by volume) mixing with pure gasoline (E5, M5, ES5, MS5, E10, M10, ES10, MS10, E15, M15, ES15, MS15... named as). First of all, the engine was started with pure gasoline and after reaching the stable regime, performance and emission measurements were made. Then, each of the mixture fuels, created respectively, were tested separately in the experimental engine and performance and emission measurements were obtained. The obtained performance and emission values were interpreted by comparing them with the values of an engine powered by pure gasoline. Taking into account the data obtained from engine tests, when alcohol fuels were added to gasoline, the specific fuel consumption of all alcohol-gasoline mixture fuels increased; however, the exhaust gas temperatures decreased. In addition to this, while there was a decrease in some engine torque values (ES5, ES10, ES15, M20, ES25, ES30) working with NaBH_4 -doped alcohol gasoline mixed fuels, there was an increase in some of them. Similarly, there have been increases and decreases in the engine power values of mixed fuels and fuels. On the other hand, while the CO and NO_x emissions of the engine operated with mixed fuels created by adding pure alcohols and alcohol solutions with NaBH_4 , additives to the gasoline are reduced compared to the exhaust emissions of the engine operated with pure gasoline, CO₂ emissions increased.

Keywords: Gasoline engine, sodium borohydride, ethanol, methanol, engine performance, exhaust emissions

1. GİRİŞ

Küreselleşme, gelişen teknoloji, artan nüfus ve endüstrileşme ile birlikte insanların ihtiyaçları değişebilmektedir. Gerek insanların refah seviyelerinin artması gerekse teknolojinin getirdiği zorunluluklardan dolayı taşıtlara olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Taşıt kullanımında yakıt ekonomisi, motor performansı ve taşıt kaynaklı emisyonların çevre ve canlılar üzerinde etkileri bulunmaktadır. Yeni teknolojiye sahip ulaşım araçlarında yakıt ekonomisi ve taşıt güvenliği ön plana çıkmaktadır. Günümüzde kullanılan taşıtlarda farklı tür enerji kaynakları kullanılarak daha temiz ve yaşanılabilir şartlar oluşturulabilmektedir. Temiz ve zararlı emisyonlara sebep olmayan taşıtların başında elektrikli ve yakıt hücreli taşıtlar gelmektedir. İkinci sırada ise içten yanmalı motorlarda kullanılan fosil kökenli yakıtların yerine kullanılabilen biyoyakıtlardır. Oksijen içeriği zengin olan biyoyakıtlar içten yanmalı motor yakıtı olarak değerlendirildiğinde, bir taraftan daha iyi yanma işlemi sağlarken diğer taraftan motorlu taşıt kaynaklı zararlı emisyonları düşürmektedir. Taşıt kaynaklı zararlı emisyonları azaltan üçüncü yakıt türü ise konvansiyonel yakıtlara ilave edilen katkı maddeleri ile oluşturulan karışım yakıtlardır. Pistonlu içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtın kalitesini iyileştirmek ve bu motorlardan kaynaklanan zararlı emisyonları azaltmak amacıyla fosil tabanlı yakıtlar içerisine farklı tür katkı maddeleri ilave edilebilmektedir. Taşıt kaynaklı zararlı emisyonların azaltılması amacıyla yakıt katkı maddesi olarak bir yandan daha uçucu ve daha az zarar verici olarak alkoller kullanılırken diğer yandan yakıtın özelliklerini iyileştirmek ve verimli bir yanma sağlamak için nano boyutlu katkı maddeleri kullanılabilmektedir. Alkoller, içten yanmalı pistonlu motorlarda bazen fosil yakıtların yerine saf halde kullanılırken bazen de yakıtın kalitesini iyileştirmek için yakıt katkı maddesi olarak katılmaktadır. Benzinli motorlar için alternatif yakıt olarak bir çok alkol kullanılmaktadır. Bu alkollerin başlıcaları metanol, etanol ve bütanoldür. Bunlar zararlı egzoz emisyonlarının da azaltmaktadırlar. Hem uçucu ve renksiz hem de zehirli bir sıvı olan metanol, eskiden odunların damıtılma işlemiyle elde edilirken günümüzde ise yüksek basınç ve sıcaklığı altında, hidrojenden ve karbonmonoksitten üretilmektedir. Alkoller, benzin içerisine ilave edildiğinde hem yakıtın oktan sayısı artmakta hem de zararlı egzoz emisyonlarını azaltmaktadır. Bundan dolayı alkoller, benzinli motorlarda yakıt olarak

kullanılan benzine alternatif olarak ya saf halde kullanılırlar veya yakıt katkı olarak kullanılmaktadırlar (İcingur ve Calam, 2012; Calam ve diğ, 2015). Benzin yakıtında ister benzinin oktan sayısını arttırmak ister zararlı egzoz emisyonlarının azaltmak amacıyla kullanılan katkı maddelerinin başında oksitleyici olarak da bilinen hafif alkoller (metanol, etanol vb.) gelmektedir (Kumar ve diğ, 2013; Goldanica ve diğ, 1998; Morganti ve diğ, 2013; Foong ve diğ, 2014; Kish ve diğ, 2010; İcingür ve diğ, 2006; Celik ve Colak, 2008).

Fosil kökenli bir yakıt olan petrol tüketiminin artmasına paralel olarak gerek petrol fiyatlarındaki artış gerekse petrol kullanan sistemlerin çevreye verdiği zararlardan dolayı alternatif enerji kaynaklarının araştırılması zorunlu hale gelmiştir (Çelikten ve diğ, 2012; Kosar ve diğ, 2011; Schifter ve diğ, 2011). Bitkisel ve hayvansal kaynaklı biyoyakıtlar içten yanmalı motorlar için alternatif yakıtlardır. Etanol ve metanol gibi alkoller, benzinli motorlarda hem yanma verimini iyileştirmek hem de motor performansını arttırmak için benzin yakıtı içerisine katılırlar. Alkol yakıtların bünyelerindeki oksijen miktarının yüksek olması ve bu yakıtların yüksek gizli buharlaşma ısılarına sahip olmaları nedeniyle hem alev hızı iyileşmekte hemde tam yanma gibi olumlu etkiler gösterirler. Bu özellikler, benzinli motorların yapısını değiştirmeden alkollerin yakıt olarak kullanılabilceğini göstermektedir (Badwal ve diğ, 2015; Balki ve diğ, 2014a; Demirbas, 2007; Eyidoğan ve diğ, 2011).

Otomotiv sektöründe fosil yakıtların kullanılmaması için yapılan çeşitli uluslararası anlaşmalar çerçevesinde otomotiv üreticisi ülkeler, fosil yakıt alternatifi farklı yakıt türleri üzerinde araştırmalarını yoğunlaştırmışlardır. Litaratürde yapılan incelemelerde bu çalışmaların bir kısmı elektrik motorları ile ilgili iken bir kısmıda fosil tabanlı yakıtlara farklı tür katkı maddelerinin ilavesi ile ilgili olduğu tespit edilmiştir. Günümüzde popüler olan elektrikli motorlar daha çok otomotiv sektöründe kullanımını içermektedir. Özellikle küresel iklim değişikliğinin zararlı CO₂ salınımından kaynaklandığı düşünülmekte ve bunun engellenebilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. 1992 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne ek olarak Kyoto Protokolü kabul edilmiş ve 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. 2015 yılında Paris İklim Anlaşması, 2021 yılı Kasım ayı başlarında Glasgow Anlaşması kabul edilerek 2030 ve 2050 yıllarına kadarki sürede fosil yakıt kullanımının sıfıra düşürülmesi hedeflenmiştir. Daha temiz ve daha konforlu bir dünya ve yaşam için yenilenebilir enerji üretimi konusunda duyarlılık ve farkındalık artmış ve bu alanda yaklaşık 195 ülke çaba harcayacağını taahhüt etmiştir. İlk etapta otomotiv ve ulaştırma sektöründe başlayan ve hızla büyüyen elektrikli araç üretimi diğer alanlardaki hava kirleticileri olan fosil yakıt kullanımının terk edilmesiyle devam edecek olan anlaşmaların

hedefinde sanayi öncesi doğal dengenin oluşmasına katkıda bulunulması amaçlanmıştır. Bu anlaşmaların gereğini yerine getirmek ülkelerin ekonomik ve finansal açıdan ciddi maliyetlere katlanması anlamına gelmektedir. Bu bağlamda katlanılacak maliyetlerin, iklim değişikliğinin insanlık için sebep olacağı büyük felaketleri önlemek ve gelecek nesillere daha temiz daha sağlıklı ve daha müreffeh bir dünya bırakmanın güzel sonuçları olacaktır.

1992 yılında Rio De Janeiro’da yapılan Dünya Zirvesi’nde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ne (BMİDÇS) ek olarak Kyoto Protokolü kabul edilmiştir. Aralık 1997’de Japonya’nın Kyoto şehrinde görüşülüp 16 Mart 1998 tarihinde imzaya açılan ve 16 Şubat 2005 tarihinde yürürlüğe giren anlaşma, 2006 yılı Aralık ayı itibariyle 169 ülke ve devlete bağlı örgütler tarafından imzalanmıştır. Protokolde belirtildiği gibi gelişmiş ve gelişmekte olan devletlerin sera gazı salınımını 1990 yılını ölçü alarak %5.2 azaltılması öngörülmektedir. Bu durum, aynı zamanda altı sera gazının (karbon dioksit, metan, nitroz oksit, kükürt heksaflorür, hidroflorokarbon ve per floro kimyasallar) azaltılarak küresel ısınma ve çevre kirliliğini azaltmayı amaç edinmiştir. Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan ülkemizin karbon salınımını azaltabilmesi için öncelikle fosil yakıt bağımlılığını azaltacak önlemlerin alınması, yeni yatırımlara yer vermesi ve özellikle yeşil enerji olarak adlandırılabilen yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir.

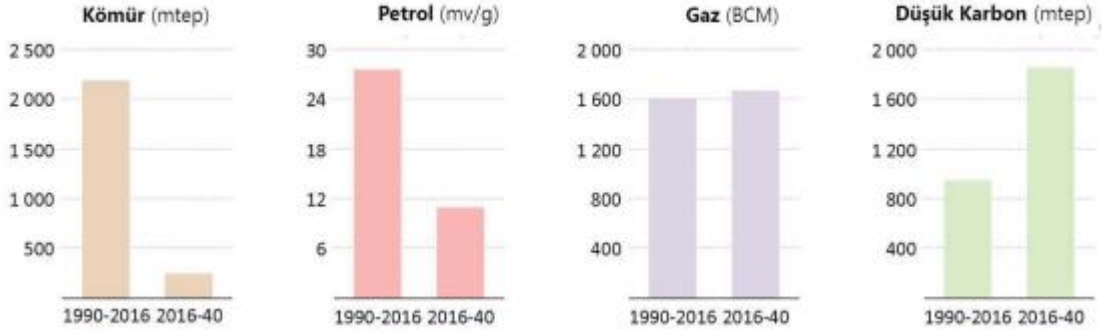
Uluslararası anlaşmalarda da belirtildiği gibi zararlı sera gazı emisyonlarının azaltılması ve bunun için 2053 yılının hedef alınması, fosil yakıtlı araçların üretiminin durdurulması anlamına gelmektedir. Zira zararlı emisyonlara sebebiyet veren en önemli etkenlerden biri taşıtların egzoz gazı salınımını oluşturmaktadır.

Yukarıda belirtilen anlaşmalar çerçevesinde fosil kökenli yakıtların yerine alternatif yakıtların kullanılması günümüzde gittikçe artmaktadır. Ülkemizdeki hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayinin gelişmesi enerji tüketimini hızla artırmaktadır (Mucuk ve Uysal, 2009). Aratan enerji ihtiyacının karşılanması ise yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile giderilmesi kararlaştırılan bir dizi uluslararası anlaşmalar imzalanmakta ve belirli taahhütler altına girilmektedir. Bu durum Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelere finansman kaynağı bulmaya yöneltmektedir. Ülkemizin taraf olduğu Kyoto, Paris ve Glasgow anlaşmalarında hedeflenen 2030 ve 2053 yılı hedeflerinde fosil yakıt tüketiminden vazgeçme taahhütleri bulunmaktadır.

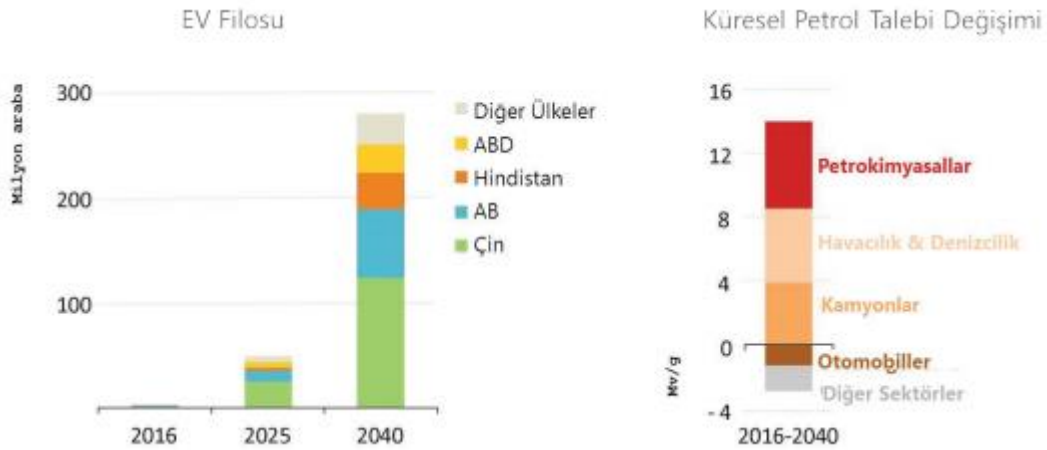
Fosil kökenli yakıtların yerine alternatif yakıtların kullanılması günümüzde gittikçe artmaktadır. Alternatif yakıtların kolay bulunabilirliği, ekonomikliği, çevreci olması, küresel ısınmaya sebep olan zararlı emisyonlara sahip olmaması gibi sebeplerden dolayı günümüzde

alternatif kökenli yakıtların kullanımı ve hatta bu enerji kaynaklarının kullanılması, işletilmesi için devlet teşvikleri artmıştır.

Hava kirliliği, fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan karbondioksit emisyonunun gün geçtikçe artması enerji ihtiyacındaki artış, küresel ısınmaya sebep olan faktörler arasındadır.



Şekil 1.1:Fosil kaynaklı yakıtların kullanımındaki dağılımı (Oyedepo, 2012).



Şekil 1.2:Küresel petrol kullanımındaki dağılım (Oyedepo, 2012).

Paris iklim zirvesine katılan ülkeler sera gazı emisyonu oluşturmayan küresel ısınmadan dolayı tüm dünyayı tehdit eden iklim değişikliği sorununa çözüm olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının sera gazı emisyonu oluşturmamakla iklim değişikliği için alternatif çözüm olabileceği düşünülmektedir.

2050 yılına kadar temiz yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla küresel ısınmaya sebep olan CO₂ emisyonunun %90 oranında azaltılacağı ifade edilmektedir (Pursiheimo ve diğ, 2019).

Küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişikliği, hem uluslararası mecralarda hem de bilimsel olarak kanıtlanmış bir gerçektir. Paris Anlaşması, küresel ısınmanın sebep olduğu

iklim değişikliğine karşı uluslararası toplumun somut olarak ortaya koyduğu ilk işbirliğidir. Türkiye ile birlikte 196 ülke anlaşmayı acil eylem iklim politikası olarak imzalamışlardır. Paris anlaşmasına imza atan ve taahhütte bulunan tüm ülkeler belli alanlarda kamu politikalarının dönüştürülmesini gerektirdiğini ifade etmiş ve bunun gereğinin yapılması doğrultusunda beyanda bulunmuşlardır. Küresel ısınmaya karşı ülkelerin aldıkları önlemler dikkate alındığında, İngiliz hükümeti 2040 yılı itibariyle hava kalitesini düşüren dizel ve benzinli araçların yasaklanacağını ve yeni arabaların sıfır emisyonlu olacağını belirtmişlerdir (IEA, 2019a). İrlanda hükümeti, küresel ısınmaya sebep olan fosil enerji kaynaklarının yasaklanması kararı almıştır (Green, 2018; Hopke ve Hestres, 2017). Fransız hükümeti de 2040 yılından sonra hem elektrikli araçlar hem de hibrit araçların satışının destekleneceğini, fosil yakıt kullanan içten yanmalı araçların yasaklanacağını, çevre üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı eski otomobillere ek vergiler getireceğini açıklamıştır (Li ve diğ, 2019; Adeyanju ve diğ, 2018). Almanya hükümeti ise içten yanmalı dizel motorlu araçların insan sağlığına zararlı nitrik oksit emisyonu oluşturduğu için trafiğe çıkmasına yasak getirmiştir (Möhner, 2018).

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çevre Sözleşmesi kapsamında Kyoto, Paris ve Glasgow anlaşmalarında beyan edilen 2030 ve 2053 hedeflerinin yakalanması için sözleşme kapsamındaki ülkeler sera gazına sebep olan fosil yakıtların kullanımı ve azaltılması için bugünden itibaren hem gerekli yatırımları yapmaya hemde bu yatırımların finansman kaynaklarını bulması gerekmektedir.

Yenilenebilir enerjilerin çoğunda depolama söz konusu olmadığından fosil yakıtlardan farklı aynı zamanda depolanabilir ve çevreye duyarlı, insan sağlığı açısından zararlı olmayan ayrıca ekonomik ve verimli yakıt türlerinin araştırılması, tespit edilmesi ve faydalanılması ülkemiz için olduğu kadar tüm ülkelerin üzerinde çalışılması gereken önemli bir konudur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Teknoloji, insan yaşamında bir takım kolaylıklar sağlarken diğer taraftan çevreye bir takım telafisi mümkün olmayan zararlar vermektedir. Günümüz araçlarında kullanılan fosil kökenli yakıtların yerini alternaif yakıtlar almaktadır. Bunlar; biyoyakıtlar, hidrojen yakıtı, nano katkılı yakıtlar vs. şeklinde sıralanabilmektedir. İçten yanmalı motorlarda kullanılan fosil yakıtların gerek çevreye verdiği zararlar ve sera gazına sebep olması gerekse bu yakıtların yakın gelecekte tükenecek olması ve yakıt ekonomisi gibi birçok parametreler taşıtlar ile ilgili problemleri beraberinde getirmektedir. Bu problemlere çözüm bulmak amacıyla, içten yanmalı taşıt motorlarında fosil kökenli yakıt tüketimi yerine daha temiz ve çevreci yakıtlar olan biyoyakıtlar ve nano boyuttaki yakıt katkı maddeleri fosil yakıtlara ilave edilerek benzinli ve dizel motorlarda alternatif yakıt olarak değerlendirilmesi son zamanlarda artış göstermiştir. Farklı tür maddelerden (bitkisel, hayvansal ve endüstriyel) elde edilen biyoyakıtlar, içten yanmalı motorlarda hem saf halde hem de bu motorlarda kullanılan konvansiyonel yakıtlara belirli oranlarda ilave edilerek daha temiz bir ortam sağlanmasına yardımcı olunmaktadır. Diğer taraftan benzinli ve dizel motorlarda kullanılan yakıtların içerisine yakıt katkı maddesi olarak berilyum (Be), manganez (Mn), bor (B), alüminyum (Al), bakır (Cu), demir (Fe), platin (Pt), seryum (Ce) vb. maddelerin bir çoğu ateşleme anındaki davranışları, yanma özellikleri, motor performansına etkileri ve emisyon etkileri günümüzde araştırılan konular arasındadır.

Bu katkı maddeleri sıvı yakıtı katıldığında, yakıtın kalitesini iyileştirerek yanma verimini artırmaktadır. Dizel motorlarda kullanılan yakıt katkı maddeleri (alternatif yakıtlar); bitkisel, hayvansal ve endüstriyel atık kaynaklı maddelerden elde edilirken; benzinli motorlarda kullanılan yakıt katkı maddeleri, nano katkılı yakıtlar, alkol kökenli yakıtlar ve biyodizel gibi, alternatif yakıtlar ise LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı), hidrojen ve biyoyakıt olarak isimlendirilen farklı tür alkollerden oluşmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmalarda, yakıt katkı maddesi olarak konvansiyonel yakıtlara nano boyutlu manganez (Mn) ve berilyum (Be) elementlerinin ilave edilmesi yakıtların yoğunlukları ve tutuşmasıyla birlikte gravimetrik ve hacimsel özelliklerini geliştirmek için umut verici bir gelişme olarak değerlendirilmektedir (Beach ve diğ, 2007; Abu-Hamed ve

diğ, 2007; Mandilas ve diğ, 2014; Shkolnikov ve diğ, 2011; Steinfeld ve diğ, 1998; Wen, 2010).

Nano boyutlu maddelerin içten yanmalı motor yakıtlarının içerisine ilave edilerek yapılan bilimsel çalışmalarda, nano boyuttaki yakıt katkı maddeleri, yanma esnasındaki yakıtın katalitik rolünü iyileştirdiğinden dolayı verimli bir tam yanma meydana geldiği ve motor performansının iyileştiği ifade edilmektedir (Gürü ve diğ, 2002; Kasper ve diğ, 1999; Lissianski ve diğ, 2001). Konu ile ilgili çalışma yapan araştırmacılar, sıvı yakıttaki nano katkı maddelerinin ikinci enerji taşıyıcıları olarak hareket etmesi ile yakıtın tutuşma ve yanma özelliklerini iyileştirdiği belirtilmektedir. Türkiye’de bol miktarda bulunan bor minareli, içten yanmalı motor yakıtları için değerlendirilebilecek bir katkı maddesidir. Bu maddenin, diğer katkı maddelerine göre yüksek gravimetrik ve hacimsel enerji yoğunluklarına sahip olması ve yerel olması bakımından önemli bir katkı maddesidir (Yakın ve Behçet, 2021; Gan ve Qiao, 2011a; Huang ve diğ, 2009; Huang ve diğ, 2005; Risha ve diğ, 2003; Gan ve Qiao, 2011b).

Günümüz araçlarında kullanılan yakıtların özelliklerini iyileştirmek ve araçlardan kaynaklanan zararlı emisyonları azaltmak amacıyla fosil yakıtlara alkol bazlı ve nano boyutta katı türde farklı türde katkı maddeleri eklenmektedir. Alkoller, yapılarındaki oksijen nedeniyle yanmayı iyileştirerek egzoz emisyonlarını azaltırken, nano boyutlu katı parçacıklar tutuşma gecikmesini azaltarak fren ısı verimi artırırlar. Bununla beraber, yakıt nano katkı maddeleri eklendiğinde, bir yandan benzinin viskozitesi azalırken diğer yandan oktan sayısı artar ve kurum oluşumu azalır (Dehhaghi ve diğ, 2021). Alkol bazlı yakıtlar, zararlı emisyonları azaltmanın yanı sıra motor performansını ve yanma verimliliğini artırmaktadır. Bu yakıtlar, yapısında barındırdıkları yüksek oksijen seviyesi, yüksek alev hızı ve yüksek gizli buharlaşma ısısı gibi özelliklerinden dolayı kıvılcım ateşlemeli motorda yakıt olarak kullanılmaktadır (Kocakulak ve diğ. 2022; Solmaz 2020, Ardebili ve diğ. 2020; Ağbulut 2021).

Benzinli ve dizel motorlarda hem alternatif yakıt olarak hem de yakıt katkı maddesi olarak biyodizel, alkoller türleri (metanol, etanol, bütanol, propanol vb.) biyogaz, doğalgaz, LPG ve hidrojen gibi maddelerin değerlendirildiği bilimsel çalışmaların sayısı her geçen gün artmaktadır. Yapılan bilimsel araştırmalarda, dizel yakıtı yerine bitkisel yağ ve metil esterlerinden elde edilen yakıtların doğrudan motorun yapısında ve yakıt sisteminde herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabileceği, diğer yakıtların ise genellikle ikinci yakıt olarak kullanılabileceği belirtilmiştir (Carraretto ve diğ, 2004). Konvansiyonel yakıtlara alkol bazlı katkı maddeleri ilave edilerek yapılan bilimsel çalışmalarda, Li ve diğ.

(2019), içten yanmalı motorlarda (benzinli ve dizel motor) alternatif bir yakıt olarak aseton-bütanol-etanol fermantasyonunu yakıt olarak kullanmışlardır. Motor testlerinde elde edilen sonuçlara göre benzin ve mazota alternatif olarak aseton-bütanol-etanol fermantasyonu kullanıldığında bir yandan motor verimliliğini artırdığını, diğer yandan kirletici emisyonlarını azalttığını belirtmişlerdir. Li ve diğ. (2016), tarafından yapılan başka bir çalışmada, aseton-bütanol-etanol (ABE) ve izopropanol-bütanol-etanol (IBE) fermantasyonlarını belirli oranlarda benzinle karıştırarak karışık yakıtlar elde ettiler. Benzinli bir motorda alternatif yakıt olarak test edilen yakıtların motor performansı (fren ısı verimi, frene özgü yakıt tüketimi) ve emisyonlar (karbon monoksit, yanmamış hidrokarbonlar ve azot oksitler) üzerinde olumlu etkileri olduğunu belirtmişlerdir. Koç ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmada, tek silindirli, buji ateşlemeli, deney motorunu iki farklı sıkıştırma oranında (10:1 ve 11:1) çalıştırarak, hem motor performansı hem de zararlı egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Deney yakıtı olarak kurşunsuz benzin ve %50-85 oranlarında etanol katkılı benzin-etanol karışım yakıtı kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre, karışım yakıtlarının kullanılması ve sıkıştırma oranının artırılmasıyla, benzinli çalışmaya göre, bir taraftan motor torku, motor gücü ve özgül yakıt tüketiminin arttığı, diğer yandan CO, NO_x ve HC emisyonlarının azaldığını gözlemlemişlerdir.

Orta büyüklükteki benzinli bir motorda farklı oranlardaki metanol-benzin karışımlarının yakıt olarak kullanıldığı çalışmada, karışım yakıtların motor performansı, yanma ve emisyon özellikleri incelenmiştir. Test sonuçlarından, metanol-benzin karışımli yakıtların fren termal verimi benzinden daha yüksek olurken CO, NO_x ve duman emisyonları benzinden daha düşük gerçekleşmiştir (Agarwal ve diğ, 2014).

Benzin, benzin-etanol-hidrojen ve benzin-etanol yakıtlarının buji ateşlemeli bir motorda, test edildiği çalışmada (Akansu ve diğ, 2017), yakıtların yanma, zararlı emisyonlar ve motor performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Hacimsel olarak %20 oranında etanol benzin yakıtına eklenerek elde edilen benzin-etanol karışım yakıtın motorda test edilmesi ile motor performans ve emisyonlarının kötüleştiği ancak karışım yakıtı hidrojenin eklenmesi ile motor performans ve egzoz emisyonlarının iyileştiği belirtilmiştir. Ayrıca etanol-benzin karışım yakıtına ilave edilen hidrojen ile yanmanın iyileştiği ve NO_x emisyonu dışındaki motor emisyonlarının azaldığı ifade edilmiştir.

Saf benzin, metanol-benzin ve hidrojen-metanol-benzin karışımından oluşan yakıtları buji ile ateşlemeli bir motorda test edilmesi ile yapılan deneysel çalışmada, karışım yakıtların motor performansı, yanma ve emisyon üzerindeki etkisi incelenmiştir. Test sonuçlarından

elde edilen veriler göstermiştir ki, saf benzine göre metanol-benzin ve hidrojen metanol-benzin karışım yakıtları fren termal verimini bir miktar artırırken yanmayı da iyileştirdiği görülmüştür (Sarıkoc, 2021).

He ve arkadaşları, iki silindirli bir DI motorda yaptıkları çalışmada, etanol ve hava karışımı silindir içerisine alınarak, dizel yakıtıyla tutuşturulması sağlanmıştır. Yanma sonucunda yanma analizi ve egzoz emisyonları ölçülmüştür. Silindir içerisine alınan etanol miktarının artmasıyla toplam yanma süresinin kısaldığı ve yanmanın geciktiği görülmüştür. Deney sonucunda egzoz emisyonlarının motor yüküne ve etanol yüzdesine bağlı değiştiği belirtilmiştir. Motor düşük yüklerde çalıştırıldığında duman emisyonlarında fazla bir değişim görülmemekle birlikte motor yüksek yüklerde çalıştırıldığında silindire alınan etanol miktarının artmasıyla NO_x emisyonları azaltırken, CO ve HC emisyonları artmıştır (He ve diğ, 2005).

Tek silindirli, dört zamanlı ve hava soğutmalı içten yanmalı bir dizel motorda yapılan çalışmada, sadece motorin ve motorin-hidrojen karışımları yakıt olarak denenmiştir. Hidrojen belirli oranlarda emme manifolduna karıştırıcı aracılığıyla verilerek her iki yakıt tam yük altında yapılan deneylerde karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda dizel yakıtına ilave edilen hidrojen ile çalışmada motorun volümetrik veriminin kötüleştiği ve motorun vuruntulu çalıştığı sonucuna varılmıştır (Batmaz ve Murcak, 2004).

Batmaz (2007), yaptığı diğer çalışmada ise 1 silindirli 4 zamanlı buji ile ateşlemeli bir motorda ek yakıt olarak hidrojen kullanmış, motor performansı ve egzoz emisyonları incelenmiştir. Tam gaz kelebek açıklığında, stokiyometrik oran değiştirilmeden emme manifoldundaki hazırlanmış olan hava yakıt karışımına %4, %8, %12 oranlarında hidrojen eklenmiştir. Motorda ek yakıt olarak kullanılan hidrojen, özgül yakıt tüketimi, hidrokarbon (HC) ve karbon monoksit (CO) emisyonlarını azaltmış fakat motor momenti, çıkış gücü ve volümetrik verimin azalmasına sebep olmuştur.

Balki ve Sayin, (2014b), tarafından yapılan deneysel çalışmada, yakıt olarak metanol ve etanolün kullanıldığı tek silindirli benzinli bir motorda yakıtların performans, egzoz emisyonları ve yanma özellikleri üzerindeki etkisini incelenmiş ve elde edilen sonuçlar benzin ile çalıştırılan motorun test verileri ile kıyaslanmıştır. Tam gaz ve farklı motor devirlerinde yapılan motor testlerinde alkollerin motor yakıt olarak kullanılması ile motor torku, fren özgül yakıt tüketimi (BSFC), termal verimi ve yanma verimini artırdığı belirtilmiştir. Ayrıca, karbondioksit (CO₂) emisyonu artarken, hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO) ve nitrojen oksit (NO_x) emisyonlarının azaldığı ifade edilmiştir.

Chen ve diğ. (2011), içten yanmalı bir motorda deney yakıtı olarak etanol ve benzin karışımını kullanarak yaptıkları deneysel çalışmada, karışım yakıtın içerisindeki etanol

miktarının % 20 den fazla olduğunda HC ve CO emisyonlarında kayda değer bir azalmanın olduğunu tespit etmişlerdir.

Costa ve Sodre (2011), dört zamanlı benzinli bir motorda hem su katkılı etanol hem de %22 etanol katkılı benzin etanol karışım yakıtını test motorunda sıkıştırma oranı, motor performansı, egzoz emisyonları açısından denemişlerdir. Deney motorunda sıkıştırma oranının artmasıyla, hem egzoz gaz sıcaklığı ve motor momenti hem de efektif verim (EFV) ve çıkış gücünün arttığını, volümetrik verimin ise azaldığını tespit etmişlerdir.

Wu ve diğ. (2004), benzinli bir motorda benzin etanol karışım yakıtlarını test motorunda denemişlerdir. Benzin etanol karışım yakıtlarındaki etanol oranları hacimsel olarak %0, %5, %10, %20 ve %30 olarak kullanılmıştır. Motor test sonuçlarına göre, E30 (hacimsel olarak %30 etanol %70 benzin) karışım yakıtının test motorunda denenmesinde motor momenti B100 yakıtına göre yaklaşık %4 oranında arttığını belirtmişlerdir.

Liu ve diğ. (2007), benzinli üç silindirli enjeksiyonlu bir motoru düşük fraksiyonlu metanol yakıtıyla test etmişlerdir. Motorun yapısında herhangi bir değişiklik yapılmadan yapılan testlerde, tam gazda yakıt karışımlarında metanolün artan fraksiyonu ile hem motor momentinin hem de gücünün azaldığı belirtilmiştir.

Altun ve diğ. (2013), benzinli bir motorda yakıt olarak %5 ve %10 oranlarında benzin yakıtına eklenen metanol ve etanol yakıtlarıyla elde edilen karışım yakıtlarını test motorunda denemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda metanol-benzin ve etanol-benzin karışım yakıtlarının benzin yakıtına göre CO ve HC emisyonları azalırken fren özgül yakıt tüketimlerinin arttığını belirtmişlerdir.

Topgül ve diğ. (2006), yaptıkları çalışmada, tek silindirli benzinli bir motorda benzin ve etanolü karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtını deney motorunda test etmişlerdir. Tüm ateşleme zamanlarında özgül yakıt tüketimini arttırdığını ancak benzinin, hacimsel olarak %10, %20, %40, %60 etanol ve benzin karışımlarına göre özgül yakıt tüketimlerinin daha az olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca benzin-etanol karışım yakıtının tüm ateşleme zamanlarında fren torkunu arttırdığını, bununla egzoz gaz sıcaklığını düşürdüğünü belirtmişlerdir. Benzine %40 etanol karıştırıldığında ise en yüksek motor momentinin elde edildiğini, motorun sıkıştırma oranı 9/1'e ayarlandığında ise test motorunda ateşleme zamanının geciktirilmesiyle CO emisyonunun benzin yakıtına göre, %31.8 azaldığı, benzin yakıtına eklenen etanol miktarı arttırıldığında ve motor sıkıştırma oranında 8/1'e ayarlandığında ise CO emisyonunun benzin yakıtına kıyasla, %19.8 azaldığını, ateşleme zamanının geciktirilmesi ile HC emisyonunun azaldığını, sıcaklık düşüşü nedeniyle de HC

emisyonlarının arttığını ayrıca ateşleme zamanlaması geciktiğinde HC emisyonlarının biraz azaldığını belirtmişlerdir.

He ve diğ. (2003), benzinli bir motorda deney yakıtı olarak etanol ve benzin karışım yakıtını kullandılar. Benzin yakıtına kıyasla deney motorunda etanolün kullanılmasıyla CO emisyonu azalmıştır. Motor 2000 d/d hızda ve tam yük altında çalıştırılıp karışım yakıtların (E10, E30) motor test sonuçları E0 yakıtıyla kıyaslandığında, CO emisyonundaki azalma E10 yakıtı için %4.7 ve E30 yakıtı içinde %5.8 olarak gerçekleşmiştir.

Yüksel ve Yüksel (2004), benzinli karbüratörlü bir motorda deney yakıtı olarak etanol benzin karışım yakıtının deney motorunda deney motorunun performansını ve emisyonlarına etkisini test etmişlerdir. Yapılan deney sonucunda yakıt içerisindeki etanol miktarının artması ile HC emisyonlarında azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Alkollerin içten yanmalı motorlarda yakıt katkı maddesi olarak kullanılarak yapılan çalışmalarda, alkollerin yapılarındaki oksijenden dolayı yanmanın iyileştiği, dolayısıyla CO miktarının azaldığı ifade edilmektedir. Ayrıca alkollerin gizli buharlaşma ısılarının yüksek olmasından dolayı yanma olayı silindir içerisinde yüksek sıcaklıklarda gerçekleşerek alkol katkılı karışım yakıtların CO oksidasyonunun sağlanmasına ve dolayısıyla bu yakıtların CO emisyonlarının benzine nazaran daha fazla azalmasına neden olmaktadır (Najafi ve diğ, 2015; Mallikarjun ve Mamilla, 2009).

Al-Hasan (2003), tarafından benzinli bir motorda deney yakıtı olarak, etanol-kurşunsuz benzin karışım yakıtlarının hem motor performansına hem de zararlı egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Etanol-kurşunsuz benzin karışım yakıtı deney motorunda test edilirken egzoz emisyonların azalmasını sağlamıştır. Benzin yakıtına kıyasla, karbonmonoksit emisyonu yaklaşık %46.5 ve hidrokarbon emisyonu ise %24.3 azalmıştır. karbondioksit emisyonunda; yaklaşık %7.5 artmıştır.

Hsieh ve diğ. (2002), buji ateşlemeli bir motorda farklı etanol-benzin karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Karışım içerisindeki etanol miktarının artmasıyla yakıtın Oktan Sayısının arttığı görülmüştür. Sonuç olarak, karışımdaki etanol miktarının artmasıyla, motor torku, özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ve CO₂ emisyonunda artma, HC ve CO emisyonlarında ise azalma olduğu ifade edilmiştir.

De Caro ve diğ. (2001), etanol-dizel karışımını A₁ olarak nitelendirdikleri 1-octylamino-3-octyloxy-2-propanol ve A₂ olarak nitelendirdikleri N-(2-nitrato-3-octyloxy propyl) yakıt katkı maddelerinin eklenmesiyle oluşan karışım yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin,

motor performansına ve egzoz emisyonuna etkisini test etmişlerdir. Dizel yakıtına katkı maddesi olarak etanol eklendiğinde motor gücünde yaklaşık olarak %11 azalma olduğunu ayrıca dizel yakıtına etanol eklenmesi ile meydana gelen tutuşma gecikmesinin bir miktar azaldığını belirtmişlerdir.

Al-Baghdadi ve diğ. (2000), benzinli, 4 zamanlı ve 1 silindirli bir motorda farklı sıkıştırma oranlarında (7/1, 8/1, 9/1) yaptıkları çalışmada, deney yakıtı olarak benzin etanol ve hidrojen karışım yakıtını deney motorunda emisyonları ve performansı belirlemek için test etmişlerdir. Karışım içerisindeki hidrojen oranının artması ile NO_x emisyonunun arttığı ancak karışım içerisindeki etanol oranı artırıldığında ise NO_x emisyonunun azaldığını tespit etmişlerdir.

Eyidoğanın yaptığı çalışmada benzinli bir motorda deney yakıtı olarak E5, E10 ve M5 yakıtları test edilmiştir. Metanol ve etanol benzin yakıtıyla kıyaslandığında daha yüksek gizli buharlaşma ısıları olduğundan E5, E10 ve M5 karışım yakıtlarının benzine göre NO_x emisyonu azalmıştır (Eyidoğan, 2009).

Homan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (1978), katkı maddesi olarak hidrojenin benzine ilave edilmesi ile hidrojenin alev hızını arttırdığını tespit edilmiştir. Bununla beraber artan alev hızı ile ideale yakın bir yanma oluştuğu için ısı veriminin arttığı belirtilmiştir.

Bilimsel çalışma amacıyla benzinli motorlarda deney yapan araştırmacılara göre, alkollerin buharlaşma gizli ısılarının yüksek olmasından dolayı karışım sıcaklığının düşmesi nedeniyle yakıtların yanması için az miktarda havaya ihtiyaç duyulmakta ve silindir duvarlarından ısı kaybının azalması nedeniyle de benzin yakıtına göre, NO_x emisyonunda azalma gerçekleşmektedir. Alkollerin hem ısı değerlerinin hem de adyabatik alev sıcaklıklarının benzine göre düşük olması NO_x emisyonunda düşmesine sebep olmaktadır (Hasan ve diğ, 2018; Celik ve diğ, 2011; Doğan ve diğ, 2017; Akansu ve diğ, 2017).

Schifter ve diğ. (2011), yakıt enjeksiyonlu bir deney motorunda % 0 ile % 20 arasında değişen oranlarda etanolü benzine ilave ederek oluşturdukları benzin-etanol karışım yakıtları ile motor testleri yapmışlardır. Elde edilen motor test sonuçlarına göre, yanma hızına en büyük olumlu etkinin % 10'luk karışım yakıt ile sağlandığını ve karışım yakıt içerisindeki etanol miktarının artırılmasıyla yanma hızındaki artışın azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca karışım yakıttaki etanol oranının artması ile birlikte HC ve CO emisyonları azalmış ancak NO_x emisyonları artmıştır.

Rao ve diğ. (2020), tarafından yapılan deneysel çalışmada farklı oranlarda (hacimsel olarak % 10, % 20, % 30 ve % 40) etanolün benzine ilave edilmesi ile oluşturulan etanol katkılı yakıtların motor performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, benzine ilave edilen etanol ile motor performansında iyileşme olduğunu göstermiştir. Düşük motor devirleri için % 40 etanol katkılı karışım yakıtın motor performansında daha iyi bir etki oluşturduğu, % 10 katkılı etanolün motor performansı üzerinde fazla bir etkisinin olmadığı ve saf benzin ile çalıştırılan motor ile aynı performansı sağladığı belirtilmiştir.

Fosil yakıtlara göre daha çevreci bir yakıt olarak kabul edilen etanol, dört silindirli, dört zamanlı ve kıvılcım ateşlemeli motorda tam yük altında benzin ile karıştırılarak elde edilen karışım yakıtların (E10, E20 ve E30) test edildiği çalışmada, motor performansı ve egzoz emisyonları incelenmiştir. Etanol-benzin karışımlarının yakıt olarak kullanıldığı motor test sonuçlarına göre, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂), nitrojen oksit (NO_x) gibi egzoz emisyonlarında azalma ancak silindir içindeki sıcaklığın düşmesinden dolayı da hidrokarbon (HC) emisyonunda artma meydana geldiği ifade edilmiştir (Doğan ve diğ, 2017).

Gazikhani ve diğ. (2014), %5, %10 ve %15 olmak üzere üç farklı oranda etanolü benzin ile karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtları 2500 ile 4500 arasında değişen farklı devir sayılarında çalıştırılan iki zamanlı bir motor ile yaptıkları deneysel çalışmada, yakıtların ekserji, tersinmezlik ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişler. Test sonuçlarından elde edilen verilere göre, alkol katkılı karışım yakıtların iç tersinmezliği artırdığı ancak HC, CO₂, CO ve NO_x emisyonlarında önemli ölçüde azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir.

Benzin, etanol-benzin karışım yakıtı ve metanol-benzin karışım yakıtlarının deney aracında kullanıldığı, karışım yakıtların araç performansı ve zararlı emisyonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şasi dinamometresindeki test sonuçlarına göre, benzin ile çalışan araçla kıyaslandığında alkol-benzin karışım yakıtları ile çalışan aracın hem tekerlek gücü hem de özgül yakıt tüketiminde artış meydana geldiği gözlenmiştir (Ozsezen ve diğ, 2017).

Ozsezen ve Çanakçı (2011), İçten yanmalı benzinli bir motorda deney yakıtı olarak benzin, etanol-benzin ve metanol-benzin karışım yakıtları, benzinli bir motorda, performans ve zararlı emisyonlar üzerindeki etkilerini şasi dinamometresi üzerinde incelemiştir. Test sonuçlarına göre, alkol-benzin karışım yakıtının test motorunda denenmesiyle benzin yakıtına göre, hem tekerlek gücünde hem de özgül yakıt tüketimin (ÖYT)'de hafif bir artış meydana geldiği belirtilmiştir.

Sharudin ve arkadaşlarının benzinli motorda yaptıkları çalışmada (2017), deney yakıtı olarak M5 (%5 metanol %95 benzin) karışım yakıtına %5, %10 ve %15 oranlarında iso-bütanol

ilave etmişlerdir. Elde edilen karışım yakıtlarının deney motorunda denenmesiyle M5 yakıtına katkı yakıtı eklendikçe CO ve HC emisyonları %7.34 ve %2 oranında iyileştiği NO_x ve CO₂ emisyonları ise %8.30 ve %12.91 oranında yükseldiği tespit edilmiştir.

Vancoillie ve arkadaşları (2013), iki esnek yakıtlı motor üzerinde yaptıkları çalışmada metanol yakıtının kullanılmasıyla izokorik yanmanın daha fazla gerçekleştiği belirtilmiştir. Soğutma ve çözülme kayıplarından dolayı da benzin yakıtına göre metanol-benzin karışım yakıtta yaklaşık % 10'luk verim artışı meydana geldiği tespit edilmiştir. Düşük yanma sıcaklıklarında ise karışım yakıt benzin yakıtıyla kıyaslandığında NO_x seviyelerini 5-10 azaltmıştır.

El-Emam ve Desoky (1985), benzinli bir motorda deney yakıtı olarak benzin, metanol, etanol, hidrojen ve amonyak kullanılmış, elde edilen karışım yakıtların motorun performans ve egzoz emisyonlarına etkisini bulmak için test etmişlerdir. Motorlarda deney yakıtı olarak alkol yakıtı kullanılmasının nedeni alkollerin yüksek oktan sayısına sahip olması ve motorlarda küçük değişiklikler yapılarak kullanılabileceği kanısına varmışlardır. Deney yakıtı olarak hidrojen seçilmesinin sebebi ise hidrojenin yapısında hem karbon bulundurmaması hem de tutuşma aralığının yüksek olmasına bağlamışlardır. Deney yakıtı olarak amonyağın seçilmesinin nedeni amonyağın yapısında karbon bulunmaması, bundan dolayı da CO ve HC emisyonlarının azaltılmasına bağlamışlardır.

Benzinli karbüratörlü bir motorda deney yakıtı olarak etanol-benzin karışım yakıtı kullanılarak yapılan deneysel çalışmada, yakıtın motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Yapılan deney sonucunda metanol benzin karışımının deney yakıtı olarak kullanılmasıyla HC emisyonunun arttığı gözlenmiştir. HC emisyonundaki artışın karışım yakıtın manifold da buharlaşmak için yeterli ısıyı bulamadığından dolayı silindir içerisine sıvı fazda girebilmesinden dolayı olabileceği düşünülmektedir (Korematsu ve Yuo, 1989).

İçten yanmalı motorlarda kullanılabilecek alternatif yakıtların başında, çevreye duyarlı sera gazına sebep olmayan ve yenilenebilir enerji kaynaklarından olan hidrojen gelmektedir.

Hidrojen, içten yanmalı motorlarda yakıldığı zaman yanma sonucu, karbonmonoksit, hidrokarbon, kükürtoksit, duman, kurşun ve zehirleyici gazlar meydana gelmediği için gelecekteki en önemli yakıtlardan biridir. Hidrojenin atmosfere verdiği zararlı emisyon azot oksittir. Hidrojen yakıtı benzinli motorda kullanmak için karbüratöre veya emme manifolduna püskürtülerek yalnız kullanılabilmektedir. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olduğundan hidrojen yakıtı yanmayı başlatamadığı

için tek başına yakıt olarak kullanılmaz fakat dizel yakıtıyla emme manifolduna veya silindir içerisine püskürtölerek ikinci yakıt olarak kullanılmaktadır (Das, L., 2002a; Das, L.,2002b). Hidrojenin alternatif yakıt olarak kullanılmasında yarar sağlayacak en önemli özelliklerinden birisi, hava-yakıt karışım oranları için tutuşma sınırının çok geniş aralıkta olmasıdır. Hava fazlalık katsayısı, benzin için 0,3-1,7 (λ) hidrojen için ise 0,15-4,35 (λ) değerleri arasında kalmaktadır. Diėer yakıtlara kıyasla hidrojen-hava karışımını ateşlemek için gerekli olan enerji miktarı çok dūřuktur.

Bu durum tutuşma garantisi sağlaması açısından otto prensibine göre çalışan motorlarda avantaj sağlamakla birlikte, erken tutuşma ve geri tutuşma gibi sorunlarda oluşurmaktadır. Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığı ve oktan sayısının ylık olması otto motorlarında kullanılan yakıtlar için bir avantaj oluşurmaktadır. Bu durum hidrojenin dizel motorlarından çok, otto prensibine göre çalışan motorlar için daha uygun bir yakıt olacağını göstermektedir. Ancak hidrojenin mazotla birlikte ek yakıt olarak veya dizel motorunda tek başına hidrojen kullanımının gerçekleştiği örneklerde bulunmaktadır. Kokusuz, renksiz, tatsız ve saydam bir yapıya sahip olan hidrojen doğadaki en hafif kimyasal elementtir. Gaz halindeki hidrojen, aynı hacimdeki havadan yaklaşık 15 kez daha hafiftir. İçten yanmalı motorlarda kullanılmakta olan diğer alternatif yakıtlarla karşılaştırıldığında sıvı hidrojenin sıvı hidrokarbonlara oranla yaklaşık 10 kat daha hafiftir. Gaz halindeki hidrojenin ise metan gazından 10 kere daha hafif olduğu görölmektedir (Arşan ve Soruşbay, 1988).

Hidrojen yakıtlı motorların, benzinli motorlara göre birçok üstünlüğü bulunmaktadır. Bunlardan biri, hidrojenli motorların ylık verimi, diğeri, belki de en önemlisi atık ürün olarak sadece su buharı olmasıdır. Silindirleri yağlamak için kullanılan petrol ürünlerinden kaynaklanan çok az miktarda karbonmonoksit ve hidrokarbonlarla ylık sıcaklıktan kaynaklanan azot oksitlerde atık ürünlerin arasında yer alabileceği göz önüne alınmalıdır. Ancak bu zararlı gazlar, petrol ürünü kullanılan taşıtlara göre göz ardı edebilecek kadar dūřük düzeyde olduğu için hidrojenli motorları tümüyle evre dostu olarak varsaymaktadır. Yanma sıcaklığını atık su buharının bir kısmını yeniden silindire vermek suretiyle dūřürmek ve böylece azot oksitlerin miktarını daha da azaltma olanağı vardır. Taşıtlarda tümüyle farklı bir yaklaşımla içten yanmalı motorlar yerine, yakıtlı piller ile elektrik üretmek ve elektrik motorları ile taşıta güç sağlamakta mümkündür. Bu tür taşıtlarda havaya atılan zararlı ürün hiç olmayacağı için bunlara salınımlı taşıtlarda denilmektedir. İşter içten yanmalı motorlar isterse yakıt pilli taşıtlar olsun, taşıtlarda temel sorun, hidrojenin güvenli olarak depolanmasıdır (Veziroėlu, 2007).

