

**BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARDA ETİL ALKOL-BENZİN
KARIŞIMI KULLANIMINDA OPTİMUM ÇALIŞMA
PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI**

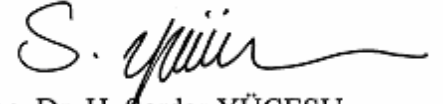
Tolga TOPGÜL

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2006
ANKARA**

Tolga TOPGÜL tarafından hazırlanan BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARDA ETİL ALKOL-BENZİN KARIŞIMI KULLANIMINDA OPTİMUM ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Doç. Dr. H. Serdar YÜCESU
Tez Yöneticisi

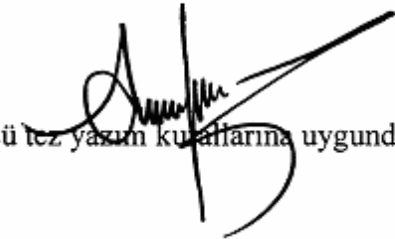
Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalında doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Veli ÇELİK
Üye : Prof. Dr. Selim ÇETİNKAYA
Üye : Prof. Dr. M. Sahir SALMAN
Üye : Doç. Dr. H. Serdar YÜCESU
Üye : Doç. Dr. Adnan PARLAK



Tarih: 02.06.2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



TEZ BİLDİRİMİ

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



Tolga TOPG L

**BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARDA ETİL ALKOL-BENZİN
KARIŞIMI KULLANIMINDA OPTİMUM ÇALIŞMA
PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI
(Doktora Tezi)**

Tolga TOPGÜL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2006

ÖZET

Buji ile ateşlemeli motorlarda petrole alternatif olarak yenilenebilir bir enerji kaynağı olan etil alkol günümüzde gittikçe önem kazanmaktadır. Yapılan bu çalışmada kurşunsuz benzin (E0) ve kurşunsuz benzin-etanol karışımlarının (E10, E20, E40 ve E60) motor performansına, egzoz emisyonlarına, ısı kayıplarına ve silindir basınçlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler dört zamanlı, tek silindirli, değişken sıkıştırma oranlı, buji ile ateşlemeli ve enjeksiyonlu Hydra marka motorda gerçekleştirilmiştir. Deneyler, farklı motor devri ve yüklerinde sıkıştırma oranı, ateşleme zamanı, HFK ve giriş hava sıcaklığı değiştirilerek yapılmıştır. Düşük sıkıştırma oranlarında en yüksek motor momentini veren ateşleme zamanı, yakıtlar arasında önemli bir farklılık göstermemiştir. Özellikle yüksek sıkıştırma oranlarında ve düşük motor devirlerinde motor performansı karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak artmıştır. En yüksek motor momentini veren ateşleme zamanında hava/yakıt oranı ve giriş hava sıcaklığının motor performansı ve egzoz emisyonlarının değişimine etkileri tüm yakıtlarda benzerdir. Isı kayıpları, etanol-benzin karışımları kullanıldığında kurşunsuz benzinle karşılaştırıldığında azalmıştır. Kullanılan yakıtlar arasında en iyi vuruntu dayanımına sahip olan E60 yakıtında daha yüksek silindir basıncı elde

edilmiştir. Motor performansının tahmini için yapay sinir ağı (YSA) kullanılmıştır. YSA için eğitim verileri deneysel ölçümlerden sağlanmıştır. Motor momenti ve FÖYT için R^2 değerleri 0,999569 ve 0,999717 olarak bulunmuştur. Sonuçlar YSA'nın motor parametrelerinde kabul edilebilir tahminler sağladığını göstermektedir.

Bilim Kodu : 708.3.026
Anahtar Kelimeler : Kurşunsuz benzin-etanol karışımları, alternatif yakıt, buji ile ateşlemeli motor, motor performansı, egzoz emisyonları
Sayfa Adedi : 195
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. H. Serdar YÜCESU

**THE INVESTIGATION OF OPTIMUM WORKING PARAMETERS OF
SPARK IGNITION ENGINES USING ETHYL ALCOHOL-GASOLINE
BLEND**

(Ph.D. Thesis)

Tolga TOPGÜL

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2006

ABSTRACT

As a renewable energy source for the spark ignition engines, ethyl alcohol gains importance recently. In this study, the effects of using unleaded gasoline (E0) and unleaded gasoline-ethanol blends (E10, E20, E40 and E60) on engine performance, exhaust emissions, heat losses and cylinder pressures have investigated experimentally. The experiments were conducted on a Hydra single cylinder, four-stroke, variable compression ratio, spark ignition and fuel injection engine. The tests were performed by varying the compression ratio, ignition timing, excess air coefficient and inlet air temperature at different engine speeds and loads. Maximum brake torque spark timing of the engine obtained with blends, showed no significant change relative to unleaded gasoline under low compression ratios. The engine performance improved depending on the ethanol percentage especially at high compression ratios and low engine speeds. At maximum brake torque spark timing, the effects of air/fuel ratio and inlet air temperature on the variations of engine performance and exhaust emissions are similar with all fuels. Heat losses decreased used with ethanol-gasoline blends a compared to unleaded gasoline. The highest cylinder pressure was obtained using E60, which has the best anti-knock characteristics among test fuels. An artificial neural network (ANN) is used for prediction of engine

performance. The training data for ANN is obtained from experimental measurements. It was found the R^2 values are 0,999569 and 0,999717 for the engine torque and BSFC respectively. The results show that ANN provides acceptable predictions in the parameters of the engine.