Hidrojen yakıtlı otomobiller, aslında hibrit mantığı ile çalışmaktadır. Dolayısıyla mevcut benzinli motorlarda olduğu gibi benzin yerine hidrojen kullanılabilir. Hidrojeni elektriğe dönüştüren yakıt hücreleri sayesinde otomobil yol katetmektedir ve bu otomobiller oldukça çevre dostu otomobillerdir. Hidrojenin kendiliğinden tutuşma sıcaklığının yüksek oluşu (1 Atm basınçta 847K°-867K°) ve oktan sayısının yüksekliği hidrojenin dizel motorlarından çok, karbüratörlü otto motorlarda daha uygun bir yakıt olacağını göstermektedir (Kantürk ve Pişkin, 2007).

Hidrojen yakıtlı motorlarda egzoz gazları içerisinde hava kirliliğini etkileyecek tek ürün olarak bulunan NO_x'lerin miktarı, yanma odası sıcaklıklarının, oksijen konsantrasyonunun azaltılması veya yanma süresinin kısaltılması sonucu düşürülebilmektedir. Inert egzoz gazlarının resirkülasyonu sonucu, özellikle fakir karışımlarda oksijen konsantrasyonu düşürüldüğü için etkin bir şekilde NO_x azalmaktadır. Ancak bu durumda motorun gücü de bir miktar azalmış olacaktır. Motorun emme manifolduna su püskürtülmesi sonucunda karışım sıcaklığı düşmekte, yanma hızı azalmakta ve sonuç olarak NO_x emisyonu da azalmaktadır. Ateşleme zamanının geciktirilmesi motorun termik verimini bir miktar azaltmasına rağmen, maksimum sıcaklıkları düşürmekte ve dolayısı ile de NO_x emisyonunu azaltmaktadır. Hidrojenin direkt olarak yanma odasına püskürtülmesi de NO_x emisyonunu azaltıcı yönde etki etmektedir. Bu durumda püskürtme zamanının etkileri de önem kazanmaktadır (Baker ve diğ., 1981).

Etanol ve metanol, mısır gibi nişasta bitkilerinin fermente edilmesi ve damıtılmasıyla elde edilen alkol bazlı yakıtlardır. Hem etanol hem de metanol benzinden daha az emisyon üretir. Brezilya'da etanol, araçlar için temiz, ekonomik ve kullanılabilir bir yakıt olarak bilinir. Ancak alkollü yakıtlarla çalışan motorlar, benzine kıyasla fren torkunda ve gücünde bir düşüş yaşayacaktır (Cavalcante ve diğ., 2007).

Danaiah ve diğ. (2013), yaptıkları çalışmalarda, metanol benzin karışım yakıtlarının (M5, M10 ve M15) buji ateşlemeli, 4 zamanlı ve su soğutmalı bir motor üzerinde motor performansı ve emisyonları incelemiştir. Deney sonucunda benzin yakıtına kıyasla, benzin metanol karışım yakıtının denenmesinde emisyonlarda önemli bir düşüş tespit etmişlerdir. M10'dan M15'e kadar olan karışım yakıtların, emisyonların azaltılması ve motor performansı için uygun karışım yakıtları olduğu bulunmuştur. M10 karışım yakıtı ise diğer karışım yakıtlara göre daha yüksek fren ısı verimliliği gözlenmiştir.

Ghadikolaei ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, benzinli motorda yakıt olarak kullanılan benzine, etanol ilave edilerek, karışım yakıtla çalışan motor ile benzinle çalışan motorun test sonuçları karşılaştırarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda, etanolün

benzine göre daha düşük yanma ısisına sahip olması, etanolün benzin ile homojen olarak karışabilme özelliği ve etanolün yüksek oktan sayısından dolayı etanol katkılı yakıtın egzoz emisyonunu azaltıcı yönde etki gösterdiği belirtilmiştir (Ghadikolaei 2016).

HCCI motorlarda Zhang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2011), emme havası giriş sıcaklığı ve hava/yakıt oranı değişiminin performans ve yanma etkileri incelenmiştir. Deneysel sonuçlarda, emme havası giriş sıcaklığının artması ile silindir içindeki tepe noktada basıncın arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte motorun benzin ile çalıştırılması ve emme havası giriş sıcaklığının arttırılması ile CO ve HC azalırken NO_x emisyonunun ise bir miktar arttığı sonucuna varılmıştır.

Etanolün oktan sayısı yüksek olduğundan dolayı bunun içten yanmalı benzinli motorda yakıt olarak kullanılması uygun olmaktadır. Etanolün benzin ile karıştırılması ile oluşturulan E85 yakıtı hacimsel olarak %85 etanol %15 benzinden oluşan karışım yakıttır. Bu yakıtın kullanıldığı taşıtlar esnek yakıtlı araçlar olarak isimlendirilmekte ve E85 yakıtı ile çalışan taşıtlar sınırlı sayıdadır. %100 etanol yakıtı veya E85 sınırına kadar her oranda etanol benzin karışımli yakıt olarak kullanan esnek yakıtlı araçlar E85 yakıtı özel dağıtım ekipmanlarına ihtiyaç olduğundan yaygınlaşmamaktadır (Taşyürek ve Acaroğlu, 2008; McLaren, 2008; Prakash ve Emissions, 1998). Soğuk havalarda etanolün buharlaşması yavaş olduğundan dolayı içten yanmalı motorlarda yakıt olarak sadece etanol kullanılması uygun değildir (Van Thuijl ve diğ, 2003).

İçten yanmalı motorların performansını iyileştirmek ve taşıt kaynaklı zararlı emisyonları düşürmek amacıyla son zamanlarda kullanılan nano ölçekli bazı yakıt katkı maddeleri CuO, MgO, ZnO, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, NiO dir. Bu katkı maddeleri hem benzin hemde dizel yakıtı tek başına ilave edilmekle birlikte bazende iki veya daha fazla katkı maddesi bir arada kullanılabilir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda, Mehta ve diğ. (2014), nano boyutlu alüminyum (Al), demir (Fe) ve bor (B) malzemelerin dizel motorda yakıt olarak dizel yakıtı karıştırılmasıyla elde edilen nano dizel yakıtların test motorunda denenmesinde, nano parçacık yakıtların buharlaşma ve erken tutuşma özelliklerinin dizel yakıtı bor, alüminyum, demir ve nano parçacıkların eklenmesiyle arttığını göstermiştir. Ayrıca nano parçacık yakıtların CO ve HC emisyonlarında saf dizele göre azalma olduğu ifade edilmiştir. Gumus ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmada (2016), nanodizel yakıtlar elde etmek amacıyla nano boyutlu bakır oksit (CuO) ve alüminyum oksit (Al₂O₃) partiküllerini dizel yakıtla karıştırmışlar. Oluşturulan nanodizel yakıtlar bir dizel motorda test edilmiş ve yakıtların motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Test

sonuçlarına göre, saf dizel yakıtta Al_2O_3 ve CuO ilavesiyle motor torku ve gücünde hafif bir artış olurken, CO , HC ve NO_x emisyonlarında önemli düşüşler gözlenmiştir.

Nguyen ve diğ. (2021), nano boyutlu Al_2O_3 ve bütanolün katkı maddesi olarak saf benzine eklenmesiyle elde ettikleri karışım yakıt ile benzinli bir motorda yaptıkları deneysel çalışmada, yakıt katkılarının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisini araştırılmıştır. Test sonuçlarından elde edilen veriler değerlendirildiğinde benzine eklenen katkı maddelerinin sadece motor performansını %10 arttırmakla kalmayıp aynı zamanda CO , HC ve NO_x emisyonlarını da önemli ölçüde azalttığı ifade edilmiştir.

Ağbulut ve arkadaşları (2022), bir dizel motorda standart dizel yakıtta belirli oranlarda nano boyutlu grafen oksit ve atık yağ kaynaklı biyodizel eklenerek elde ettikleri katkı yakıtları bir dizel motorda test ederek yakıtların yanma, motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini araştırmışlar. Çalışmanın test sonuçlarından elde edilen değerlere göre katkı maddeli yakıtların motor performansını arttırdığı ve egzoz emisyonlarını azalttığı ifade edilmiştir. Ayrıca dizel yakıtta nano boyutlu grafen oksit ilavesiyle fren ısı verimliliğinin %7.9 arttığı ve frene özgü yakıt tüketiminin %9.72 azaldığı ifade edilmiştir.

Abiyazani ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada(2022), oksijenli katkı maddesi olarak n-propanol ve nanoparçacık maddesi olarak da Al_2O_3 ve MgO 'in eklenmesiyle oluşan yakıtların motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre n-propanol içindeki oksijen içeriği nedeniyle yanmanın düzeldiği ve CO emisyonlarının azaldığı ifade edilmiştir. Bununla beraber, nano boyutlu katkı maddelerinin eklenmesiyle yanmamış hidrokarbon emisyonlarında da önemli düşüşler gözlenmiştir.

Hellier ve arkadaşları yaptıkları çalışmada (2014), % 0,1 ve % 2 oranlarında sodyum bor hidrür-biseter çözeltisi ve saf biseteri dizel yakıt ile karıştırarak karışım elde etmişler. Elde ettikleri karışım yakıtları bir dizel motorda test ederek karışım yakıtların motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. % 0,1'lik sodyum borhidrür-biseter çözeltisi ile saf biseter, standart dizel yakıtı göre daha kısa bir ateşleme gecikme süresi sergilerken, % 2'lik sodyum borhidrit çözeltisinin test edilmesi ile yakıt enjektörünün arızalandığı görülmüştür. Aynı zamanda çözünmüş sodyum borhidrürün eklenmesi ile yanma süresinde eşzamanlı bir artış olduğu da tespit edilmiş ve sodyum borhidrürün enjektör verimliliği üzerinde zararlı bir etkisi olduğu ifade edilmiştir. Bununla beraber dizel yakıtı ilave edilen sodyum borhidrürün yanmamış hidrokarbon emisyonlarına bir etkisinin olmadığı ancak partikül madde miktarını ve duman yoğunluğunu artırdığı da belirtilmiştir.

Bu çalışmada, benzinli motorlarda kullanılan fosil yakıtı alternatif olabilecek, motor performansını arttıracak ve zararlı egzoz emisyonlarını dūřurecek karışım yakıtların elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda benzinli bir motorda denenmek amacıyla sodyum bor hidrūr, metanol, etanol ve benzinden oluşan dōrt farklı hammadde kullanılarak etanol-benzin, metanol-benzin, NaBH₄ katkılı etanol-benzin ve NaBH₄ katkılı metanol-benzin karışım yakıtları oluşturulmuş ve bu yakıtlat tek silindirli benzinli bir motorda test edilerek yakıtların motor performans ve egzoz emisyonları őrzerindeki etkisi araştırılmıştır.



3. BENZİN, ETANOL, METANOL VE SODYUM BORHİDRÜRÜN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

3.1 Benzin

Renksiz ve berrak bir sıvı olan benzin, ham petrol içerisinde %5 ile 30 arasında değişen oranlarda bulunan, moleküllerinde 4 ile 12 karbon içeren ve ham petrolün damıtılmasıyla elde edilen uçucu hidrokarbonlar karışımı bir maddedir. Ayrıca benzin sentetik olarak linyit veya taşkömürü gazlarının 150 atm basınç ve 450°C sıcaklıkta katalizörler etkisiyle de elde edilebilmektedir. Bununla beraber suyun içerisinde çözünmeyen ve sudan daha hafif olan benzin, hava ile birleştiğinde patlayıcı karışımlar oluşturan, kauçuğu, yağları ve bazı organik maddeleri çözebilme özelliğine sahiptir. Kaynama noktasına göre sınıflandırılabilen benzin çeşitleri, kara ve hava yolu taşıtlarında yakıt olarak kullanılmasına ek olarak leke temizleyici ve sanayide çözücü olarakda kullanılabilmektedir.

Benzin, kimyasal yapısında 120 den fazla hidrokarbon bulunan fosil yakıtlar grubundadır. Benzinin yapısında bulunan hidrokarbonlar (alkanlar), izoparafinler, aromatlar, naftenler, olafinler (alkenler), diolefinler ve alkinler şeklinde sınıflandırılmaktadır (Beşergil, 2009).

Günümüzde benzinin en yaygın kullanım alanı içten yanmalı motorlarda yakıt olarak değerlendirilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Taşıt motorlarında kullanılan benzin kaynama noktası 32.2°C ile 210°C arasındadır. Benzinin taşıt motorlarında kullanılması için aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekmektedir (Beşergil, 2007):

- Düşük hızlarda ve yüklerde yanmalıdır.
- Depoda oksitlenmeye sebep olmamalıdır.
- Buji tıkanmasına sebep olmamalıdır.
- Sıcak havalarda buhar tıkaçına sebep olmamalıdır.
- Soğuk havalarda motorun kolay çalışmasını sağlamak için hızlı bir şekilde buharlaşmalıdır.
- Motorda kurum teşkiline yol açmamalıdır.

Benzinin kalitesini belirten en önemli etkenlerden biri olan oktan sayısı, benzinin kendi kendine yanmaya karşı göstermiş olduğu direnç olarak ifade edilir. Oktan sayısının düşük olması motorlarda erken tutuşmaya ve vuruntuya sebep olduğundan dolayı benzinlerin oktan sayılarını arttırmak için alkoller katkı maddesi olarak kullanılır. Genelde yakıtın vuruntuya karşı direncini arttırmak, karbonmonoksit, hidrokarbon, ve partikül madde emisyonlarını azaltmak için benzin yakıtına oktan sayısı yüksek katkı maddeleri eklenmektedir. Ayrıca yanma sırasında meydana gelen emisyonları ve yakıtın uçuculuğu azaltmak için yakıtın içerisinde bulunan olefin ve aromatik miktarları sınırlandırılmaktadır (Nadim ve diğ, 2001; Dabbagh ve diğ, 2013).

Yakıtların gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması volümetrik verimin artmasına sebep olmaktadır. Buharlaşan alkol yakıtı motor sıkıştırma zamanında benzine göre daha fazla ısı çekerek silindir içerisinde fazla ısının çekilmesine dolayısıyla basınç ve sıcaklığın azalmasına sebep olmaktadır (Agarwal ve diğ, 2014).

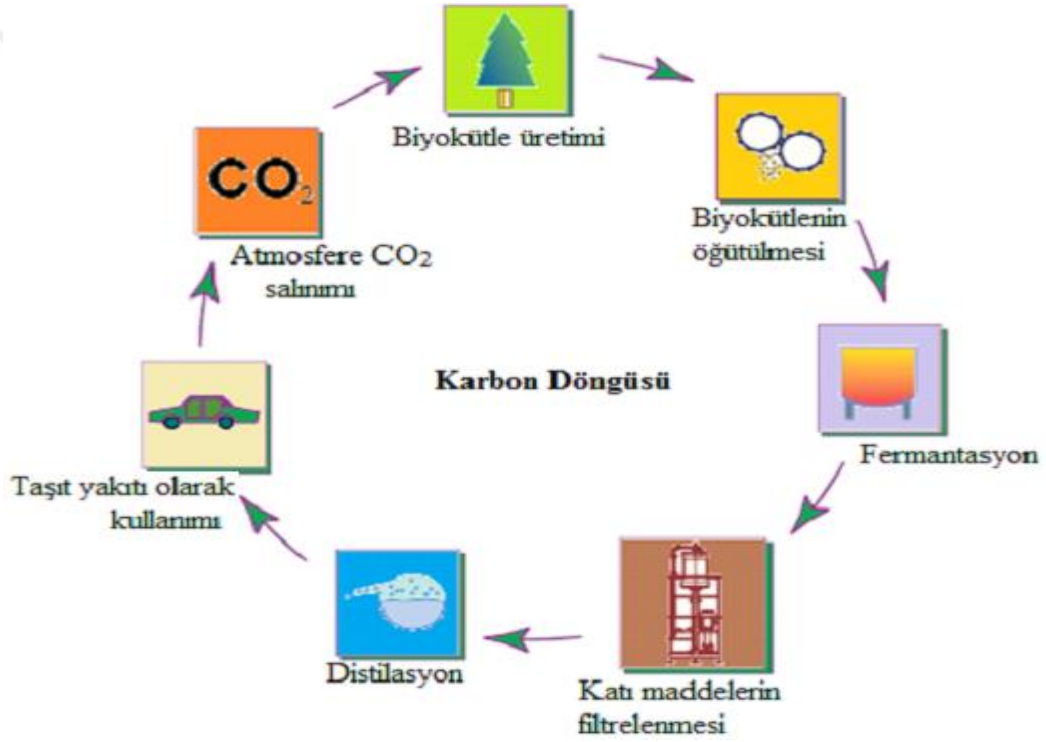
3.2 Etanol

Etanol araştırma oktan sayısı değeri 123 ve motor oktan sayısı değeri 96 olan, oktan sayısını arttırıcı, benzin içerisine hacimsel olarak 10'un altında katılan veya hacimsel olarak %85 oranında alternatif yakıt olarak da kullanılmaktadır. Tarımsal ürünlerin, (şeker kamışı, şeker pancarı, mısır nişastası gibi kolayca şekere dönüştürülebilen ürünler) fermantasyonundan türetilen renksiz organik bir sıvıdır. (Ayhan, 2006). İçten yanmalı buji ile ateşlemeli motorlarda yakıt olarak etanolün kullanılması sonucu karbondioksit açığa çıkmaktadır. Karbondioksit emisyonu sera gazına sebep olan emisyonlardandır. Bitkiler büyürken karbondioksiti fotosentez yoluyla kullandığı için sera gazı artışına neden olmamaktadır (Wang ve diğ, 1999). Etanolün üretimi ve yakıt olarak kullanımındaki karbon döngüsü Şekil 3.1'de verilmiştir

Oksijenli hidrokarbonlar olarak isimlendirilen ve benzin yakıtıyla kıyaslandığında oktan sayısı daha fazla olan alkoller, motorlarda daha yüksek sıkıştırmaya olanak sağlarlar ayrıca benzinli motorlarda yakıt olarak kullanılıp motor performansına olumlu yönde katkı sağlamaktadırlar. Alternatif yakıt olarak benzinli motorlarda kullanılan başlıca alkoller, etanol ve metanoldür. Kimyasal formülü C_2H_5OH olan etanolün benzine göre ısı değeri ve teorik (stokiyometrik) hava/yakıt oranının düşük olması nedeniyle belirli hacimdeki hava ile yakılabilen yakıt oranı daha fazla olabilmektedir. Etanolün ısı değerinin düşük olması ise

benzinle aynı ısı değeri elde etmek için kütsel olarak daha fazla etanol tüketilmesini gerektirir (Thring, 1983; Norton, 1990; Wagner ve diğ, 1979).

Kimyasal formülü C_2H_5OH olan etanol benzin yakıtıyla kıyaslandığında hem ısı değeri hem de teorik hava/yakıt oranı düşüktür. Alkol kökenli bir yakıt olan etanol, tarımsal yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebilir. Bunlar: şeker kamışı, şeker pancarı, odun ve mısırdır. Etanol hem fermentasyon hem de damıtma yöntemiyle biyokütle kaynaklarından elde edilir ve benzinli motorlar için en uygun alternatif yakıt olarak görülmektedir. Etanolün oktan sayısı benzine göre daha yüksektir. Etanol içten yanmalı motorların sıkıştırma oranını arttırdığından termal verimi de artırmaktadır (Silva ve diğ, 2014; Kumabe ve diğ, 2008; Masum ve diğ, 2013; Balki ve diğ, 2014a; Arabacı ve Kılıç, 2019).



Şekil 3.1: Etanol üretimi ve taşıt yakıtı olarak kullanımındaki karbon döngüsü(Eyidoğan, 2009).

3.3 Biyoetanol

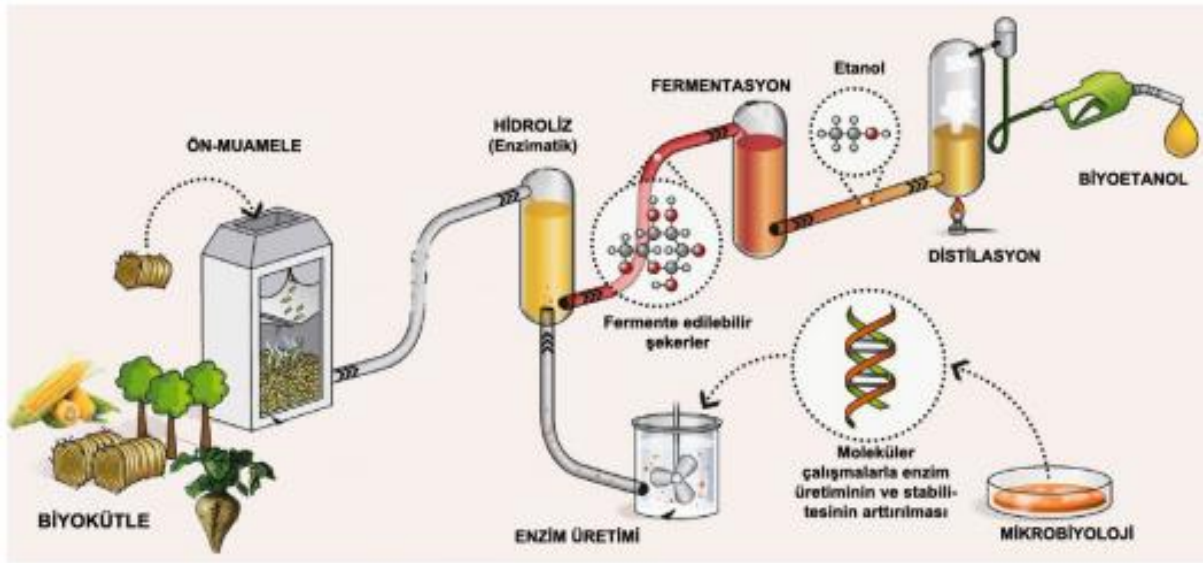
Bitkilerden elde edilen biyoetanol içten yanmalı motorlarda saf halde veya benzin yakıtına belli oranlarda katılarak kullanılır. Benzin yakıtına göre daha çevreci bir yakıttır. Etanol mısır, şeker kamışı, arpa, kenevir, (tatlı) patetes, ayçiçeği, saman, kağıt, tahta, pamuk, hububat, buğday ve diğer biyokütller ile çeşitli selüloz atıklar gibi pek çok farklı besin kaynağından elde edilebilir.

Hızlı kentselleşme, sürekli artan nüfus, teknolojiye gelişmeler ormanların yok olmasına yeşil alanların kaybolmasına sebep olmaktadır. Fosil yakıtların hava, kara ve deniz taşıtlarında aşırı kullanılmasından dolayı bu yakıtların sebep olduğu CO, CO₂, HC, NO_x, PM ve VOC gibi zararlı emisyonların doğaya ve canlılara zarar vermektedir. Ayrıca iklim değişikliklerine ve çevre kirliliklerine sebep olarak hem canlıların hem de çevrenin yok olmasına neden olmaktadır. Bu zararlı maddelerin çevreye ve atmosfere salınması; hem su ve hava kirliliği gibi bölgesel zararlara hemde küresel ısınma ve bunun sonucu olan iklimsel değişikliklere de yol açmaktadır.

Taşıt kaynaklı zararlı egzoz emisyonlarından sera gazına sebep olan emisyonların başında karbondioksit emisyonu gelmektedir. CO₂ emisyonu atmosferdeki sera gazlarının %77'sini oluşturmaktadır. Fosil yakıt kullanılmasıyla ortaya çıkan CO₂ emisyonunun ise %57'sine karşılık gelmektedir. CO₂ oluşumuna sebebiyet veren çeşitli etkenlerin olduğu bunların en önemlilerinden biri hem ormanların azalması hem de çeşitli yangınlardır. Hava kirleticileri olarak atmosferde bulunan sera gazı en fazla CO₂ emisyonundan kaynaklanmaktadır. Bunu %14 ile metan ve metan gazı, %8 ile azotoksit gazları takip etmektedir (Hatunoğlu, 2010).

Biyometanol benzin karışımı üzerine yapılan araştırmalarda, E10 karışım yakıtının deney motorunda kullanılmasıyla CO₂ emisyonunda benzine göre %1 ile %5 aralığında bir azalma, biyometanol miktarının fazla olduğu E85 yakıtının deney motorunda denenmesiyle benzin yakıtına göre CO₂ emisyonunda %19 ile %70 arasında bir azalmanın olduğunu tespit edilmiştir (Niven, 2005).

Biyometanolle ilgili yapılan başka bir çalışmada, benzinli test motorunda deney yakıtı olarak biyometanol benzin karışımları (E5, E10, E15, E20) kullanılmış ve yapılan deney sonucunda motor gücünde azalma, özgül yakıt tüketiminde artma, CO ve NO_x emisyonlarında da azalma olduğu tespit edilmiştir. Deneyisel çalışmada E5 ve E10 karışım yakıtlarının kullanımı ile benzin yakıtına göre CO₂ emisyonlarında değişiklik olmadığı ancak E15 ve E20 karışım yakıtlarının kullanımında CO₂ emisyonlarında azalma olduğu belirtilmiştir (Koçtürk ve Onurbaş, 2012). Biyokütle kaynaklarından elde edilen biyometanolün üretim aşamaları Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2: Biyoetanolün üretim aşamaları(Adıgüzel, 2013).

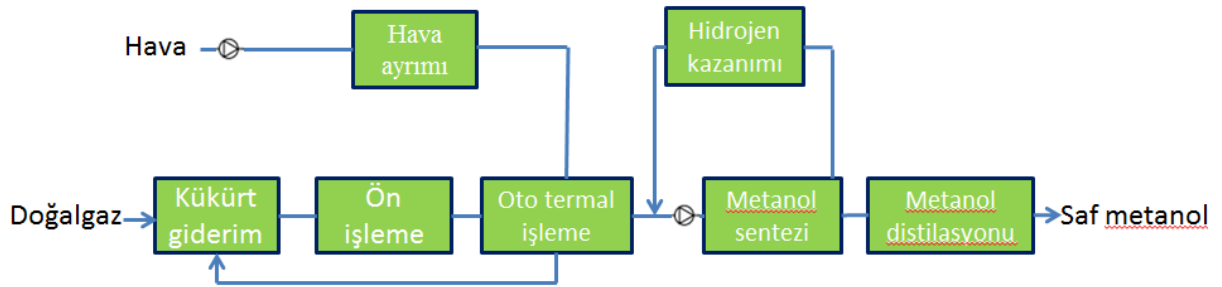
3.4 Metanol

Kimyasal formülü CH_3OH şeklinde olan saydam, buharlaşma ısısı yüksek, renksiz, kendi kendine tutuşma eğilimi düşük, kokusu hafif, ve benzine göre ısı değeri düşük olan metanol, soğukta ilk hareketi zorlaştırmasına karşın volümetrik verimi artırır özellikte olan Metanol, benzin içerisine oktan artırıcı ve oksijenat olarak karıştırılır. Metanoldeki en büyük sorun, faz ayrışmasıdır. Metanolde su ile oldukça yüksek çözünürlüğü bulunan sıvı organik bileşiklerdir. Metanol-benzin karışımlarında faz ayrışması sorununu çözmek için veya karışımı tek fazda tutabilmek için TBA (Tertiary-Butyl Alcohol) kullanılmaktadır (Ayhan, 2006). Ayrıca metanolün nem tutma özelliğinden dolayı içerisinde bulunabilecek su nedeniyle yakıt sistemlerinde korozyona neden olabilmektedir. Metanol kendi kendine tutuşma direnci yüksek olan sıvı bir maddedir. Bu madde, benzinli motorlarda yakıt olarak kullanıldığında sıkıştırma oranının artmasına neden olur. Metanol, benzinli motorlarda silindir içerisine doğrudan püskürtülebilmektedir. Metanolün oktan sayısının yüksek olması nedeniyle sıkıştırma basıncının düşük olması durumlarında bile püskürtmede bir problem oluşturmamaktadır. Metanolün bu özelliklerinden dolayı yakıt sistemi basit ve ucuz olmasının yanı sıra değişik motor yüklerinde motorun verimli olarak çalıştırılabilmesini mümkün kılmaktadır (Taymaz ve Benli, 2009).

Değişik motor yüklerinde verimli çalışabilmesinden ötürü üst fazda benzin, alt fazda alkol fazlalığı şeklinde faz ayrışması sorunu yaşanabilir. Bu sorunu aşmak için izopropil alkol gibi katkılar yapılabilir. Metanol’de etanol gibi yüksek oktan sayısına sahip olup bu sayede hem

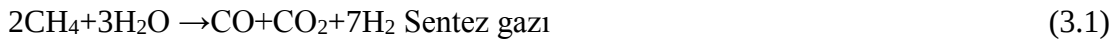
iyi bir yanma meydana gelmekte hem de çevreye egzoz emisyonu salınımı azalmaktadır. Metanol benzine göre geniş bir yanma aralığına sahiptir. Enerji yoğunluğu benzine göre düşük olduğundan buda daha büyük bir depo ihtiyacı meydana getirmektedir. Benzine göre buharlaşma ısısı düşük olan metanol bu özelliğinden dolayı soğuk havalarda geç çalışmaya sebep olabilmektedir. Bunun önlenmesi için metanolün kullanıldığı motorlarda kızdırma bujilerine ihtiyaç vardır (Taymaz ve Benli, 2009).

Metanol üretimi diğer yöntemlerden ayıran en önemli özelliği doğalgazdan üretilmesi ve bilinen en ucuz maliyete sahip olmasıdır. Bundan dolayıdır ki metanol üretimi diğer yöntemlere göre en çok tercih edilen yöntemlerden biridir (Holman ve diğ, 1991). Metanol üretiminde, kullanılan yöntemlerden biri yüksek basınç ve diğeri düşük basınçtır. Her iki proseste, bakır nikel gibi elementler katalizör olarak kullanılmaktadır. Yüksek basınç prosesinde reaksiyon, 300 atm basınçta gerçekleşirken düşük basınç prosesinde ise 50-100 atm basınçta gerçekleşmektedir. Doğalgazdan metanol üretim prosesi şekli Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Doğalgazdan metanol üretim prosesi şematik görünüşü

Metanol üretiminde hammadde olarak doğalgazın kullanıldığı üretim tesisinde, metanol üretimi iki adımda gerçekleşmektedir. Birinci adımda metan su buharı ve katalizörle reaksiyona girmekte ve CO, CO₂ ve H₂ gibi sentez gazları açığa çıkaran reaksiyon, Denklem 3.1’de verilmiştir (Arapatsakos ve diğ, 2008).



İkinci adımda ise kimyasal tepkime sonucu elde edilen CO, CO₂ ve H₂’nin kullanıldığı ve reaksiyon sonucunda metanol, H₂ ve H₂O’nun elde edildiği reaksiyon, Denklem 3.2’de verilmiştir (Arapatsakos ve diğ, 2008).



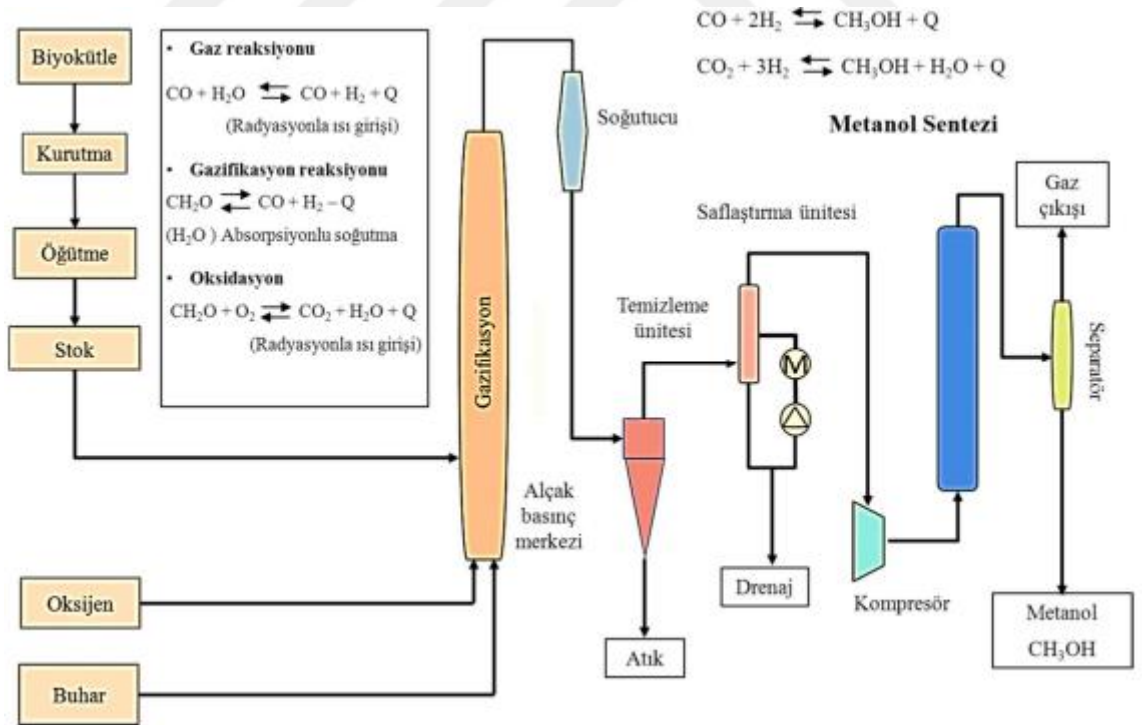
Eğer kimyasal tepkime dışında karbondioksit kaynağı bulunabilirse, metanol yanı sıra elde edilen H_2 ile reaksiyona sokularak ilave metanol üretilebilmektedir. Denklem 3.3’de verilmiştir.



Metanol üretiminde dünya genelinde kömür kullanılmaktadır. Fakat biyoteknolojik yöntemler günümüzde metanol üretiminde daha fazla önem kazanmıştır (Onurbaş ve diğ, 2011; Olah ve Goeppert, 2006).

3.5 Biyokütleden Metanol Üretimi

Metanol, odun, hayvansal katı atıklar, evsel katı atıklar, orman atıkları, kanalizasyondan ve havadaki karbondioksittende metanol üretilebilmektedir. Bütün biyokütle maddeleri metanol elde etmek için gazlaştırılabilirler. Bu süreçte hammadenin hem stokluğu hem de doğallığı verimi etkiler. Düşük nemli malzemeler olarak, otsu bitkiler, odun ve yan ürünleri, ekin kalıntıları gibi malzemeler metanol üretiminde daha uygundur (Olah ve Goeppert, 2006).



Şekil 3.4: Biyokütleden metanol üretim şeması (Nakagawa ve diğ, 2007)

Şekil 3.4 Biyokütleden metanol üretim aşamalarını göstermektedir. Şekil 3.4’de yüksek kalorili gazlaştırma ve kısmi oksidasyon yöntemi kullanılmaktadır. Biyokütle olarak

bahsedilen maddeler kurutma işleminden sonra 1 mm çapında olacak şekilde öğütölüp tozlaştırılmaktadır. Toz haline gelen biyokütle hammaddeleri daha sonradan 900-1000 °C sıcaklıklarda oksijen ve buhar yardımıyla gazlaştırılarak içerisindeki karbonhidratlar, H₂, CO, CO₂ ve su buharına (H₂O)' ya dönüşme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bakır/Çinko malzemeli katalizör ile dönüştürülme işlemi gerçekleşen gaz karışımları termokimyasal reaksiyona tabi tutulup 40-80 atm basınç altında biyometanol elde edilmektedir (Nakagawa ve diğ, 2007).

3.6 Sodyum Borhidrür (NaBH₄)

Sodyum borhidrür hem yapısında bulunan hidrojenden dolayı hem de hidrojen depolama ve taşıma sistemlerinin meydana getirilmesinden dolayı büyük öneme sahiptir. Hidrojen üretimi için yüksek seviyede hidrojen depolama yoğunluğuna sahip olan saf Sodyum borhidrürün hidrojen kapasitesi kütlece %10,8'dir (Kim ve diğ, 2004). Sodyum bor hidrürün üretiminde kullanılan bor mineralinin yaklaşık %70'i Türkiye'de bulunmaktadır. Çeşitli organik ve inorganik proseslerde indirgeyici olarak kullanılan NaBH₄, yoğunlaştırılmış hidrojenin hem güvenli olarak taşınmasına hem de depolanmasına olanak sağlar. NaBH₄ özellikle son yıllarda yakıt hücreleri ve içten yanmalı motorlarda yakıt katkı maddesi olarak kullanılması ayrıca içten yanmalı motorlarda hidrojen kaynağı olarak kabul edilmesinden dolayı büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, sodyum borhidrür, yakıt pillerinde anodik yakıt olarak doğrudan veya hidrojen depolayan ortam olarak kullanılmaktadır (Bilici, 2004). Çizelge 3.1'de Deneysel çalışmada yakıt katkı maddesi olarak kullanılan NaBH₄'ün bazı özellikleri verilmiştir.

NaBH₄, kimyasal reaksiyonlarda indirgenme elemanı olarak kullanılması, diğer bileşiklere oranla daha fazla hidrojen depolayabilmesi, yanıcı ve patlayıcı olmaması, kolay kontrol edilebilir olması, çevre dostu ve protik çözücülerle uyumlu olması gibi özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanılabilmektedir (Bilici, 2004; Yılmaz ve Şevik, 2017). NaBH₄ 'ün kullanım alanlarından biride içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlara katkı maddesi olarak ilave edilerek yakıtların özelliklerini iyileştirmektir.

Çizelge 3.1: Deneysel çalışmada yakıt katkı maddesi olarak kullanılan NaBH₄ ‘ün bazı özellikleri (Bilici, 2004).

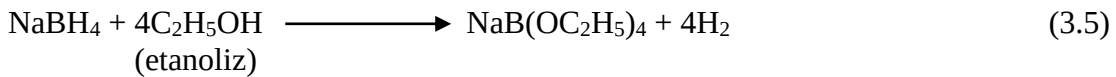
Yakıt Özellikleri	Sodyum Borhidrür
Formülü	NaBH ₄
Yakıt ağırlığı (g/mol)	37.84
Teorik H ₂ içeriği, % (ağırlıkça)	10.6
Kristal yapısı	Yüzey merkezli kübik (a= 6.15Å ⁰)
Kaynama noktası, °C	505
Bozunma sıcaklığı, °C	31
Erime noktası, °C (2-6 atm H ₂ basıncında)	500
Bozunma sıcaklığı, °C (vakum altında)	400
Oluşum entalpisi (25 °C), kJ.mol ⁻¹	-188.6
Oluşum Gibbs enerjisi (25 °C), kJ.mol ⁻¹	-123.9
Entropi, J.mol ⁻¹ .K ⁻¹	101.3
Isı kapasitesi (25 °C), J.K ⁻¹ .h	86.8

3.7 Sodyum Borhidrürün Yanma Denklemi

Hidrojen depolama kaynağı olarak görülen sodyum borhidrürün çözücüler arasında su, etanol ve metanol bulunmaktadır (Banfi ve diğ, 2004). Sodyum borhidrür özellikle son yıllarda hem yakıt hücrelerinde hem de içten yanmalı motorlarda yakıt katkı maddesi olarak kullanılması ayrıca içten yanmalı motorlarda hidrojen kaynağı olarak kabul edilmesinden dolayı büyük önem arz etmektedir. Metanol de çözünen sodyum borhidrürün yanma denklemi, Denklem 3.4’de verilmiştir (Demirci ve diğ, 2010). Etanol de çözünen sodyum borhidrürün yanma denklemi ise Denklem 3.5’de verilmiştir (Demirci ve diğ, 2010).



Etanol de çözünen sodyum borhidrürün yanma denklemi ise, Denklem 3.5’de verilmiştir.



3.8. Deney Yakıtlarının Maliyet Analizi

2021 yılı Mart ayı fiyatlarına göre;

250g katı halde NaBH ₄	→	425TL
1L Metanol	→	24TL
1L Etanol	→	30TL
1L Benzin	→	7,13TL

Sodyum borhidrürün çözücüler arasında bulunan etanol ve metanoldür. Etanolde çözmek için 3,16g katı halde sodyum borhidrür, metanolde çözmek için ise 13g katı halde sodyum borhidrür gereklidir.

100 ml etanolde çözünmüş NaBH₄ çözeltisi için → 3,16gNaBH₄ = 5,372TL

100 ml metanolde çözünmüş NaBH₄ çözeltisi için → 13g NaBH₄ = 22,1TL

100 ml etanol için → 3TL

100 ml metanol için → 2,4TL

100ml etanolde çözünmüş sodyumborhidrür çözeltisi hazırlamak için;

3TL + 5,372TL = 8,372TL

100ml metanolde çözünmüş sodyumborhidrür çözeltisi hazırlamak için;

2,4TL + 22,1TL = 24,5TL

Örnek:

ES5 (hacimsel olarak %5 sodyum borhidrür katkılı etanol %95 benzin karışımı) karışım yakıtının maliyet hesabı

%5 sodyum borhidrür katkılı etanol → 4,186TL

%95 benzin → 6,77TL

ES5 karışım yakıtının maliyeti → 4,186TL + 6,77TL = 10,956TL

Örnek:

MS5 (hacimsel olarak %5 sodyum borhidrür katkılı metanol %95 benzin karışımı) karışım yakıtının maliyet hesabı

%5 sodyum borhidrür katkılı metanol → 12,25TL

%95 benzin → 6,77TL

MS5 karışım yakıtının maliyeti → 12,25TL + 6,77TL = 19,02TL

Diğer karışım yakıtların maliyet hesabıda aynı şekilde yapılabilir.

Ör: E5 ve M5 karışım yakıtlarının maliyet hesabı

E5 yakıtı için,

%5 etanol → 1,5TL

%95 benzin → 6,77TL

E5 karışım yakıtının maliyeti → 1,5TL + 6,77TL = 8,27TL

M5 yakıtı için,

%5 metanol → 1,2TL

%95 benzin → 6,77TL

M5 karışım yakıtının maliyeti → 1,2TL + 6,77TL = 7,97TL

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Materyal

Motor test yakıtlarının elde edilmesinde, saf benzin, sodyum bor hidrür, etanol ve metanol olmak üzere dört adet hammadde kullanılmıştır. Saf benzin, % 99 saflıkta n-Propanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) ve % 99.5 izo-Propanol ($\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$)’dan oluşan bir yakıt olup bu yakıt bazı özellikleri Çizelge 4.3’de verilen ve Ankara’da bulunan ticari bir benzin istasyonunda temin edildi. Yine bazı özellikleri Çizelge 4.3’de verilen %99,8 saflıktaki etanol ve %99 saflıktaki metanol Van ilinde faaliyet gösteren ticari bir kimya firmasından temin edildi. Bazı özellikleri Çizelge 3.1 verilen katı haldeki NaBH_4 ise Van’daki bir kimya şirketi vasıtasıyla Fransa’dan getirtilmek suretiyle temin edildi.

4.1.1 NaBH_4 ve alkol (CH_3OH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) katkılı karışım yakıtların elde edilmesi

Bu çalışmada, içten yanmalı benzinli motorlarda kullanılan yakıta alternatif olabilecek, motor performansını arttıracak ve zararlı egzoz emisyonlarını düşürecek karışım yakıtların elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda tek silindirli su ile soğutmalı benzinli bir motorda test edilmek amacıyla sodyum borhidrür, metanol, etanol ve benzinden oluşan dört farklı hammadde kullanılarak, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de gösterildiği gibi, etanol-benzin karışım yakıtlar (E5, E10, E15, E20, E25, E30), metanol-benzin karışım yakıtlar (M5, M10, M15, M20, M25, M30), NaBH_4 katkılı etanol-benzin karışım yakıtlar (ES5, ES10, ES15, ES20, ES25, ES30) ve NaBH_4 katkılı metanol-benzin karışım yakıtlar (MS5, MS10, MS15) olarak isimlendirilen dört farklı türde karışım yakıtlar oluşturulmuştur. Oluşturulan karışım yakıtların herbiri hacimsel olmak üzere %5 etanol + %95 benzinden oluşan ve E5 olarak isimlendirilen etanol-benzin karışımı, %10 etanol + %90 benzinden oluşan ve E10 olarak isimlendirilen etanol-benzin karışımı, %15 etanol + %85 benzinden oluşan ve E15 olarak isimlendirilen etanol-benzin karışımı, %20 etanol + %80 benzinden oluşan ve E20 olarak isimlendirilen etanol-benzin karışımı, %25 etanol + %75 benzinden oluşan ve E25 olarak isimlendirilen etanol-benzin karışımı, %30 etanol + %70 benzinden oluşan ve E30 olarak isimlendirilen etanol-benzin karışım yakıtları elde edildi. Sonra hacimsel olarak; %5 metanol + %95 benzinden oluşan ve M5 olarak isimlendirilen metanol-

benzin karışımı, %10 metanol + %90 benzinden oluşan ve M10 olarak isimlendirilen metanol-benzin karışımı, %15 metanol + %85 benzinden oluşan ve M15 olarak isimlendirilen metanol-benzin karışımı, %20 metanol + %80 benzinden oluşan ve M20 olarak isimlendirilen metanol-benzin karışımı, %25 metanol + %75 benzinden oluşan ve M25 olarak isimlendirilen metanol-benzin karışımı, %30 metanol + %70 benzinden oluşan ve M30 olarak isimlendirilen metanol-benzin karışım yakıtları elde edildi. Daha sonra hacimsel olarak; %5 sodyum borhidrür katkılı etanol çözeltisi + %95 benzinden oluşan ve ES5 olarak isimlendirilen sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışımı, %10 sodyum borhidrür katkılı etanol çözeltisi + %90 benzinden oluşan ve ES10 olarak isimlendirilen sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışımı, %15 sodyum borhidrür katkılı etanol çözeltisi + %85 benzinden oluşan ve ES15 olarak isimlendirilen sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışımı, %20 sodyum borhidrür katkılı etanol çözeltisi + %80 benzinden oluşan ve ES20 olarak isimlendirilen sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışımı, %25 sodyum borhidrür katkılı etanol çözeltisi + %75 benzinden oluşan ve ES25 olarak isimlendirilen sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışımı, %30 sodyum borhidrür katkılı etanol çözeltisi + %70 benzinden oluşan ve ES30 olarak isimlendirilen sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtları elde edildi. Daha sonra hacimsel olarak; %5 sodyum borhidrür katkılı metanol çözeltisi + %95 benzinden oluşan ve MS5 olarak isimlendirilen sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışımı, %10 sodyum borhidrür katkılı metanol çözeltisi + %90 benzinden oluşan ve MS10 olarak isimlendirilen sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışımı, %15 sodyum borhidrür katkılı metanol çözeltisi + %85 benzinden oluşan ve MS15 olarak isimlendirilen sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışımı, %20 sodyum borhidrür katkılı metanol çözeltisi + %80 benzinden oluşan ve MS20 olarak isimlendirilen sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışımı, %25 sodyum borhidrür katkılı metanol çözeltisi + %75 benzinden oluşan ve MS25 olarak isimlendirilen sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışımı, %30 sodyum borhidrür katkılı metanol çözeltisi + %70 benzinden oluşan ve MS30 olarak isimlendirilen sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışımından meydana gelen yakıtlardan ibarettir.

4.1.2 Motor test yakıtları

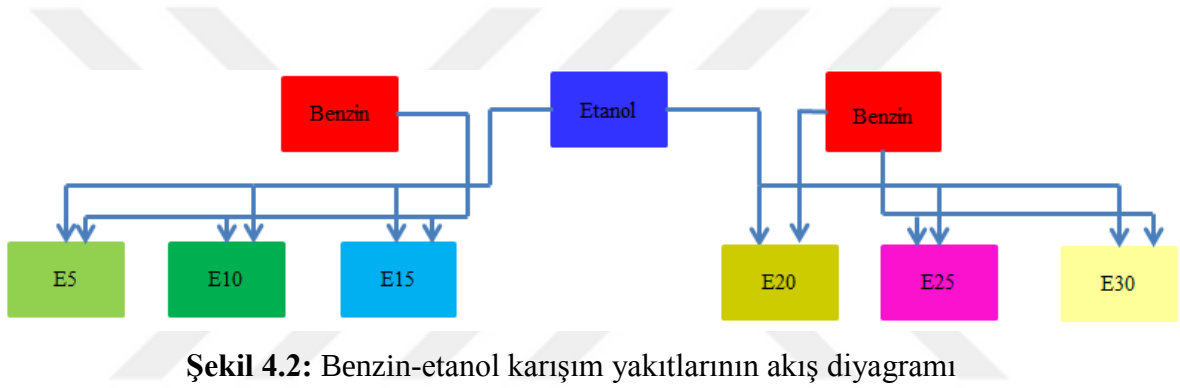
Motor testlerinde, biri saf benzin olmak üzere etanol-benzin, metanol-benzin, NaBH₄ katkılı etanol-benzin ve NaBH₄ katkılı metanol-benzin karışım yakıtlarından oluşan beş farklı türde yakıt kullanılmıştır. Etanol ve benzinden oluşan karışımli yakıtlar, hacimsel olmak üzere sırasıyla %5, %10, %15, %20, %25, ve %30 oranındaki etanol saf benzin ile karıştırılmış ve

E5, E10, E15, E20, E25, E30 olarak isimlendirilen yakıtlar elde edilmiştir. Aynı şekilde metanol ve benzinden oluşan karışimli yakıtlar, hacimsel olmak üzere sırasıyla %5,%10, %15, %20, %25, ve %30 oranındaki metanol saf benzin ile karıştırılmış ve M5, M10, M15, M20, M25, M30 olarak isimlendirilen yakıtlar elde edilmiştir. Alkol-benzin karışımlarından oluşan yakıtlar elde edildikten sonra NaBH_4 katkılı yakıtların elde edilmesine geçilmiştir. Ancak NaBH_4 doğrudan alkol ve benzin ile karıştırılamadığından dolayı Şekil 4.2 ve Şekil 4.5 de belirtilen aşamalar takip edilerek gerçekleştirilmiştir. Sodyum borhidrürün benzine ilave edilebilmesi için sıvı forma dönüştürülmesi gerekir. Katı toz haldeki sodyum borhidrürün sıvılaştırılma işlemi, protik solventler, su ve düşük alkoller şeklindeki çözücüler ile yapılırken reaksiyon sırasında hidrojen gazı açığa çıkmaktadır (Banfi ve diğ., 2004). Van'daki bir kimya şirketi aracılığıyla Fransa'dan alınan katı haldeki sodyum borhidrür, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Kimya Bölümü laboratuvarlarında sodyum borhidrürün çözücüler arasında yer alan etanol ve metanol de sıvı hale getirilme işlemi gerçekleştirilmiştir. NaBH_4 -alkol çözeltileri şu şekilde şu şekilde hazırlanmıştır. Çözücü olarak kullanılan 100 mL % 99,8 saflıktaki etanol içerisine 3,16 gram katı sodyum borhidrür ilave edilmiş ve karışım içerisindeki katı NaBH_4 maddesinin tam olarak çözülmesi için oda sıcaklığında 6 saat karıştırılmıştır. Benzer şekilde çözücü olarak metanol kullanıldığında ise 100mL %99 saflıktaki metanol içerisine 13 gram mikro kristalli ve beyaz renkli katı haldeki sodyum borhidrür ilave edilmiş ve NaBH_4 ilaveli karışım oda sıcaklığında 12 saat karıştırılmıştır. NaBH_4 katkılı alkol-benzin karışimli yakıtları bir birleri ile karşılaştırmak için sodyum bor hidrür metanol çözeltisi içerisine 300mL metanol karıştırılarak NaBH_4 -etanol çözeltisi ile benzerlik arz edebilecek çözelti oluşturulmuştur. Katkılı yakıtların oluşturulmasında kullanılan katı NaBH_4 ve sıvı haldeki sodyum borhidrür-alkol çözeltisinin birer örneği Şekil 4.1'de verilmiştir. Daha sonra NaBH_4 -alkol çözeltilerinin her biri belirli oranlarda benzin ile karıştırılarak sodyum bor hidrür-etanol karışım yakıtlar (ES5, ES10, ES15, ES20, ES25, ES30) ve metanol-benzin karışım yakıtlar (MS5, MS10, MS15) olarak isimlendirilen yakıtlar elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların oluşum aşamaları Şekil 4.4'de ve sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların oluşum aşamaları da Şekil 4.3'de verilmiştir.

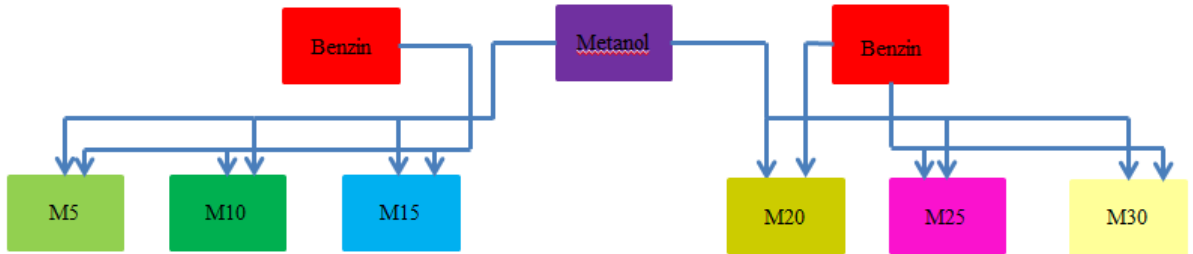


Şekil 4.1: Katı haldeki NaBH_4 ve alkol içerisinde çözdürülmüş sıvı haldeki NaBH_4 çözeltisi

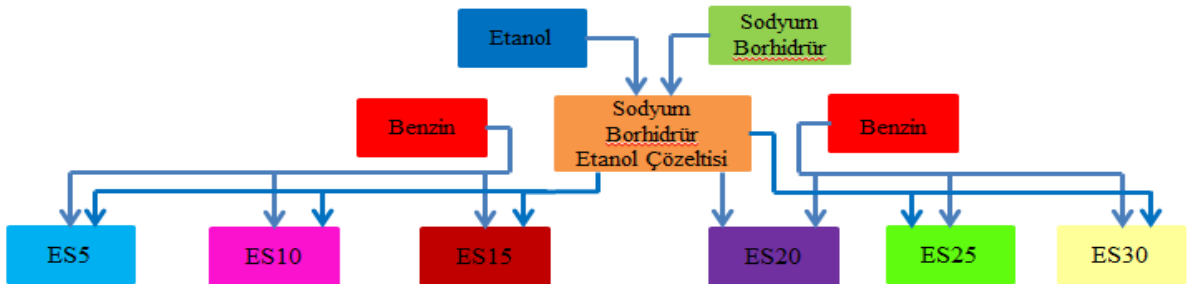
Deneylerde kullanılan test yakıtlarının oluşum aşamaları aşağıda gösterilmiştir.



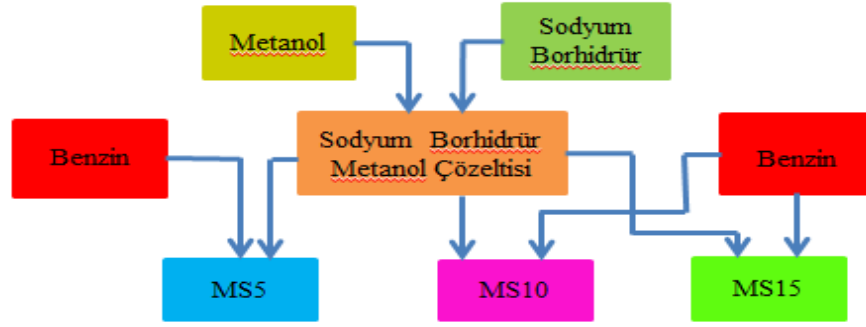
Şekil 4.2: Benzin-etanol karışım yakıtlarının akış diyagramı



Şekil 4.3: Benzin-metanol karışım yakıtlarının akış diyagramı



Şekil 4.4: Sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların akış diyagramı



Şekil 4.5: Sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların akış diyagramı

4.1.3 Motor test deneyleri

Motor test deneyleri, Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği laboratuvarlarında yapılmıştır. Deneylerde tek silindirli, buji ateşlemeli, su soğutmalı deney motoru kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Motor test deneylerine başlamadan önce deney motoru benzinle çalıştırılmış ve motor kararlı rejime geldikten sonra test sonuçlarının alınmasına başlanmıştır ve her bir yakıt türü için deneyler üç kez tekrarlanarak aritmetik ortalaması alınmıştır. Deneysel çalışmada motor tam yükte 1400 d/d, 1800 d/d, 2200 d/d, 2600 d/d, 3000 d/d gibi farklı motor hızlarında çalıştırılmıştır.

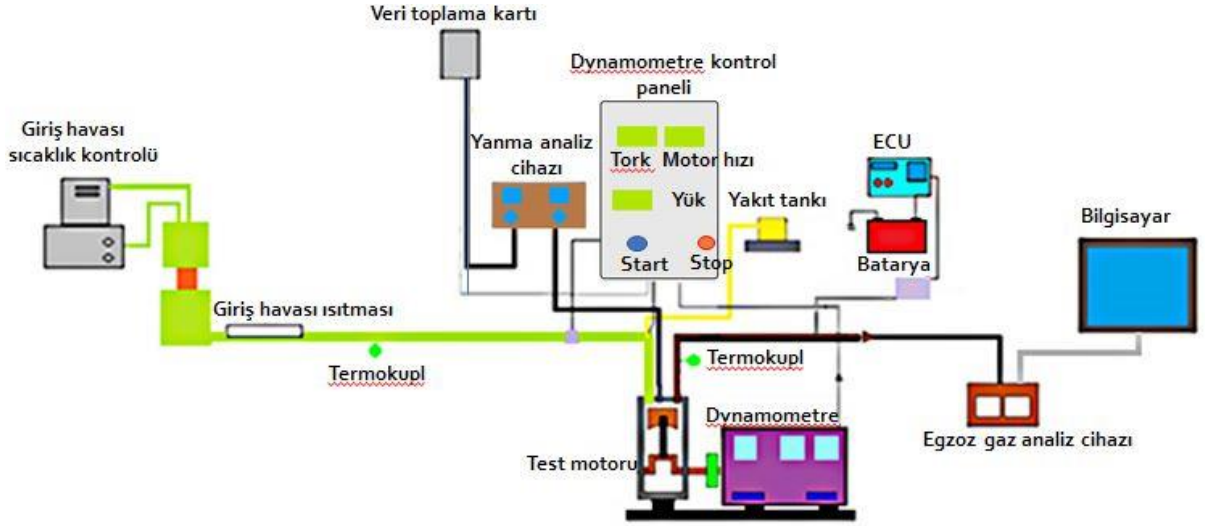
Çizelge 4.1: Test motorunun özellikleri

Marka	Ricardo Hydra
Silindir sayısı	1
Sıkıştırma oranı	10:1
Maksimum hız (min ⁻¹)	5400
Maksimum güç (kW)	15kW, 5400 1/min de
Minimum hız (min ⁻¹)	1200
Silindir çapı (mm)	8,26
Silindir kurs (mm)	88,90
Supap sistemi	Üstten kamlı iki supap
Yakıt sistemi	Port tipi enjeksiyon
Soğutma sistemi	Sıvı soğutmalı

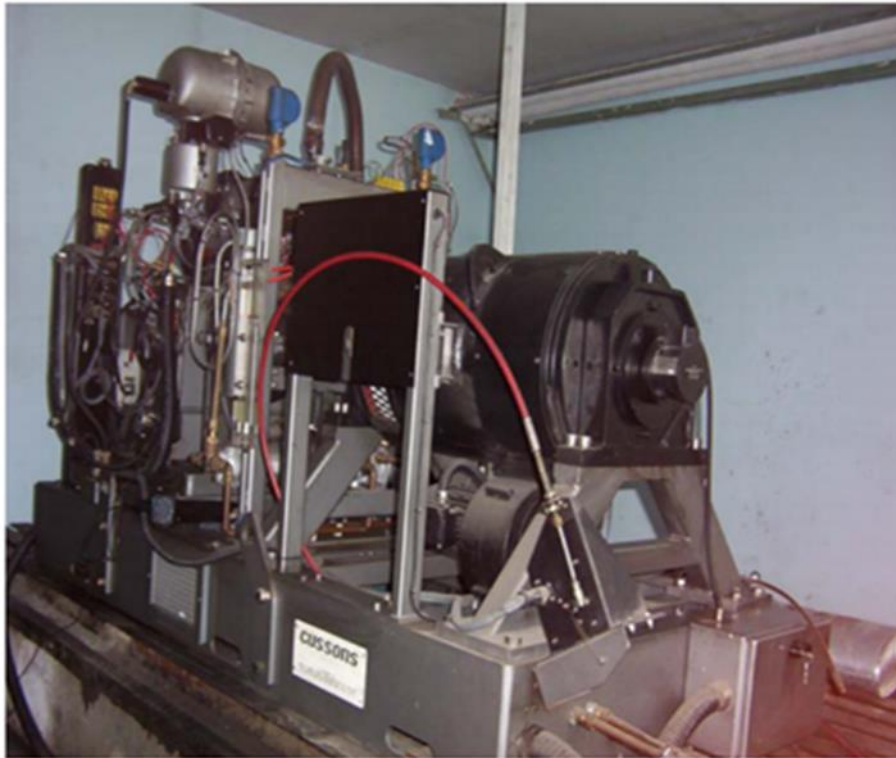
4.1.4 Deney düzeneği

Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 4.6’da verilmiştir. Deneylerde motor performansının ölçülmesi için 6500d/d motor devrinde 30kW gücü da absorbe edebilen, McClure marka elektrikli tip dinamometre kullanılmıştır. Test sistemindeki yakıt tüketimi, 60 saniyede tüketilen yakıt miktarına göre belirlenmiş ve analog olarak kayıt edilmiştir. Ancak motor momenti ve motor yağ sıcaklığı, egzoz sıcaklığı dijital olarak kayıt edilmiştir.

Yakıt deposu 1g hassasiyetindeki terazi üzerine yerleştirilmiş ve motorun 60 saniyede tükettiği yakıt verisi kaydedilmiştir. Egzoz emisyonları hava fazlalık katsayısı (HFK) 1 olduğunda, egzoz emisyon cihazından elde edilen veriler bilgisayara aktarılarak dijital olarak kayıt edilmiştir. Deney motoru Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.6: Deney düzeneğinin şematik görünümü



Şekil 4.7: Deney motoru

Deney Motoruyla ilgili hesaplanan belirsizlikleri ve ölçülen doğrulukları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2: Deney Motorunun ölçülen doğrulukları ve hesaplanan belirsizlikler

Ölçüm	Ölçme aralığı	Ölçüm hassasiyeti	Belirsizlik(%)
Moment (Nm)	0-80Nm	0.01 Nm	Belirsizlik ± 0.25
Yakıt tüketimi (g)	-----	0.01g	Doğruluk ± 0.1
Motor hızı (min-1)	0-7000 1/min	1 1/min	Doğruluk ± 1
Sıcaklık (°C)	-----	----	Doğruluk ± 1
Ateşleme zamanı	70° ÜÖN' dan önce -20° ÜÖN' dan sonra	1° KMA ----	----

4.1.5 Motor test deneylerinde kullanılan yakıt özelliklerinin belirlenmesi

Motor testlerinde kullanılan yakıtların bazı özellikleri Adana Çukurova Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Yakıt Analiz Laboratuvarında belirlenmiş olup bu özellikler Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Test yakıtların özelliklerinin belirlenmesinde aşağıdaki cihazlar kullanılmıştır.

4.1.5.1 Yoğunluk ölçüm cihazı (KYOTO DA-130)

Test yakıtların yoğunlukları Şekil 4.8’de verilen cihaz yardımı ile belirlenmiştir. Kyoto Electronics DA-130 tipi yoğunluk ölçme cihazı, yoğunlukları ölçmek için rezonans frekans yöntemini kullanarak yapmaktadır. Bu cihaz yoğunluk ölçmeye ek olarak spesifik ağırlık, API yerçekimi, % Brix, hacim ve kütle alkol oranlarını da ölçebilme özelliklerine sahiptir. Cihazın ölçüm aralığı 0 ila 2 g/cm³ ve 0 ila 40 °C’dir. Cihaz ± 0.001 g/ cm³ hassasiyete ve 0.0001 g/cm³ stabiliteye sahiptir. Cihaz TS EN ISO 12185 standardına göre ölçüm yapmaktadır. Öncelikle işaret parmağıyla basılan tuşla yakıt içeri çekilerek ölçüm gerçekleşir ve dijital ekranda sonuç gösterilir. Sonrasında işaret parmağıyla basılan tuş ile yakıt dışarı püskürtülür. Ölçüm öncesinde ve sonrasında aletin çözücü sıvılarla temizlenmesi gerekmektedir.



Şekil 4.8: Kyoto (Da-130) portatif dijital yoğunluk ölçme cihazı

4.1.5.2 Kinematik viskozite ölçüm (TANAKA AKV-202) cihazı

20-100°C ölçüm aralığında ölçme yapan Tanaka AKV 202 tipi kinematik viskozite ölçme cihazı ile test yakıtlarının kinematik viskoziteleri ölçülmüştür. Cihaz, içinde silikon yağı bulunan ve banyo olarak adlandırılan bir hazneye sahip olup bu haznede yer alan bir tüpe yakıt aktarılarak ölçüm yapılır. Yakıt aktarılmadan önce banyo test standardındaki sıcaklığa getirilir ve sonra Bath Control tuşuna basılır. Bu işlem sonlandıktan sonra hazneye yakıt aktarılır ve ölçüm başlatılır. Ölçme işleminden sonra test cihazı sırasıyla boşaltma, 2 defa yıkama, 2 defa da kurutma işlemlerini gerçekleştirir ve daha sonra cihazın dijital ekranı aracılığıyla history bölümünden sonuca ulaşılır. Cihaz TS 1451 EN ISO 3104 standardına göre ölçüm yapmaktadır. Kinematik viskozimetre cihazı Şekil 4.9’de gösterilmiştir.



Şekil 4.9: Tanaka (AKV-202) otomatik kinematik viskozimetre ölçme cihazı

4.1.5.3 Bakır şerit korozyon (KOEHLER K25339) cihazı

Bir yakıtın aşındırıcılığı, standardı TS 2741 EN ISO 2160 olan bakır şerit korozyon testi kullanılarak ölçülür. Öncelikle demir toz ile zımparalanan cilalı bakır şeritler yakıtla doldurulan tüplere bırakılır. Yakıt miktarı bakır şeriti tamamen içine alacak seviyede olmalıdır. Bu tüpler su ile doldurulan Koehler K25339 bakır şerit korozyon test cihazında 3 saat boyunca 50° C'de su içinde titreşime maruz bırakılır. İşlem sonrasında şeritler bir çözücü içinde yıkanır ve ASTM Bakır Şerit Korozyon Standartları ile karşılaştırılır. Bu çalışmada kullanılan test yakıtların bakır şerit korozyon analizleri Şekil 4.10'de verilmiş olan bakır şerit korozyon cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.10: Koehler (K25339) bakır şerit korozyon cihazı

4.1.5.4 Oktan sayısı (16715 ZELTEX ZX440) ölçüm cihazı

Araştırma Oktan Sayısı (RON) ve Motor Oktan sayıları (MON) Zeltex ZX440 sıvı yakıt analizörü ile ölçülür. Ölçüm prensibi Near Infra-Red (NIR) teknolojisine dayanmaktadır. Numuneye giren ışık enerjisi numuneye saçılır, emilir ve doğrudan ürünün kurucu konsantrasyonlarını gösterir. Ölçüm yapabilmek için analizörün özel bir kabı vardır. Kap küçük bir yüzey dışında ışık geçirmeyecek şekilde siyah bir kaplama malzemesiyle kaplanmıştır. Kaba, kaptaki belirtilen seviye kadar yakıt aktarıldıktan sonra analizördeki yerine yerleştirilir. Yakıt özellikleri analizöre aktarılır ve test başlatılır. Ölçüm tamamlandıktan sonra hem RON değeri hem de MON değeri analiz sonucunda elde edilir. Analizörün bazı özellikleri Tablo 4.3 de verilmiştir. Test yakıtların oktan sayısını belirlemede kullanılan oktan sayısı ölçüm cihazı Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



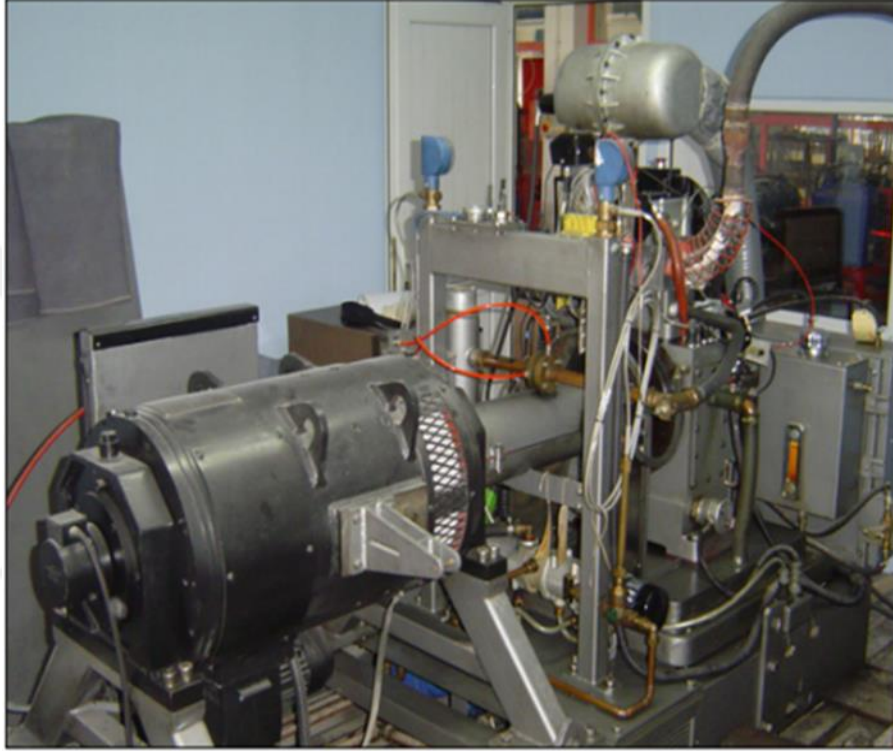
Şekil 4.11: Zeltex 16715 (ZX440) oktan sayısı ölçüm cihazı

Çizelge 4.3: Deneylerde kullanılan test yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri (Elfasakhany, 2016; Pulkrabek, 1997; Çukurova, 2001; Yakın ve Behçet, 2021).

Yakıt Özellikleri	Benzin	Etanol	Metanol	E10	E20	ES	ES10	ES20	MS	MS20
Formül		C ₂ H ₅ OH	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₂ H ₅ OH					
Molekül(kg/kmol)	114.21	46.0628	32.041	46.0628	46,0628	37.83	37.83	37,83	37.83	37,83
Alt Isıl değer (MJ/kg)	44	26,7	20.05	40,969	39,585	63.94	38,219	36,655	48.11	97
Stok. H/Y oranı	14,60	9	6.5	13,95	13,62	--	--	--	--	--
Otom. Ateş. Sıc. (C°)	257	423	--	--	--	--	--	--	--	--
B. Isısı (kj/kg)	225	923	1147	207	--	--	--	--	--	--
Araştırma oktan sayısı (RON)	95	108,6	106	87,4	89,8	103.318	90,391	91,667	109.407	88.225
Motor oktan sayısı(MON)	85	89,7	92	99,9	101,6	100.223	97,670	98,208	100.812	108.308
Yoğunluk (kg/m ³)	720-775	809,9	796	768	771,5	775.2	751,902	756,3	839.6	791.4
Bakır korozyon Testi	--	--	--	--	--	3a	--	3a	2c	2c

4.1.6 Motor dinamometresi

Deneylerde kullanılan test motoru tek silindirli su soğutmalı sıkıştırma oranı 10/1 olan benzinli bir motordur. Motor performansının ölçülmesinde kullanılan dinamometre ise elektrikli tiptir. Deney motorunda kullanılan dinamometre Şekil 4.12’de gösterilmiş olup dinamometre, 6500 d/d motor devrinde 30 kW gücü de absorbe edebilen, McClure marka elektrikli tip dinamometredir.



Şekil 4.12: Deneylerde kullanılan elektrikli dinamometre

4.2 Deneysel Metot

4.2.1 Motor performans parametreleri

Motor performansını belirleyen parametreler; motor momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, ve egzoz gaz sıcaklığı şeklinde sıralanabilmektedir. Deney motorunda farklı test yakıtlarının denenmesi sırasında, ölçüm verilerinin okunduğu, hava/yakıt oranı, motor devri, motor yükü, ateşleme zamanı, enjektör açık kalma miktarı gibi verilerin kontrol edilebildiği kontrol paneli Şekil 4.13’de verilmiştir. Motor çalıştırılmadan motorun hem yağ hem de su pompaları, kontrol panelindeki düğmeler aracılığıyla çalıştırılabilmektedir. Ayrıca Kontrol paneli üzerinde sistem elemanlarının aktif olduğunu belirten bir self kontrol düzeneği de yer almaktadır. Böylece deney motoru ve motora bağlı dinamometre aktif hale

getirilebilmektedir. Sistemde bulunan ve ateşleme zamanını gösteren analog gösterge yardımıyla motor devri ve momenti kontrol paneli üzerinde yer alan göstergeler sayesinde ölçülebilmektedir.



Şekil 4.13: Deney motorunun kontrol paneli

Efektif güç, motor çıkış milinden alınan güç olup bu gücün hesaplanmasında (4.1) denklemi kullanılmıştır. Güç birimi ise kW'dır.

$$P_e = \frac{2\pi \cdot n \cdot M}{60 \cdot 1000} \quad (4.1)$$

Kütlesel olarak birim zamanda tüketilen yakıtın efektif güce oranı olarak tanımlanan özgül yakıt tüketimi (4.2) bağıntısı ile hesaplanmıştır.

$$b_e = \frac{\dot{m}_y}{P_e} \quad (4.2)$$

Dikomsan marka JS-B model elektronik dijital terazi kullanılarak belirlenen özgül yakıt tüketimi, dijital terazi üzerine yerleştirilmiş olan yakıt tankından 60 saniyelik süre içerisinde akan değeri dikkate alınmıştır. Terazinin ölçme kapasitesi 30 kg olup 1 g hassasiyetinde ölçüm yapabilmektedir.

4.2.2 Egzoz emisyon parametreleri

Test yakıtlarının egzoz emisyonlarını ölçmek için teknik özellikleri Çizelge 4.4’de belirtilmiş olan Şekil 4.15’deki Bosch firmasının BEA 060 Model egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Çizelgede belirtildiği gibi egzoz gazı analiz cihazı ile karbonmonoksit, karbondioksit, yanmamış hidrokarbon azot oksit, oksijen ve hava fazlalık katsayısı değerleri ölçülmüştür.



Şekil 4.14: Egzoz gaz analiz cihazı

Çizelge 4.4: Egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri

Özellikler	Ölçme aralığı	Hassasiyet	Doğruluk
CO	0-10 % vol	0.001 % vol	± 5 %
CO ₂	0-18 % vol	0.01 % vol	± 5 %
HC	0-9999 ppm vol	1ppm vol	± 5 %
O ₂	0-22 % vol	0.010 % vol	± 5 %
NO	0-5000 ppm vol	1ppm vol	± 4 %
Lambda	0.5-9.9999	0.001	

4.2.3 Deneyisel çalışma

Deneyisel çalışmada kullanılan test motoru önce benzinle çalıştırılmış ve motor kararlı hale geldikten sonra sırasıyla; motor momenti, motor gücü, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı, egzoz emisyonları (CO, HC, CO₂, NO_x) ve motor yağlama yağı sıcaklığı ölçüldü. Oluşturulan yakıtların her biri ayrı ayrı deney motorunda test edilerek motor performans ve egzoz emisyon değerleri belirlendi. Elde edilen alkol benzin ve sodyum borhidrür katkılı

alkol-benzin karışım yakıt verileri hem saf benzin ile çalıştırılan motorun verileri ile hem de birbirleri ile karşılaştırmak için grafiklere aktarıldı.



5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

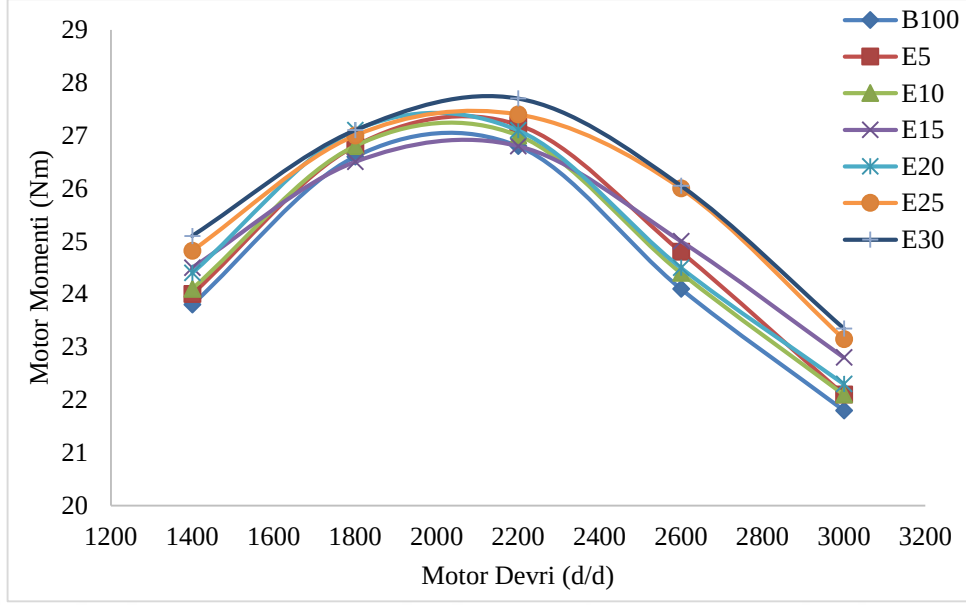
Deneysel çalışmada kullanılan test motoru önce benzinle çalıştırıldı ve motor kararlı hale geldikten sonra sırasıyla; motor momenti, motor gücü, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı, egzoz emisyonları (CO , HC , CO_2 , NO_x) ve motor yağlama yağı sıcaklığı ölçüldü. Başta saf benzin olmak üzere etanol-benzin, metanol benzin, NaBH_4 katkılı etanol-benzin ve NaBH_4 katkılı metanol-benzin karışımli yakıtların her biri ayrı ayrı deney motorunda test edilerek motor performans ve egzoz emisyon değerleri belirlendi. Elde edilen alkol benzin ve sodyum borhidrür katkılı alkol-benzin karışım yakıt verileri hem saf benzin ile çalıştırılan motorun verileri ile hem de birbirleri ile karşılaştırmak için grafiklere aktarıldı.

5.1 Benzin-Etanol Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri

Motor performansı, motorun çalışması esnasında ölçülen momenti, motorun gücünü, tüketilen yakıt miktarını, motorda oluşan ısı değeri vb. gibi değerler motor performansı olarak ifade etmektedir. Motor performansı ideal olarak, motor momentinin maksimum, motor gücünün maksimum ve özgül yakıt tüketiminin minimum olduğu durumdur.

5.1.1 Benzin-etanol karışım yakıtların motor momentleri

Motor momenti, motorun döndürme kuvveti demektir. Yani motorun yük taşıma kapasitesiyle ilgili bilgileri içermektedir. Taşıt ilk harekete geçtiğinde taşıta etki eden iç ve dış direnç kuvvetlerini yenmesi için yüksek momente ihtiyaç vardır. Motor hızı arttıkça taşıtın moment ihtiyacı azalır güç ihtiyacı artar.

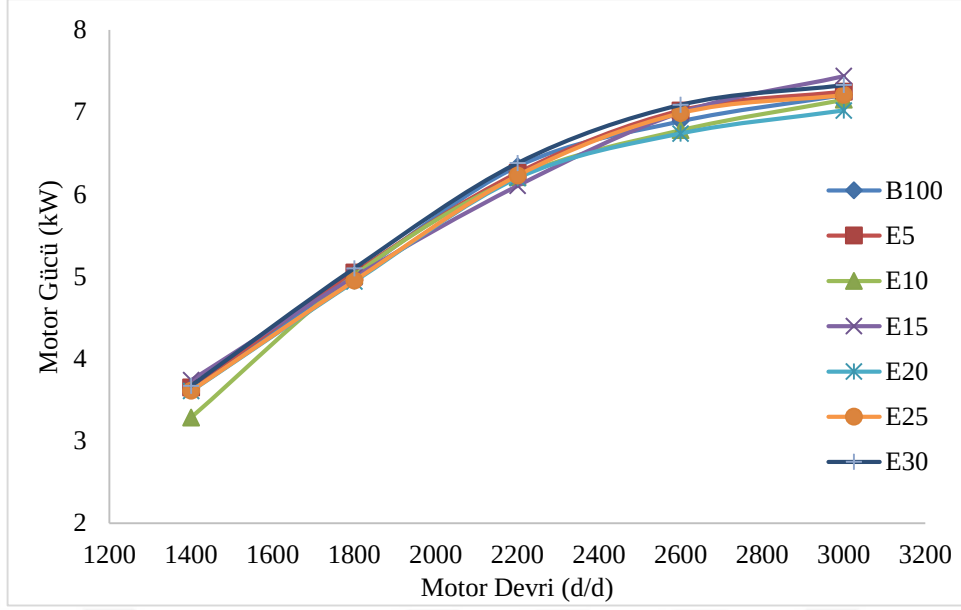


Şekil 5.1.1: Benzin ve benzin-etanol karışım yakıtlarına ait motor momentleri değerlerinin motor devrine bağlı değişimi

Otomotiv mühendisleri, taşıt ilk harekete geçerken direnç kuvvetlerini yenmesi için motor momentinin yüksek olmasını, motor hızı arttığında momentin azalıp gücün artmasının motor performansını arttırdığı görüşündedirler. Motor momentinin motor devrine bağlı değişimi Şekil 5.1.1’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde tüm karışım yakıtların motor momentleri benzin yakıtına kıyasla artmıştır. Tüm karışım yakıtlarda, belli bir motor devrine kadar motor momentleri artarken motor devri arttığında motor momentlerinde azalma olmuştur. Literatürde yapılan bazı çalışmalarda (Topgül ve diğ, 2006; Costa ve Sodre, 2011; Wu ve diğ. 2004; Liu ve diğ. 2007), benzin yakıtına etanol ilave edilmesiyle veya yakıt içerisindeki etanol miktarının artırılmasıyla motor torkunun da arttığını belirtmişlerdir.

5.1.2 Benzin-etanol karışım yakıtların motor güçleri

Motor gücü yakıtın yoğunluğuna, ısı değeri, yanmaya ve viskoziteye bağlı olarak değişen parametrelerden biridir.

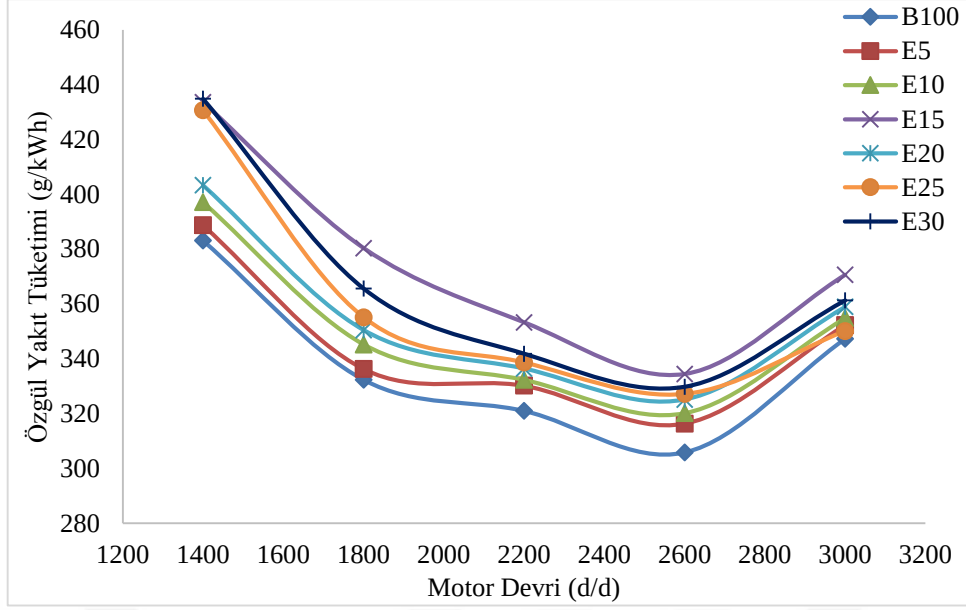


Şekil 5.1.2: Benzin ve benzin-etanol karışım yakıtlarına ait motor gücü değerlerinin motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.1.2 Motor gücünün motor devrine bağlı değişim grafiğini göstermektedir. Grafik incelendiğinde E10 ve E20 karışım yakıtları hariç diğer tüm karışım yakıtlarda motor gücünün arttığı görülmektedir. Tüm karışım yakıtların ortalaması alındığında B100 yakıtına kıyasla en fazla artış E30 yakıtıyla %1.65 olarak gerçekleşmiştir. Deney yaptığımız düzeneğe motor gücü doğrudan ölçülen bir parametre değil dolaylı hesaplanan bir parametredir. Yani motor gücü bir takım sayısal hesaplamalar yapılarak elde edilmiştir. Alkollerdeki oksijen fazlalığı yanma hızını arttırdığından motor gücünü de arttırmaktadır. Yapılan araştırmalarda, alkollerin oktan sayısının yüksek olması sıkıştırma oranı arttırılmakta buda motorun güç ve termik verimini arttırmaktadır (Poulton, 1994).

5.1.3 Benzin-etanol karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri

Motor performansını belirleyen temel parametrelerden biride özgül yakıt tüketimidir.



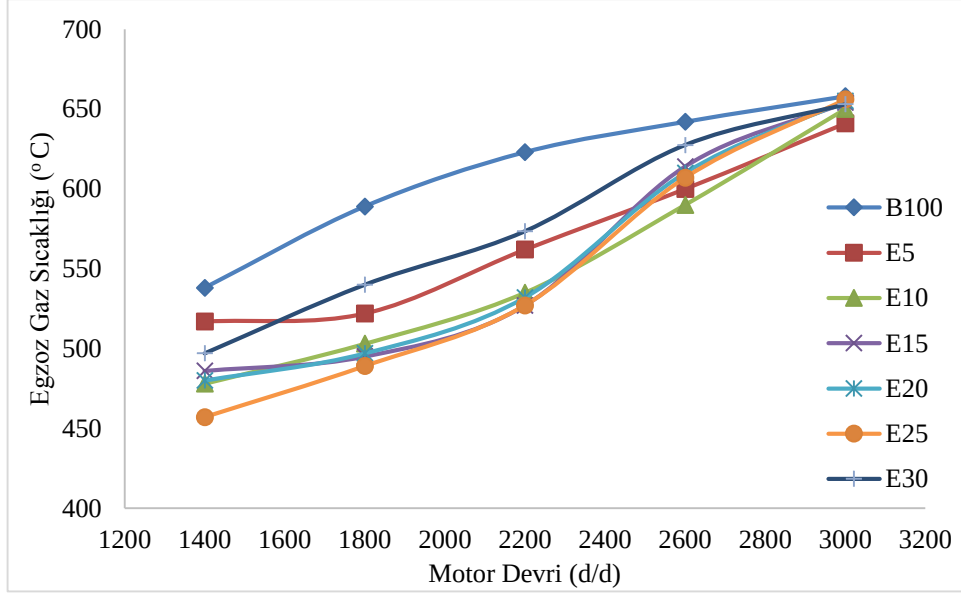
Şekil 5.1.3: Benzin ve benzin-etanol karışımlarına ait özgül yakıt tüketimi değerlerinin motor devrine bağlı değişimi

Özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı değişimi Şekil 5.1.3’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, tüm karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri benzin yakıtıyla kıyaslandığında artmıştır. Özgül yakıt tüketimindeki en fazla artış benzin yakıtına kıyasla E15 yakıtıyla %10.82 olarak gerçekleşmiştir.

Literatüre göre, karışım yakıt içerisindeki etanol oranı arttıkça özgül yakıt tüketiminde artmaktadır (Yüksel ve Yüksel 2004). Aynı şekilde yapılan çalışmalarda alkol katkıli yakıtların kullanılması, özgül yakıt tüketimini arttırmakta ve NO_x emisyonlarını ise azaltmaktadır (He ve diğ., 2003; Ceviz ve Yüksel, 2005; Abdel-Rahman ve Osman, 1997).

5.1.4 Benzin-etanol karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları

Egzoz gazı sıcaklığı (EGT), motor silindirlerindeki yanma sıcaklığının bir göstergesidir.

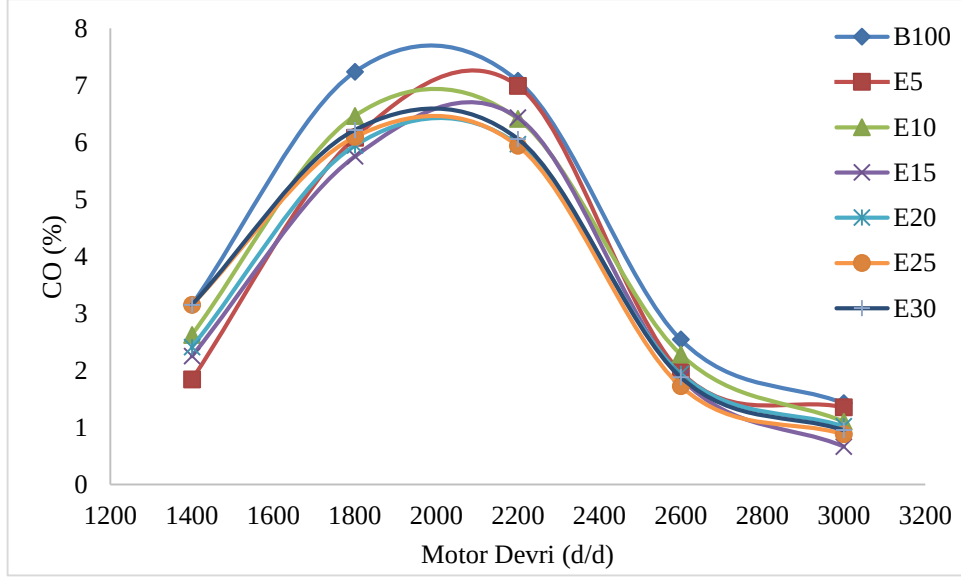


Şekil 5.1.4: Benzin ve benzin-etanol karışım yakıtlarına ait egzoz gaz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi

Egzoz gaz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi Şekil 5.1.4’da verilmiştir. Grafik incelendiğinde, tüm karışım yakıtların B100 yakıtına göre egzoz gaz sıcaklıkları düşmüştür. Benzin-etanol karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları benzin ile kıyaslandığında en fazla azalma miktarı E25 yakıtıyla %10.29 olarak gerçekleşmiştir. Bu azalmanın nedeni, motorun çalışma esnasında yeteri kadar soğumanın gerçekleşmesi ve içeri alınan taze karışım miktarındaki artmadan dolayı motor performansındaki artmadır. Elde edilen egzoz gaz sıcaklıkları sonuçları, literatürdeki bazı çalışmalar (Topgül ve diğ, 2006) ile benzerlik göstermiştir.

5.1.5 Benzin-etanol karışım yakıtların CO emisyonları

Karbonmonoksit emisyonları yakıtın kimyasal bileşiminde bulunan karbon atomu sayısı ile ilişkili olup bu emisyonlar yanma olayının tam olarak gerçekleşmemesinden kaynaklanmaktadır. CO emisyonunu etkileyen temel sebepler; λ hava fazlalık katsayısı, yanma odasında oluşan türbülans ve yakıtın moleküler yapısı şeklinde sıralanabilir. Şayet λ 1’den küçük ise yani stikometrik havadan daha az hava var ise yanma için gerekli oksijen olmayacak ve yakıtın bünyesindeki C’nun tümü CO₂’ye dönüşemeyecek ve CO olarak kalacaktır (Wu ve diğ, 2004).



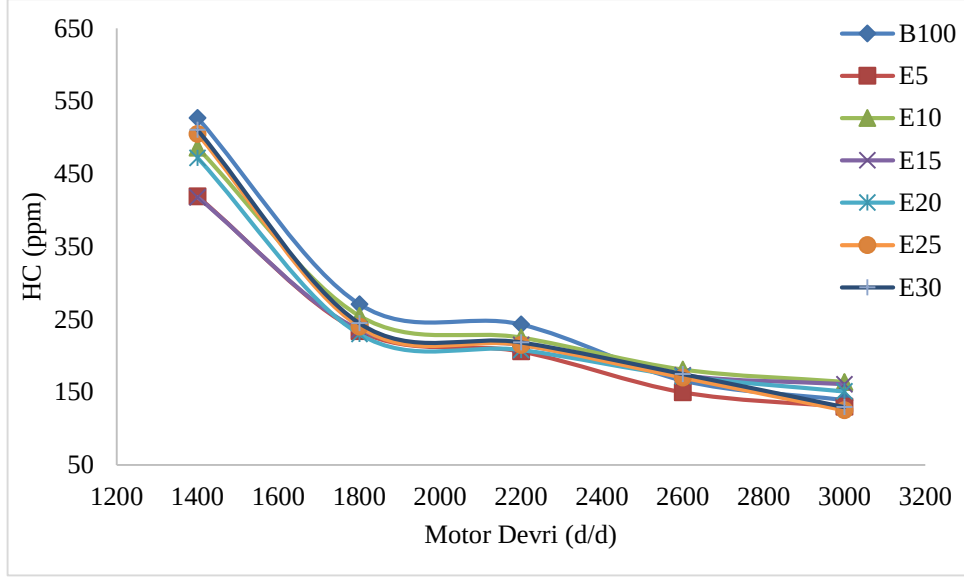
Şekil 5.1.5: Benzin ve benzin-etanol karışım yakıtlarına ait CO emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi

Karbonmonoksit emisyonları yakıtın kimyasal bileşiminde bulunan C atomu sayısı ile ilişkili olup bu emisyonlar eksik yanmadan veya yanma olayının tam olarak gerçekleşmemesinden kaynaklanmaktadır. Etanol-benzin karışım yakıtların karbonmonoksit emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi Şekil 5.1.5’de verilmiştir. Karışım yakıtların CO emisyonları saf benzinin CO emisyonları ile kıyaslandığında, bütün motor devirlerinde karışım yakıtların CO emisyonları benzine göre azalmıştır. CO emisyonlarının ortalaması alındığında, benzin yakıtına kıyasla en fazla düşüş, % 20.83 oranıyla E15 yakıtında meydana gelmiştir.

Yapılan çalışmalarda, karışım yakıt içerisindeki etanol miktarının artmasıyla CO emisyonlarında kayda değer azalmalar olmaktadır (He ve diğ, 2003; İmrağ, 2006; Mourad ve Mahmoud, 2018).

5.1.6 Benzin-etanol karışım yakıtların HC emisyonları

HC emisyonları yanmamış veya eksik yanma sonucu oluşan hidrokarbon yakıtlardan meydana gelmektedir.



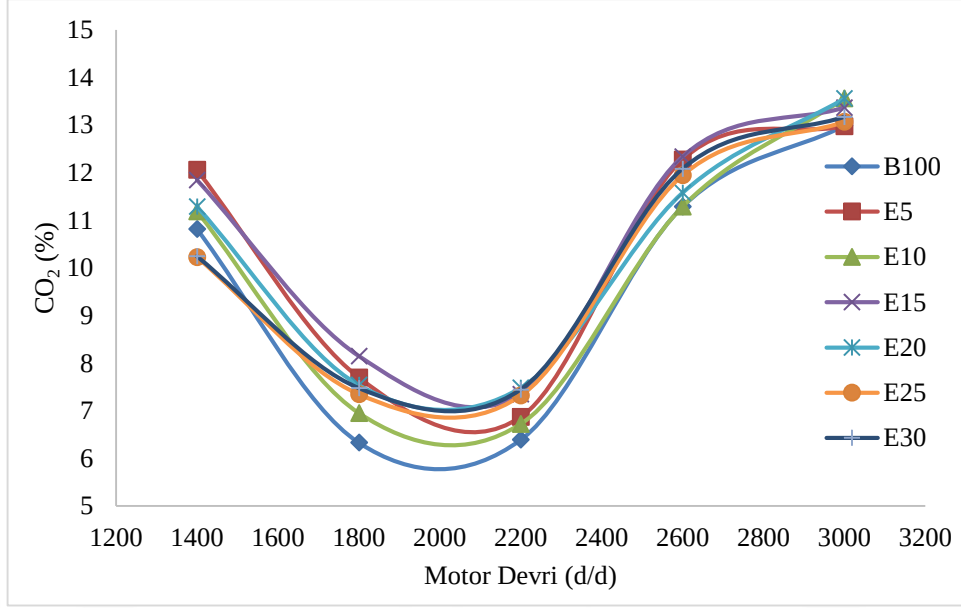
Şekil 5.1.6: Benzin ve benzin-etanol karışım yakıtlarına ait HC emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.1.6 motor devrine bağlı olarak karışım yakıtların HC emisyonu grafiğini göstermektedir. Grafik incelendiğinde, karışım yakıtların HC emisyonları benzin yakıtına kıyasla düşmüştür. Tüm karışım yakıtların ortalaması alındığında benzin yakıtına kıyasla en fazla azalma E5 yakıtıyla %19.09 oranında gerçekleşmiştir. HC emisyonunda diğer emisyonlar gibi eksik yanmadan kaynaklanan emisyonlardır.

Yapılan literatür çalışmalarında, HC emisyonları etanol- kurşunsuz benzin karışım yakıtının kullanılmasıyla azalırken, fren özgül yakıt tüketimi ise artmıştır (Altun ve diğ, 2013).

5.1.7 Benzin-etanol karışım yakıtların CO₂ emisyonları

Karbondioksit emisyonu içeriğinde karbon bulunduran yakıtların tam olarak yanması sonucu oluşan aynı zamanda küresel ısınmaya sebep olan emisyonlardan biridir. Yanma tam olarak gerçekleştiğinden yanma verimi artar ve yapıdaki karbonların çoğunluğu CO₂'ye dönüştürülür.



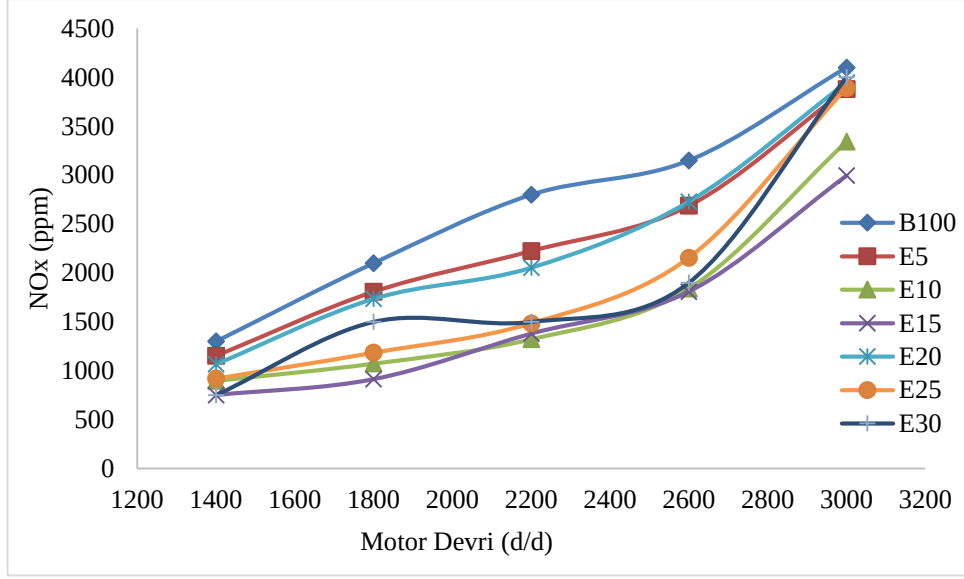
Şekil 5.1.7: Benzin ve benzin-etanol karışım yakıtlarına ait CO₂ emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi

Karbondioksit emisyonu, içeriğinde karbon bulunduran yakıtların tam olarak yanması sonucu oluşan aynı zamanda küresel ısınmaya sebep olan emisyonlardan biridir. Motor hızına bağlı olarak CO₂ emisyon grafiği Şekil 5.1.7’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde E5, E15, E30 karışım yakıtların CO₂ emisyonları benzin yakıtına göre artarken E10, E20, E25 karışım yakıtlarının CO₂ emisyonları ise benzin yakıtına göre azalmıştır. Tüm motor devrilerinin ortalaması alındığında benzin yakıtına kıyasla en fazla artış E15 yakıtıyla %10.95 olarak gerçekleşti.

Deneylerde CO₂ emisyonuyla ilgili elde edilen değerler, Literatürle (Çelik ve diğ., 2011), benzer sonuçlar göstermektedir. Çelik ve diğ. (2011), yaptıkları çalışmada tutuşma veriminin (TV) artmasıyla karbonmonoksit emisyonunun azalırken, karbondioksit emisyonunun arttığı tespit edilmişlerdir.

5.1.8 Benzin-etanol karışım yakıtların NO_x emisyonları

NO_x emisyonunun oluşumu yanma odasında yanma sonu sıcaklığına (1800°K) ve bu sıcaklıkta kalma süresine bağlı olarak değişmektedir. Azot oksit emisyonunun oluşumuna sebep olan iki temel parametre yanma odası sıcaklığı ve hava-yakıt oranıdır. Hava içerisindeki azot elementinin yüksek sıcaklıkta oksitlenmesiyle azot oksit emisyonu oluşur.



Şekil 5.1.8: Benzin ve benzin-etanol karışım yakıtlarına ait NO_x emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi

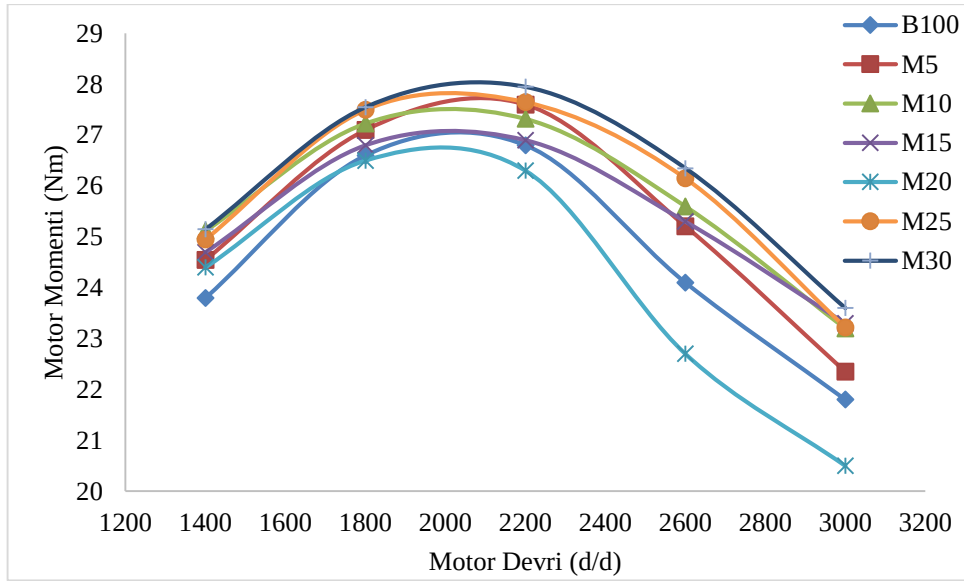
Motor devrine bağlı olarak NO_x emisyonunun değişim grafiği Şekil 5.1.8’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi tüm karışım yakıtların NO_x emisyonları, motor hızına bağlı olarak artmıştır ancak saf benzine göre azalmıştır.

Literatürde yapılan çalışmaların bir kısmında benzin yakıtına etanol ilave edilmesiyle veya karışım yakıt içerisindeki etanol miktarının artırılmasıyla, benzin yakıtına göre NO_x emisyonunun azaldığı belirtilmiştir (Akansu ve diğ, 2017; Al-Baghdadi ve diğ, 2000; Al-Baghdadi, 2001; Al-Baghdadi, 2002; Bechtold, 1997; Çelik ve diğ, 2011; Doğan ve diğ, 2017; Eyidoğan, 2009; Hasan ve diğ, 2018; Hüttebräucker, 1992; Kumar ve Nagarajan, 2009; Masum ve diğ, 2013; Sato ve diğ, 1997; Yasar, 2010).

5.2 Benzin-Metanol Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri

5.2.1 Benzin-metanol karışım yakıtların motor momentleri

İlk hareket ve düşük motor devirlerinde motor momentinin yüksek olması taşıtın direnç kuvvetlerini yenerek çabucak hareket etmesine olanak sağlar.



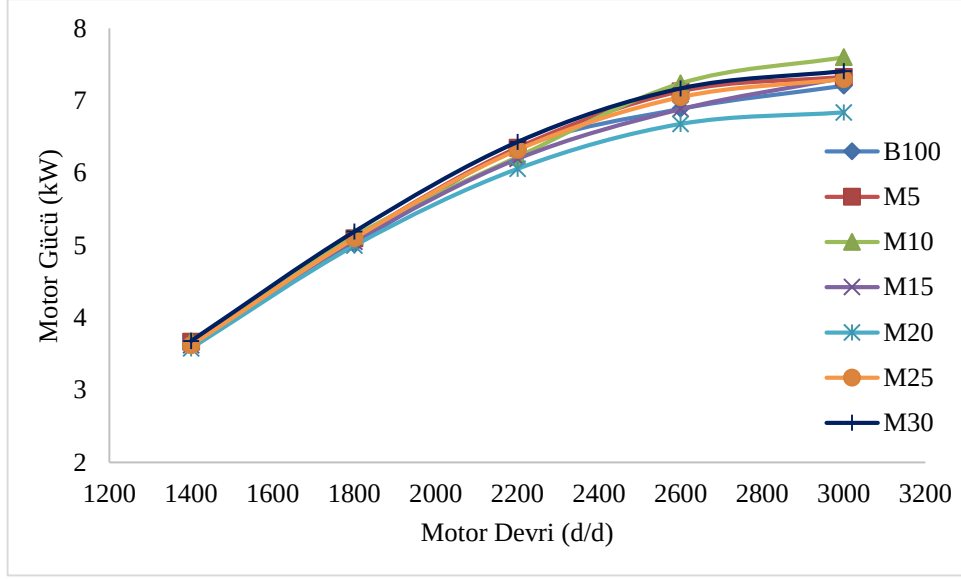
Şekil 5.2.1: Benzin ve benzin-metanol karışım yakıtlarına ait motor momentlerinin motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.2.1’de motor hızına bağlı olarak test yakıtların motor momentleri değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde M20 karışım yakıt hariç diğer tüm karışım yakıtların benzin yakıtına göre motor momentleri artmıştır. M20 karışım yakıtının motor momentinin düşük çıkmasının nedeni, yanma kötüleştiğinden motordan istenilen verim elde edilemediğinden veya motorun çalışma şartlarına uygun bir yakıt olmadığı şeklinde yorumlanabilir. Alkollerin hem gizli buharlaşma ısıları ve oksijen içeriğinin yüksek olması hemde volümetrik verimin iyileşmesinden dolayı karışım yakıtların benzine göre motor momenti daha yüksektir.

Literatüre göre, alkol-benzin karışım yakıtlarıyla yapılan çalışmalarda yüksek oktan sayısına sahip olan alkoller, tutuşma gecikmesinden dolayı silindirlerdeki ısı transferi miktarının azalmasından dolayı, benzine kıyasla alkol katkılı yakıtların motor momenti artmaktadır (Masum ve diğ, 2014).

5.2.2 Benzin-metanol karışım yakıtların motor güçleri

Benzinli ve dizel motorlardan elde edilen güç, motor silindirindeki yakıtın belli oranlardaki hava ile karıştırılarak yakılmasıyla elde edilmektedir. Motor performansının artması, silindir içerisindeki yanmanın kısa zamanda verimli bir şekilde oluşmasına bağlıdır.



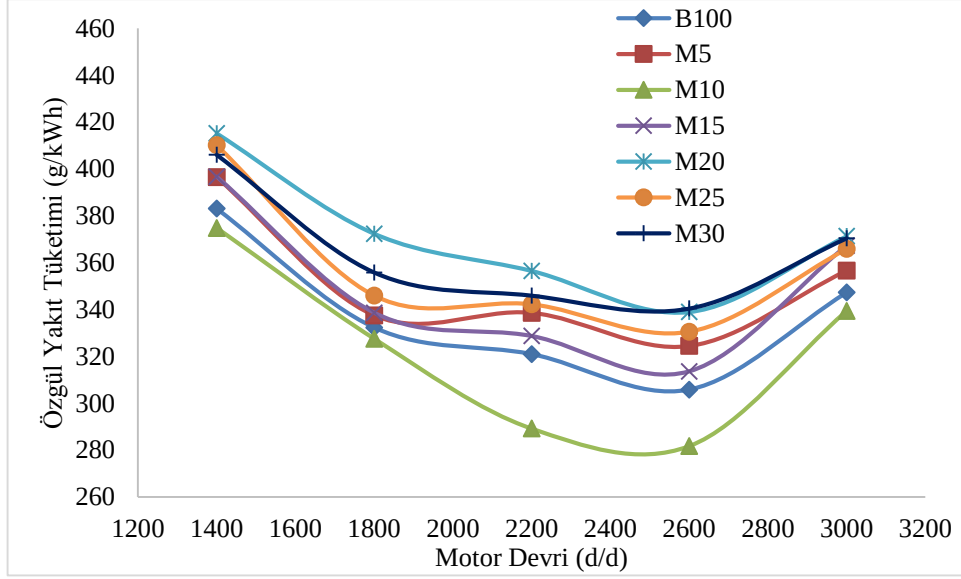
Şekil 5.2.2: Benzin ve benzin-metanol karışım yakıtlarına ait motor güçlerinin motor devrine bağlı değişimi

Benzinli ve dizel motorlardan elde edilen güç, motor silindirindeki yakıtın belli oranlardaki hava ile karıştırılarak yakılmasıyla elde edilmektedir. Motor performansının artması, silindir içerisindeki yanma olayının çok kısa bir zaman diliminde ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine bağlıdır. Motor devrine bağlı motor güç grafiği Şekil 5.2.2’de verilmiştir. Tüm motor devirlerinin ortalaması alınıp benzin-metanol karışım yakıtların motor güçleri benzin ile çalışan motorun gücü ile kıyaslandığında B100 yakıtına göre en yüksek güç değeri M10 karışım yakıtıyla meydana gelmiştir. Bununla beraber, M20 karışım yakıtı hariç diğer tüm karışım yakıtların B100 yakıtına göre motor güçleri artmıştır.

Yapılan çalışmalarda, benzine metanol ilave edilerek Çelik ve diğ. (2011), tarafından yapılan çalışmada benzin-metanol karışım yakıtlarının olumlu sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Buda deneysel çalışmada motor gücü ile ilgili bulunan sonuçları desteklemektedir.

5.2.3 Benzin-metanol karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri

Özgül yakıt tüketimi; otomotiv imalatçıları, mühendisleri ve tüketicileri tarafından çok önemsenmektedir. Her sürücü aracının en az yakıtla en fazla yol gitmesini ister.



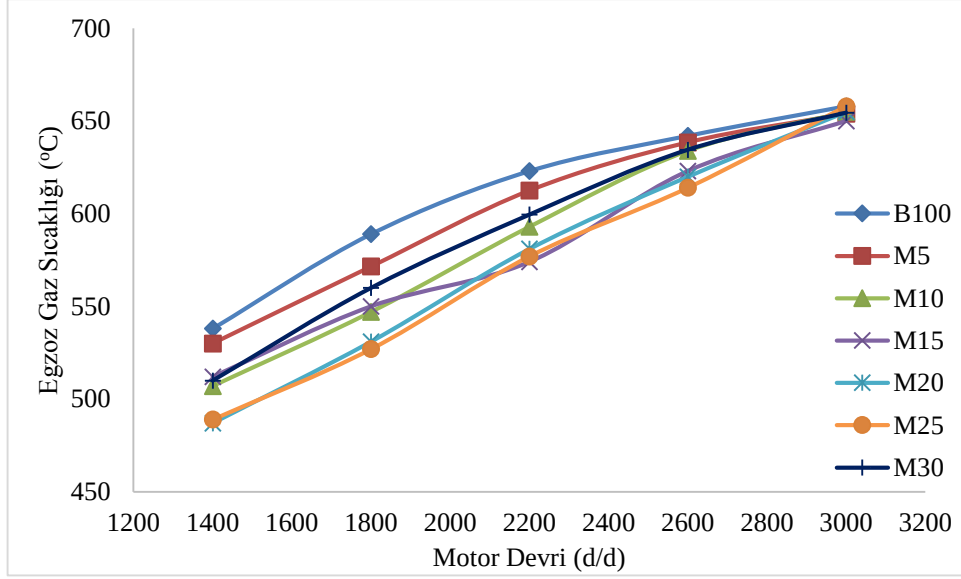
Şekil 5.2.3: Benzin ve benzin-metanol karışım yakıtlarına ait özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi

Hem motor performansını iyileştirmek hem de taşıt kaynaklı emisyonları azaltmak amacıyla saf benzine metanol ilave edilerek oluşturulan karışım yakıtların benzinli bir motorda test edilmesi ile elde edilen özgül yakıt tüketimi sonuçları, Şekil 5.2.3’de motor hızına bağlı değişim grafiğinde verilmiştir. Grafikte Benzin-metanol karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri B100 yakıtlı motorun özgül yakıt tüketim değerleriyle kıyaslandığında en fazla özgül yakıt tüketimi M20 yakıtıyla elde edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda (Balki ve Sayin, 2014b), etanol ve metanol katkılı benzin karışım yakıtların fren efektif verimi ve fren özgül yakıt tüketimi değerlerinin benzine kıyasla arttırdığını belirtmişlerdir. Bu sonuç deneylerde özgül yakıt tüketimi ile ilgili elde edilen sonuçları desteklemektedir.

5.2.4 Benzin-metanol karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları

Egzoz gaz sıcaklığı hava-yakıt oranının bir fonksiyonudur. Egzoz gazı, motor içerisine alınan yakıtın silindir içerisinde yakıldıktan sonra egzoz manifoldu vasıtasıyla atmosfere atılan gazdır. İçten yanmalı motorlar çalışırken soğutulması içeri alınan taze karışım miktarı arttığından motor performansı da artar.



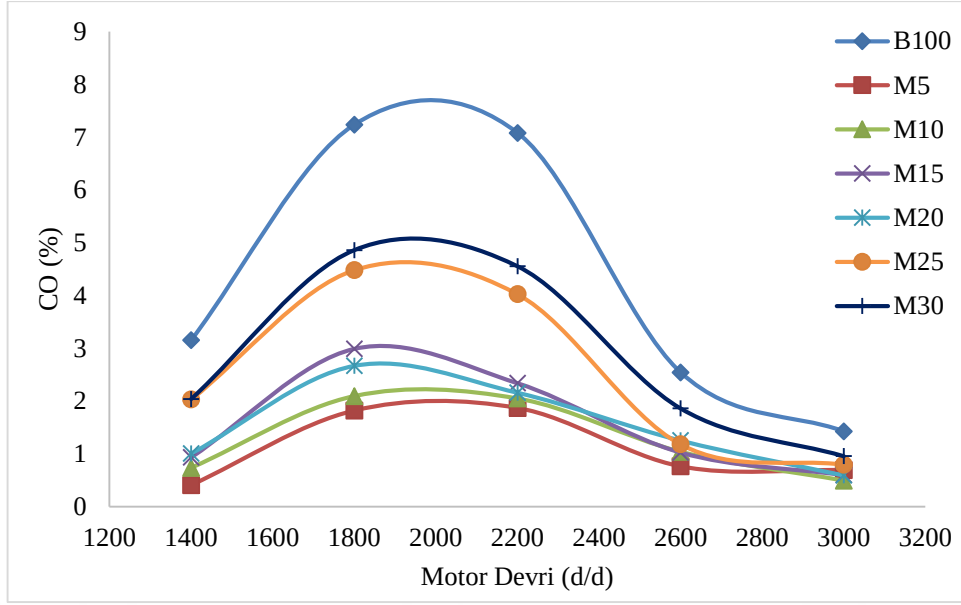
Şekil 5.2.4: Benzin ve benzin-metanol karışım yakıtlarına ait egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi

Motor performansının iyi olmasının sebeplerinden biride egzoz gaz sıcaklığının düşük olmasıdır. . İçten yanmalı motor performansının iyileştirilmesi, motorun çalışması ile artan sıcaklığın düşürülmesi silindir içerisine alınan taze dolgu miktarının artması ile mümkündür. Şekil 5.2.4, egzoz gaz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimini göstermektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi tüm karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklığı benzin yakıtına kıyasla azalmıştır.

Egzoz gaz sıcaklığıyla ilgili olarak elde edilen deney sonuçlarında, literatüre göre, (Alasfour, 1997) benzer sonuçlara ulaşılmaktadır. Alkollerin benzine ilave edilmesi EGT'yi azaltır. Bu da alkollerin buharlaşma gizli ısılarının yüksek ve ısı değerlerinin düşük olmasına bağlanmıştır.

5.2.5 Benzin-metanol karışım yakıtların CO emisyonları

Hem fosil yakıtlara eklenen alkollerdeki oksijene bağlı yanmanın iyileşmesi hem de artan motor devri ile tam yanma sürecinin oluşması nedeniyle CO emisyonları azalmaktadır.



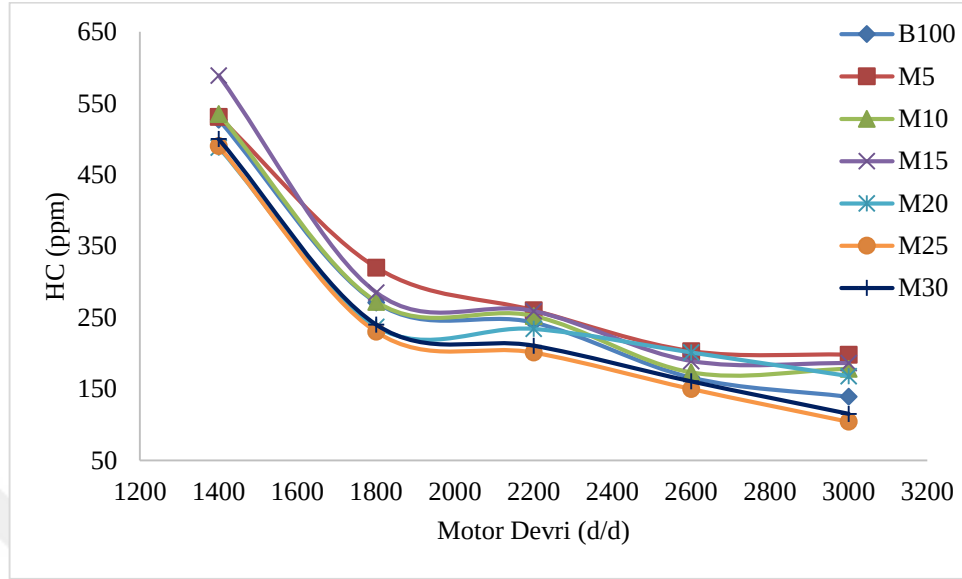
Şekil 5.2.5: Benzin ve benzin-metanol karışım yakıtlarına ait CO emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi

CO emisyonu, yakıtın tam olarak yanmaması veya eksik yanma sonucu oluşan çevreye zararlı bir emisyondur. Çevre ve canlılar üzerinde olumsuz etki oluşturan bu emisyonun azaltılması iyi bir yanmanın oluşturulması ile sağlanabilir. Alkoller, yanmayı iyileştirerek CO emisyonunu azaltan katkı maddeleridir. Hem fosil yakıtlara eklenen alkollerdeki oksijene bağlı yanmanın iyileşmesi hem de artan motor devri ile tam yanma sürecinin oluşması nedeniyle CO emisyonları azalmaktadır. Şekil 5.2.5’de motor hızına bağlı olarak test yakıtların CO emisyonu değişimleri verilmiştir. CO emisyon grafiği incelendiğinde tüm motor hızlarında karışım yakıtların CO emisyonu, benzin yakıtına göre düşmüştür. Yapılan araştırmalara göre, yakıtlara katılan alkollerin yapılarında oksijen bulundurmaları sayesinde yanmanın iyileştiği dolayısıyla CO emisyonunda azalma meydana geldiği belirtilmektedir (Najafi ve diğ, 2015; Mallikarjun ve Mamilla, 2009). Bu da deneylerde bulunan sonuçları desteklemektedir.

5.2.6 Benzin-metanol karışım yakıtların HC emisyonları

Sıkıştırma oranının yanma üzerinde meydana getirdiği etkiler emisyon miktarını değiştirmektedir. HC emisyonlarının oluşumunda en önemli faktörlerden biri yanma odasının yüzey alanıdır. Silindir içerisindeki yakıtın yanması, yanma odası içinde gerçekleşmekte ve yanma sırasında ortaya çıkan alev yüzeye yakın bölgelerde hem soğumakta hem de sönmektedir. Bu olay yanmamış HC emisyonu oluşturur ve egzozla

atmosfere atılır. HC emisyonu diğer emisyonlar gibi eksik yanma sonucu meydana gelmektedir.



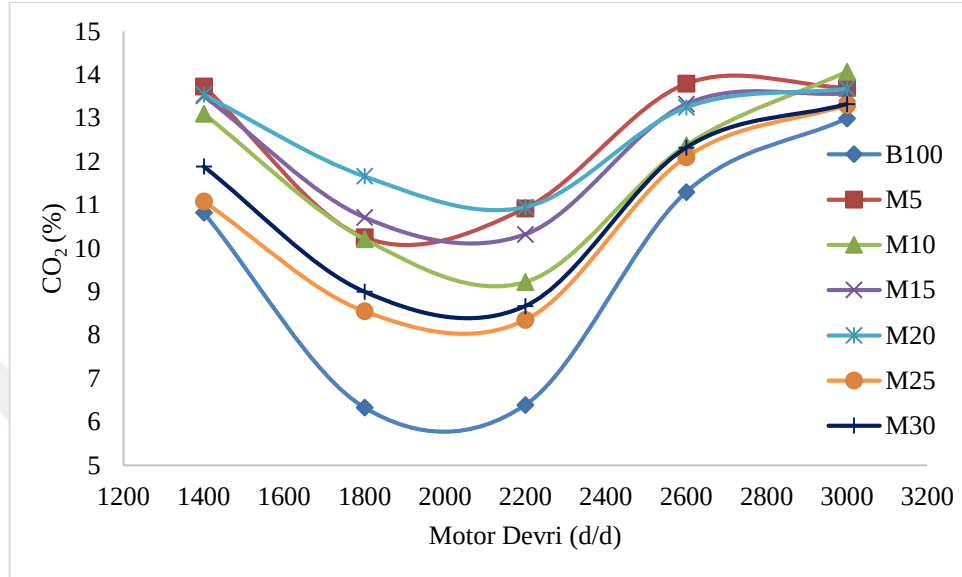
Şekil 5.2.6: Benzin ve benzin-metanol karışım yakıtlarına ait HC emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi

Sıkıştırma oranı ve yanma odası yüzeyi, yanmanın gerçekleşmesinde ve meydana gelen emisyonlar üzerinde önemli bir etkisi vardır. HC emisyonlarının oluşumunda en önemli faktörlerden biri yanma odasının yüzey alanıdır. Silindir içerisindeki yakıtın yanması, yanma odası içinde gerçekleşmekte ve yanma sırasında ortaya çıkan alev yüzeye yakın bölgelerde hem soğumakta hem de sönmektedir. Bu olay yanmanın tam olarak gerçekleşmemesine ve yakıt olarak isimlendirilen hidrokarbonların yanmadan egzoz yardımıyla atmosfere atılmasına sebep olmaktadır. Yanmamış hidrokarbon emisyonları, diğer emisyonlar gibi eksik yanma sonucu meydana gelen emisyonlar olup test yakıtlarına ait HC emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi Şekil 5.2.6’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, artan motor hızına bağlı olarak tüm test yakıtlarının HC emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. Tüm motor devirlerinin ortalaması alındığında, benzin yakıtına kıyasla M5, M10, M15 karışım yakıtlarının HC emisyonlarında bir artma meydana gelirken, M20, M25, M30 karışım yakıtlarının ise HC emisyonları düşmüştür.

Yapılan deneysel çalışmada, HC emisyonu ile ilgili bulunan sonuçlar literatürde (Shayan ve diğ. (2011), yapılan çalışmalarla benzerlik göstermiştir. Shayan ve diğ. (2011), karışım yakıt içerisindeki metanol içeriğinin artmasıyla CO ve HC emisyonlarının azaldığı ancak CO₂ ve NO_x emisyonlarının ise arttığını tespit etmişlerdir.

5.2.7 Benzin-metanol karışım yakıtların CO₂ emisyonları

Karbondiyoksit emisyonu küresel ısınmaya sebep olan emisyonlar arasındadır. Motorlu araçlarda kullanılan fosil yakıtların neden olduğu karbondiyoksit emisyonunun sebeplerinden biri de tam yanmadır.



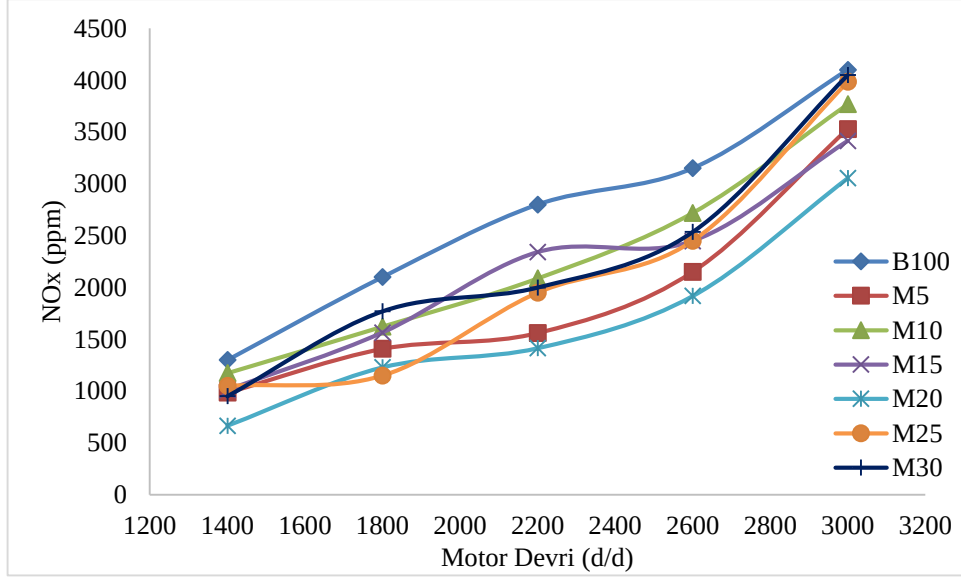
Şekil 5.2.7: Benzin ve benzin-metanol karışım yakıtlarına ait CO₂ emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi

Tam yanma ürünü olan CO₂ emisyonu sera gazlarına sebep olan emisyonlardan biridir. Şekil 5.2.7 karbondiyoksit emisyonunun motor hızına bağlı değişimini göstermektedir. İçten yanmalı motorlarda kullanılan geleneksel yakıtlara alkol ilavesi, iyileştirilmiş yanma nedeniyle CO₂ emisyonlarını artırmaktadır. CO₂ emisyonu tüm motor hızlarında benzin yakıtına göre artmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalar (Ağbulut, 2021), deneylerde elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermiştir.

5.2.8 Benzin-metanol karışım yakıtların NO_x emisyonları

NO_x emisyonu hem silindir içi sıcaklıkla hem de yanma odasındaki oksijen fazlalığıyla oluşan bir emisyondur. NO_x emisyonları, silindir içerisindeki sıcaklık 1500 °C-1600 °C dereceye çıkmasıyla çok fazla artış göstermektedir.



Şekil 5.2.8: Benzin ve benzin-metanol karışım yakıtlarına ait NO_x emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.2.8, NO_x emisyonunun motor devrine bağlı değişimini göstermektedir. Tüm karışım yakıtların NO_x emisyonları benzin yakıtına kıyasla düşmüştür.

Alkol kökenli yakıt olan metanol, benzine göre buharlaşma gizli ısısı daha yüksek olduğundan dolayı emme zamanının sonunda yanma sıcaklığını düşürmekte ve bu da NO_x emisyonlarının düşmesine sebep olmaktadır (Agarwal ve diğ, 2014). İçten yanmalı motorlarda metanol kullanımıyla NO_x emisyonlarının azaldığına dair yapılan çalışmalarda görmek mümkündür (Wu ve diğ, 2016; Canakci ve diğ, 2013).

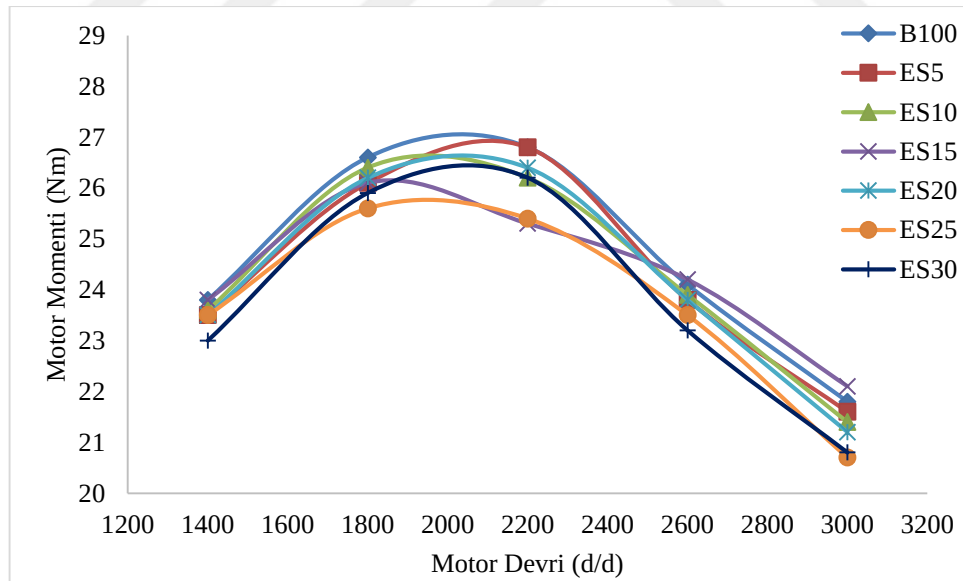
5.3 NaBH₄ Katkılı Etanol-Benzin Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri

İçten yanmalı motorların performansını iyileştirmek ve taşıt kaynaklı zararlı emisyonları düşürmek amacıyla kullanılan yakıt katkı maddesi türlerinden biride nano boyutlu partiküllerdir. Son zamanlarda mühendislik uygulamalarının birçok alanında kullanılan bu partiküllerin bir kullanım alanında içten yanmalı motorların performansını iyileştirmek ve taşıt kaynaklı zararlı emisyonları düşürmektir. Nano boyutlu bu partiküller yalnız başına konvansiyonel yakıtlara ilave edildiği gibi alkoller içerisinde çözündürülerek ikili katkı maddesi olarak değerlendirilebilmektedir. Yakıt katkı maddesi olarak kullanılan metalik nanopartiküller, yakıtın ısı transfer oranını artırarak tutuşma gecikmesini kısaltırlar. Böylece yakıtın yanma özelliklerindeki iyileşme egzoz emisyonlarının azalmasına ve termal verimin artmasına katkı sağlar. Ayrıca, Al₂O₃, CeO₂, MgO, TiO₂, CuO, ZrO₂, ZnO vb. gibi

oksijenli nano boyutlu partiküller yanma sırasında ekstra oksijen sağlayarak tam yanmaya yardımcı olurlar. Tam yanmanın meydana gelmesi, hem zararlı egzoz emisyonlarını önemli ölçüde düşürür hem de motor performans özelliklerini iyileştirir. Nano partiküllü yakıt katkı maddelerinin diğer bir avantajı ise yakıt içindeki yuvarlama etkisinden dolayı yağlayıcı bir etki oluşturmaktır (Khan ve diğ, 2022). Hidrojen içerikli NaBH_4 ile oksijen içerikli alkoller (etanol ve metanol) benzine ilave edilerek oluşturulan karışım yakıtların benzinli motorda test edilmesi ile elde edilen sonuçlar kullânılarak motor performans ve emisyon parametreleri belirlenerek ekte verilen grafiklere aktarılmış ve yorumlanmıştır. Grafiklerden de görüleceği gibi hidrojen ve oksijen taşıyıcıları olarak görev yapan NaBH_4 katkılı alkoller bir taraftan motor performansını iyileştirirken diğer taraftan zararlı egzoz emisyonlarının azalmasına katkıda bulunmuştur.

5.3.1 Sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların motor momentleri

Motor torku ve gücündeki azalmalar, karışım yakıtların silindir içerisinde yanarken hem hacimsel verimliliğin azalmasından hem de mekanik kayıpların artmasından kaynaklanmaktadır.



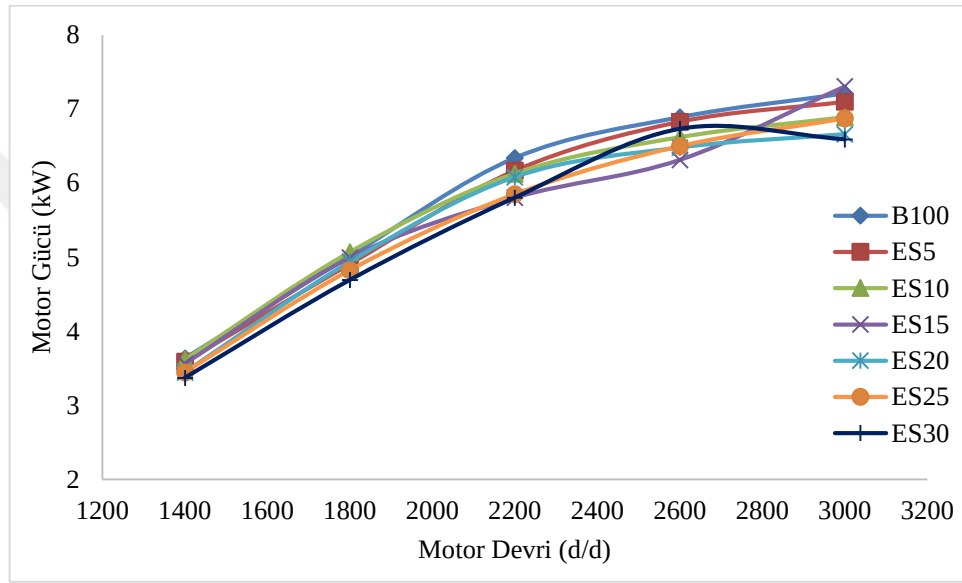
Şekil 5.3.1: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların motor momentlerinin motor devrine bağlı değişimi

Motor momentinin motor hızına bağlı değişim grafiği Şekil 5.3.1’de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, NaBH_4 katkılı etanol-benzin karışımli yakıtların motor momentleri benzin yakıtına kıyasla düşmüştür. Benzin ile çalışan motor torkuna en yakın motor torku ES5 karışım yakıtı ile elde edilmiştir.

Deneyler sonucunda elde edilen motor moment değerleriyle literatürde yapılan bazı çalışmalar, benzer sonuçlar göstermiştir (Costa ve Sodre, 2011).

5.3.2 Sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların motor güçleri

Buji ateşlemeli motorlarda oktan sayısı motor performansını etkileyen önemli bir unsurdur. Motor gücündeki azalmanın diğer bir nedeni ise hidrokarbonlardaki düz zincir yapısına sahip parafin grubu hidrokarbonların oktan sayısını düşürücü etkisidir (Yücesu ve diğ, 2006).

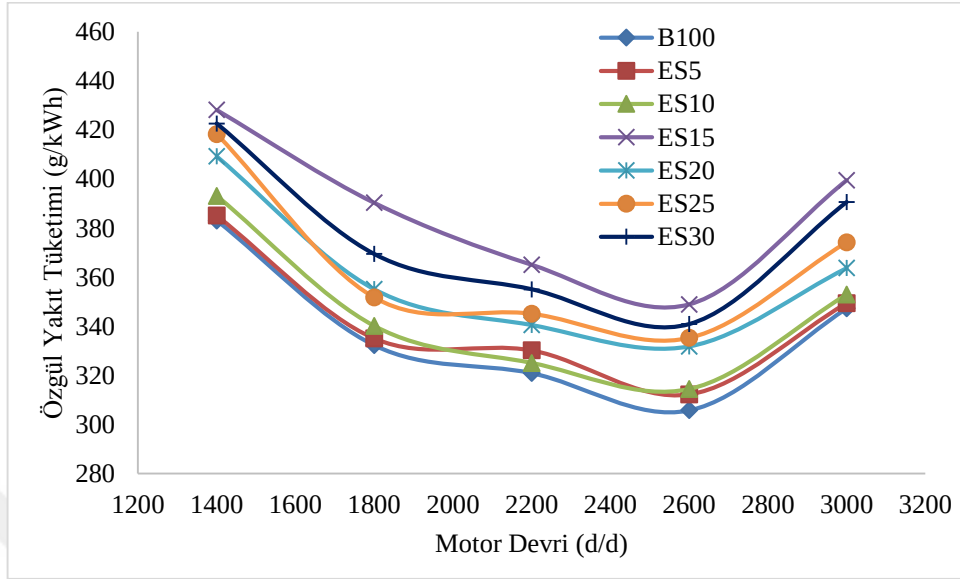


Şekil 5.3.2: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların motor güçlerinin motor devrine bağlı değişimi

Motor devri arttıkça, motor momenti belli bir devir sayısına kadar artmakta daha sonra azalmakta ve motor gücü artmaktadır. Motor gücünün motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 5.3.2’de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde bütün motor devirlerinde B100 yakıtına kıyasla motor gücü düşmüştür. Bu düşüş sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların mekanik kayıplarından ve hacimsel verimliliğin azalmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Özgül yakıt tüketimiyle ilgili deneylerde elde edilen sonuçlar, literatürdeki çalışmalarla (Al-Baghdadi, 2000), benzerlik göstermiştir.

5.3.3 Sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri

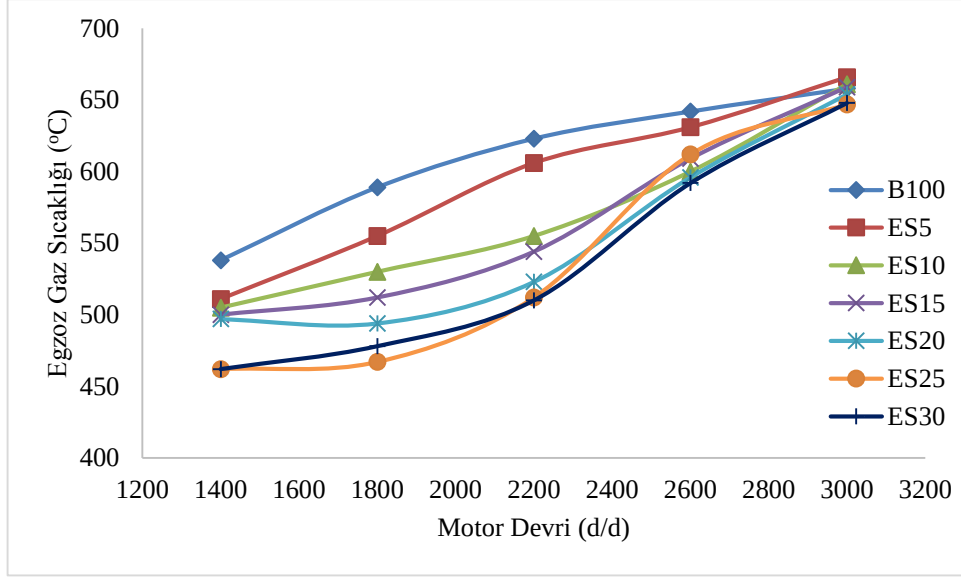


Şekil 5.3.3: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların özgül yakıt tüketimlerinin motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.3.3 motor devrine bağlı olarak, özgül yakıt tüketimindeki değişimi göstermektedir. Şekilden de belirtildiği gibi tüm karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri B100 yakıtına göre artmıştır. Sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların özgül yakıt tüketimlerinin benzin yakıtına göre fazla çıkmasının nedeni, karışım yakıtların viskozitesi, yoğunluğu ve alt ısı değerinin B100 yakıtına göre yüksek olması olarak düşünülebilir. Yapılan bilimsel çalışmalarda bu sonuç desteklenmektedir (Yüksel ve Yüksel, 2004).

5.3.4 Sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları

Egzoz gazı, silindir içerisine alınan hava yakıt karışımının yanması sonucu oluşan gazın egzoz manifoldu vasıtasıyla dışarıya verilmesidir.



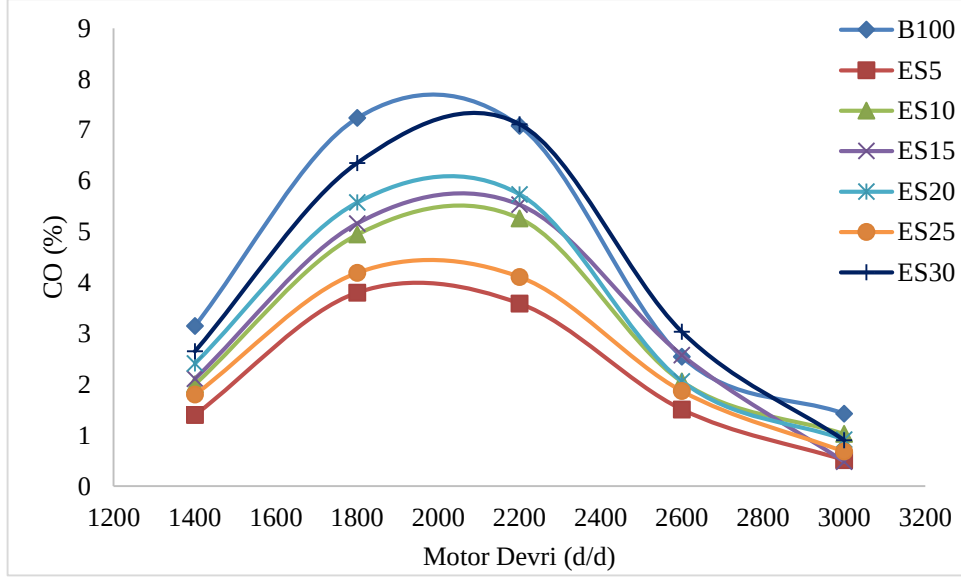
Şekil 5.3.4: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi

Egzoz gazı, silindir içerisine alınan hava yakıt karışımının yanması sonucu oluşan gazın egzoz manifoldu vasıtasıyla dışarıya verilmesidir. Egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi Şekil 5.3.4’de gösterilmiştir. Tüm karışım yakıtların egzoz sıcaklıkları B100 yakıtına göre düşmüştür. Bununla beraber motor devrinin artmasıyla yanmış gazların silindir duvarı ile temas süresi azaldığından egzoz gazları ile daha fazla enerji açığa çıkmakta ve bu nedenle tüm test yakıtları için motor devrinin artmasıyla egzoz gazı sıcaklıkları yükselmiştir. En yüksek egzoz gazı sıcaklığı saf benzinde meydana gelirken, en düşük egzoz gazı sıcaklığı ES30 karışım yakıtta meydana gelmiştir. Bunun nedeni sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların oktan sayılarının benzin yakıtına göre yüksek olmasından dolayı yanmanın iyi olmasıdır.

Karışım yakıttaki etanol miktarına bağlı olarak egzoz sıcaklığının düştüğünü, kurşunsuz benzinin etanol ile karıştırılmasının, ısının işe dönüştürülmesinde daha verimli olması nedeniyle fren torkunu artırdığını, bunun aynı zamanda egzoz sıcaklığını da düşürdüğünü tespit etmişlerdir (Topgül ve diğ., 2006).

5.3.5 Sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların CO emisyonları

CO emisyonu tam yanmama sonucu oluşan zararlı egzoz emisyonlarından biridir. CO emisyonu, benzin yakıtına katkı maddesi olarak eklenen sodyum borhidrür sayesinde benzin yakıtına kıyasla düşmüştür.



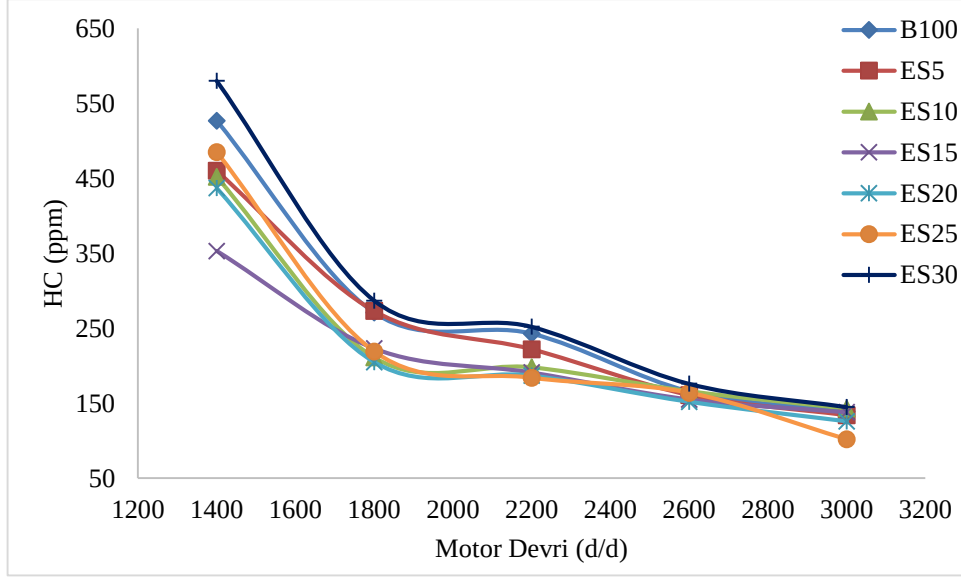
Şekil 5.3.5: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların CO emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi

Araçlardan kaynaklanan emisyonlar motor devri, yanma odası şekli, hava-yakıt oranı ve yakıt türü gibi birçok parametreye bağlı olarak değişebilmektedir. Yanma ürünleri arasında karbon monoksit emisyonunun varlığının temel nedeni oksijen eksikliğidir. Ancak ateşleme için yeterli sürenin olmaması ve silindirdeki alev cephelerinin kısmen sönmesi nedeniyle karbon monoksit emisyonlarında artış olabilir (Yakın ve Behçet, 2021; Polat, 2016). Ayrıca, yüksek buharlaşma ısısına sahip olan etanol taze karışım üzerinde soğutucu etki oluşturduğu için motorun volümetrik verimini artırmaktadır.

Şekil 5.3.5 motor devrine bağlı olarak karbon monoksit emisyonlarının değişimi verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi, saf benzine NaBH_4 katkılı etanolün ilavesi tüm motor devirlerinde karbon monoksit emisyonlarını azaltmıştır. NaBH_4 katkılı karışım yakıtlardaki hidrojen ve oksijen sayesinde yanma iyileşmiş ve karbon monoksit emisyonları azalmıştır. Tüm motor devirlerinin ortalaması alınıp karışım yakıtlı motorun CO emisyonları saf benzin ile karşılaştırıldığında, en fazla düşüş ES5 karışım yakıtıyla gerçekleşti. Karışım yakıtlarının benzin yakıtına göre daha düşük CO emisyonu vermesinin nedeni, sodyum borhidrürün yapısında bulunan hidrojen nedeniyle yanmanın benzin yakıtından daha iyi gerçekleştiği şeklinde yorumlanabilir.

5.3.6 Sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların HC emisyonları

Taşıt kaynaklı zararlı egzoz emisyonlarından biride HC emisyonlarıdır.



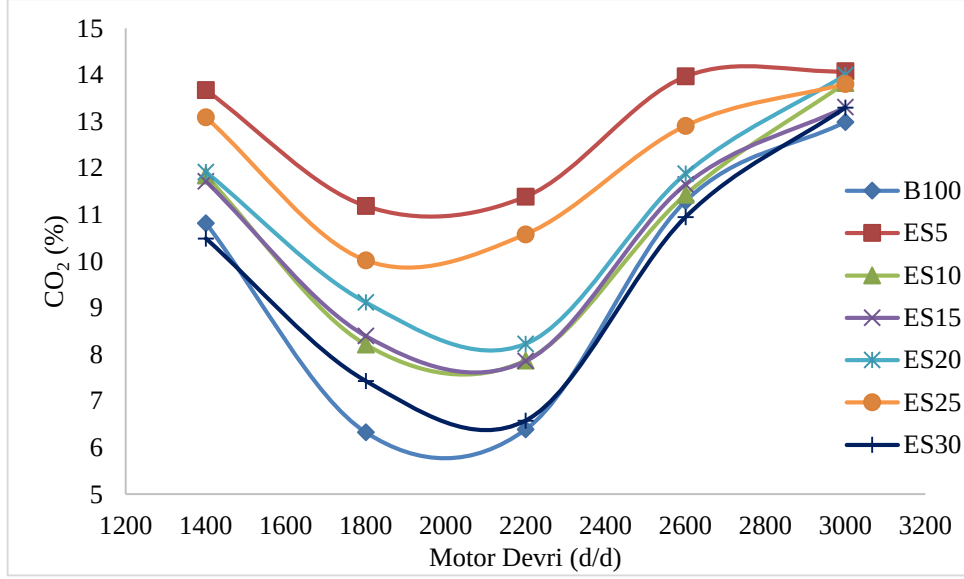
Şekil 5.3.6: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların HC emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.3.6 motor hızına bağlı olarak HC emisyon grafiğini göstermektedir. Grafik incelendiğinde ES30 yakıtı hariç diğer tüm karışım yakıtlar bütün motor devirlerinde benzin yakıtına kıyasla düşmüştür. Sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların HC emisyonlarının düşmesinin sebebi, NaBH_4 katkılı etanolün yapısında bulundurduğu oksijen ve hidrojen miktarının yanmayı iyileştirmesi olarak yorumlanabilir.

Benzin-etanol karışımının benzinli motorlarda yakıt olarak değerlendirilmesi ile ateşleme zamanı gecikmekte ve HC emisyonları azalabilmektedir (Topgül ve diğ, 2006). Bununla beraber, NaBH_4 katkılı etanol benzin karışımındaki hidrojen ve oksijen sayesinde meydana gelen iyi yanma ile HC emisyonları azalmıştır (Yakın ve Behçet, 2021). Deneylerde elde edilen sonuçlar literatür tarafından desteklenmektedir.

5.3.7 Sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların CO_2 emisyonları

Araçlardan kaynaklanan emisyonlar arasında yer alan ve küresel ısınmaya neden olan bir diğer emisyon ise karbondioksittir. Motorlu taşıtlarda kullanılan fosil yakıtların neden olduğu karbondioksit emisyonunun oluşmasının sebeplerinden biri de tam yanmadır.



Şekil 5.3.7: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların CO₂ emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi

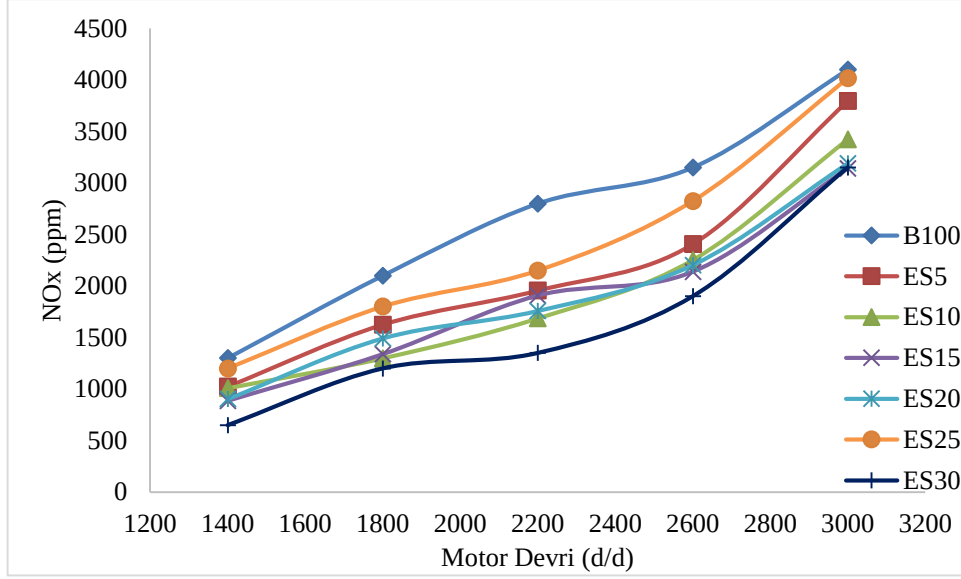
Hidrokarbon bazlı yakıtlarda, yanma stokiometrik hava-yakıt oranında ve yağsız bir karışımda gerçekleştiğinde karbondioksit ve su oluşur (Sayin ve diğ, 2008).

İçten yanmalı motorlarda kullanılan geleneksel yakıtlara alkol eklenmesi, geliştirilmiş yanma nedeniyle CO₂ emisyonlarını artırır. Alkollü yakıtların yüksek buharlaşma ısısı nedeniyle yanma sıcaklığı düşer ve CO emisyonları azalır, bu nedenle CO₂ emisyonları artar (Ağbulut, 2021).

Şekil 5.3.7 CO₂ emisyonun motor hızına bağlı değişimini göstermektedir. Tüm motor devirlerinin ortalaması alınıp karışım yakıtlı motorun CO₂ emisyonları saf benzin ile çalıştırılan motorun CO₂ emisyonları ile karşılaştırıldığında, benzin yakıtına kıyasla tüm karışım yakıtların CO₂ emisyonları artmış ve en az artışın ES30 karışım yakıtıyla %1.94 olarak gerçekleştiği görülmüştür. CO₂ emisyonlarındaki bu artma, sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların yanma olayını iyileştirmesinden dolayı tam yanmanın gerçekleşmesi yapıda bulunan karbonların büyük çoğunluğunun CO₂'e dönüşmesi olarak yorumlanabilir.

5.3.8 Sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların NO_x emisyonları

NO_x emisyonunun oluşumu yanma ile ilgili olup silindir içi sıcaklık 1800 °K nin üzerine çıktığında NO_x emisyonları oluşmaktadır.



Şekil 5.3.8: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların NO_x emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi

NO_x emisyonu da CO_2 emisyonu gibi küresel ısınmaya sebep olan zararlı egzoz emisyonlardandır. Bu emisyonların yüksek olması istenmeyen bir durumdur. NO_x emisyonlarının azaltılmasında etkili olan yöntemlerden biri de yakıtlara katkı maddelerinin ilave edilmesidir.

Literatürde yapılan çalışmalar deney sonuçlarını desteklemektedir. Konvansiyonel yakıtlara oksijenli ve hidrojenli yakıt katkı maddelerinin dahil edilmesi, CO, HC ve NO_x gibi egzoz emisyonlarının azaltılmasında ve ayrıca motor performansının iyileştirilmesinde etkili olmaktadır (Dinesha ve diğ., 2022; Prasad ve diğ., 2021; Vancoillie ve diğ., 2012). Alkol yakıtlarının kalorifik değeri benzininkinden düşük olduğundan, spesifik yakıt tüketimi artar ve NO_x emisyonu azalır (Hellier ve diğ., 2014; McCallum ve diğ., 1982; Agarwal ve diğ., 2014). Yanma gecikmesiyle silindir içindeki sıcaklık azalacağından bu da azot oksit emisyonlarını azaltır.

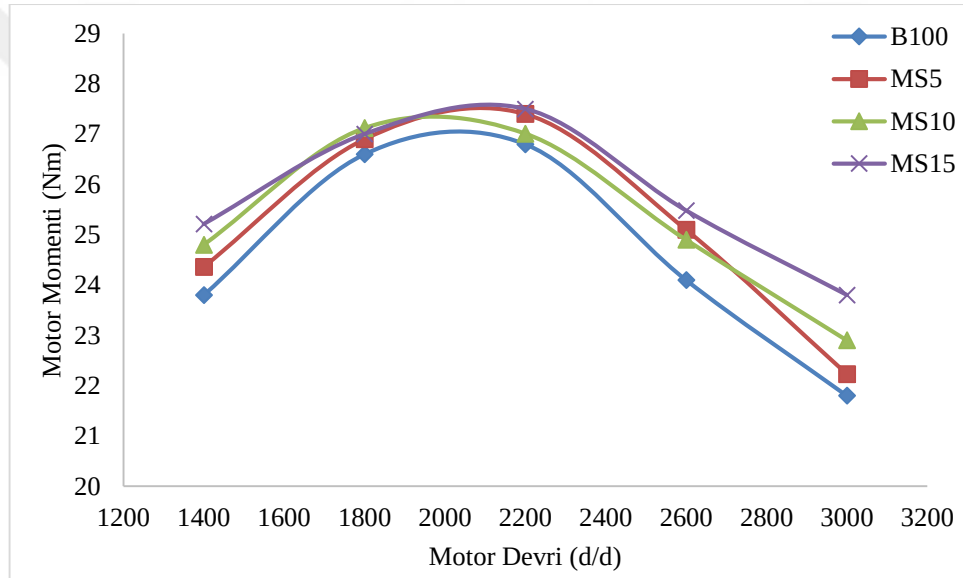
Şekil 5.3.8 NO_x emisyonunun motor hızına bağlı değişimini göstermektedir. Artan motor hızı ile tüm karışım yakıtların NO_x emisyonları artmakla birlikte benzinle çalışan motorun emisyonlarına kıyasla karışım yakıtların NO_x azalmış ve en fazla düşüş ES30 yakıtıyla gerçekleşmiştir. Sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların NO_x emisyonlarının düşük çıkması NaBH_4 karışım yakıtının adyabatik alev sıcaklığının benzin yakıtına göre daha düşük olmasından veya NaBH_4 karışım yakıtının gizli buharlaşma ısısının benzin yakıtına göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. NaBH_4 'ün benzine yakıt katkı maddesi olarak eklenmesi, NO_x emisyonlarının azaltılmasına önemli ölçüde katkıda

bulunmuştur. Saf benzine eklenen etanol içindeki oksijen sayesinde silindir içindeki sıcaklık düşürülerek yanmanın optimize edildiği tahmin edilmektedir. Ayrıca eklenen NaBH_4 ile ısı transfer hızı artırılarak yanma sürecinin kısaldığı düşünülmektedir.

5.4 Sodyum Borhidrür Katkılı Metanol-Benzin Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri

5.4.1 Sodyum borhidrür katkı metanol-benzin karışım yakıtların motor momentleri

Motor momenti, motorun döndürme kuvvetinin bir göstergesidir. Yakıtın enerji içeriği, yoğunluğu, viskozitesi ve oktan sayısı gibi parametreler yanma işlemine etkili olduğu için tüm motor devirlerinde motor torkunda farklılıklar olabilmektedir.



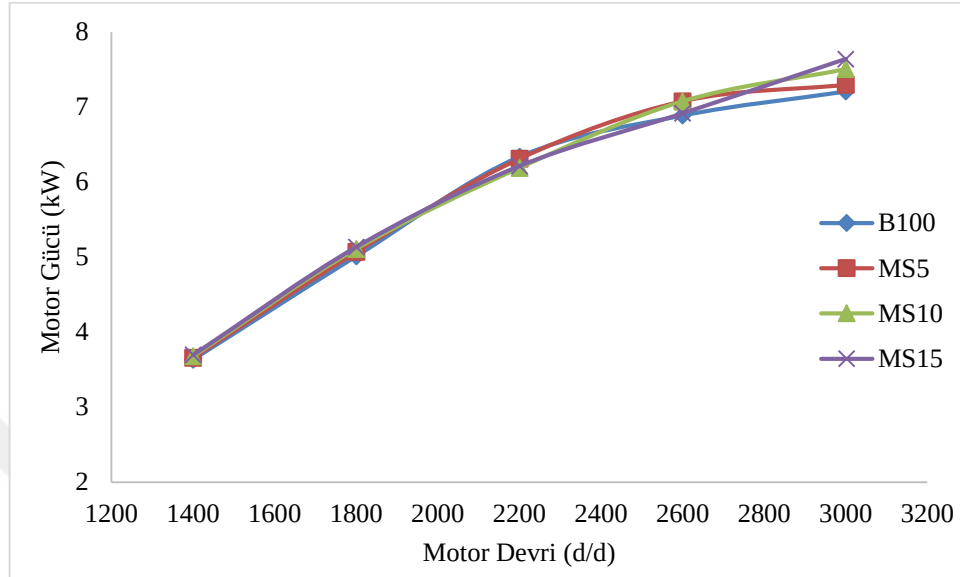
Şekil 5.4.1: Benzin ve sodyum borhidrür katkı metanol-benzin karışım yakıtların motor momentlerinin motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.4.1 Motor momentinin motor devrine bağlı değişimini göstermektedir. Grafik incelendiğinde bütün karışım yakıtların B100 yakıtına göre motor momentleri artmıştır. Sodyum borhidrür katkı metanol-benzin karışım yakıtların motor momentlerinin B100 yakıtına göre yüksek çıkmasının nedeni, karışım yakıtların yüksek oktan sayısına sahip olması, yanmanın iyi olmasını sağlamakta buda motor tork ve gücünü arttırmaktadır.

Karışım içerisindeki metanol oranının artmasıyla motor momentinin, gücünün, efektif verimin ve volümetrik verimin arttığı, daha önce yapılan çalışmalarda belirtilmektedir (Shayan ve diğ, 2011).

5.4.2 Sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışımli yakıtların motor güçleri

Motor performansını belirleyen parametrelerden biride motor gücüdür. Motor gücünün taşıtın her çalışma koşulunda yüksek olaması istenir.



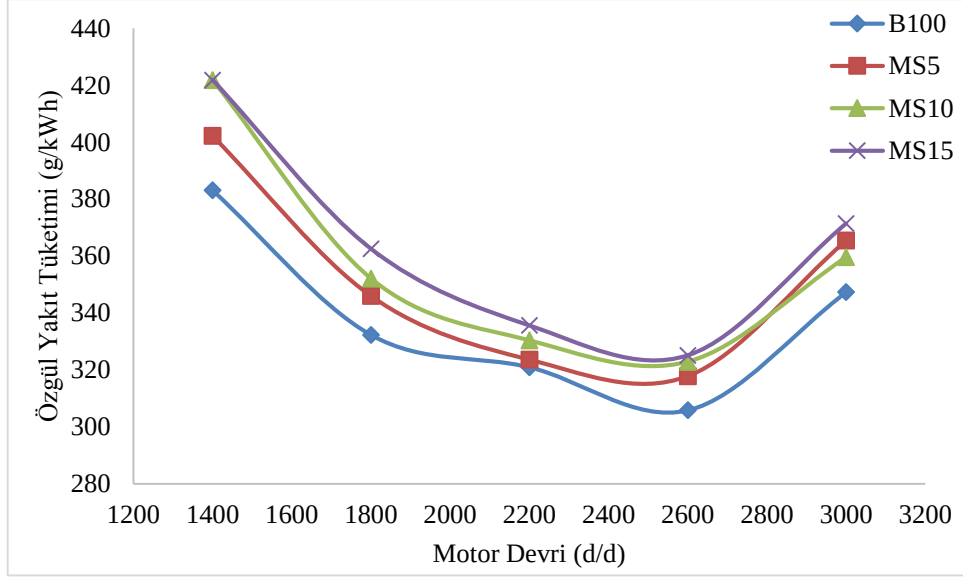
Şekil 5.4.2: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların motor gücünün motor devrine bağlı değişimi

Motor devrine bağlı olarak motor gücünün değişim grafiği Şekil 5.4.2’de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi artan motor devri ile tüm test yakıtların motor güçleri artmıştır. Bununla beraber, saf benzinle çalışmaya göre tüm karışım yakıtların motor güçleri yüksek olmuştur. Sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların motor gücünün B100 yakıtına göre yüksek olmasının nedeni tam yük altında ateşleme avansının artırılması ve benzin içerisine katılan oksijenli ve hidrojenli katkı maddelerinin (metanol ve NaBH_4) yanmaya olumlu katkı sağlamasıdır.

Motor gücündeki azalmanın sebeplerinden biride hidrokarbonlardaki düz zincir yapısına sahip parafin grubu hidrokarbonların oktan sayısını düşürücü etkisidir (Yücesu ve diğ, 2006).

5.4.3 Sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri

Özgül yakıt tüketiminin azaltılması için, taşıt motorlarına LPG (likit petrol gazı), CNG (doğal gaz) gibi sistemler takılmakta veya yakıt tüketimini ve zararlı egzoz emisyonlarını azaltmak için taşıtlarda kullanılan yakıt katkı maddeleri ilave edilmektedir.



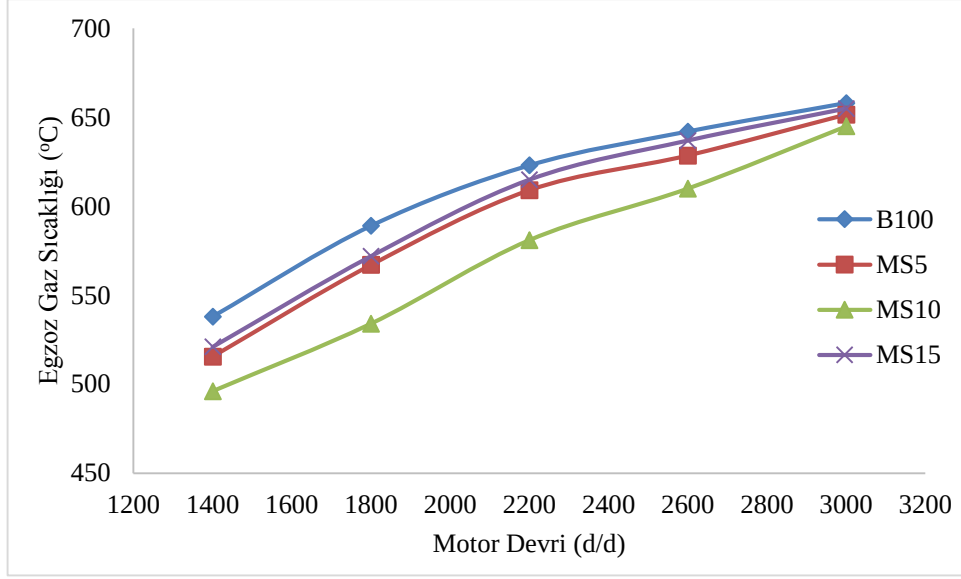
Şekil 5.4.3: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.4.3 Özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişim grafiğini göstermektedir. Grafik incelendiğinde, tüm karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri B100 yakıtına göre artmıştır. B100 yakıtıyla kıyaslandığında, en yüksek yakıt tüketimi MS15 yakıtıyla gerçekleşmiştir. Özgül yakıt tüketiminin B100 yakıtına göre yüksek çıkmasının bir nedeni, karışım yakıtların ısı değerlerinin düşük olmasıdır. Diğer bir nedeni karışım yakıtların yoğunluk ve viskozitelerinin benzine göre yüksek olmasıdır. Benzin yakıtına kıyasla, alkol yakıtların hem ısı değerlerinin düşük olması hem de stokiometrik Y/H oranlarının yüksek olmasından dolayı aynı çıkış gücünü elde etmek için daha fazla yakıt tüketilmesine ihtiyaç vardır.

Yapılan çalışmalarda, alkol kökenli yakıtların motorlarda yakıt olarak kullanılmasıyla özgül yakıt tüketimi benzin yakıtına göre yüksek olmaktadır (Balki ve diğ, 2014a; Bayındır ve Yücesu, 1999; Salman ve Sümer, 1999; Gravalos ve diğ, 2011).

5.4.4 Sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları

Egzoz gaz sıcaklığı, silindir içerisindeki hava yakıt karışımının yanması sonucu oluşan silindir içi sıcaklığın bir göstergesidir.

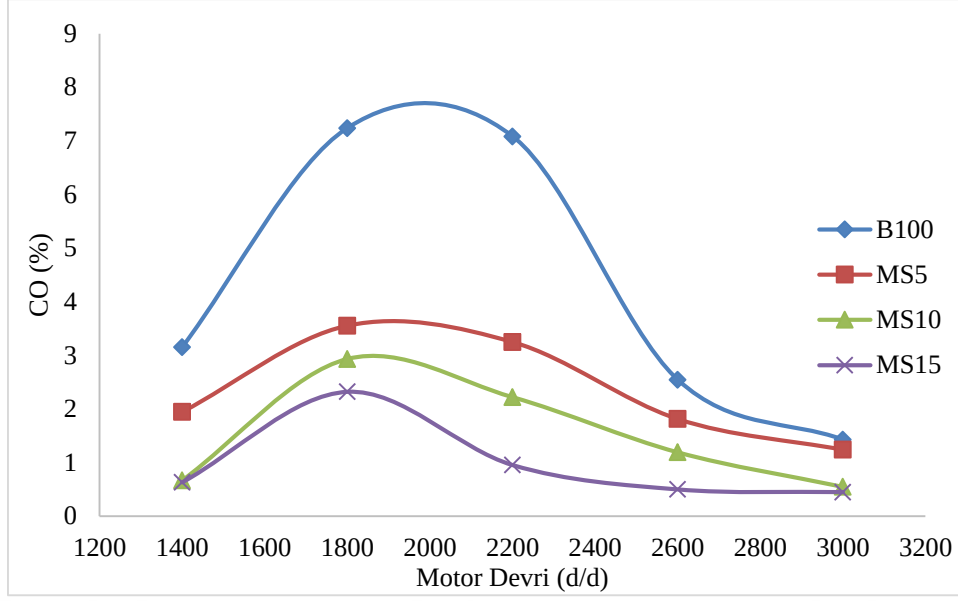


Şekil 5.4.4: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi

Motorun çalışma koşullarına ve yakıt özelliklerine göre değişen egzoz gazı sıcaklığı, yanma sonu sıcaklığının bir göstergesidir ve içten yanmalı motorlardan emisyonların oluşumu hakkında fikir vermesi nedeniyle önemli bir parametredir (Yesilyurt ve Cakmak, 2021). Egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi Şekil 5.4.4’da verilmiştir. Grafikte tüm karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları tüm motor devrinde B100 yakıtına göre düşmüştür. Bunun nedeni sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların oktan sayılarının benzin yakıtına göre yüksek olması dolayısıyla yanmanın iyi olmasıdır.

5.4.5 Sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların CO emisyonları

Taşıt kaynaklı zararlı egzoz emisyonlarından biri olan CO emisyonu yanmanın tam olarak gerçekleşmemesi sonucu oluşur.



Şekil 5.4.5: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Alkollerin kimyasal yapılarında oksijen bulundurmaları yanmanın daha iyi gerçekleşmesini ve CO'nun oluşması için oksijenin verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Dolayısıyla CO emisyonunda benzin yakıtına göre daha fazla azalma olmaktadır.

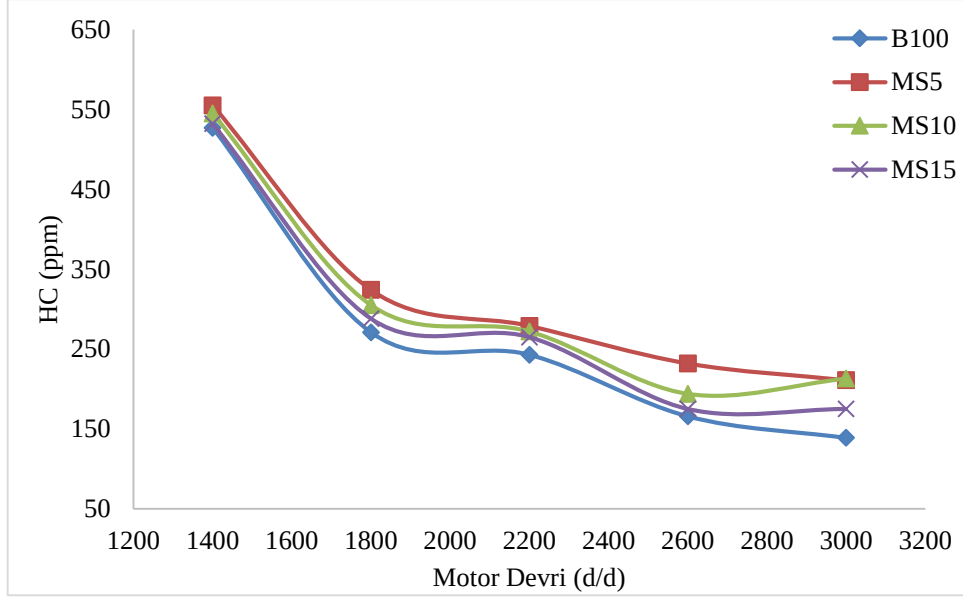
Literatürde yapılan çalışmalara göre, alkollerin buharlaşma gizli ısısının yüksek olması da CO emisyon miktarında benzine nazaran daha fazla azalmaya yol açmaktadır (Najafi ve diğ., 2015; Mallikarjun ve Mamilla, 2009).

Şekil 5.4.5'de CO emisyonunun motor hızına bağlı değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde bütün motor devirlerinde tüm karışım yakıtların CO emisyonları düşmüştür. CO emisyonunun düşmesinin nedeni, sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların yapısında bulundurduğu metanolün karbon sayısı saf benzine göre daha az olması ve yapısında oksijen barındırması gibi sebeplerden dolayı yanmayı iyileştirdiğinden eksik yanma ürünü olan CO emisyonu azalmaktadır.

Metanol-benzin karışımının benzinli motorda test edilmesi ile yapılan çalışmada, motor performans değerlerinin benzinli çalışmaya göre daha düşük olduğu ve metanol kullanımı ile CO emisyonunun azaldığı belirtilmektedir (Korkmaz, 1996).

5.4.6 Sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların HC emisyonları

Eksik yanma ürünü olan taşıt kaynaklı zararlı egzoz emisyonlarından biride HC emisyonudur.



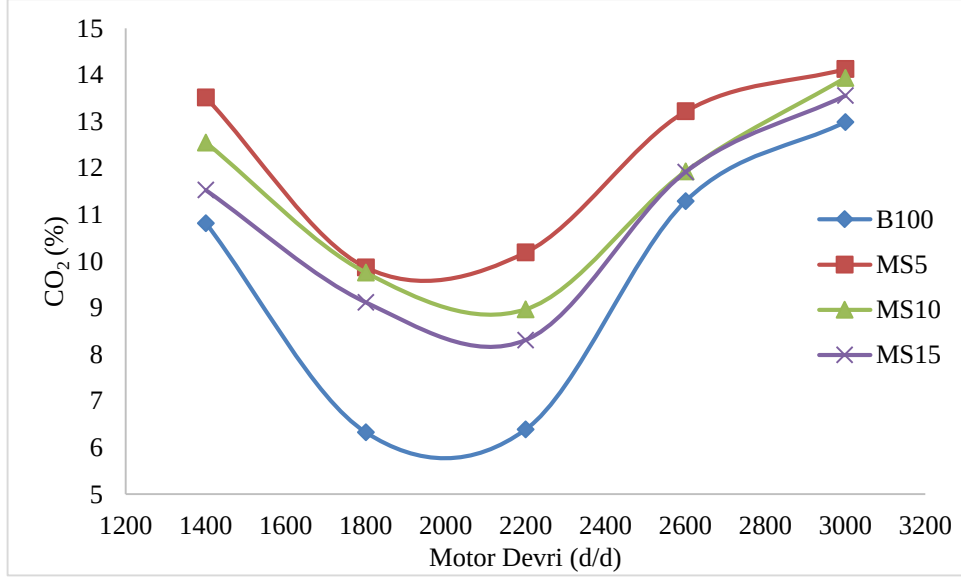
Şekil 5.4.6: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların HC emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.4.6’de Motor hızına bağlı HC emisyonunun değişim grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde, bütün karışım yakıtların HC emisyonları B100 yakıtına göre artmıştır. Sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların HC emisyonundaki artışın nedeni, karışım yakıtların viskozitelerinin artmasından dolayı yanma işleminin kötüleşmesidir.

Literatür araştırmasına göre, sıkıştırma oranının arttırılması CO emisyonunu azaltırken HC emisyonunu artırır (Sekmen, 2003), HC emisyon değerleri literatürdeki bazı araştırmalar ile benzerlik göstermektedir.

5.4.7 Sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların CO₂ emisyonları

Tam yanma ürünü olan CO₂ emisyonu küresel ısınmaya sebep olan emisyonlardandır.



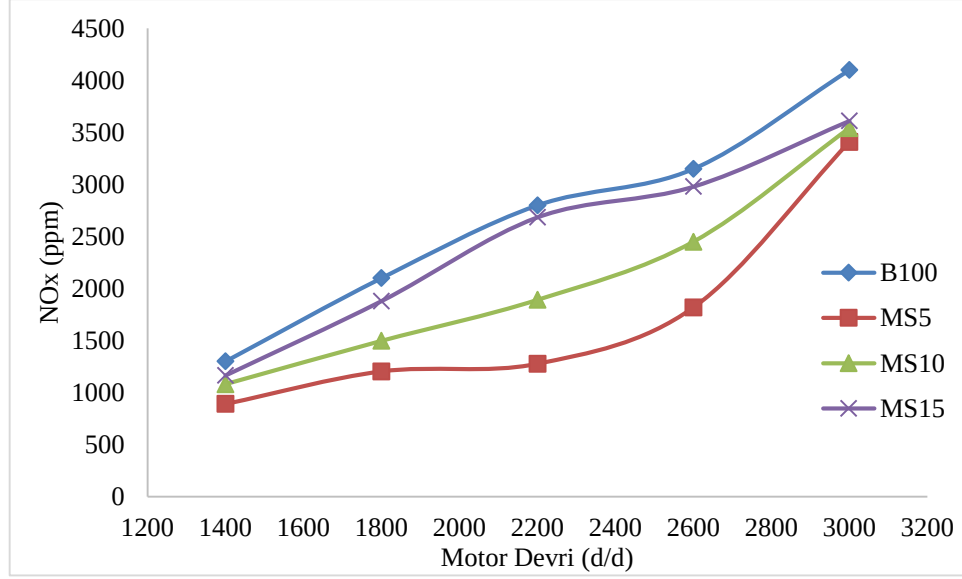
Şekil 5.4.7: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların CO₂ emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Yanma olayı tam olarak gerçekleştiği zaman iyileşen yanmadan dolayı yanma verimi artmakta ve yapıda bulunan karbonların büyük çoğunluğunu CO₂ dönüşmektedir. Benzinli motorlarda, benzin yakıtı içerisine ilave edilen alkolün yapısında bulunan oksijen miktarı yanmayı iyileştirmekte ve bu iyileşmeden dolayı da CO₂ emisyonu artmaktadır (Wu ve diğ., 2004).

Şekil 5.4.7 CO₂ emisyonunun motor hızına bağlı değişimini göstermektedir. CO₂ emisyon grafiği incelendiğinde bütün karışım yakıtların CO₂ emisyonları bütün motor devirlerinde benzin yakıtına kıyasla artmış ve en fazla artış MS5 yakıtıyla %25.95 olarak gerçekleşti. Sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların CO₂ emisyonunun B100 yakıtına göre yüksek çıkmasının nedeni, karışım yakıtlar içerisindeki oksijen ve hidrojenin dolayı yanma işleminin iyileşmesinden yanma veriminin artması ve yapıda bulunan karbonların büyük çoğunluğunun CO₂ 'e dönüşmesi olarak yorumlanabilir.

5.4.8 Sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların NO_x emisyonları

Küresel ısınmaya sebep olan taşıt kaynaklı zararlı egzoz emisyonlarından biri de NO_x emisyonudur.



Şekil 5.4.8: Benzin ve sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların NO_x emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Yanma ile ilgili olan NO_x emisyonunun oluşumunda etkili olan temel parametreler; sıcaklık, oksijen konsantrasyonu ve ateşleme süresidir. Yanma odası sıcaklığı 1500 °C'nin üzerine çıktığı zaman NO_x emisyonları oluşmaya başlar. Bu emisyonları azaltmak için kullanılacak yöntemlerden biri de konvansiyonel yakıtlara katkı maddelerinin eklenmesidir. Son zamanlarda en çok kullanılan yakıt katkı maddeleri alkoller ve nano boyutlu parçacıklardır.

Grafik incelendiğinde, tüm karışım yakıtların NO_x emisyonları benzin yakıtına kıyasla düşmüştür. En düşük NO_x emisyonu MS5 karışım yakıtıyla 1400 motor devrinde elde edilmiştir. Sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların B100 yakıtına göre NO_x emisyonlarının düşük çıkması NaBH₄ karışım yakıtının adyabatik alev sıcaklığının benzin yakıtına göre daha düşük olmasından veya NaBH₄ katkılı karışım yakıtların gizli buharlaşma ısısının benzin yakıtına göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Alkollerin buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması sonucu karışım sıcaklığının düşmesi ve yakıtların yanması için az miktarda havaya ihtiyaç duyulması ile silindir duvarlarından ısı kaybının azalması nedeniyle benzin yakıtına göre, NO_x emisyonunda azalma gerçekleşmektedir.

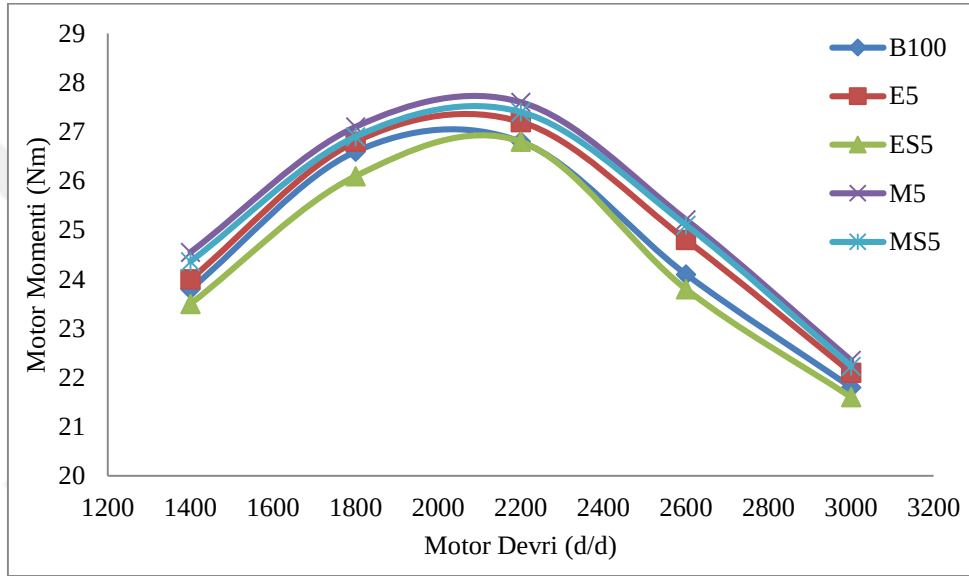
Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda (Hasan ve diğ, 2018; Çelik ve diğ, 2011; Doğan ve diğ, 2017; Akansu ve diğ, 2017), saf benzine göre ısı değeri ve adyabatik alev sıcaklıkları düşük olan alkollerin NO_x emisyonlarının da düşük olduğu belirtilmektedir. Ayrıca, yüksek alev yayılma hızlarına sahip alkollerin benzine eklenmesi ile yanma süresi kısalarak NO_x

emisyonları azalmaktadır (Tian ve diğ, 2020). Yanma gecikmesi de silindir içindeki sıcaklığı düşüren ve nitrojen oksit emisyonlarını azaltan sebepler arasındadır.

5.5 %5 Alkol Katkılı Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri

5.5.1 Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların motor momentleri

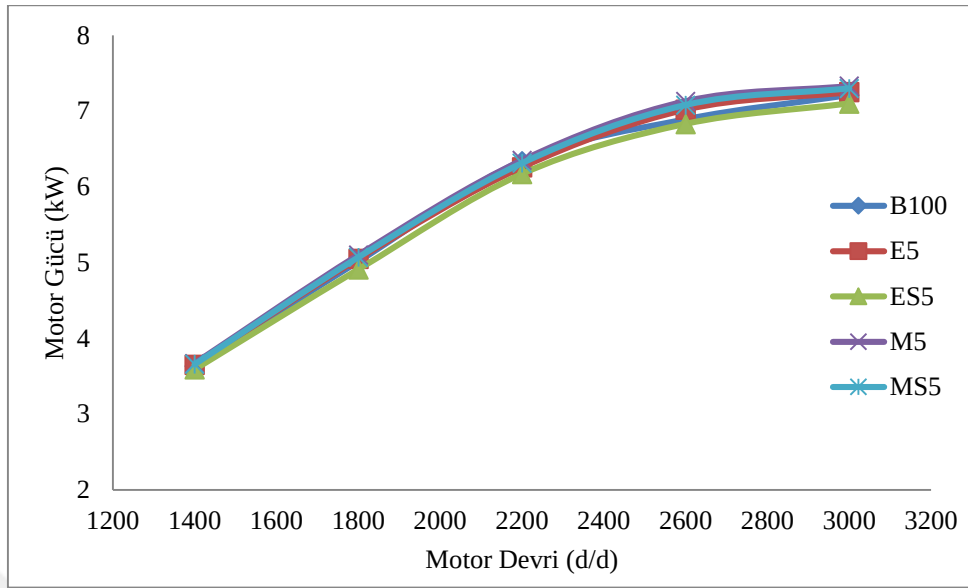
Otomotiv mühendisleri taşıt ilk harekete geçerken, taşıtın direnç kuvvetlerini yenmesi için motor momentinin yüksek olmasını, motor hızı arttıkça momentin azalıp gücün artmasının motor performansını arttırdığı görüşündedirler.



Şekil 5.5.1: Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların motor momentinin motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.5.1 motor momentinin motor hızına bağlı değişim grafiğini göstermektedir. Grafik incelendiğinde ES5 karışım yakıtı hariç diğer tüm yakıtlarda motor momentini benzin yakıtına kıyasla arttırmıştır. Tüm karışım yakıtlarda, motor momentini yaklaşık 2200 motor devrine kadar arttırmış ancak bu devir sayısından sonra motor hızı arttıkça motor momentinde azalma olmuştur. ES5 karışım yakıtının moment değerinde B100 yakıtına kıyasla %1,05 azalma meydana gelmiştir. Literatürde yapılan araştırmalarda, benzine eklenen etanol miktarı artırıldığında en yüksek motor momentinin elde edildiği belirtilmiştir (Topgül ve diğ, 2006).

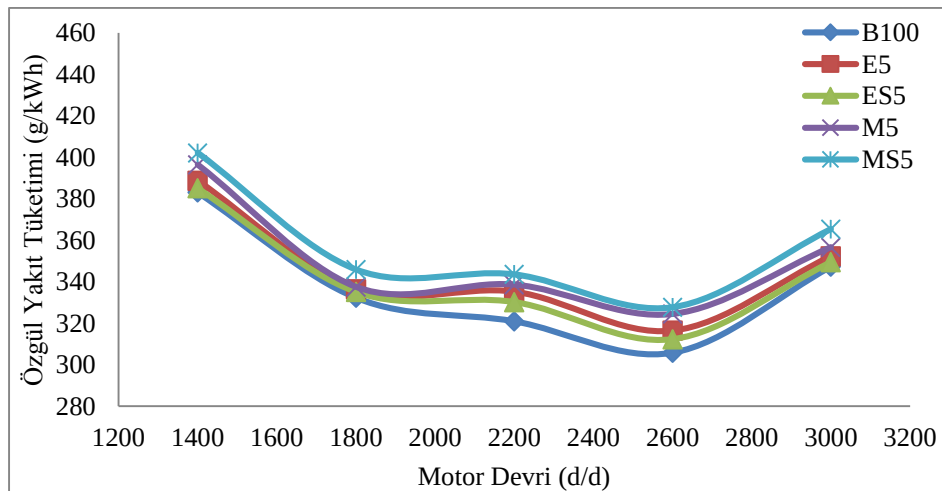
5.5.2 Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların motor güçleri



Şekil 5.5.2: Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların motor gücünün motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.5.2 motor gücünün motor hızına bağlı değişim grafiğini göstermektedir. Motor gücünün motor hızına bağlı olarak tüm karışım yakıtlarda arttığı görülmektedir. Güçteki en fazla artış M5 yakıtıyla elde edilmiş, benzin yakıtına kıyasla %1,687 artış olduğu, ES5 yakıtında ise benzin yakıtına kıyasla %1,681 azalma olduğu tespit edilmiştir. Çelik ve diğ. (2011) yaptıkları deneysel çalışmada sıkıştırma oranını yükselterek, motor gücü ve fren ısı verimliliğinde artış tespit etmişlerdir.

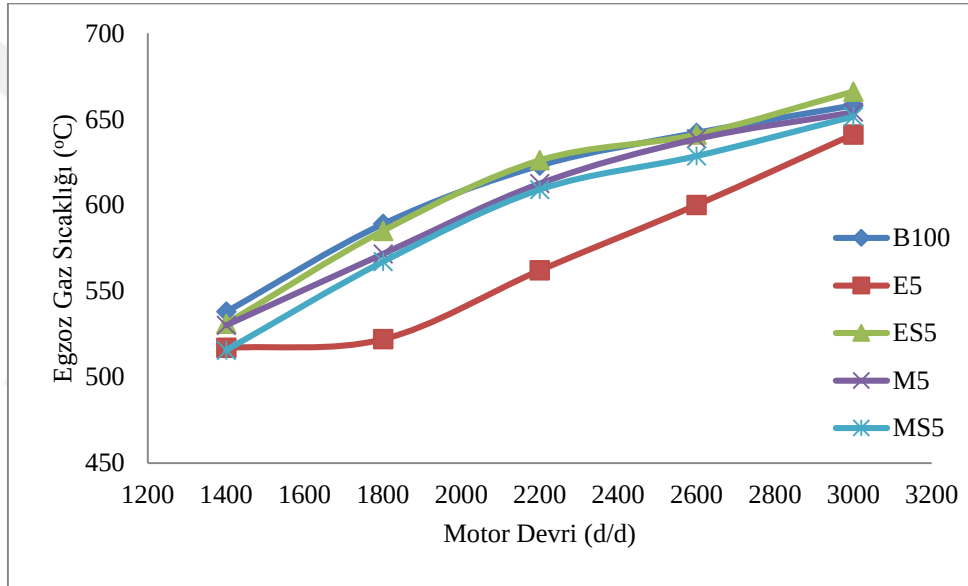
5.5.3 Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri



Şekil 5.5.3: Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi

Taşıt karakteristiğini belirleyen temel karakteristiklerden biride özgül yakıt tüketimidir. Özgül yakıt tüketiminin motor hızının bağlı değişimi Şekil 5.5.3’ de verilmiştir. Karışım yakıtları benzin yakıtıyla kıyaslandığında özgül yakıt tüketimleri motor hızına bağlı olarak artmıştır. Saf benzine göre, en fazla yakıt tüketimi MS5 karışım yakıtıyla gerçekleşmiş ve meydana gelen artış miktarı %5,65 olmuştur. artış meydana gelmiştir. Deney sonuçları literatürdeki çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Benzin yakıtına belli oranlarda etanol ve metanol eklenerek elde edilen karışım yakıtların deney motorunda denenmesinde benzin yakıtına göre CO ve HC emisyonları azalırken fren özgül yakıt tüketimlerinin arttığı belirtilmiştir (Altun ve diğ, 2013).

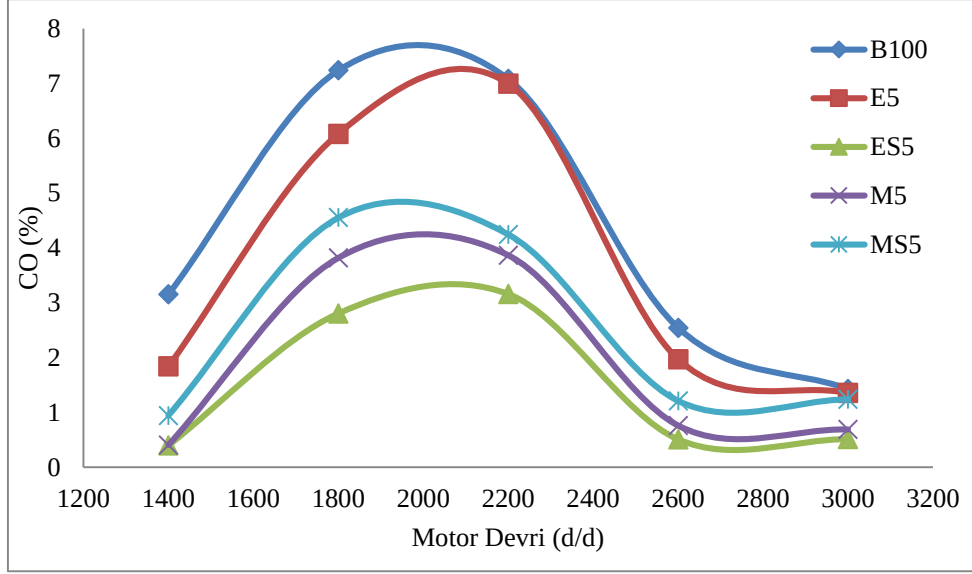
5.5.4 Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları



Şekil 5.5.4: Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi

Egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi Şekil 5.5.4’da verilmiştir. Tüm karışım yakıtların B100 yakıtına göre egzoz sıcaklıkları düşmüştür. Topgül ve diğ. (2006) yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar bulmuşlardır.

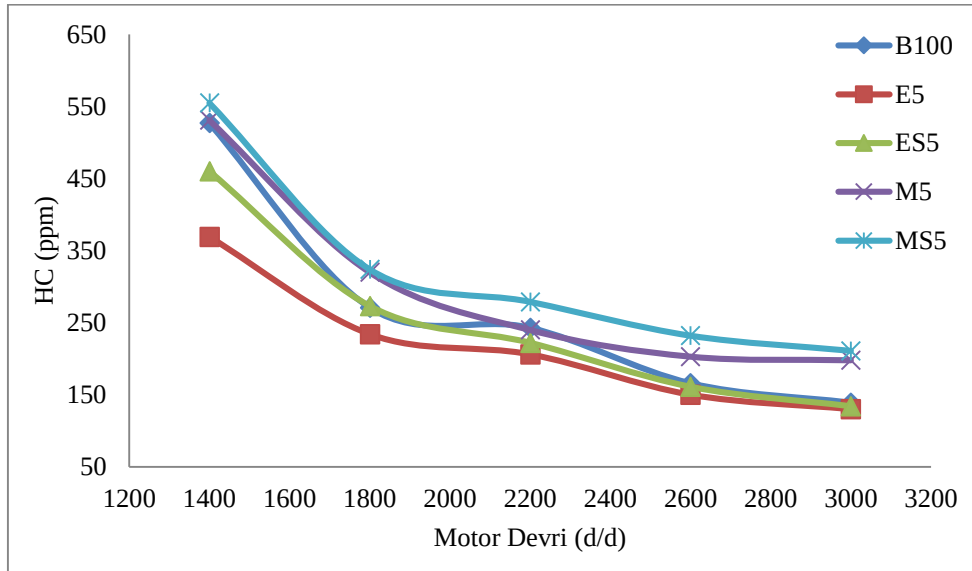
5.5.5 Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların CO emisyonları



Şekil 5.5.5: Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Karbon monoksit emisyonunun motor devrine bağlı değişim grafiği Şekil 5.5.5’de verilmiştir. Tüm karışım yakıtların CO emisyonları benzin yakıtına göre düşmüştür. Benzine göre CO emisyonundaki en fazla düşme ES5 yakıtıyla elde edilmiştir. Topgül ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, deney sonuçları ile benzer sonuçlara ulaşılmıştır (Topgül ve diğ, 2006).

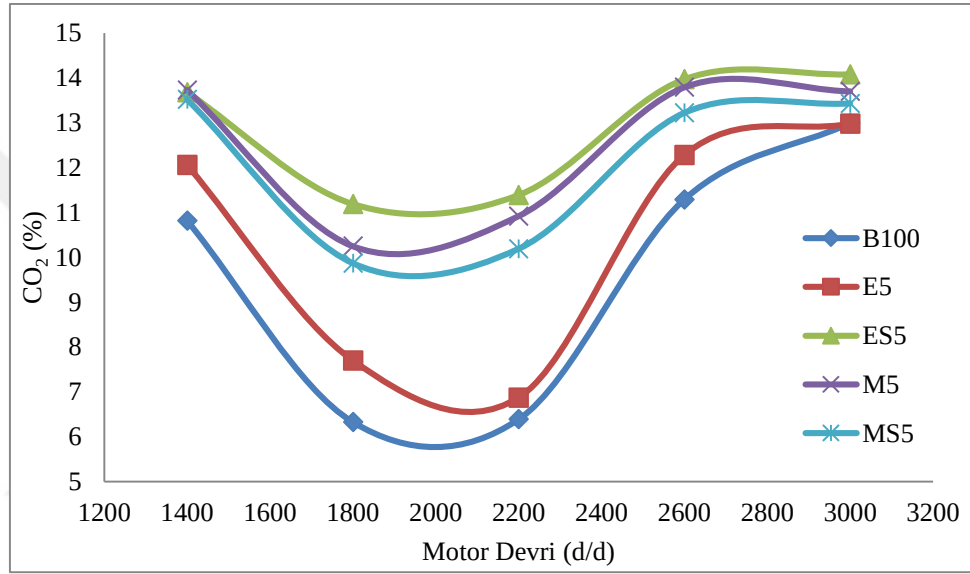
5.5.6 Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların HC emisyonları



Şekil 5.5.6: Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların HC emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.5.6 motor devrine bağlı olarak HC emisyonu grafiğini göstermektedir. M5, MS5 karışım yakıtlarının HC emisyonları B100 yakıtına göre artarken, E5 ve ES5 yakıtlarının HC emisyonları ise düşmüştür. En düşük HC emisyonu E5 yakıtıyla elde edilmiştir. E5 yakıtının HC emisyonu B100 yakıtıyla kıyaslandığında %19,09 azalma meydana gelmiştir. Benzin yakıtına farklı oranlarda etanol ve metanol eklenerek yapılan deneylerde, HC emisyonlarının etanol- kurşunsuz benzin karışım yakıtının kullanılmasıyla azalırken, fren özgül yakıt tüketiminin ise arttığı belirtilmiştir (Altun ve diğ, 2013).

5.5.7 Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların CO₂ emisyonları

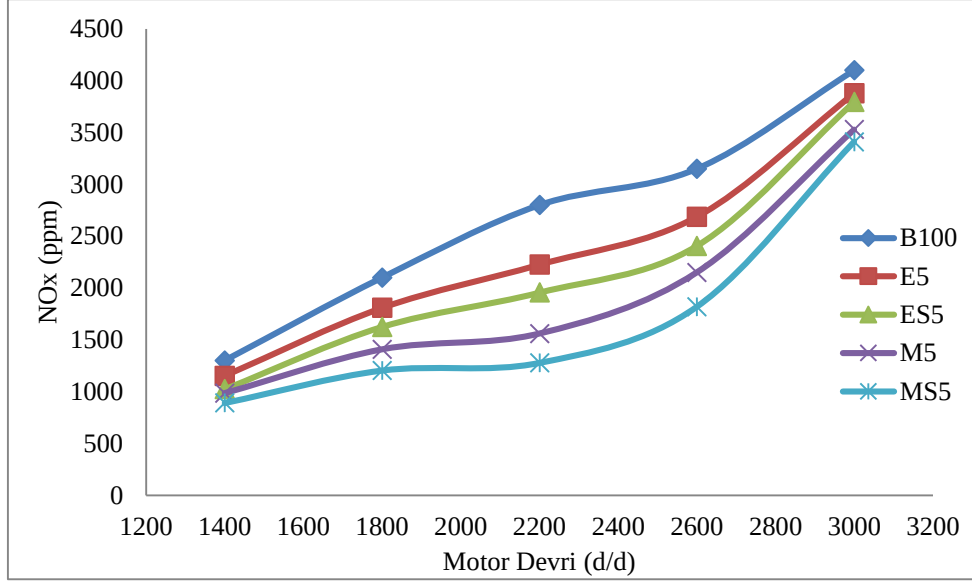


Şekil 5.5.7: Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların CO₂ emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

CO₂ emisyonunun motor hızına bağlı olarak değişim grafiği Şekil 5.5.7’de verilmiştir. CO₂ grafiği incelendiğinde tüm karışım yakıtların CO₂ emisyonları B100 yakıtıyla kıyaslandığında artmıştır. En yüksek karbondioksit emisyonu ES5 yakıtı ile elde edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda metanol karışımlı yakıtın motorda denenmesinde CO ve HC emisyonlarını azalırken, CO₂ ve NO_x emisyonları ise artmıştır (Shayan ve diğ, 2011).

5.5.8 Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların NO_x emisyonları

Azot oksit emisyonunun oluşumunu sağlayan iki parametre vardır bunlar yanma odası sıcaklığı ve hava-yakıt oranıdır. Azotoksit emisyonu, hava içerisindeki azot elementininin yüksek sıcaklıktan dolayı oksitlenmesi sonucu oluşur.

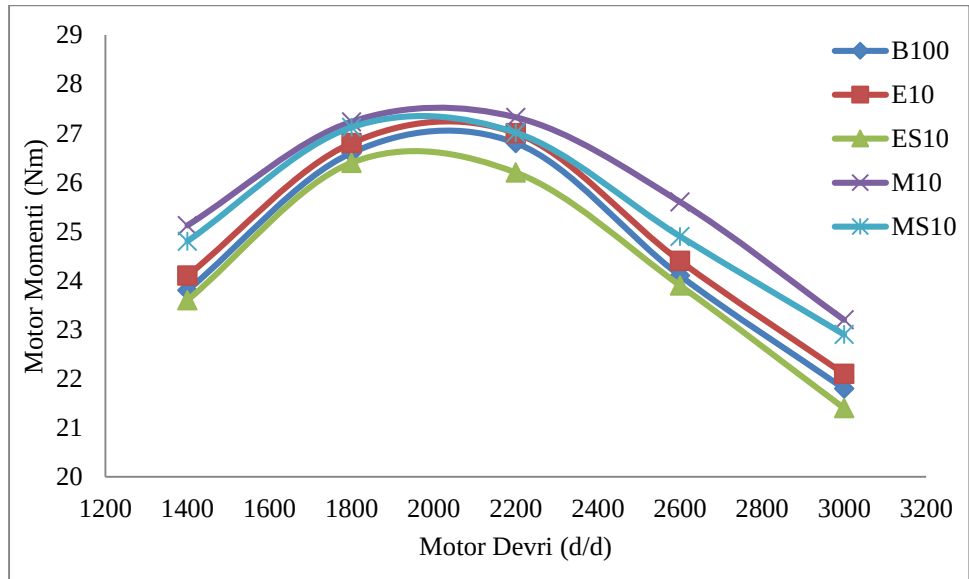


Şekil 5.5.8: Alkol katkılı (%5) karışım yakıtların NO_x emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Tüm karışım yakıtların NO_x emisyonları, saf benzine kıyasla azalmıştır. NO_x emisyonlarının motor hızına bağlı değişimi Şekil 5.5.8’de verilmiştir. Vancoillie ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir (Vancoillie ve diğ, 2013).

5.6 %10 Alkol Katkılı Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri

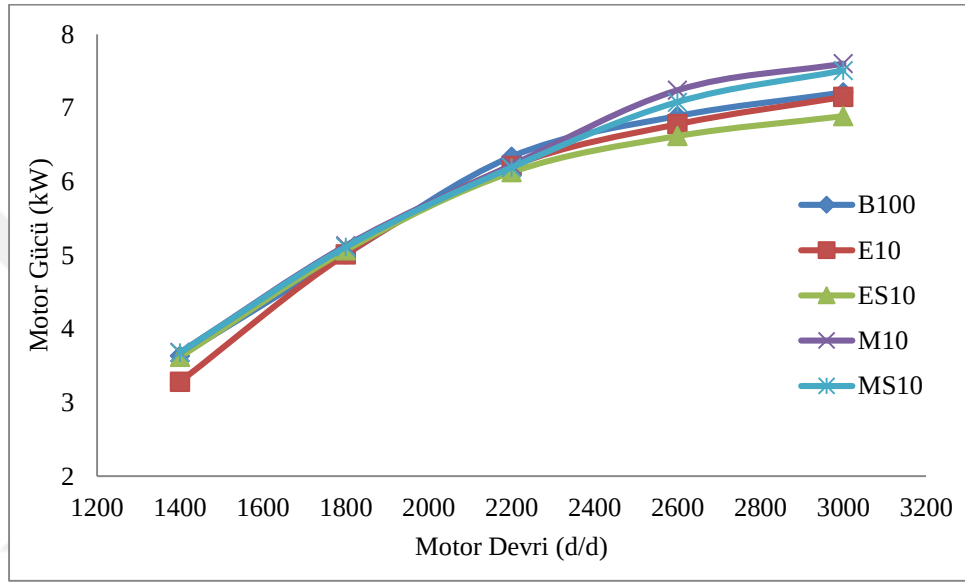
5.6.1 Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların motor momentleri



Şekil 5.6.1: Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların motor momentinin motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.6.1 motor hıza bağlı olarak motor momenti değişim grafiğini göstermektedir. Grafik incelendiğinde ES10 karışım yakıtının B100 yakıtıyla kıyaslandığında momentinin düştüğü, diğer tüm karışım yakıtların B100 yakıtıyla kıyaslandığında momentlerinin arttığı tespit edilmiştir. Grafikte saf benzinle kıyaslandığında en fazla artış M10 yakıtıyla %4,36 olarak gerçekleşmiştir. Topgül ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçlar elde etmişlerdir (Topgül ve diğ, 2006).

5.6.2 Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların motor güçleri

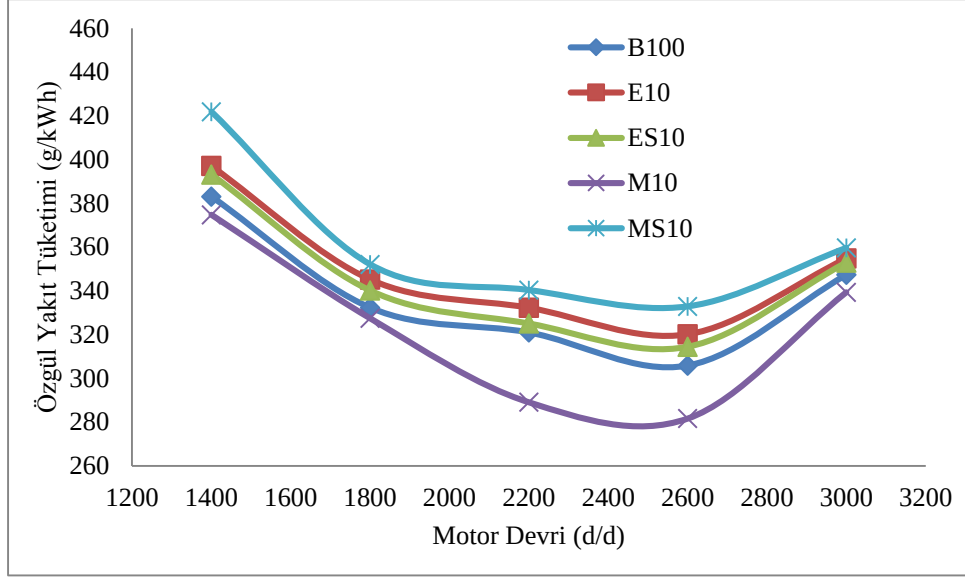


Şekil 5.6.2: Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların motor gücünün motor devrine bağlı değişimi

Motor gücünün motor devrine bağlı değişim grafiği Şekil 5.6.2 de verilmiştir. Şekil incelendiğinde en yüksek motor gücü B100 yakıtıyla kıyaslandığında M10 yakıtıyla %2,72 olarak elde edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir (Caro ve diğ, 2001).

5.6.3 Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri

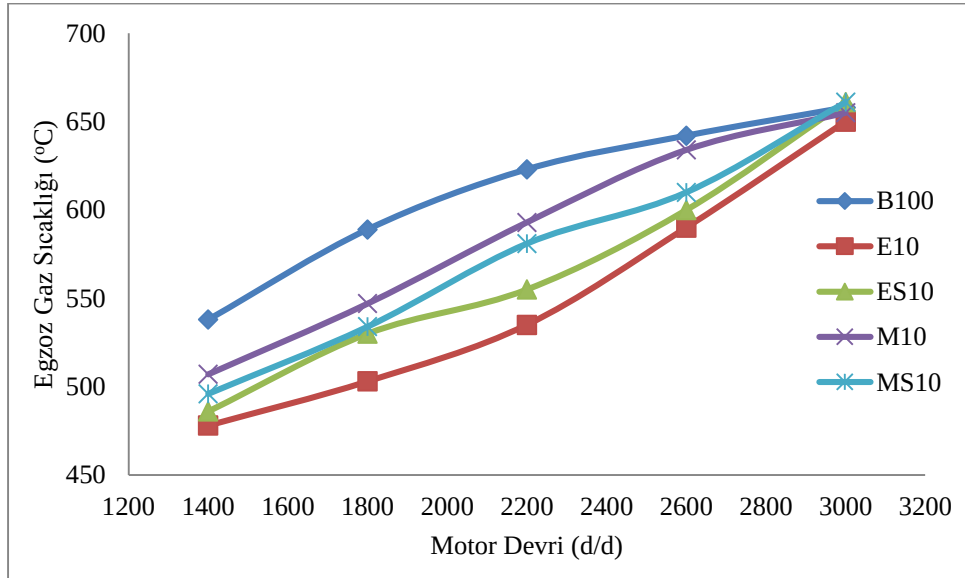
Özgül yakıt tüketimi, otomotiv imalatçıları, otomotiv mühendisleri ve tüketiciler tarafından çok önemsenen bir konudur. Her sürücü aracının en az yakıtla en fazla yol gitmesini ister.



Şekil 5.6.3: Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.6.3 özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı değişim grafiğini göstermektedir. Grafik incelendiğinde, saf benzine göre, en az özgül yakıt tüketimi M10 yakıtıyla %4,55 olarak gerçekleşirken, en fazla özgül yakıt tüketimi ise B100 yakıtıyla kıyaslandığında MS10 yakıtıyla %6,94 olarak gerçekleşmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir (Yüksel, 2004).

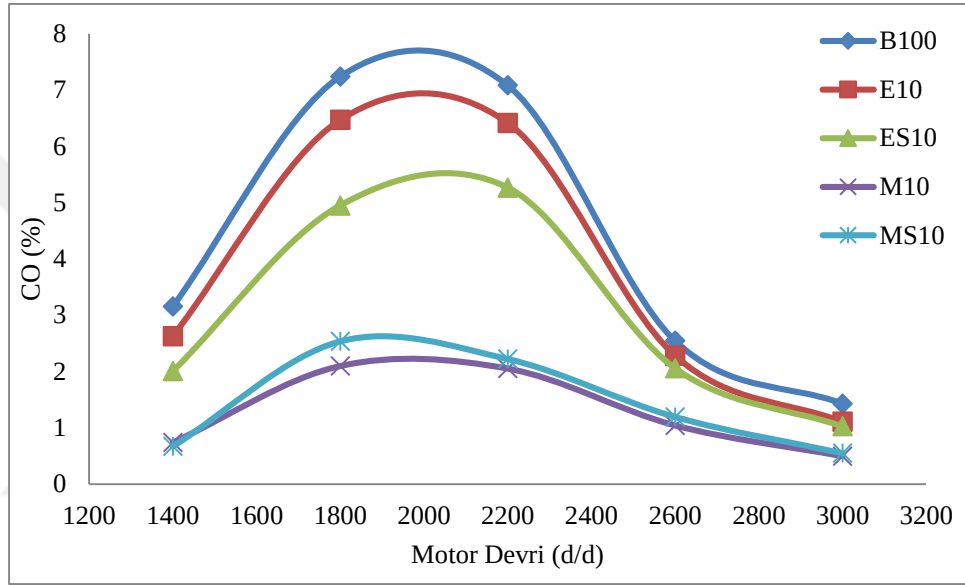
5.6.4 Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları



Şekil 5.6.4: Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.6.4 egzoz gaz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimini göstermektedir. Benzin yakıtıyla kıyaslandığında E10, ES10, MS10, M10 karışım yakıtlarının egzoz sıcaklığı sırasıyla %9,63, %7,14, %5,50, %3,73 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Topgül ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmada, kurşunsuz benzinin etanol ile karıştırıp deney motorunda test etmişlerdir. Karışım yakıtın denenmesinde meydana gelen ısının işe dönüştürülmesinin daha verimli olması nedeniyle fren torkunu artırdığını budan dolayı egzoz sıcaklığını da düşürdüğünü belirtmişlerdir (Topgül ve diğ, 2006).

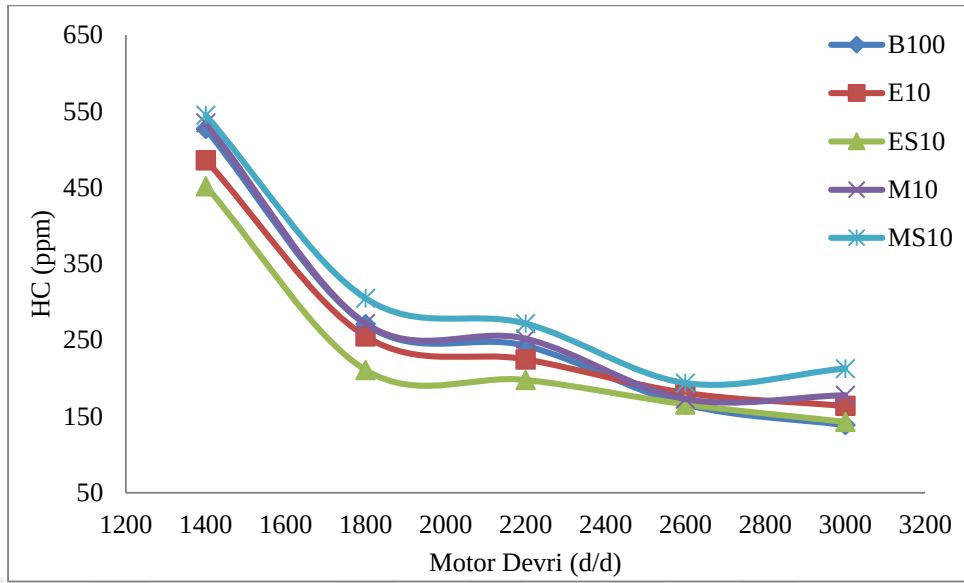
5.6.5 Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların CO emisyonları



Şekil 5.6.5: Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.6.5 motor hızına bağlı olarak CO emisyon değişimini göstermektedir. Grafiğe göre, karışım yakıtların CO emisyonları benzine göre düşmüştür. M10, MS10, ES10 ve E10 karışım yakıtlarının CO emisyonu, benzin yakıtıyla kıyaslandığında sırasıyla %70,10, %66,59, %28,63 ve %11,89 azalma meydana gelmiştir. Yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir (Najafi ve diğ, 2015; Mallikarjun ve Mamilla, 2009).

5.6.6 Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların HC emisyonları

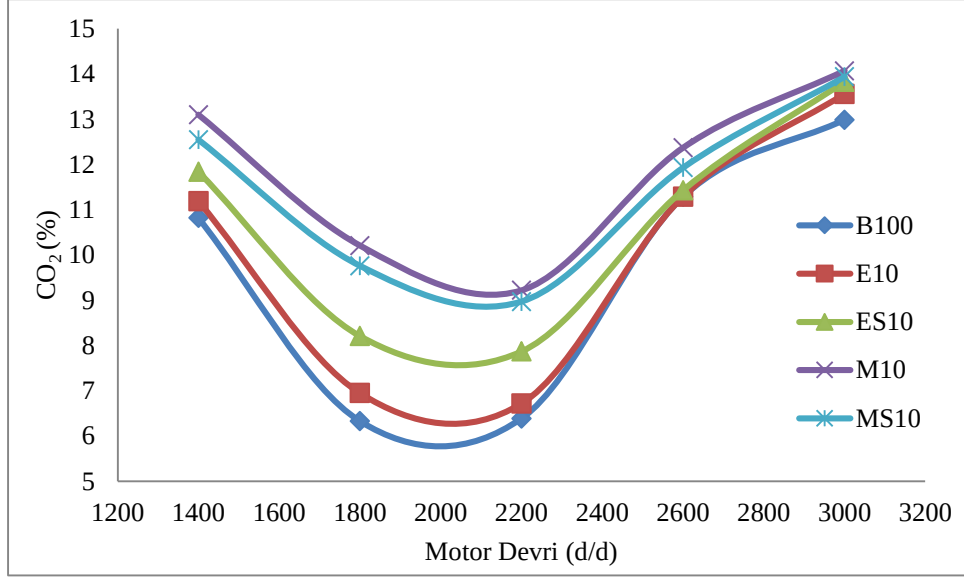


Şekil 5.6.6: Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların HC emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

HC emisyonlarının motor hızına bağlı değişim grafiği Şekil 5.6.6 de verilmiştir. Motor hızına bağlı olarak HC emisyonunda düzenli olarak bir düşüş görülmüştür. Benzin yakıtına kıyasla ES10 yakıtında %13,07 bir azalma görülürken, MS10 yakıtının HC emisyonu benzin yakıtına kıyasla %13,59 artmıştır. Shayan ve diğ. (2011), yaptıkları çalışmada karışım içerisindeki metanol içeriğinin artmasıyla CO ve HC emisyonlarının azaldığını, CO₂ ve NO_x emisyonlarının ise arttığını tespit etmişlerdir.

5.6.7 Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların CO₂ emisyonları

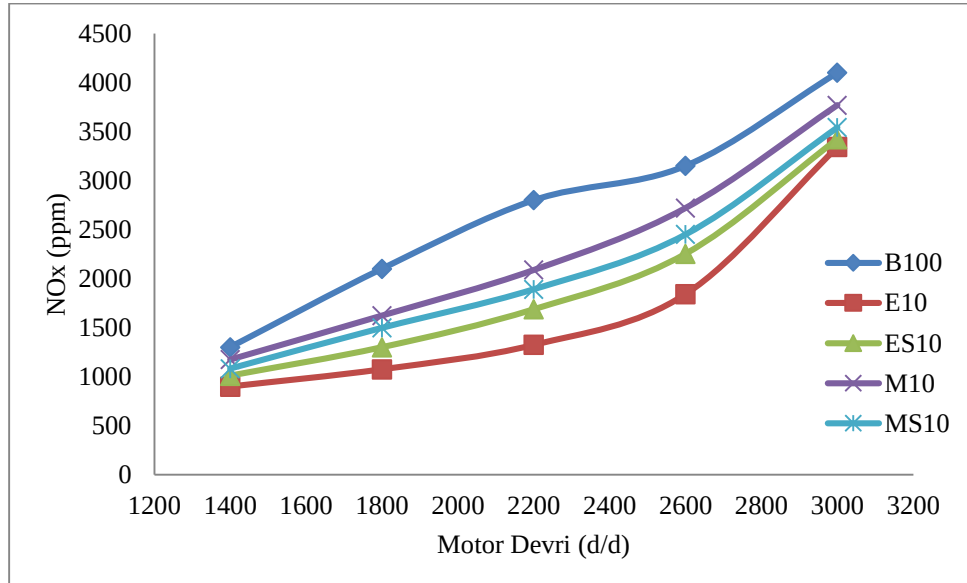
Karbondioksit emisyonu küresel ısınmaya sebep olan emisyonlardandır.



Şekil 5.6.7: Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların CO₂ emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Taşı kaynaklı zararlı emisyonlardan bir olan CO₂ emisyonu, tüm motor hızlarında benzin yakıtına göre artmıştır. En fazla artış M10 yakıtıyla %23,31 olarak gerçekleşmiştir. CO₂ emisyonunun motor hızına bağlı değişim grafiği Şekil 5.6.7’de verilmiştir. Shayan ve diğ. (2011), yaptıkları çalışmada karışım içerisindeki metanol oranının artmasıyla CO ve HC emisyonlarının azaldığı, CO₂ ve NO_x emisyonlarının ise arttığı belirtmişlerdir.

5.6.8 Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların NO_x emisyonları



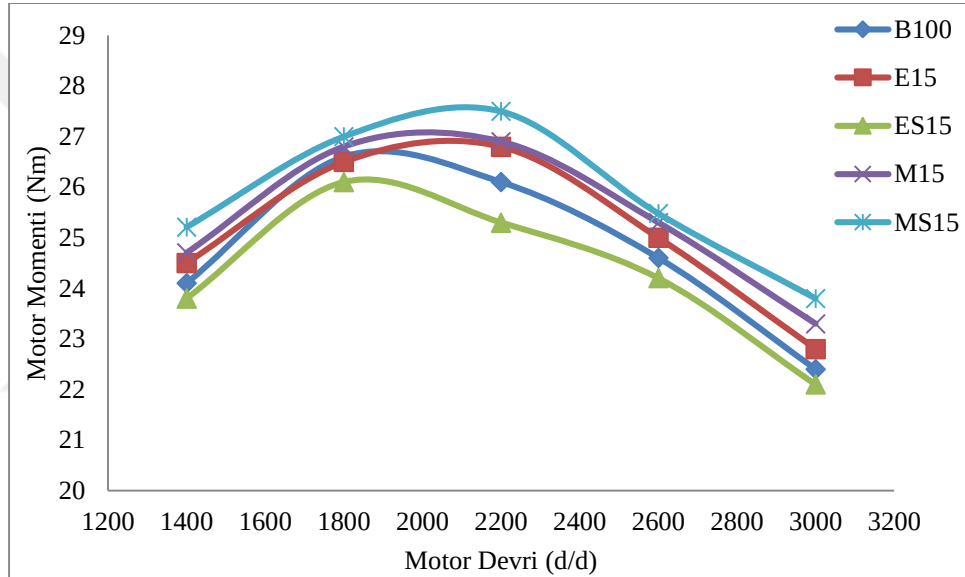
Şekil 5.6.8: Alkol katkılı (%10) karışım yakıtların NO_x emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.6.8 NO_x emisyonunun motor devrine bağlı değişimini göstermektedir. Şekilden de görüleceği gibi benzine göre NO_x emisyonundaki en az azalma E10 yakıtıyla elde edilirken en fazla azalma ise B100 yakıtıyla elde edilmiştir. Al-Baghdadi ve diğ. (2000), yaptıkları çalışmada karışım içerisindeki hidrojen oranı arttıkça NO_x emisyonunu arttırdığını, karışım içerisindeki etanol oranı arttırıldığında ise NO_x emisyonunun azaldığını tespit etmişlerdir.

5.7 %15 Alkol Katkılı Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri

5.7.1 Alkol katkıli (%15) karışım yakıtların motor momentleri

Taşıtın ilk kalkışında direnç kuvvetlerini yenmesi için motor momentinin yüksek olması istenir.

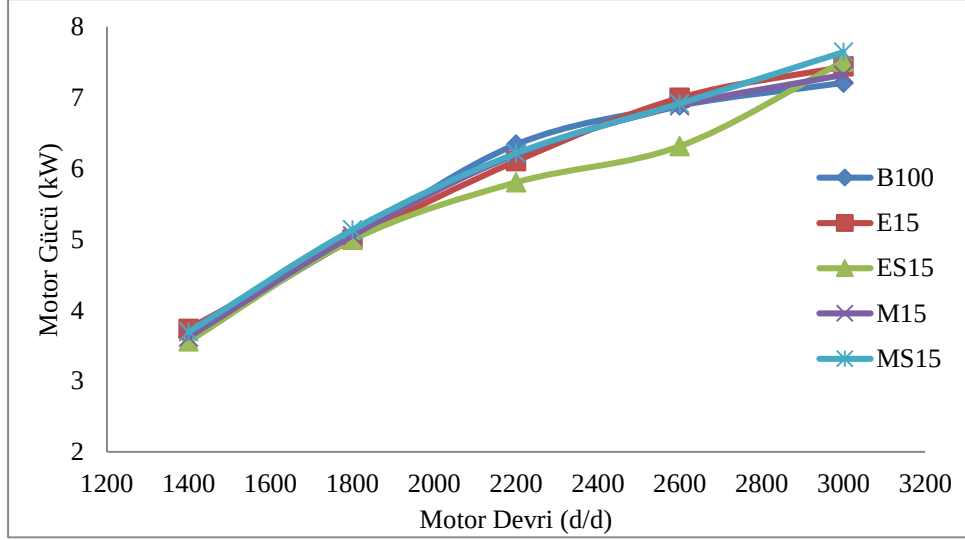


Şekil 5.7.1: Alkol katkıli (%15) karışım yakıtların motor momentinin motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.7.1 motor momentinin motor hızına bağlı değişim grafiğini göstermektedir. MS15, M15, E15 karışım yakıtlarının motor momentleri, B100 yakıtıyla kıyaslandığında, sırasıyla %4.19, %2.58, %1.45 artarken, ES15 karışım yakıtının motor momentini ise %1.85 azalma meydana gelmiştir. Yapılan çalışmalarda motorun sıkıştırma oranının arttırılması motorun güç ve termik verimini arttırmaktadır (Poulton, 1994).

5.7.2 Alkol katkıli (%15) karışım yakıtların motor güçleri

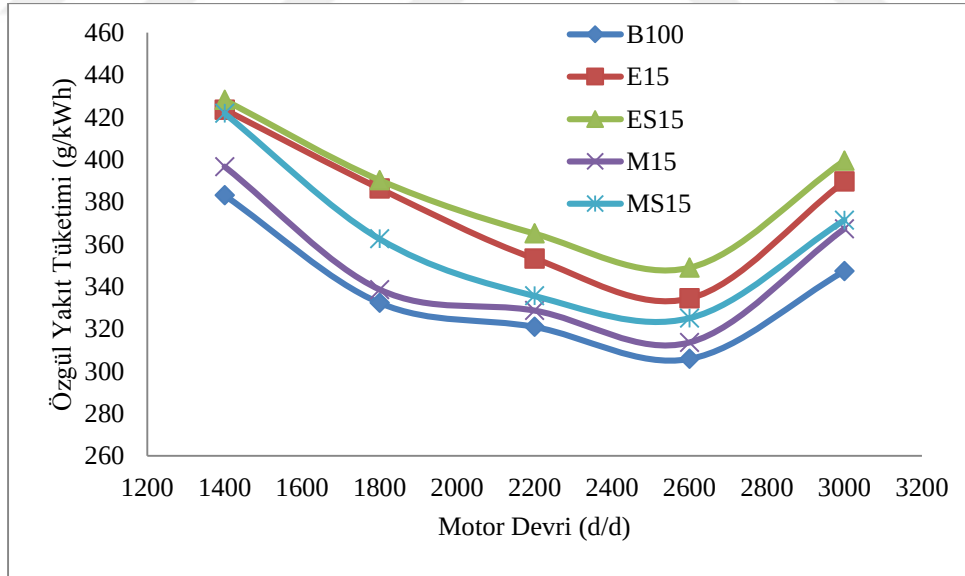
Motor devri arttıkça motor momentini azalırken motor gücü artar. Çünkü yüksek motor hızlarında güce ihtiyaç vardır.



Şekil 5.7.2: Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların motor gücünün motor devrine bağlı değişimi

Motor gücünün motor devrine bağlı değişimi Şekil 5.7.2’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde bütün karışım yakıtların motor güçleri motor hızına bağlı olarak düzenli bir şekilde artmıştır. Al-Baghdadi (2000), yaptığı çalışmada benzer sonuçlar elde etmiştir.

5.7.3 Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri

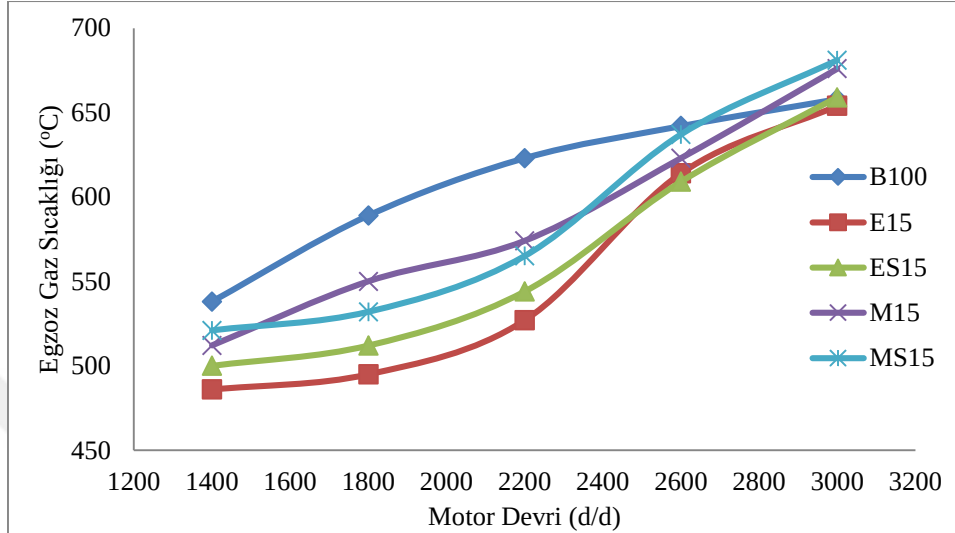


Şekil 5.7.3: Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.7.3 motor devrine bağlı olarak, özgül yakıt tüketimindeki değişimi göstermektedir. Grafığe göre, tüm karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri, B100 yakıtıyla kıyaslandığında artma meydana gelmiştir. Özgül yakıt tüketiminde meydana gelen artışın sebebi, etanol ve

metanolun ısıl değerlerinin benzine göre daha düşük olmasıdır veya yanma için gerekli olan oksijenin sağlanamamasıdır. Literatürde yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir (Yüksel 2004).

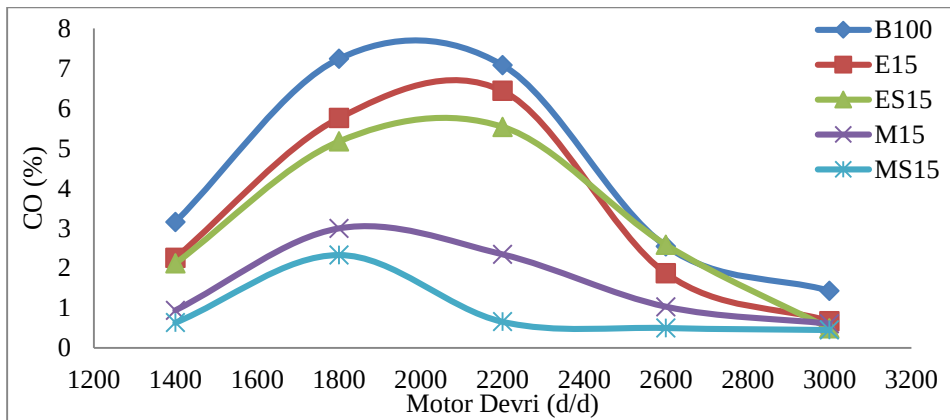
5.7.4 Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları



Şekil 5.7.4: Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi

Egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi Şekil 5.7.4’de gösterilmiştir. Tüm karışım yakıtların egzoz sıcaklıkları B100 yakıtına göre düşmüştür. Benzinle kıyaslandığında en fazla azalma E10 yakıtıyla % 9,63 olarak elde edilmiştir. Literatürde benzer sonuçlara rastlamak mümkündür (Topgül ve diğ, 2006).

5.7.5 Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların CO emisyonları

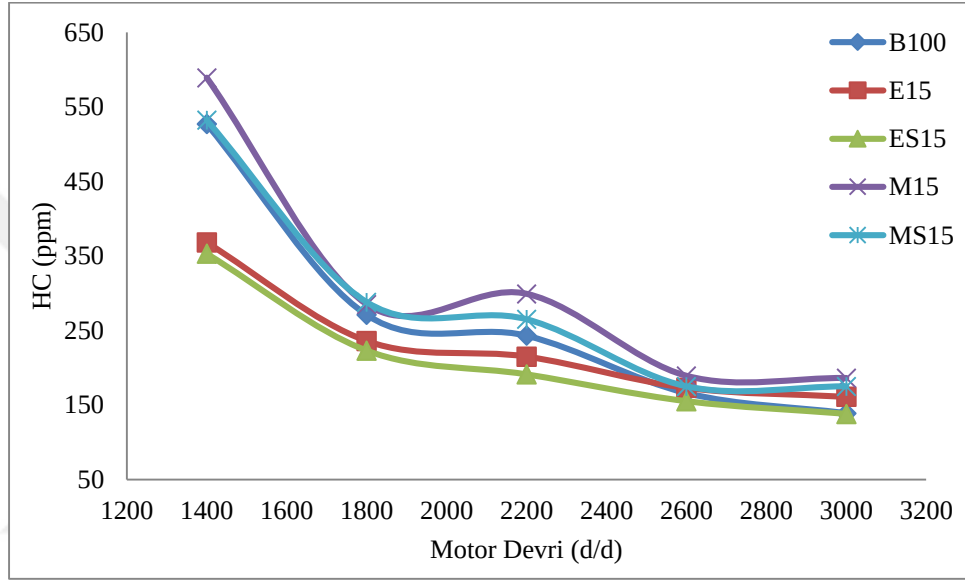


Şekil 5.7.5: Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.7.5 CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimini göstermektedir. Şekil incelendiğinde, tüm karışım yakıtların CO emisyonlarının düştüğü görülmektedir. B100 yakıtıyla kıyaslandığında, CO emisyonundaki en fazla azalma MS15 karışım yakıtıyla %78,77 olarak elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir (El-Emam ve Desoky 1985).

5.7.6 Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların HC emisyonları

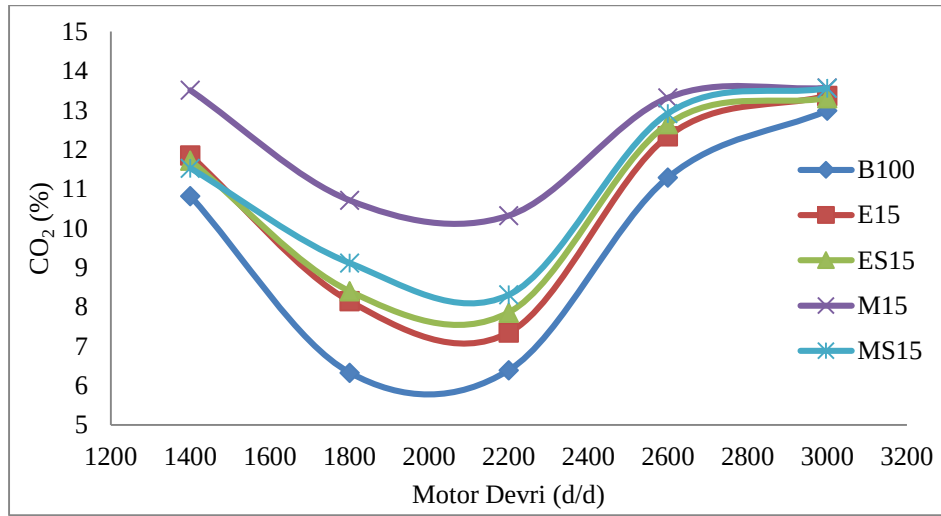
Taşıt kaynaklı zararlı egzoz emisyonlarından biride HC emisyonlarıdır.



Şekil 5.7.6: Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların HC emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Karışım yakıtların HC emisyonlarının motor hızına bağlı değişim grafiği Şekil 5.7.6'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde saf benzine göre HC emisyonlarındaki en fazla azalma ES15 karışım yakıtıyla %21,24 elde edilirken, en fazla artış M15 yakıtıyla %15 olarak elde edilmiştir. Literatürde benzer sonuçlar elde edilmiştir (Yüksel ve Yüksel 2004; Korematsu ve Yuo, 1989)

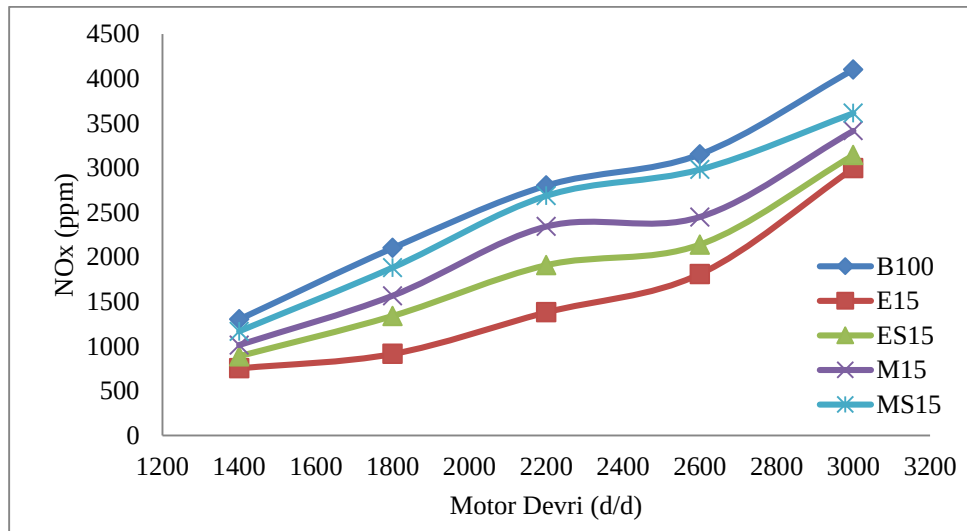
5.7.7 Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların CO₂ emisyonları



Şekil 5.7.7: Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların CO₂ emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.7.7 Karışım yakıtların CO₂ emisyonlarının motor hızına bağlı değişimini göstermektedir. M15, MS15, ES15 ve E15 karışım yakıtlarının karbondioksit emisyonları B100 yakıtıyla kıyaslandığında sırasıyla, %28.46, %15.93, %12.79 ve %10.95 oranlarında artma meydana gelmiştir. Yapılan çalışmalarda benzer sonuçlara rastlamak mümkündür (Sharudin ve diğ, 2017).

5.7.8 Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların NO_x emisyonları

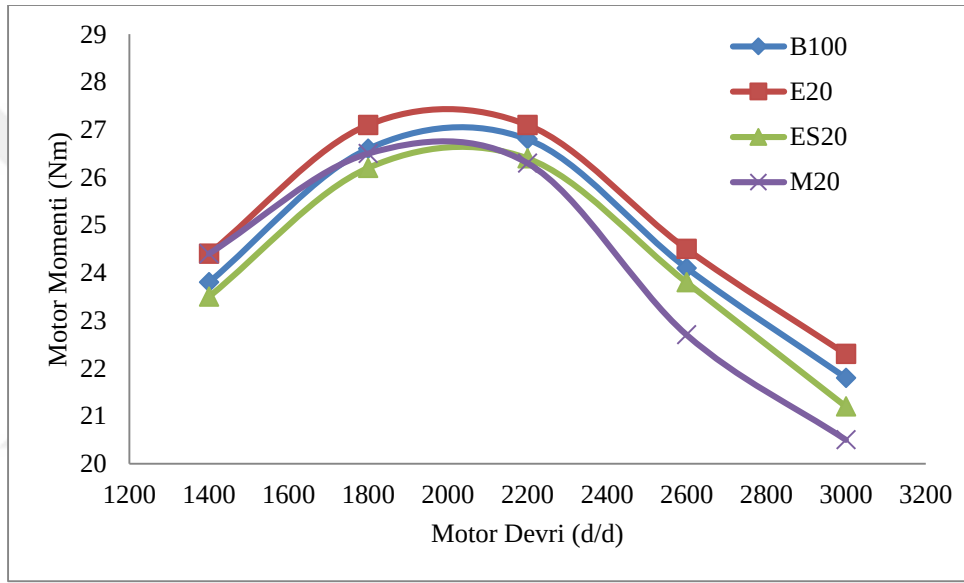


Şekil 5.7.8: Alkol katkılı (%15) karışım yakıtların NO_x emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

NO_x emisyonunda CO₂ emisyonu gibi küresel ısınmaya sebep olan zararlı egzoz emisyonlardandır. Şekil 5.7.8 NO_x emisyonunun motor hızına bağlı değişimini göstermektedir. Tüm karışım yakıtların NO_x emisyonları motor hızına bağlı olarak düzenli bir şekilde azalmıştır. Belirli oranlarda etanolün benzine ilave edilerek oluşturulan E5, E10 ve M5 karışım yakıtlarını deney motorunda test edilmesi ile benzine göre NO_x emisyonu azaldığını tespit etmiştir (Eyidoğan, 2009).

5.8 %20 Alkol Katkılı Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri

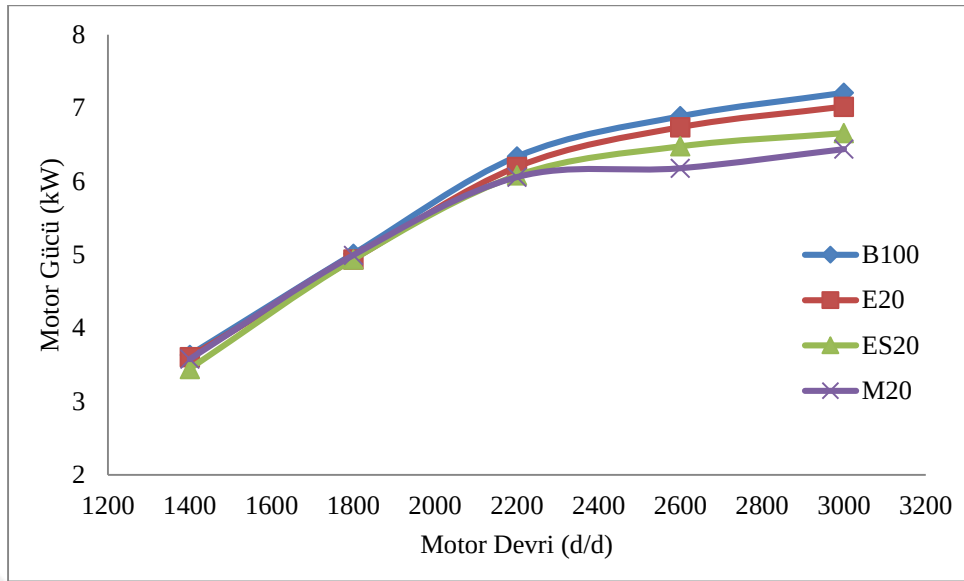
5.8.1 Alkol katkıli (%20) karışım yakıtların motor momentleri



Şekil 5.8.1: Alkol katkıli (%20) karışım yakıtların motor momentinin motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.8.1 karışım yakıtların motor momentlerinin motor devrine bağlı değişimini göstermektedir. Şekil incelendiğinde E20 karışım yakıtının momenti tüm motor devirlerinde B100 yakıtına göre artmıştır ancak ES20 ve M20 karışım yakıtların motor momentleri ise düştüğü görülmektedir. Liu ve diğ. (2007), yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

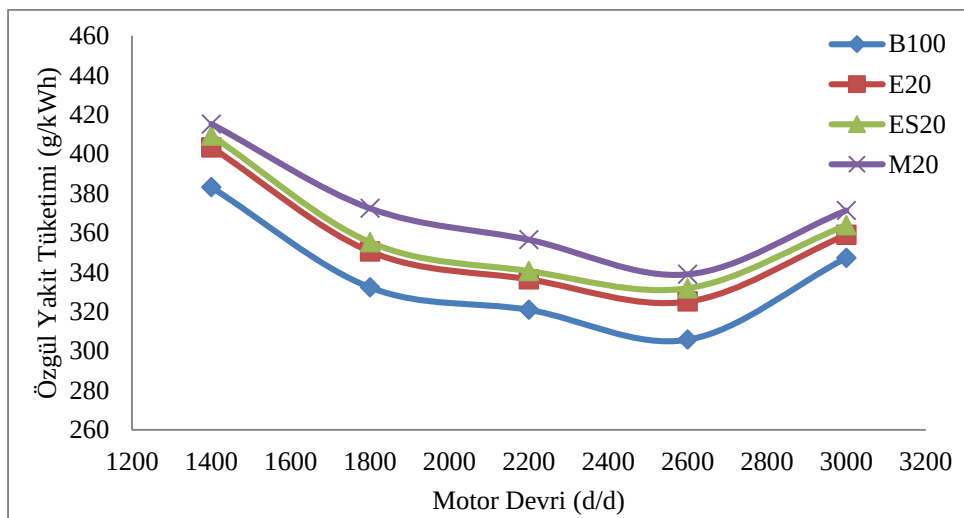
5.8.2 Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların motor güçleri



Şekil 5.8.2: Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların motor gücünün motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.8.2 motor gücünün motor devrine bağlı değişim grafiğini göstermektedir. Grafik incelendiğinde tüm karışım yakıtların B100 yakıtıyla kıyaslandığında motor güçleri düşmüştür. Saf benzine kıyasla en düşük güç ES20 karışım yakıtıyla %5,10 olarak elde edilmiştir. Liu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir (Liu ve diğ, 2007).

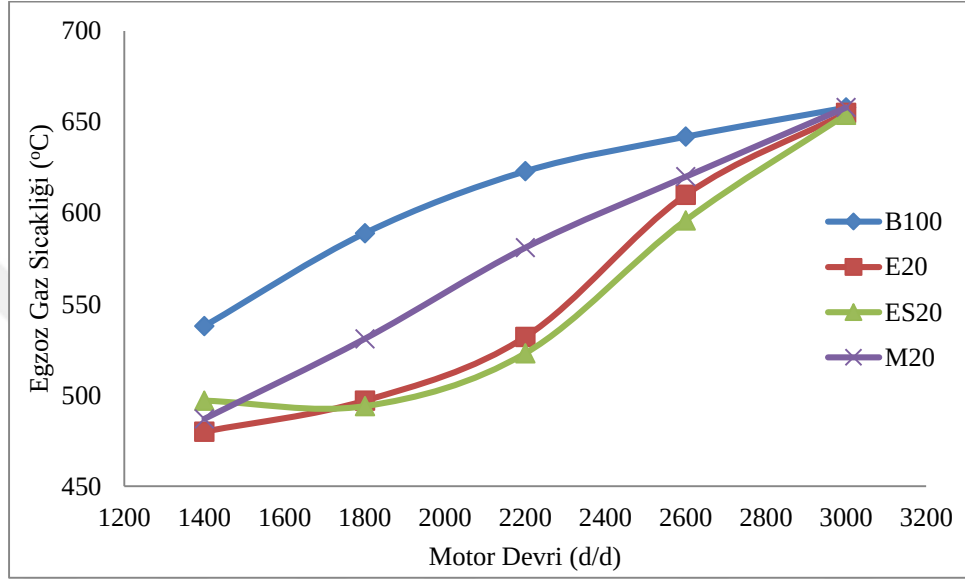
5.8.3 Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri



Şekil 5.8.3: Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.8.3 özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişim grafiğini göstermektedir. Grafik incelendiğinde tüm karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri B100 yakıtıyla kıyaslandığında artmıştır. B100 yakıtına göre, en yüksek yakıt tüketimi M20 yakıtıyla %9,75 olarak elde edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda benzer sonuçlara rastlamak mümkündür (Topgül ve diğ., 2006).

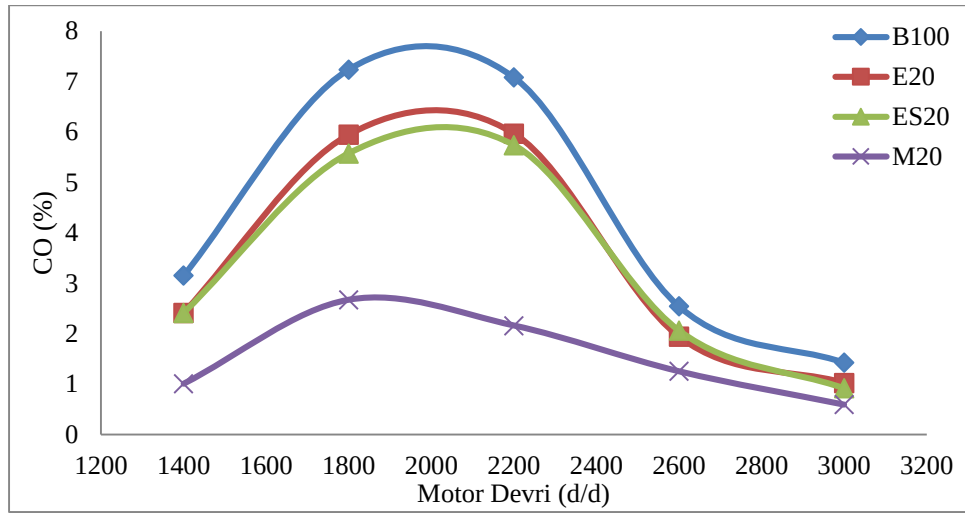
5.8.4 Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları



Şekil 5.8.4: Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi

Egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişim grafiği Şekil 5.8.4’de verilmiştir. Grafikte tüm karışım yakıtların egzoz sıcaklıkları tüm motor devrinde B100 yakıtına göre düşmüştür. Topgül ve diğ. (2006) yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

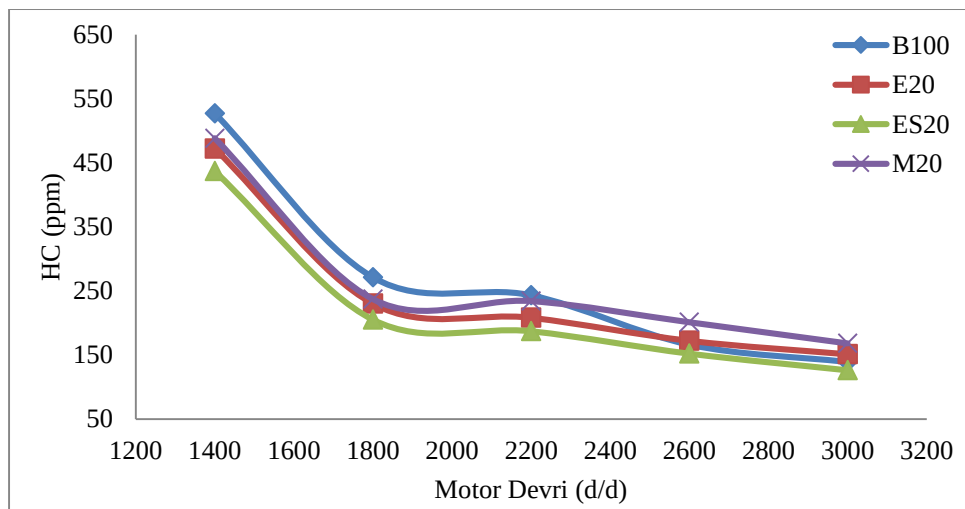
5.8.5 Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların CO emisyonları



Şekil 5.8.5: Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.8.5’de karışım yakıtların CO emisyonlarının motor hızına bağlı değişimini göstermektedir. Grafik incelendiğinde bütün motor devirlerinde tüm karışım yakıtların CO emisyonları düşmüştür. E20, ES20, M20 karışım yakıtlarının benzine göre CO emisyonlarında sırasıyla; %19,34, %22,05, %64,14 azalma meydana gelmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda, benzer sonuçlar bulunmaktadır (Najafi ve diğ, 2015; Mallikarjun ve diğ, 2009).

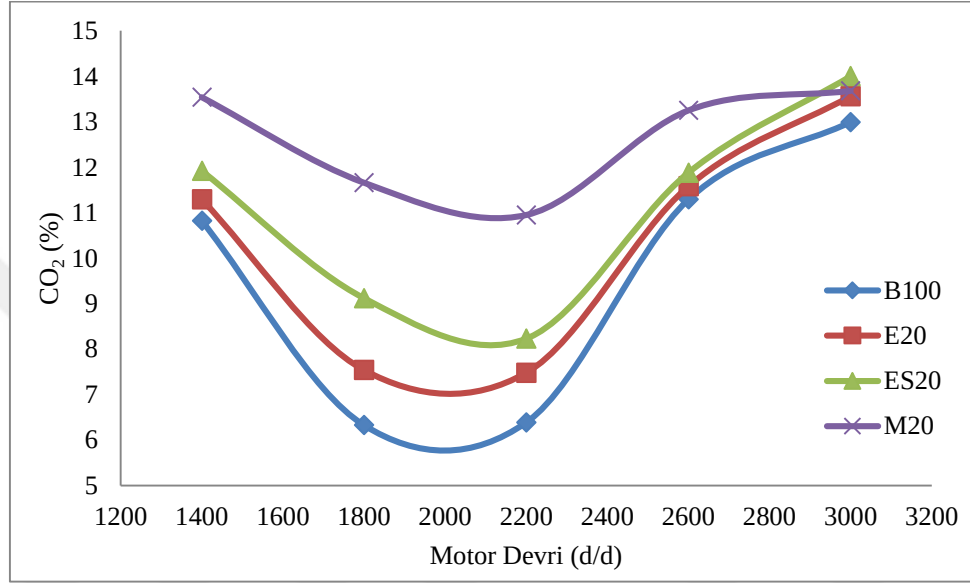
5.8.6 Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların HC emisyonları



Şekil 5.8.6: Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların HC emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.8.6’de motor hızına bağlı HC emisyonunun değişim grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde, ES20 ve E20 karışım yakıtlarının HC emisyonları B100 yakıtına göre, sırasıyla %17.75 ve %8.39 oranında azaldığı, M20 karışım yakıtının HC emisyonu B100 yakıtıyla kıyaslandığında %1.33 arttığı görülmektedir. Topgül ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmada, benzer sonuçlar elde etmişlerdir (Topgül ve diğ., 2006).

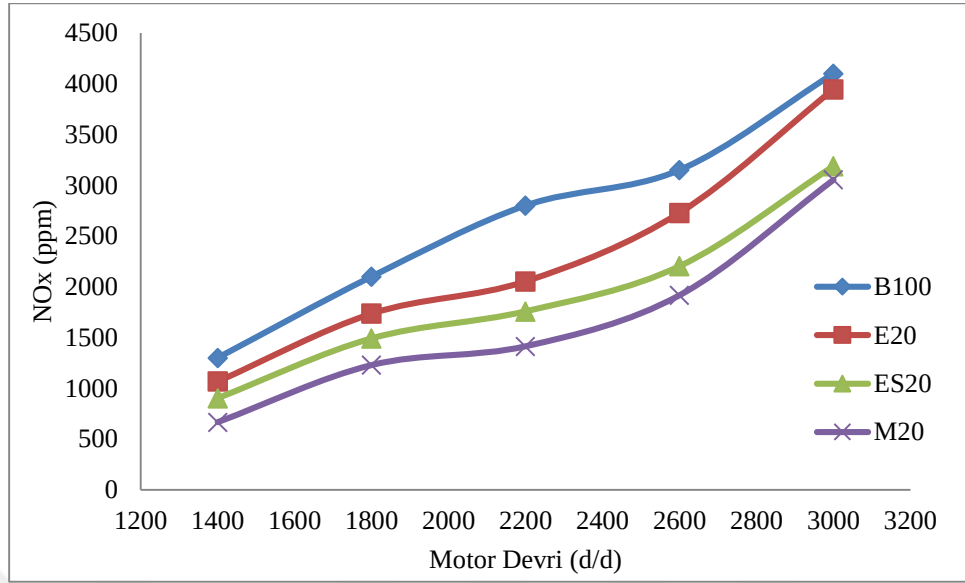
5.8.7 Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların CO₂ emisyonları



Şekil 5.8.7: Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların CO₂ emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.8.7 CO₂ emisyonunun motor hızına bağlı değişimini göstermektedir. CO₂ emisyon grafiği incelendiğinde B100 yakıtına kıyasla M20 yakıtının CO₂ emisyonunda %34 artış görülmektedir. Çelik ve ark, (2011), yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir

5.8.8 Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların NO_x emisyonları

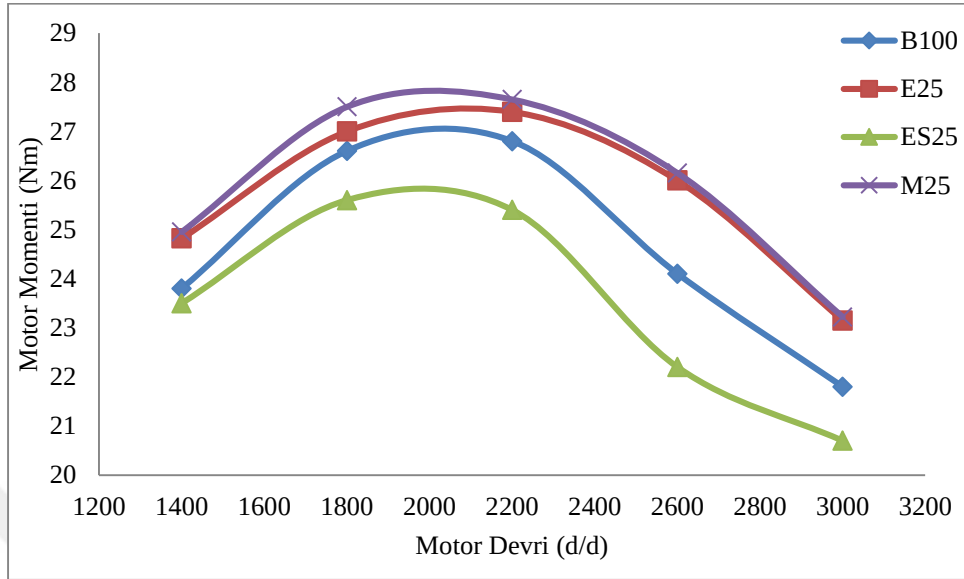


Şekil 5.8.8: Alkol katkılı (%20) karışım yakıtların NO_x emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Küresel ısınmaya sebep olan taşıt kaynaklı zararlı egzoz emisyonlarından biri de NO_x emisyonudur. Şekil 5.8.8 NO_x emisyonunun motor devrine bağlı değişimini göstermektedir. Grafik incelendiğinde, saf benzine kıyasla tüm karışım yakıtların NO_x emisyonları düşmüştür. En düşük NO_x emisyonu M20 karışım yakıtıyla %38,42 olarak elde edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir (Hasan ve diğ, 2018; Çelik ve diğ, 2011; Doğan ve diğ, 2017; Akansu ve diğ, 2017).

5.9 % 25 Alkol Katkılı Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri

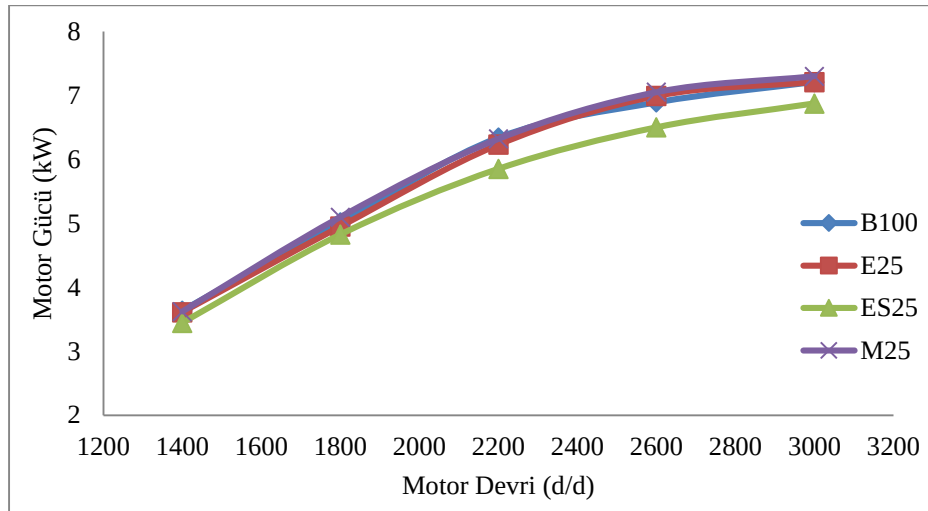
5.9.1 Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların motor momentleri



Şekil 5.9.1: Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların motor momentinin motor devrine bağlı değişimi

Motor momentinin motor hızına bağlı değişim grafiği Şekil 5.9.1’da verilmiştir. E25 ve M25 yakıtlarının motor momentleri B100 yakıtıyla kıyaslandığında sırasıyla %4.28 ve %5.17 oranında arttığı, ES25 karışım yakıtının motor momentinde ise %4.63 azalma tespit edilmiştir. ES25 karışım yakıtının momenti B100 yakıtına göre düşük çıkmasının nedeni karışım yakıtının içerisinde bulunan sodyumdan kaynaklanmaktadır. Sodyumun yanma üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı yanma tam olarak gerçekleşmediğinden moment düşük çıkmıştır. Wu ve diğ. (2003), yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

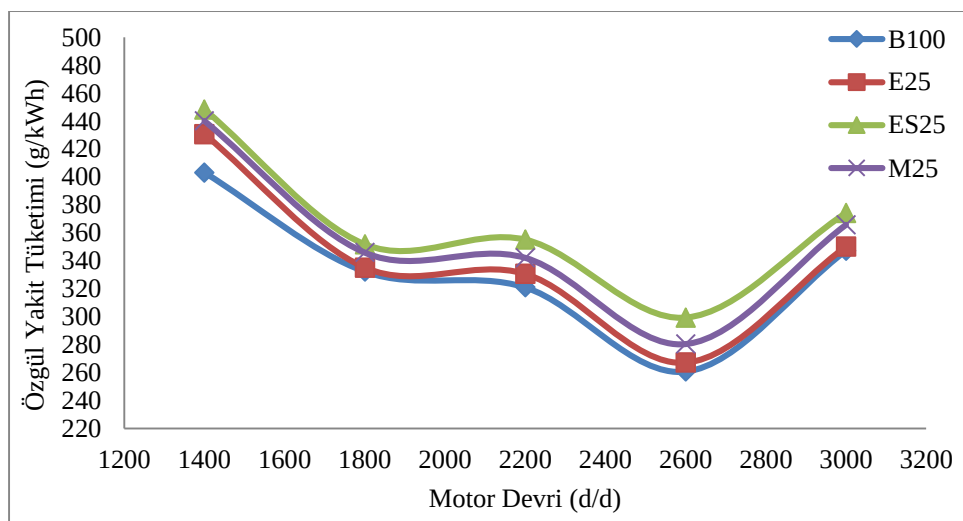
5.9.2 Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların motor güçleri



Şekil 5.9.2: Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların motor gücünün motor devrine bağlı değişimi

Yüksek motor devirlerinde taşıtın çabucak hızlanması için yüksek güce ihtiyaç vardır. Dolayısıyla motor gücünün motor devrine bağlı olarak artması gerekir. Motor gücünün motor devrine bağlı değişim grafiği Şekil 4.5.7’de verilmiştir. Grafiğe göre, tüm karışım yakıtların motor güçleri artmıştır. Al-Hasan tarafından benzinli bir motorda yapılan çalışmada(2009), karışım yakıtı etanol ilavesi motor gücünü %8.3, termik verimi %9 ve volumetrik verimi %7 artırmıştır.

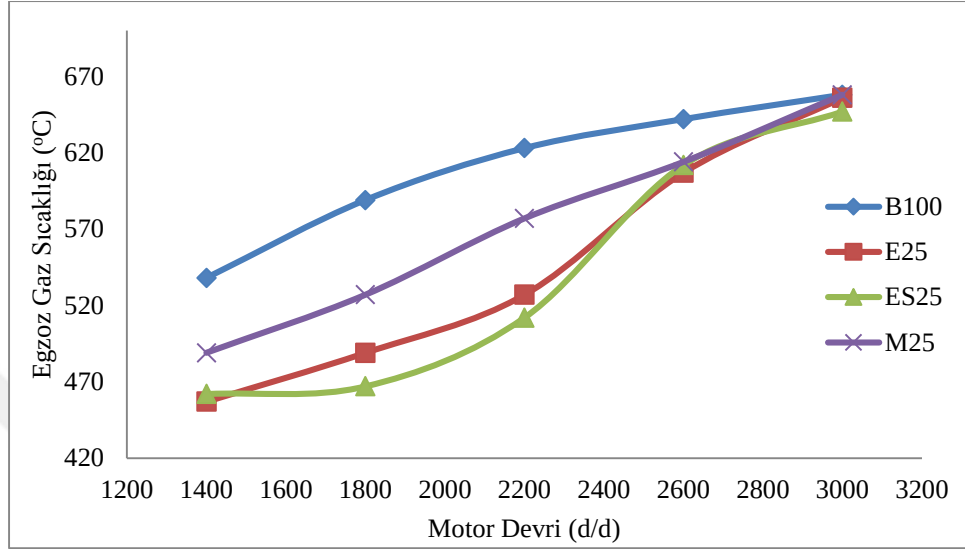
5.9.3 Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri



Şekil 5.9.3: Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.9.3 özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimini göstermektedir. bütün motor devirlerinde tüm karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri B100 yakıtına göre artmıştır. Konu ile ilgili yapılan bir çalışmada (Aktaş, 2009), benzer sonuçlar elde etmiştir

5.9.4 Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklığı

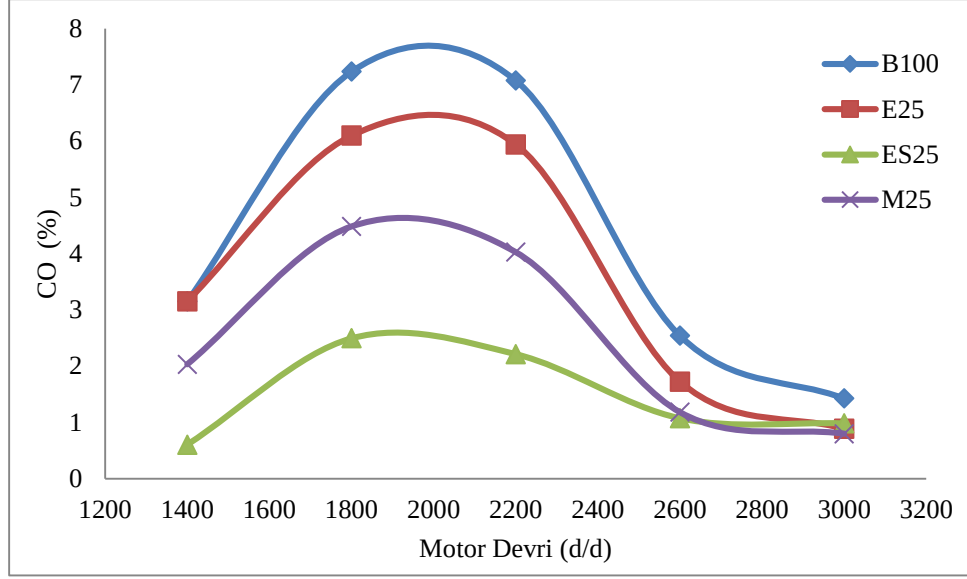


Şekil 5.9.4: Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi

Egzoz gaz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi Şekil 5.9.4’da verilmiştir. En düşük egzoz gaz sıcaklığı ES25 karışım yakıtıyla %11,47 olarak elde edilmiştir. Motor devri arttıkça bütün karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklığı artmıştır. Topgül ve diğ. (2006), yapmış oldukları çalışmada, benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

5.9.5 Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların CO emisyonları

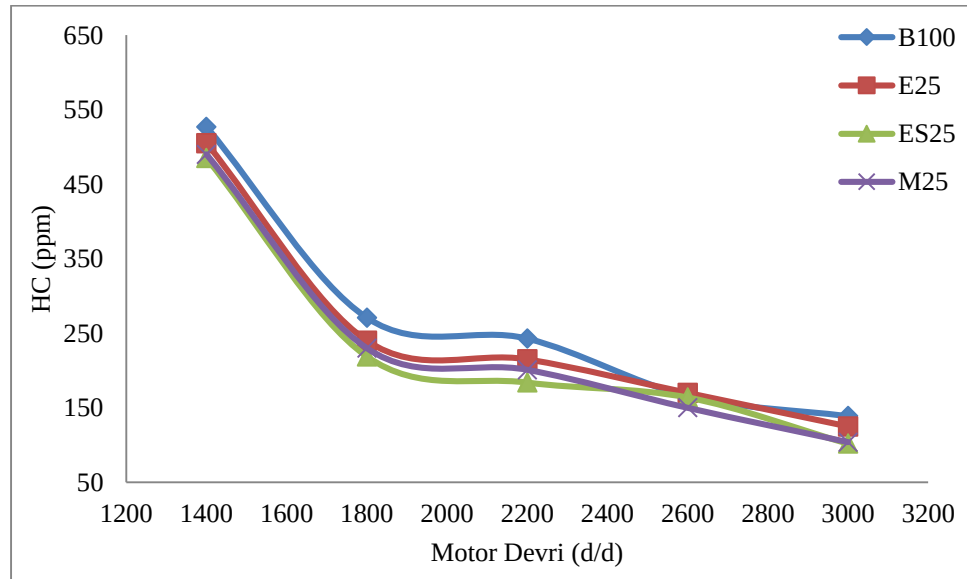
Taşıt kaynaklı zararlı egzoz emisyonları arasında yer alan CO emisyonunun meydana gelmesindeki temel neden yanma esnasındaki oksijen eksikliğidir.



Şekil 5.9.5: Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.9.5 CO emisyonunun motor devrine bağlı değişim grafiğini göstermektedir. Grafikte de belirtildiği gibi tüm karışım yakıtların CO emisyonları B100 yakıtına göre düşmüştür. Saf benzine göre E25, ES25, M25 karışım yakıtların CO emisyonlarında sırasıyla; %16,97, %75,45, %41,61 azalma gerçekleşmiştir. He ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçlar elde etmişlerdir (He ve diğ., 2003).

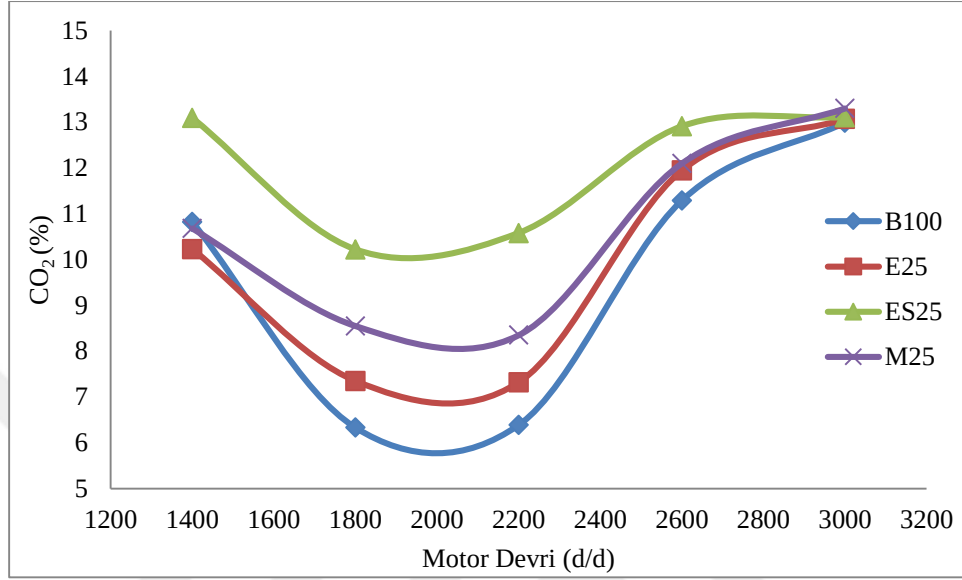
5.9.6 Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların HC emisyonları



Şekil 5.9.6: Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların HC emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.9.6 HC emisyonunun motor devrine bağlı değişimini göstermektedir. Grafik incelendiğinde E25, M25 ve ES25 karışım yakıtlarının HC emisyonlarında B100 yakıtına göre sırasıyla; %6.76; %12.70 ve %14.26 oranında azalma meydana gelmiştir.

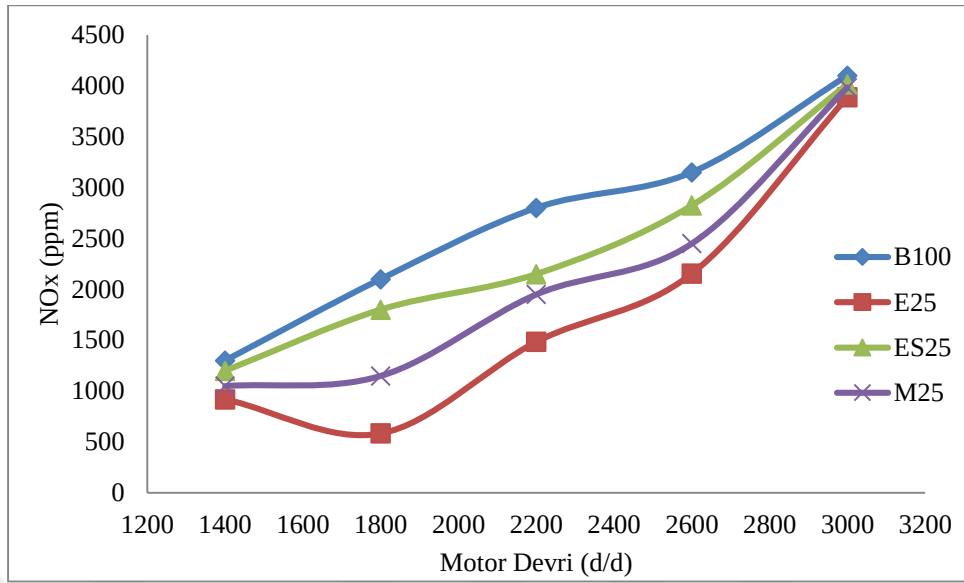
5.9.7 Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların CO₂ emisyonları



Şekil 5.9.7: Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların CO₂ emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

CO₂ emisyonlarının motor devrine bağlı olan değişimi Şekil 5.9.7’de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi tüm karışım yakıtların CO₂ emisyonu B100 yakıtına göre artmıştır. Saf benzine göre en fazla artış ES25 karışım yakıtıyla %33,64 olarak gerçekleşmiştir. Al-Hasan (2003), tarafından benzinli bir motorda yapılan çalışmada benzer sonuçlar elde edilmiştir.

5.9.8 Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların NO_x emisyonları

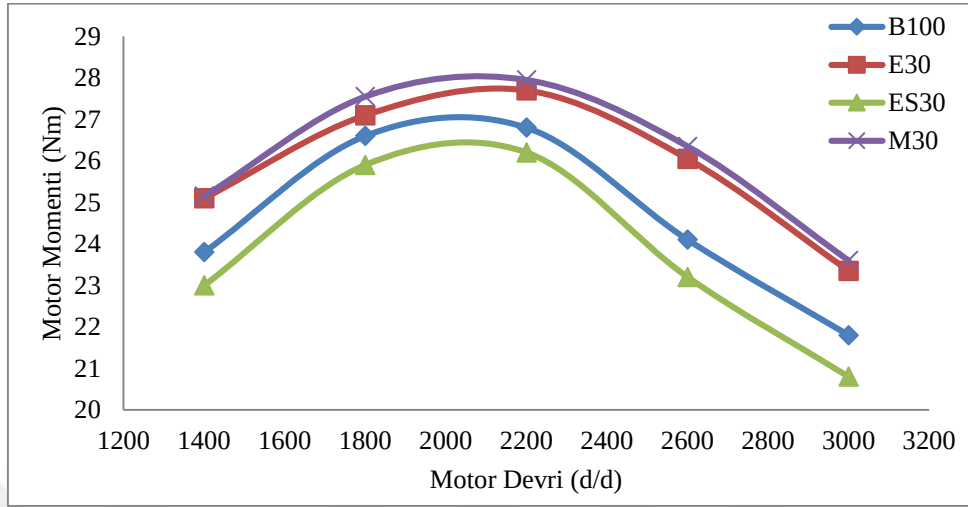


Şekil 5.9.8: Alkol katkılı (%25) karışım yakıtların NO_x emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.9.8 NO_x emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimini göstermektedir. Grafik incelendiğinde tüm karışım yakıtların NO_x emisyonları B100 yakıtına göre düşmüştür. Bunun nedeni metanolün ve etanolün buharlaşma ısısı benzinden daha yüksek olması olarak düşünülebilir. Yakıt tanecikleri çevreden ısı alarak sıvı halden buhar hale dönüşür. Buda silindire giren havanın sıcaklığını düşürerek havanın yoğunluğu artırır. Bu sebepten dolayı yanma sıcaklığını düşürerek kendi kendine tutuşma eğilimini ve NO_x emisyonlarını azaltır (Al-Baghdadi, 2002; Hüttenbräucker, 1992; Sato ve diğ, 1997; Bechtold, 1997; Al-Baghdadi, 2001).

5.10 %30 Alkol katkılı Karışım Yakıtların Performans ve Emisyon Analizleri

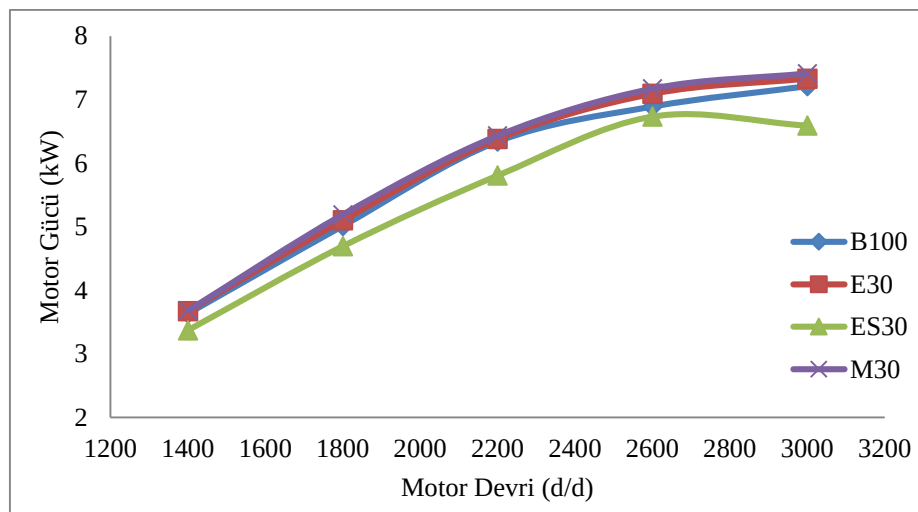
5.10.1 Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların motor momentleri



Şekil 5.10.1: Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların motor momentinin motor devrine bağlı değişimi

Motor momentinin motor hızına bağlı değişim grafiği Şekil 5.10.1’da verilmiştir. Grafiğe göre, tüm karışım yakıtların motor momentleri belli bir motor devrine kadar artmış, motor hızının artmasıyla motor momentleri düşmüştür. Saf benzine göre, ES30 karışım yakıtı hariç diğer karışım yakıtların momentleri artmıştır. Costa ve Sodre yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir (Costa ve Sodre, 2011).

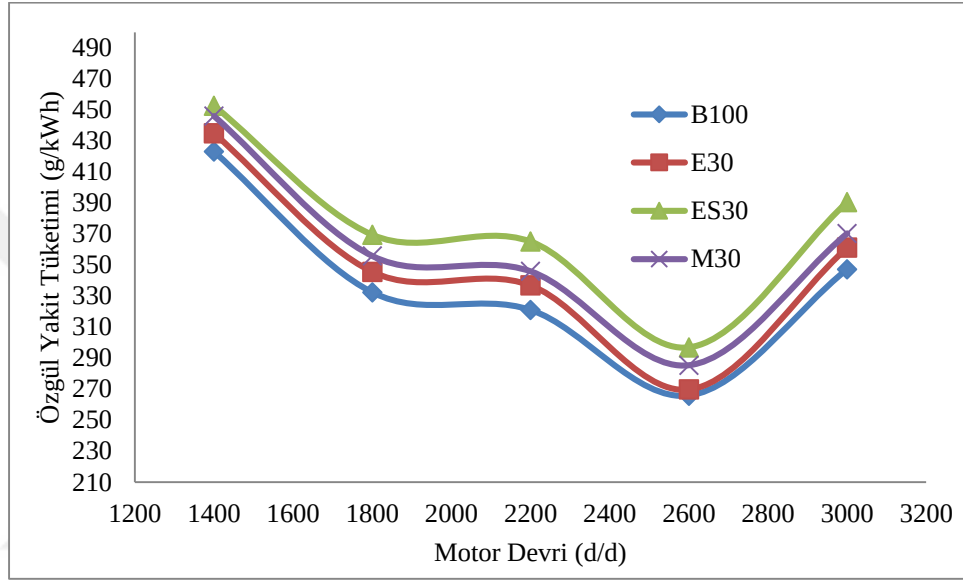
5.10.2 Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların motor güçleri



Şekil 5.10.2: Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların motor gücünün motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.10.2 motor gücünün motor devrine bağlı değişimini göstermektedir. tüm karışım yakıtların motor hızı arttıkça motor güçleride artmıştır. E30 ve M30 karışım yakıtlarının motor güçlerinde B100 yakıtına göre sırasıyla %1.65, % 2.71 artma meydana gelmiştir. ES30 karışım yakıtının motor momenti %6.51 oranında düşme meydana gelmiştir. Bunun nedeni ES30 karışım yakıtının tam olarak yanmaması olarak değerlendirilebilir. Literatürde yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir (Salman, 1996; Nazzal 2011).

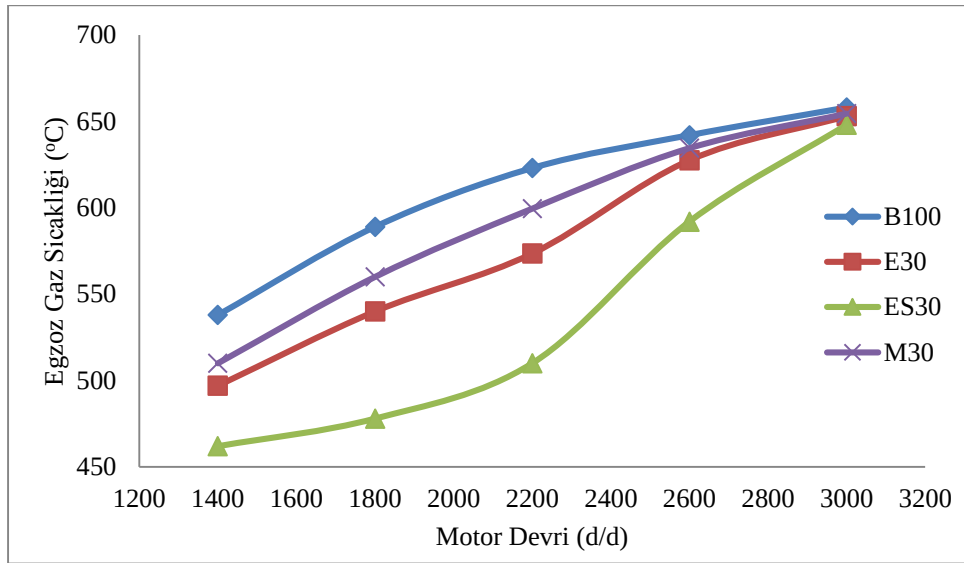
5.10.3 Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri



Şekil 5.10.3: Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi

Özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı değişimi Şekil 5.10.3’de verilmiştir. Tüm karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri B100 yakıtıyla kıyaslandığında artmıştır. Saf benzine göre, yakıt tüketimindeki en fazla artış ES30 karışım yakıtıyla %10,96 olarak gerçekleşmiştir. Bunun nedeni ES30 karışım yakıtının tam olarak yanmaması olarak düşünülebilir. Yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar bulunmaktadır (Topgül ve diğ, 2006; Ergenaman ve diğ, 1998).

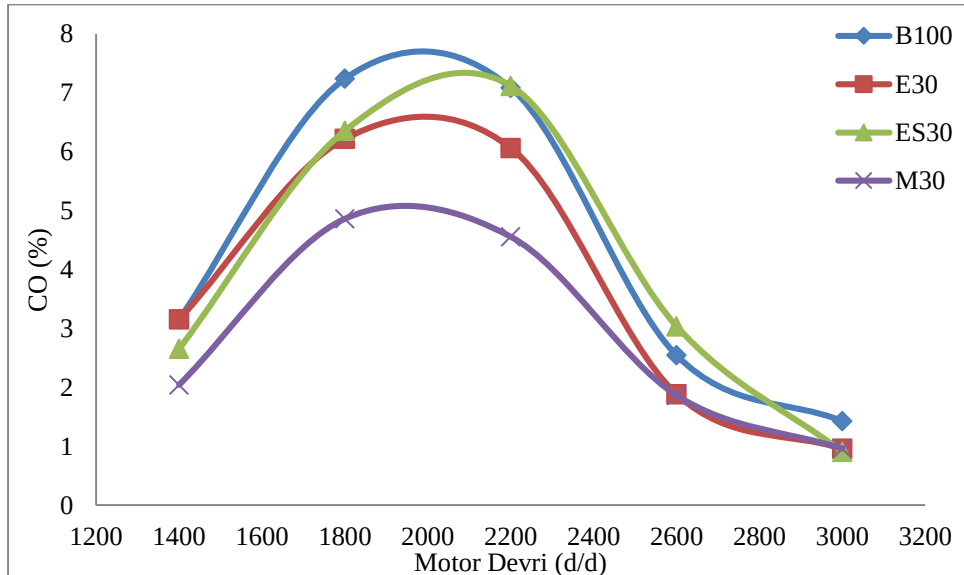
5.10.4 Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları



Şekil 5.10.4: Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların egzoz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi

Egzoz gaz sıcaklığının motor devrine bağlı değişimi Şekil 5.10.4’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları B100 yakıtına göre düşmüştür. Yapılan çalışmalarda benzer sonuçlara rastlamak mümkündür (Alasfour 1997).

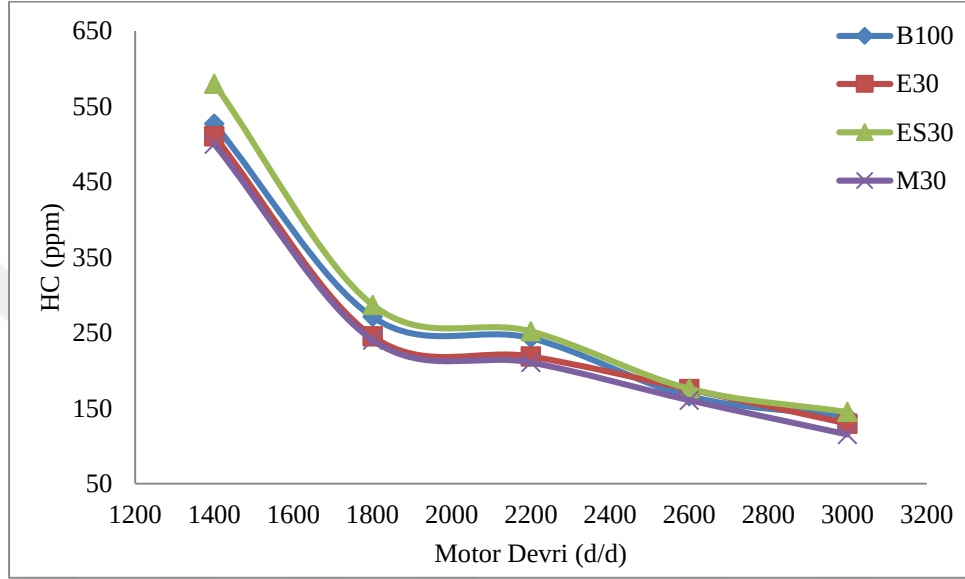
5.10.5 Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların CO emisyonları



Şekil 5.10.5: Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

CO emisyonunun motor devrine bağılı değişimi şekil 5.10.5’de verilmiştir. Bütün karışım yakıtların CO emisyonu B100 yakıtıyla kıyaslandığında dūřmūřtır. CO emisyonunun motor devrine bağılı değişimi şekil 4.6.1’de verilmiştir. En dūřuk CO emisyonu bütün motor devrilerinde M30 yakıtıyla %33,42 olarak gerçekleşmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir (Mourad ve Mahmoud, 2018).

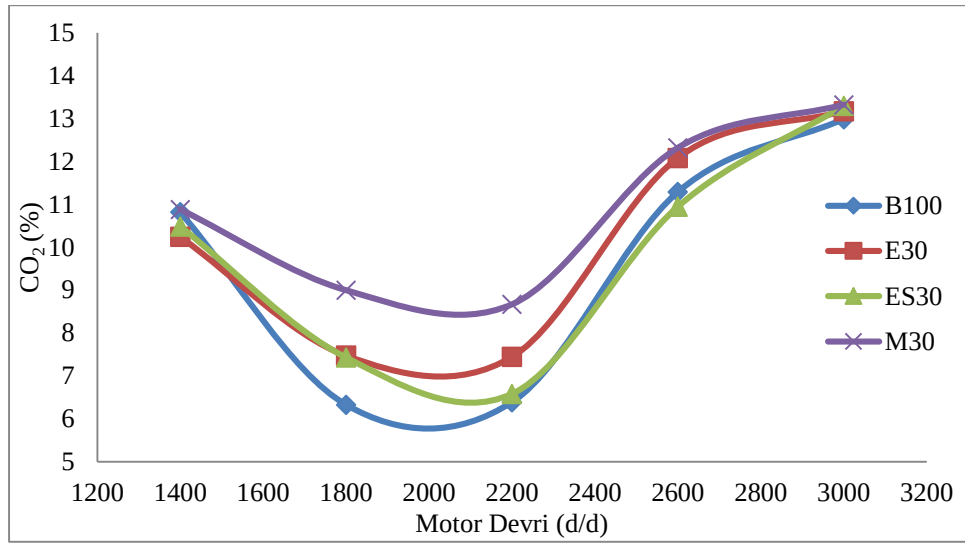
5.10.6 Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların HC emisyonları



şekil 5.10.6: Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların HC emisyonunun motor devrine bağılı değişimi

şekil 5.10.6 HC emisyonunun motor hızına bağılı değişimini göstermektedir. Tm karışım yakıtların HC emisyonları motor hızına bağılı olarak dūřmūřtır. Bununla beraber saf benzine göre ES30 karışım yakıtının HC emisyonu artarken diğer karışım yakıtların HC emisyonları dūřmūřtır. HC emisyonlarındaki en fazla dūřme M30 karışım yakıtıyla %8,91 olarak gerçekleşmiştir. ES30 karışım yakıtının HC emisyonunun yksek çıkmasının nedeni eksik yanmadan veya yanmanın tam olarak gerçekleşmemesine bağlanabilir. Topgöl ve dię. (2006), yapmış oldukları çalışmada, benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

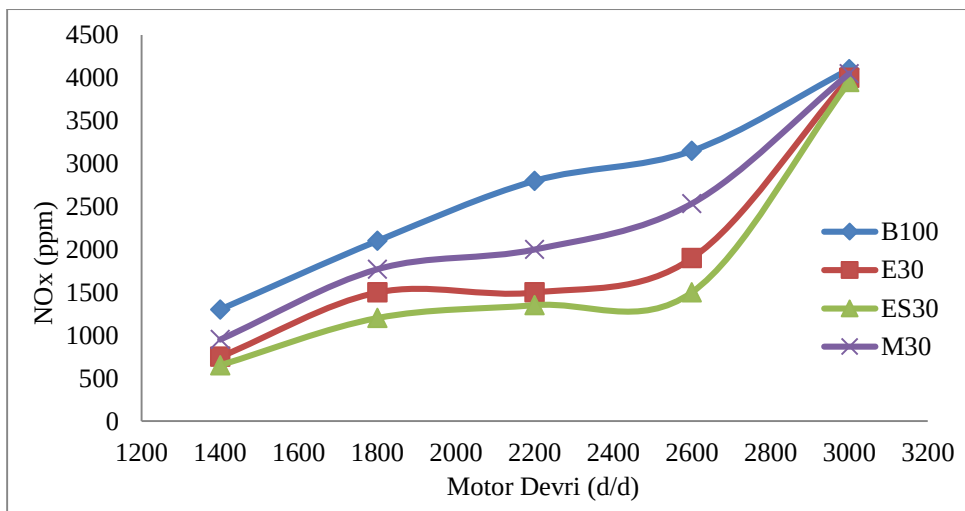
5.10.7 Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların CO₂ emisyonları



Şekil 5.10.7: Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların CO₂ emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

CO₂ emisyonunun motor hızına bağlı değişim grafiği Şekil 5.10.7’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde tüm yakıtların CO₂ emisyonları B100 yakıtına göre artmıştır. CO₂ emisyonu küresel ısınmaya sebep olan emisyonlar arasındadır. Tam yanma sonucu oluşan bir emisyondur. ES30, E30 ve M30 karışım yakıtlarının CO₂ emisyonları B100 yakıtıyla kıyaslandığında sırasıyla %1.94, %5.44 ve %13.34 artmıştır. Hsieh ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir (Hsieh ve diğ, 2002).

5.10.8 Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların NO_x emisyonları



Şekil 5.10.8: Alkol katkılı (%30) karışım yakıtların NO_x emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Şekil 5.10.8 NO_x emisyonunun motor devrine bağlı değişim grafiğini göstermektedir. Grafiğe göre tüm karışım yakıtların NO_x emisyonları motor hızına bağlı olarak düşmüştür. Tüm motor devrilerinde saf benzine göre, en düşük NO_x emisyonu ES30 karışım yakıtıyla %35,68 olarak elde edilmiştir. Literatür çalışmalarında benzer sonuçlar elde edilmiştir (Masum ve diğ, 2013). Alkol kökenli yakıtların NO_x emisyonları benzin yakıtına göre düşüktür bunun nedeni alkol yakıtların adyabatik alev sıcaklıkları benzin yakıtına göre düşük olması olarak değerlendirilebilir (Kumar ve Nagarajan, 2009; Yaşar, 2010).



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Sonuç

Bu çalışmada. benzin-etanol. benzin-metanol. sodyum bor hidrür katkılı etanol-benzin ve sodyum bor hidrür katkılı metanol-benzin karışimli yakıtlar tek silindirli ve su ile soğutmalı benzinli bir motorda alternatif yakıt olarak test edilmiş ve motor test verileri kullanılarak elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1. E5, E10, E15, E20, E25, E30 karışım yakıtların test motorunda denenmesinde, motor momentleri ve özgül yakıt tüketimi. tüm motor devirlerinde benzin yakıtına kıyasla artmıştır. Etanol-benzin karışım yakıtların motor momentleri B100 yakıtıyla kıyaslandığında, en fazla artış E30 yakıtıyla %5.03 olurken en az artış E10 yakıtıyla %1.05 olarak gerçekleşmiştir. Bununla beraber. E5, E10, E15, E20, E25, E30 karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri. B100 yakıtına kıyasla sırasıyla; %2.04, %3.55, %10.82, %5.02, %6.64, %8.51 artış göstermiştir. E10, E20, E25 karışım yakıtların motor güç değerleri benzin yakıtına kıyasla azalırken E5, E15, E30 karışım yakıtlarında ise artmıştır.

Silindir içerisindeki karışım yakıtların ateşleme süresine ve karışımlardaki etanol miktarının artırılmasına bağlı olarak. Saf benzine kıyasla tüm karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları azalmıştır. Egzoz gaz sıcaklıkları B100 yakıtıyla kıyaslandığında en fazla düşüş E25 karışım yakıtıyla %10.29 olarak gerçekleşmiştir.

2. M5, M10, M15, M20, M25, M30 olarak adlandırılan metanol-benzin karışım yakıtların test motorunda denenmesinde, CO, NO_x emisyonları benzin yakıtına kıyasla bütün motor hızlarında düşerken CO₂ emisyonları ise artmıştır. Test yakıtları içerisinde en yüksek CO emisyonu benzin ile gerçekleşirken en düşük CO emisyon değeri ise M5 yakıtı ile gerçekleşmiştir. Bununla beraber, NO_x emisyonlarındaki en fazla azalma M20 karışım yakıtıyla %38.42 olarak gerçekleşmiştir. CO₂ emisyonları ise B100 yakıtıyla kıyaslandığında sırasıyla; %30.46, %23.31, %28.46, %31.91, %11.62, %15.43 artış gerçekleşmiştir. Ayrıca, M5, M10, M15 karışım yakıtların HC emisyonları benzin yakıtına kıyasla artarken M20, M25, M30 karışım yakıtlarında ise düşmüştür. En fazla artış M15 karışım yakıtıyla %12.03 gerçekleşirken en fazla azalma M25 karışım yakıtıyla %12.70 olarak gerçekleşmiştir.

Saf benzine kıyasla, M20 karışım yakıtı hariç benzin-metanol karışım yakıtların motor momentleri ve motor güçleri tüm karışım yakıtlarında, benzin yakıtına kıyasla artmıştır.

Hem motor momentleri hem de motor güçleri için en fazla artış M30 karışım yakıtıyla gerçekleşmiştir. M30 karışım yakıtının B100 yakıtıyla kıyaslandığında motor momenti %6.09 azalırken motor gücü %3.22 artmıştır. Bununla beraber, M10 yakıtı hariç tüm karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri, benzin yakıtına göre artış göstermiştir. Saf benzine kıyasla, özgül yakıt tüketimindeki en fazla artış M20 karışım yakıtıyla %9.75 olarak gerçekleşmiştir. M10 karışım yakıtının özgül yakıt tüketimi ise %4.55 azalmıştır. Diğer taraftan, M5, M10, M15, M20, M25, M30 karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları B100 yakıtıyla kıyaslandığında sırasıyla; %1.42, %3.73, %4.62, %5.77, %6.06, %3 azalma gerçekleşmiştir.

3. ES5, ES10, ES15, ES20, ES25, ES30 karışım yakıtların test motorunda denenmesinde, karışım yakıtlar içerisindeki oksijen ve hidrojenin dolaylı yanma iyileşmiş ve benzine kıyasla bütün karışım yakıtların CO, HC, NO_x emisyonları azalırken CO₂ emisyonları artmıştır. ES5, ES10, ES15, ES20, ES25, ES30 karışım yakıtların CO emisyonlarında, B100 yakıtına kıyasla sırasıyla; %80.31, %28.63, %25.95, %22.05, %40.93, %6.40 azalma gerçekleşmiştir. Ayrıca, B100 yakıtına göre, HC emisyonlarındaki en fazla düşüş ES15 karışım yakıtıyla %21.24 olarak belirlenmiştir. NaBH₄ katkılı etanol-benzin karışım yakıtların karışım adyabatik alev sıcaklığının benzin yakıtına göre daha düşük olması NO_x emisyonları düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Bununla beraber, hem sodyum borhidrür katkılı etanol-benzin karışım yakıtların mekanik kayıplarından ve hacimsel verimliliğin azalmasından dolayı motor momenti ve motor gücü değerleri bütün karışım yakıtları için benzin yakıtına kıyasla azalmıştır. B100 yakıtına kıyasla motor momentindeki en fazla azalma ES30 karışım yakıtıyla %3.24 olarak gerçekleşmiş ve ES30 karışım yakıtın motor gücünde de %6.51 azalma olmuştur. Ayrıca karışım yakıtların oktan sayılarının benzin yakıtına göre yüksek olmasından dolayı yanma iyileşmiş ve egzoz gaz sıcaklığı düşmüştür. Bununla beraber, gerek karışım yakıtların viskozite ve yoğunlukların benzine göre yüksek olması gerekse alt ısı değerlerinin düşük olması tüm karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri B100 yakıtına göre artmıştır. Saf benzine göre ES5, ES10, ES15, ES20, ES25, ES30 karışım yakıtların özgül yakıt tüketimlerinde gerçekleşen artış miktarı sırasıyla; %1.34, %2.15, %14.36, %6.57, %8.01, %11.20 olmuştur.

4. Sodyum bor hidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtların bir kısmının (MS20, MS25, MS30) deney motorunda test edilmesi esnasında aksaklıklar meydana gelmiş ve deney motorunun enjektöründe oluşan tıkanmadan dolayı motorun stop etmesine sebep olmuştur.

Bundan dolayı MS20, MS25 ve MS30 karışım yakıtlarının performans ve emisyon ölçümleri yapılamamıştır.

5. MS5, MS10, MS15 olarak adlandırılan sodyum borhidrür katkılı metanol-benzin karışım yakıtları test motorunda denenmiş ve benzin yakıtına kıyasla, bu karışım yakıtların CO ve NO_x emisyonları azalmıştır. Karışım yakıtların CO emisyonlarındaki azalma miktarı sırasıyla; %61.77, %66.59 ve %78.77 olarak gerçekleşmiştir. Karışım yakıtların (MS5, MS10, MS15) NO_x emisyonlarında meydana gelen azalma miktarı da sırasıyla; %36.03 %22.22 ve % 8.38 olmuştur.

Bununla beraber, her üç karışım yakıtın CO₂ ve HC emisyonları ise B100 yakıtına göre artmıştır. MS5, MS10, MS15 karışım yakıtların CO₂ emisyonlarındaki artış miktarı sırasıyla; %25.95, %19.51, %15.93 olarak gerçekleşmiştir. B100 yakıtına göre, karışım yakıtların HC emisyonlarındaki en fazla artış MS5 karışım yakıtıyla %18.94 olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca, MS5, MS10, MS15 karışım yakıtların motor moment ve motor güç değerleri B100 yakıtıyla kıyaslanmış ve en fazla artış MS15 karışım yakıtıyla gerçekleşerek sırasıyla; %4.78 ve %1.78 olmuştur. B100 yakıtına göre, MS5, MS10, MS15 karışım yakıtların özgül yakıt tüketimlerinde sırasıyla; %5.65, %6.94, %7.52 artış gerçekleştirirken egzoz gazı sıcaklıklarında da sırasıyla; %2.57, %5.50, %3.73 azalma tespit edilmiştir.

6. Etanol-benzin (E5), metanol-benzin (M5), NaBH₄ katkılı etanol-benzin (ES5) ve NaBH₄ katkılı metanol-benzin (MS5) karışım yakıtları deney motorunda test edilip elde edilen sonuçlar saf benzin ile çalışan motorun test sonuçları ile kıyaslandığında; tüm karışım yakıtların motor moment ve motor güç değerlerindeki en fazla artış M5 yakıtıyla gerçekleşmiş olup momentteki artış miktarı %3.01 ve güçteki artış miktarı da %1.68 olmuştur. Bununla beraber, E5, ES5, M5, MS5 karışım yakıtların test motorunda yakıt olarak değerlendirilmesinde B100 yakıtına kıyasla karışım yakıtların CO emisyonlarında sırasıyla; %14.92, %65.53, %55.47, %43.11 azalma gerçekleşmiştir. HC emisyonlarında ise B100 yakıtına kıyasla en fazla artış MS5 karışım yakıtıyla %18.94 olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca, NO_x emisyonlarındaki en fazla düşüş MS5 yakıtıyla %36.03 olarak bulunmuştur. Karışım yakıtların CO₂ emisyonlarındaki en fazla artış ES5 karışım yakıtıyla %8.51 olarak gerçekleşmiştir. Diğer taraftan, B100 yakıtına göre, E5, ES5, M5, MS5 karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri sırasıyla; %2.33, %1.34, %3.79, %5.65 artış gerçekleşmiştir. Belirtilen karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıklarındaki en fazla azalma E5 yakıtıyla %6.81 olarak gerçekleşmiştir.

7. Deney motorunda yakıt olarak değerlendirilen E10, ES10, M10, MS10 karışım yakıtların egzoz emisyonları saf benzin ile karşılaştırıldığında, CO emisyonları sırasıyla; %11.89, %28.63, %70.10, %66.59 azalmıştır. Test yakıtların HC emisyonlarındaki en fazla artış MS10 karışım yakıtıyla %13.59 olarak gerçekleşmiştir. Bununla beraber, NO_x emisyonlarındaki en fazla düşüş E10 yakıtıyla %36.96 olarak gerçekleşirken CO₂ emisyonlarındaki maksimum artış M10 karışım yakıtıyla %23.31 olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca, motor performansında etkili olan parametreler arasında yer alan moment, güç ve özgül yakıt sarfiyatının maksimum değerleri M10 karışım yakıtı ile gerçekleşmiştir. Momentteki artış %4.36, güçteki artış %2.72 ve özgül yakıt tüketimindeki artma ise %4.55 olarak meydana gelmiştir. Bu durum, M10 karışım yakıtının test motoru için en uygun karışım yakıt olduğu anlamına gelebilir.

8. Saf etanol, saf metanol, NaBH₄ katkılı etanol ve NaBH₄ katkılı metanolün herbiri hacimsel olarak %15 oranında benzin yakıtına katılan ve oluşturulan yakıtların E15, ES15, M15, MS15 olarak isimlendirildiği karışım yakıtların test motorunda yakıt olarak değerlendirilmesinde CO ve NO_x emisyonları azalırken CO₂ ve özgül yakıt tüketimi değerleri artış göstermiştir. Karbonmonoksit emisyonlarında sırasıyla; %20.83, %25.95, %63.17, %78.77 azalma gerçekleşirken özgül yakıt tüketim değerlerinde sırasıyla; %11.70, %14.36, %3.27 ve %7.52 artış meydana gelmiştir.

9. Hacimsel olarak %20 oranında etanol, metanol, ve NaBH₄ katkılı etanolün saf benzine ilavesi ile elde edilen E20, ES20, M20 karışım yakıtların motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisi incelendiğinde; B100 yakıtına kıyasla CO emisyonları sırasıyla; %19.34, %22.05, %64.14 azalmıştır. NO_x emisyonlarındaki en fazla düşüş %38.42 ile M20 yakıtına ait iken CO₂ emisyonlarındaki en fazla artış %31.91 ile yine M20 karışım yakıtına aittir. Motor momenti ve motor gücündeki en fazla artış ise sırasıyla, %1.86 %0.28 olarak artış gerçekleşmiştir.

10. E25, ES25, M25 karışım yakıtların test motorunda denenip B100 yakıtı ile kıyaslandığında, CO emisyonları sırasıyla; %16.97, %66.65, %41.61 azalırken, ES25 karışım HC emisyonlarında da %14.26 azalma gerçekleşmiştir. NO_x emisyonlarındaki maksimum düşüş E25 yakıtıyla %32.82 olarak gerçekleşmiştir. Karışım yakıtların CO₂ emisyonlarındaki artış ise ES25 karışım yakıtıyla %25.28 olarak bulunmuştur. Motor moment ve güç değerleri en fazla artış M25 yakıtıyla gerçekleşmiştir. B100 yakıtına göre M25 yakıtının motor momentindeki artma miktarı %5.17 gerçekleşirken motor gücündeki artış ise %1.02 gerçekleşmiştir. Bununla beraber, E25, ES25, M25 karışım yakıtların saf

benzine özgül yakıt tüketimlerindeki artış sırasıyla; %2.95, %9.87, %6.62 olarak bulunmuştur.

11. Etanol-benzin, metanol benzin ve NaBH₄ kakılı etanol-benzin karışım yakıtların(E30, ES30, M30) deney motorunda test edilip elde edilen sonuçlar B100 yakıtıyla kıyaslandığında, saf benzine göre, CO emisyonları sırasıyla; %14.78, %6.40, %33.42 azalmıştır. ES30 karışım yakıtının HC emisyonları artarken E30 ve M30 yakıtların HC emisyonları azalmıştır. Ayrıca, her üç yakıtın NO_x emisyonları azalırken CO₂ emisyonları artmıştır. Diğer taraftan, motor performans değerlerini gösteren moment, güç ve özgül yakıt tüketimleri yakıt türlerine göre farklılık göstermiştir. B100 yakıtına göre ES30 yakıtı hariç motor moment ve güç değerlerinde artma meydana gelmiştir. Tüm karışım karışım yakıtların(E30, ES30, M30) B100 yakıtına göre özgül yakıt tüketimleri sırasıyla %3.48, %10.96, %6.75 artış gösterirken egzoz gaz sıcaklıkları azalmıştır.

12. Sonuç olarak, bu çalışmada, benzinli motorlardan kaynaklanan zararlı egzoz emisyonlarını en aza indirmek için benzin yakıtına bor kökenli sodyum borhidrür katkı maddesi ilave edilerek egzoz emisyonlarının düşürülmesi sağlanmış ve motor performansında iyileşmeler tespit edilmiştir. Taşıtlarda enerji kaynağı olarak her ne kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması teşvik edilse de mevcut taşıtların kullanımı devam edeceğinden zararlı egzoz emisyonlarının azaltılması gereklidir. Bu nedenle içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlara katkı maddeleri eklenerek yakıt özelliklerini iyileştirilmesi ve daha temiz ve sağlıklı yaşam şartları meydana getirilmelidir. Yapılan çalışma ile benzin yakıtına hem alkol kökenli katkı maddeleri hem de etanol ve metanolde çözülmüş sodyum borhidrür yakıt katkı maddesi eklenmiş ve benzinli motorlar için alternatif yakıtlar oluşturulmuş.

6.2 Öneriler

Tek silindirli su soğutmalı benzinli motorda denenen etanol, metanol, etanolde çözülmüş sodyum borhidrür çözeltisi ve metanolde çözülmüş sodyum borhidrür çözeltisi, motor performansı ve egzoz emisyonlarının belirlenmesinde, deney yakıtı olarak kullanılmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda bu karışım yakıtlar:

1. Çok silindirli motorlarda test edilebilir.
2. Dizel motorlarda test edilip performans ve emisyon değerleri incelenebilir.
3. Farklı sıkıştırma oranlarına sahip motorlarda denenebilir.
4. Farklı ateşleme avanslarında motor testleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Abiyazani, N. K., Pirouzfard, V., & Su, C. H.** (2022). Enhancing engine power and torque and reducing exhaust emissions of blended fuels derived from gasoline-propanol-nano particles. *Energy*, 241, 122924.
- Abu-Hamed, T., Karni, J., & Epstein, M.** (2007). The use of boron for thermochemical storage and distribution of solar energy. *Solar Energy*, 81(1), 93-101.
- Abdel- Rahman, A. A., & Osman, M. M.** (1997). Experimental investigation on varying the compression ratio of SI engine working under different ethanol-gasoline fuel blends. *International Journal of Energy Research*, 21(1), 31-40.
- Adeyanju, A. A., Manohar, K., & Ramnath, A.** (2018). Statistical Analysis of Electric Vehicle Adoption in Trinidad and Tobago. *Innov Ener Res*, 7(3), 1-23.
- Adigüzel, A. O.** (2013). Biyoetanölün genel özellikleri ve üretimi için gerekli hammadde kaynakları. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 204-220.
- Agarwal, A. K., Karare, H., & Dhar, A.** (2014). Combustion, performance, emissions and particulate characterization of a methanol-gasoline blend (gasohol) fuelled medium duty spark ignition transportation engine. *Fuel processing technology*, 121, 16-24.
- Ağbulut, Ü.** (2021) Well to Wheel: A life-cycle based analysis of CI engine powered with diesel and various alcohol blends. *International Journal of Automotive Science And Technology*, 5(4), 289-298.
- Ağbulut, Ü., Elibol, E., Demirci, T., Sarıdemir, S., Gürel, A. E., Rajak, U., ... & Verma, T. N.** (2022). Synthesis of graphene oxide nanoparticles and the influences of their usage as fuel additives on CI engine behaviors. *Energy*, 244, 122603.
- Akansu, S. O., Tangöz, S., Kahraman, N., İlhak, M. İ., & Açıkgöz, S.** (2017). Experimental study of gasoline-ethanol-hydrogen blends combustion in an SI engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(40), 25781-25790.
- Alasfour, F. N.** (1997). Butanol—a single cylinder engine study: engine performance. *International journal of energy research*, 21(1), 21-30.
- Al-Baghdadi, M. A. R. S.** (2000). Performance study of a four-stroke spark ignition engine working with both of hydrogen and ethyl alcohol as supplementary fuel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 25(10), 1005-1009.
- Al-Baghdadi, M. A. R. S.** (2001). The safe operation zone of the spark ignition engine working with dual renewable supplemented fuels (hydrogen+ ethyl alcohol). *Renewable energy*, 22(4), 579-583.
- Al-Baghdadi, M. A. R. S.** (2002). A study on the hydrogen-ethyl alcohol dual fuel spark ignition engine. *Energy conversion and management*, 43(2), 199-204.
- Al-Hasan, M.** (2003). Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission. *energy conversion and management*, 44(9), 1547-1561.
- Altun, Ş., Öztö, H. F., Öner, C., & Varol, Y.** (2013). Exhaust emissions of methanol and ethanol-unleaded gasoline blends in a spark ignition engine, *Thermal Science*, 17(1), 291-297.

- Arabacı, E., & Kılıç, B. (2019). Biyodizel Yakıtları İçin Biyodizel Karakteristik İndeksinin Geliştirilmesi. *Proceeding & Abstract Book*, 108.
- Ardebili, S. M. S., Solmaz, H., Ipci, D., Calam, A., & Mostafaei, M. (2020). A review on higher alcohol of fusel oil as a renewable fuel for internal combustion engines: Applications, challenges, and global potential. *Fuel*, 279, 118516.
- Arapatsakos, C., Karkanis, A., & Sparis, P. (2008). Methanol blends as motor fuels. *WSEAS transactions on environment and development*, 4, 857-876.
- Ayhan, V. (2006). *Metanol-benzin karışımlarının MgO-ZrO₂ termal bariyer çemberli bir motorda performans ve emisyonlara etkisi* (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- Badwal, S. P. S., Giddey, S., Kulkarni, A., Goel, J., & Basu, S. (2015). Direct ethanol fuel cells for transport and stationary applications—A comprehensive review. *Applied Energy*, 145, 80-103.
- Balki, M. K., Sayin, C., & Canakci, M. (2014a). The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine. *Fuel*, 115, 901-906.
- Balki, M. K., & Sayin, C. (2014b). The effect of compression ratio on the performance, emissions and combustion of an SI (spark ignition) engine fueled with pure ethanol, methanol and unleaded gasoline. *Energy*, 71, 194-201.
- Banfi L, Narisano E, Riva R. (2004). Sodium Borohydride in Encyclopedia of Reagents for Organic Synthesis (Ed: L. Paquette) J. Wiley & Sons, New York; doi:10.1002/047084289X.rs052.
- Batmaz, İ. (2007). Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıtı Hidrojen İlavesinin Motor Performansına Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin DeneySEL Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(1):137-147
- Batmaz, İ., & Murcak, A. (2004). Dizel Motorlarında Hidrojenin Ek Yakıt Olarak Kullanılmasının Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 7(2), 119-128.
- Bayındır, H., Yücesu, H.S. (1999) Etanol-benzin karışımları ve emme manifoldudolgu sıcaklığının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri. 6.Uluslararası Yanma Sempozyumu, 19-21 Temmuz, İstanbul, Türkiye, p.395-408.
- Beach, D. B., Rondinone, A. J., Sumpter, B. G., Labinov, S. D., & Richards, R. K. (2007). Solid-state combustion of metallic nanoparticles: new possibilities for an alternative energy carrier.
- Beşergil, B. (2007). Hampetrolden petrokimyasallara el kitabı. *Gazi Kitapevi, Ankara*. 780s
- Beşergil, B. (2009). Yakıtlar ve yağlar. *Ege Üniversitesi Basımevi*, 15-178.
- Bilici, M. S. Ü. (2004). Sodyum Borhidrür Üretim Yöntemleri, II. Uluslararası Bor sempozyumu, (pp.119-125). Eskişehir : 23-25 Eylül.
- Calam, A., İçingür, Y., Solmaz, H., & Yamık, H. (2015). A comparison of engine performance and the emission of fusel oil and gasoline mixtures at different ignition timings. *International journal of green energy*, 12(8), 767-772.

- Canakci, M., Ozsezen, A. N., Alptekin, E., & Eyidogan, M.** (2013). Impact of alcohol–gasoline fuel blends on the exhaust emission of an SI engine. *Renewable Energy*, 52, 111-117.
- Carraretto, C., Macor, A., Mirandola, A., Stoppato, A., & Tonon, S.** (2004). Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations. *Energy*, 29(12-15), 2195-2211.
- Cavalcante Cordeiro de Melo T, Bastos Machado G, Machado R.T, Pereira Belchior Jr C.R, Pereira P.P.** (2007). Thermodynamic modeling of compression, combustion and expansion processes of gasoline, ethanol and natural gas with experimental validation on a flexible fuel engine. SAE World Congress, 2007-24-0035.
- Celik, M. B., Özdalyan, B., & Alkan, F.** (2011). The use of pure methanol as fuel at high compression ratio in a single cylinder gasoline engine. *Fuel*, 90(4), 1591-1598.
- Celik, M. B., & Colak, A.** (2008). The use of pure ethanol as alternative fuel in a spark ignition engine. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23(3), 619-626.
- Ceviz, M. A., & Yüksel, F.** (2005). Effects of ethanol–unleaded gasoline blends on cyclic variability and emissions in an SI engine. *Applied Thermal Engineering*, 25(5-6), 917-925.
- Chen, R. H., Chiang, L. B., Chen, C. N., & Lin, T. H.** (2011). Cold-start emissions of an SI engine using ethanol–gasoline blended fuel. *Applied Thermal Engineering*, 31(8-9), 1463-1467.
- Costa, R. C., & Sodré, J. R.** (2011). Compression ratio effects on an ethanol/gasoline fuelled engine performance. *Applied Thermal Engineering*, 31(2-3), 278-283.
- Çelikten, İ., Mutlu, E., & Solmaz, H.** (2012). Variation of performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with diesel, rapeseed oil and hazelnut oil methyl ester blends. *Renewable Energy*, 48, 122-126.
- Çukurova Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği, Yakıt Analiz Laboratuvarı, 2020.**
- Dabbagh, H. A., Ghobadi, F., Ehsani, M. R., & Moradmand, M.** (2013). The influence of ester additives on the properties of gasoline. *Fuel*, 104, 216-223.
- Danaiah, P., Kumar, P. R., & Kumar, D. V.** (2013). Effect of methanol gasoline blended fuels on the performance and emissions of SI engine. *International Journal of Ambient Energy*, 34(4), 175-180.
- Das, L. M.** (2002a). Hydrogen engine: research and development (R&D) programmes in Indian Institute of Technology (IIT), Delhi. *International journal of hydrogen energy*, 27(9), 953-965.
- Das, L. M.** (2002b). Near-term introduction of hydrogen engines for automotive and agricultural application. *International Journal of Hydrogen Energy*, 27(5), 479-487.
- De Caro, P. S., Mouloungui, Z., Vaitilingom, G., & Berge, J. C.** (2001). Interest of combining an additive with diesel–ethanol blends for use in diesel engines. *Fuel*, 80(4), 565-574.

- Dehghani, M., Panahi, H. K. S., Aghbashlo, M., Lam, S. S., & Tabatabaei, M.** (2021). The effects of nanoadditives on the performance and emission characteristics of spark-ignition gasoline engines: A critical review with a focus on health impacts. *Energy*, 225, 120259.
- Demirbas, A.** (2007). Progress and recent trends in biofuels. *Progress in energy and combustion science*, 33(1), 1-18.
- Demirci, U. B., Akdim, O., Andrieux, J., Hannauer, J., Chamoun, R., & Miele, P.** (2010). Sodium borohydride hydrolysis as hydrogen generator: issues, state of the art and applicability upstream from a fuel cell. *Fuel Cells*, 10(3), 335-350.
- Dinesha, P., Mohan, S., & Kumar, S.** (2022). Experimental investigation of SI engine characteristics using Acetone-Butanol-Ethanol (ABE)–Gasoline blends and optimization using Particle Swarm Optimization. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(8), 5692-5708.
- Doğan, B., Erol, D., Yaman, H., & Kodanlı, E.** (2017). The effect of ethanol-gasoline blends on performance and exhaust emissions of a spark ignition engine through exergy analysis. *Applied Thermal Engineering*, 120, 433-443.
- El-Emam, S. H., & Desoky, A. A.** (1985). A study on the combustion of alternative fuels in spark-ignition engines. *International journal of hydrogen energy*, 10(7-8), 497-504.
- Elfasakhany, A.** (2016). Performance and emissions of spark-ignition engine using ethanol–methanol–gasoline, n-butanol–iso-butanol–gasoline and iso-butanol–ethanol–gasoline blends: a comparative study. *Engineering science and technology, an international journal*, 19(4), 2053-2059.
- Eyidoğan, M.** (2009). *Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının buji ateşlemeli bir motorun yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi* (Master's thesis, Kocaeli Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Eyidoğan, M., Canakci, M., Ozsezen, A., Alptekin, E., Turkcan, A., & Kilicaslan, I.** (2011). Investigation of the effects of ethanol-gasoline and methanol-gasoline blends on the combustion parameters and exhaust emissions of a spark ignition engine. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26(3).
- Foong, T. M., Morganti, K. J., Brear, M. J., da Silva, G., Yang, Y., & Dryer, F. L.** (2014). The octane numbers of ethanol blended with gasoline and its surrogates. *Fuel*, 115, 727-739.
- Gan, Y., & Qiao, L.** (2011a). Combustion characteristics of fuel droplets with addition of nano and micron-sized aluminum particles. *Combustion and Flame*, 158(2), 354-368.
- Gan, Y., & Qiao, L.** (2011b). Evaporation characteristics of fuel droplets with the addition of nanoparticles under natural and forced convections. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(23-24), 4913-4922.
- Ghadikolaei, M. A.** (2016). Effect of alcohol blend and fumigation on regulated and unregulated emissions of IC engines—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1440-1495.

- Gravalos, I., Moshou, D., Gialamas, T., Xyradakis, P., Kateris, D., & Tsiropoulos, Z.** (2011). Performance and emission characteristics of spark ignition engine fuelled with ethanol and methanol gasoline blended fuels. *Alternative fuel*, 85, 155-174.
- Green, F.** (2018). Anti-fossil Fuel Norm. *Climatic Change*, 150(1-2), 103–116.
- Gumus, S., Ozcan, H., Ozbey, M., & Topaloglu, B.** (2016). Aluminum oxide and copper oxide nanodiesel fuel properties and usage in a compression ignition engine. *Fuel*, 163, 80-87.
- Gürü, M., Karakaya, U., Altıparmak, D., & Alıcılar, A.** (2002). Improvement of diesel fuel properties by using additives. *Energy conversion and Management*, 43(8), 1021-1025.
- Hasan, A. O., Al-Rawashdeh, H., Ala'a, H., Abu-jrai, A., Ahmad, R., & Zeaiter, J.** (2018). Impact of changing combustion chamber geometry on emissions, and combustion characteristics of a single cylinder SI (spark ignition) engine fueled with ethanol/gasoline blends. *Fuel*, 231, 197-203.
- Hatunoğlu, E.** (2010). Biyoyakıt Politikalarının Tarım Sektörüne Etkileri. Devlet Planlama Teşkilatı Uzmanlık Tezleri iktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara.
- He, B. Q., Wang, J. X., Hao, J. M., Yan, X. G., & Xiao, J. H.** (2003). A study on emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels. *Atmospheric Environment*, 37(7), 949-957.
- He, B. Q., Xie, H., Zhang, Y., Qin, J., & Zhao, H.** (2005). *An experimental study on HCCI combustion in a four-stroke gasoline engine with reduced valve lift operations* (No. 2005-01-3736). SAE Technical Paper.
- Hellier, P., Ladommatos, N., Headen, T., & Bennington, S.** (2014). *Engine Testing of Dissolved Sodium Borohydride for Diesel Combustion CO₂ Scrubbing* (No. 2014-01-2729). SAE Technical Paper.
- Holman, C., Fergusson, M., & Mitchell, C.** (1991). Road transport and air pollution: future prospects. Rees Jefreys Road Fund transport and Society. Discussion paper 25. Oxford, UK.
- Homan, H. S., Deboer, P. C. T., & McLean, W. J.** (1978). *The effect of fuel injection on NO_x emissions and undesirable combustion for hydrogen-fueled piston engines* (No. 780945). SAE Technical Paper.
- Hopke, J. E., & Hestres, L. E.** (2017, June). Fossil fuel divestment and climate change communication. In Research presented at the 67th Annual Conference of the International Communication Association (ICA), San Diego, California.
- Hsieh, W. D., Chen, R. H., Wu, T. L., & Lin, T. H.** (2002). Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels. *Atmospheric Environment*, 36(3), 403-410.
- Huang, Y., Risha, G. A., Yang, V., & Yetter, R. A.** (2009). Effect of particle size on combustion of aluminum particle dust in air. *Combustion and Flame*, 156(1), 5-13.

- Huang, Y., Risha, G., Yang, V., & Yetter, R.** (2005, January). Analysis of nano-aluminum particle dust cloud combustion in different oxidizer environments. In *43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit* (p. 738).
- Hüttebräucker, D.** (1992). *The flexible fuel concept by Mercedes-Benz* (No. 921456). SAE Technical Paper:1-25.
- IEA,** (2019a). Banning Diesel Petrol Cars Will Impose Vast Costs On Drivers. Retrieved April 12, 2019 (de indirildi) from the World Wide Web: <https://iea.org.uk/media/banning-diesel-petrol-cars-willimpose-vast-costs-on-drivers/>
- İcingür, Y., & Ahmet, D.** (2006). Experimental investigation of effects of propane/butane ratio on performance and emission in a spark ignition engine. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(2), 303-309.
- Icingur, Y., & Calam, A.** (2012). The effects of the blends of fusel oil and gasoline on performance and emissions in a spark ignition engine. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(1): 143-149.
- İmrağ, H.** (2006). *Benzinli motorlarda biyoetanol kullanımının motor karakteristik değerlerine ve egzoz emisyonlarına etkilerinin araştırılması* (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kantürk, A., & Pişkin, S.** (2007). Alternatif enerji taşıyıcısı: hidrojen ve yıldız teknik üniversitesinde gerçekleştirilen çalışmalar. IV. *Yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu*, 35, 82-89, 31 Ekim - 02 Kasım.
- Kasper, M., Sattler, K., Siegmann, K., Matter, U., & Siegmann, H. C.** (1999). The influence of fuel additives on the formation of carbon during combustion. *Journal of Aerosol Science*, 30(2), 217-225.
- Kim, J. H., Lee, H., Han, S. C., Kim, H. S., Song, M. S., & Lee, J. Y.** (2004). Production of hydrogen from sodium borohydride in alkaline solution: development of catalyst with high performance. *International Journal of Hydrogen Energy*, 29(3), 263-267.
- Khan, S., Dewang, Y., Raghuwanshi, J., Shrivastava, A., & Sharma, V.** (2022). Nanoparticles as fuel additive for improving performance and reducing exhaust emissions of internal combustion engines. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(2), 319-341.
- Kish, S. S., Rashidi, A., Aghabozorg, H. R., & Moradi, L.** (2010). Increasing the octane number of gasoline using functionalized carbon nanotubes. *Applied surface science*, 256(11), 3472-3477.
- Kocakulak, T., Babagiray, M., Nacak, Ç., Ardebili, S. M. S., Calam, A., & Solmaz, H.** (2022). Multi objective optimization of HCCI combustion fuelled with fusel oil and n-heptane blends. *Renewable Energy*, 182, 827-841.
- Koç, M., Sekmen, Y., Topgül, T., & Yücesu, H. S.** (2009). The effects of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine. *Renewable energy*, 34(10), 2101-2106.
- Koçtürk, D., & Onurbas, A. A.** (2012). Benzin motorlarında biyoetanol kullanımının çevresel etkilerinin belirlenmesi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 65-74.

- Korematsu, K., Yuo, K.** (1989). 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.
- Kosar, M., Ozdalyan, B., & Celik, M. B.** (2011). The Usage Of Hydrogen For Improving Emissions And Fuel Consumption In A Small Gasoline Engine. *Isi Bilimi ve Teknigi Dergisi/Journal of Thermal Science & Technology*, 31(2).
- Korkmaz, İ.** (1996). *Benzin ve metanol yakıtlı buji ateşlemeli motorlarda performans ve emisyon karakteristiklerinin incelenmesi* (Doctoral dissertation), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kumabe, K., Fujimoto, S., Yanagida, T., Ogata, M., Fukuda, T., Yabe, A., & Minowa, T.** (2008). Environmental and economic analysis of methanol production process via biomass gasification. *Fuel*, 87(7), 1422-1427.
- Kumar, C. R., & Nagarajan, G.** (2009). Investigation of aldehyde emission from an alcohol fueled SI engine. *Journal of Environmental Research and Development*, 3(3), 685-694.
- Kumar, S., Cho, J. H., Park, J., & Moon, I.** (2013). Advances in diesel–alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 46-72.
- Li, Y., Tang, W., Chen, Y., Liu, J., & Chia-fon, F. L.** (2019). Potential of acetone-butanol-ethanol (ABE) as a biofuel. *Fuel*, 242, 673-686.
- Li, Y., Meng, L., Nithyanandan, K., Lee, T. H., Lin, Y., Chia-fon, F. L., & Liao, S.** (2016). Combustion, performance and emissions characteristics of a spark-ignition engine fueled with isopropanol-n-butanol-ethanol and gasoline blends. *Fuel*, 184, 864-872.
- Lissianski, V. V., Maly, P. M., Zamansky, V. M., & Gardiner, W. C.** (2001). Utilization of iron additives for advanced control of NO_x emissions from stationary combustion sources. *Industrial & engineering chemistry research*, 40(15), 3287-3293.
- Liu, S., Clemente, E. R. C., Hu, T., & Wei, Y.** (2007). Study of spark ignition engine fueled with methanol/gasoline fuel blends. *Applied Thermal Engineering*, 27(11-12), 1904-1910.
- Mallikarjun, M. V., & Mamilla, V. R.** (2009). Experimental study of exhaust emissions & performance analysis of multi cylinder SI engine when methanol used as an additive. *International Journal of Electronic Engineering Research*, 1(3), 201-212.
- Mandilas, C., Karagiannakis, G., Konstandopoulos, A. G., Beatrice, C., Lazzaro, M., Di Blasio, G., ... & Gil, A.** (2014). Study of basic oxidation and combustion characteristics of aluminum nanoparticles under enginelike conditions. *Energy & fuels*, 28(5), 3430-3441.
- Masum, B. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Fattah, I. R., Palash, S. M., & Abedin, M. J.** (2013). Effect of ethanol–gasoline blend on NO_x emission in SI engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 209-222.
- Masum, B. M., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., Palash, S. M., & Fattah, I. R.** (2014). Performance and emission analysis of a multi cylinder gasoline engine

operating at different alcohol–gasoline blends. *Rsc Advances*, 4(53), 27898-27904.

- McCallum, P. W., Bechtold, R. L., Ecklund, E. E., & Timbario, T. J.** (1982). Alcohol fuels for highway vehicles. *Chem. Eng. Prog.:(United States)*, 78(8).
- McLaren, J.** (2008), Founder and President of StrathKim Inc., a technical analysis and business consulting company focused on new technology applications and emerging markets, across the agriculture, biotechnology, and biofuel industries, Ethanol Value Article 1007 (1).
- Mehta, R. N., Chakraborty, M., & Parikh, P. A.** (2014). Nanofuels: Combustion, engine performance and emissions. *Fuel*, 120, 91-97.
- Morganti, K. J., Foong, T. M., Brear, M. J., da Silva, G., Yang, Y., & Dryer, F. L.** (2013). The research and motor octane numbers of liquefied petroleum gas (LPG). *Fuel*, 108, 797-811.
- Mourad, M., & Mahmoud, K. R.** (2018). Performance investigation of passenger vehicle fueled by propanol/gasoline blend according to a city driving cycle. *Energy*, 149, 741-749.
- Möhner, M.** (2018). Driving ban for diesel-powered vehicles in major cities: an appropriate penalty for exceeding the limit value for nitrogen dioxide?. *International archives of occupational and environmental health*, 91(4), 373-376.
- Nadim, F., Zack, P., Hoag, G. E., & Liu, S.** (2001). United States experience with gasoline additives. *Energy Policy*, 29(1), 1-5.
- Nakagawa, H., Harada, T., Ichinose, T., Takeno, K., Matsumoto, S., Kobayashi, M., & Sakai, M.** (2007). Biomethanol production and CO₂ emission reduction from forage grasses, trees, and crop residues. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 41(2), 173-180.
- Najafi, G., Ghobadian, B., Yusaf, T., Ardebili, S. M. S., & Mamat, R.** (2015). Optimization of performance and exhaust emission parameters of a SI (spark ignition) engine with gasoline–ethanol blended fuels using response surface methodology. *Energy*, 90, 1815-1829.
- Niven, R. K.** (2005). Ethanol in gasoline: environmental impacts and sustainability review article. *Renewable and sustainable energy reviews*, 9(6), 535-555.
- Nguyen, D. D., Moghaddam, H., Pirouzfard, V., Fayyazbakhsh, A., & Su, C. H.** (2021). Improving the gasoline properties by blending butanol-Al₂O₃ to optimize the engine performance and reduce air pollution. *Energy*, 218, 119442.
- Norton, T. S.** (1990). *The combustion chemistry of simple alcohol fuels* (Doctoral dissertation). Princeton University, New Jersey, U.S.
- Olah, G. A., & Goepfert, A.** (2006). GKS Prakash in Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy Wiley, USA, 209-235, 170-180.
- Onurbaş Avcioğlu, A., Türker, U., Atasoy, D., Koçtürk, D.** (2011) Tarımsal kökenli yenilenebilir enerjiler biyoyakıtlar. Nobel yayıncılık, Ankara, Türkiye, 387-440
- Oyedepo, S. O.** (2012). On energy for sustainable development in Nigeria. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(5), 2583-2598.

- Ozsezen, A. N., & Canakci, M.** (2011). Performance and combustion characteristics of alcohol–gasoline blends at wide-open throttle. *Energy*, 36(5), 2747-2752.
- Polat, S.** (2016). An experimental study on combustion, engine performance and exhaust emissions in a HCCI engine fuelled with diethyl ether–ethanol fuel blends. *Fuel Processing Technology*, 143, 140-150.
- Poulton, M.L.** (1994). *Alternative Fuels for Road Vehicles*, Computational Mechanics Publications, 29-66.
- Pulkrabek, W. W.** (1997). “Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine”, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Pursiheimo, E., Holttinen, H., & Koljonen, T.** (2019). Inter-sectoral effects of high renewable energy share in global energy system. *Renewable Energy*, 136, 1119-1129.
- Prakash, C., & Emissions, M. V.** (1998). *Use of higher than 10 volume percent ethanol/gasoline blends in gasoline powered vehicles*. Transportation Systems Branch, Air Pollution Prevention Directorate, Environment Canada.
- Prasad, B. N., Pandey, J. K., & Kumar, G. N.** (2021). Effect of hydrogen enrichment on performance, combustion, and emission of a methanol fueled SI engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(49), 25294-25307.
- Rao, R.N.; Arridina Susan Silitonga A.S.; Shamsuddin, A.H.; Milano, J.; Riayatsyah, T.M.I.; Sebayang, A.H.; Nur, T.B.; Sabri, M.; Yulita, M.R.; Sembiring, R. W.** (2020). Effect of Ethanol and Gasoline Blending on the Performance of a Stationary Small Single Cylinder Engine. *Arabian Journal for Science and Engineering* 45, 5793–5802.
- Risha, G., Boyer, E., Wehrman, R., Evans, B., & Kuo, K.** (2003, July). Nano-sized aluminum and boron-based solid fuel characterization in a hybrid rocket engine. In *39th AIAA/ASME/SAE/ASEE joint propulsion conference and exhibit* (p. 4593).
- Salman, M. S., & Sümer, M.** (1999). Effect of Using Ethanol and Ethanol-Gasoline Mixture on Engine Performance in Spark-Ignition Internal Combustion Engines. *Journal on Polytechnic*, 2(2), 27-35.
- Sarıkoç, S.** (2021). Effect of H₂ addition to methanol-gasoline blend on an SI engine at various lambda values and engine loads: A case of performance, combustion, and emission characteristics. *Fuel*, 297, 120732.
- Sato, Y., Noda, A., & Sakamoto, T.** (1997). Combustion and NO_x emission characteristics in a DI methanol engine using supercharging with EGR. *SAE transactions*, 1810-1819.
- Sayin, C., Uslu, K., & Canakci, M.** (2008). Influence of injection timing on the exhaust emissions of a dual-fuel CI engine. *Renewable Energy*, 33(6), 1314-1323.
- Schifter, I., Diaz, L., Rodriguez, R., Gómez, J. P., & Gonzalez, U.** (2011). Combustion and emissions behavior for ethanol–gasoline blends in a single cylinder engine. *Fuel*, 90(12), 3586-3592.
- Sharudin, H., Abdullah, N. R., Najafi, G., Mamat, R., & Masjuki, H. H.** (2017). Investigation of the effects of iso-butanol additives on spark ignition engine

fuelled with methanol-gasoline blends. *Applied Thermal Engineering*, 114, 593-600.

- Shayan, S. B., Seyedpour, S. M., Ommi, F., Moosavy, S. H., & Alizadeh, M.** (2011). Impact of methanol–gasoline fuel blends on the performance and exhaust emissions of a SI engine. *International Journal of Automotive Engineering*, 1(3), 219-227.
- Shkolnikov, E. I., Zhuk, A. Z., & Vlaskin, M. S.** (2011). Aluminum as energy carrier: Feasibility analysis and current technologies overview. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(9), 4611-4623.
- Solmaz, H.** (2020). A comparative study on the usage of fusel oil and reference fuels in an HCCI engine at different compression ratios. *Fuel*, 273, 117775.
- Soruşbay, C., & Arslan, E.** (1988). Hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlarda yanma performansı. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 29(339).
- Steinfeld, A., Kuhn, P., Reller, A., Palumbo, R., Murray, J., & Tamaura, Y.** (1998). Solar-processed metals as clean energy carriers and water-splitters. *International Journal of Hydrogen Energy*, 23(9), 767-774.
- Taşyürek, M., Acaroğlu, M.** (2008), Effects of Bioethanol Fuel on Global Warming and Emissions Reduction, National Conference on Air Quality Konya, Turkey.p.169- 181.
- Taymaz, İ., & Benli, M.** (2009). Metanolün Taşıtlarda Enerji Kaynağı Olarak Farklı Kullanım Yöntemlerinin İncelenmesi. *Engineer & the Machinery Magazine*, (596).
- Tian, Z., Zhen, X., Wang, Y., Liu, D., & Li, X.** (2020). Comparative study on combustion and emission characteristics of methanol, ethanol and butanol fuel in TISI engine. *Fuel*, 259, 116199.
- Thring, R. H.** (1983). Alternative fuels for spark-ignition engines. *SAE transactions*, 715-725.
- Topgül, T., Yücesu, H. S., Cinar, C., & Koca, A.** (2006). The effects of ethanol–unleaded gasoline blends and ignition timing on engine performance and exhaust emissions. *Renewable energy*, 31(15), 2534-2542.
- Van Thuijl, E., Roos, C. J., & Beurskens, L. W. M.** (2003). An overview of biofuel technologies, markets and policies in Europe. *Energy research Centre of the Netherlands. ECN Policy Studies Report No. ECN-C--03-008*.
- Vancoillie, J., Demuynck, J., Sileghem, L., Van De Ginste, M., Verhelst, S., Brabant, L. V. H. L., & Van Hoorebeke, L.** (2013). The potential of methanol as a fuel for flex-fuel and dedicated spark-ignition engines. *Applied Energy*, 102, 140-149.
- Vancoillie, J., Demuynck, J., Sileghem, L., Van De Ginste, M., & Verhelst, S.** (2012). Comparison of the renewable transportation fuels, hydrogen and methanol formed from hydrogen, with gasoline–Engine efficiency study. *International journal of hydrogen energy*, 37(12), 9914-9924.
- Veziroglu, T. N.** (2007). 21st Century's energy: Hydrogen energy system. In Assessment of hydrogen energy for sustainable development (pp. 9-31). *Springer, Dordrecht*.
- Wagner, T. O., Gray, D. S., Zarah, B. Y., & Kozinski, A. A.** (1979). Practicality of alcohols as motor fuel. *SAE Transactions*, 1591-1607.

- Wang, M., Saricks, C., & Santini, D.** (1999). Effects of fuel ethanol use on fuel-cycle energy and greenhouse gas emissions.
- Wen, D.** (2010). Nanofuel as a potential secondary energy carrier. *Energy & Environmental Science*, 3(5), 591-600.
- Wu, B., Wang, L., Shen, X., Yan, R., & Dong, P.** (2016). Comparison of lean burn characteristics of an SI engine fueled with methanol and gasoline under idle condition. *Applied Thermal Engineering*, 95, 264-270.
- Wu, C. W., Chen, R. H., Pu, J. Y., & Lin, T. H.** (2004). The influence of air–fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline-blended fuels. *Atmospheric Environment*, 38(40), 7093-7100.
- Yakın, A., & Behçet, R.** (2021). Effect of different types of fuels tested in a gasoline engine on engine performance and emissions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(66), 33325-33338.
- Yasar, A.** (2010). Effects of alcohol-gasoline blends on exhaust and noise emissions in small scaled generators. *Metalurgija*, 49(4), 335-338.
- Yesilyurt, M. K., & Cakmak, A.** (2021). An extensive investigation of utilization of a C8 type long-chain alcohol as a sustainable next-generation biofuel and diesel fuel blends in a CI engine–The effects of alcohol infusion ratio on the performance, exhaust emissions, and combustion characteristics. *Fuel*, 305, 121453.
- Yılmaz, A., & Şevik, S.** (2017). Sodyum borhidrür (NaBH_4) destekli bir hidrojen/hava PEM yakıt hücresi ile elektrik üretiminin deneysel analizi.
- Yücesu HS, Topgül T, Cinar C, Okur M.** (2006). Effect of ethanol–gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in different compression ratios. *Applied thermal engineering*, 26(17-18), 2272-2278.
- Yüksel, F., & Yüksel, B.** (2004). The use of ethanol–gasoline blend as a fuel in an SI engine. *Renewable energy*, 29(7), 1181-1191.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad

:Ahmet YAKIN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1997, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Bölümü, Otomotiv Öğretmenliği
- **Yüksek Lisans** : 2003, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Ana bilim Dalı
- **Doktora** : 2022, İnönü Üniversite, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Termodinamik Program

MESLEKİ DENEYİM:

- 1998- Hakkâri Endüstri Meslek Lisesinde çalıştı.
- 1998-2003 Yüzüncü Yıl Üniversitesinde çalıştı.
- 2004- Van Yüzüncü Yıl Üniversitesinde çalışmaktadır.
- **Yakın, A., & Behçet, R.** (2021). Effect of different types of fuels tested in a gasoline engine on engine performance and emissions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(66), 33325-33338.
- **Yakın, A., Behçet, R., Solmaz, H., & Halis, S.** (2022). Testing sodium borohydride as a fuel additive in internal combustion gasoline engine. *Energy*, 124300.
- **Yakın, A., & Behçet, R.** (2021). Benzinli Bir Motorda Kullanılan Alkol Katkılı Yakıtların Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(4): 3024-3034.
- **Yakın, A., & Behçet, R.**(2021). Benzinli Bir Motorda Yakıt Olarak Kullanılan Sodyum Borhidrür Katkılı Metanol-Benzin Karışımli Yakıtların Performans ve Emisyon Analizi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 1152-1160.
- **Behçet, R., Yakın, A., Yıldız, A.** (2021). İçten Yanmalı Benzinli Bir Motorda Yakıt Katkı Maddesi Olarak Etil Alkol ve Metil Alkolün Kullanılması. *EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, 5(20), 805-813.
- **Yakın, A., Behçet, R., (2021, April).** By Blend Ethanol And Methanol With Gasoline Fuel In A Gasoline Engine With Internal Combustion Of Fuels Engine Performance And Exhaust Of Using Effect On Emissions. *Iğdır International Applied Sciences Congress*, (pp. 44-56). Iğdır, Türkiye, 14-15 Nisan.
- **Yakın, A., Behçet, R., (2021, April).** Effect Of Using Sodium Borhydride Added Methanol-Gasoline Mixed Fuels In A Gasoline Engine With Internal Combustion On Engine Performance And Exhaust Emissions *Iğdır International Applied Sciences Congress*, (pp. 34-43). Iğdır, Türkiye, 14-15 Nisan.