Science Code	: 708.3.026
Key Words	: Unleaded gasoline-ethanol blends, alternative fuel, spark ignition engine, engine performance, exhaust emissions
Page Number	: 195
Adviser	: Assoc. Prof. Dr. H. Serdar YÜCESU

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın her aşamasında değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren kıymetli hocam Doç. Dr. H. Serdar YÜCESU'ya, çalışmalarına yön veren Prof. Dr. Veli ÇELİK ve Prof. Dr. M. Sahir SALMAN'a, TEF 07/2002-27 nolu proje desteği için Gazi Üniversitesi Rektörlüğüne ve Bilimsel Araştırma Projeleri çalışanlarına, deney yakıtlarının çeşitli özelliklerinin belirlenmesine yardımcı olan Prof. Dr. Ender OKANDAN ve ODTÜ Petrol Araştırma Merkezinin çalışanlarına ayrıca Mersin Üniversitesi Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Ali KESKİN'e, yapay sinir ağları ve optimizasyon konularındaki kıymetli tecrübelerinden yararlandığım Doç. Dr. Adnan SÖZEN ve Dr. Erol ARCAKLIOĞLU'na, elektronik indikatör cihazının kalibrasyonundaki değerli katkıları için Nel Elektronik'ten Bade AKSOY'a ve Arş. Gör. Fatih ŞAHİN'e, manevi destekleri için sevgili eşim Sevim TOPGÜL'e ve canım oğlum Ahmet Ege TOPGÜL'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	5
2.1. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Üretimi ve Kullanımı	5
2.2. Alkoller	11
2.2.1. Alkollerin genel özellikleri	11
2.2.2. Alkollerin buji ile ateşlemeli motorlarda kullanımı	14
2.3. Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Yanma	21
2.4. Buji ile Ateşlemeli Motorlardan Kaynaklanan Egzoz Emisyonları ve Çeşitli Motor Parametrelerinin Egzoz Emisyonlarına Etkisi	21
2.5. Egzoz Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevreye Etkisi	25
2.6. Literatür Özetleri	26
3. MATERYAL METOT	41
3.1. Materyal	41
3.1.1. Deney ortamı	41

Sayfa

3.1.2. Deney motoru	41
3.1.3. Dinamometre ve kontrol paneli	42
3.1.4. Değiştirilen motor parametreleri	45
3.1.5. Kullanılan ölçüm cihazları	47
3.1.6. Deney yakıtları	52
3.2. Metot	54
3.2.1. Motor momenti	54
3.2.2. Efektif güç	55
3.2.3. Fren ortalama efektif basıncı	56
3.2.4. Fren özgül yakıt tüketimi	56
3.2.5. Efektif verim	57
3.2.6. Volumetrik verim	58
3.2.7. Hava/yakıt oranı ve hava fazlalık katsayısı	59
3.2.8. Egzozla kaybedilen ısı enerjisi	59
3.2.9. Soğutma suyuna geçen ısı enerjisi	61
3.2.10. Yapay sinir ağları uygulaması	62
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	67
4.1. Motor Momenti ve Efektif Güç	67
4.2. Fren Özgül Yakıt Tüketimi	68
4.3. Efektif Verim	68
4.4. Kısmi Yükte FÖYT ve Efektif Verim	69
4.5. Volumetrik Verim	72
4.6. İşletme Parametrelerinin Motor Performansına Etkisi	73

Sayfa

4.6.1. Ateşleme zamanı	73
4.6.2. Hava fazlalık katsayısı	82
4.6.3. Giriş hava sıcaklığı	88
4.6.4. Sıkıştırma oranı	92
4.7. Egzoz Gaz Sıcaklığı	98
4.8. Egzoz Emisyonları	103
4.9. Efektif Verim ve Isı Kayıpları	115
4.10. Silindir Basınç Değişimleri	129
4.11. Yapay Sinir Ağı Çalışması	144
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	160
KAYNAKLAR	170
EKLER	179
EK-1 M-5000 Hava Akış Ventüri Tabloları	180
EK-2 Motor Soğutma Suyu Akışmetresinde Debinin Belirlenmesi	182
EK-3 Deneysel Veriler	185
ÖZGEÇMİŞ	193

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Dünya fosil yakıt rezervleri	5
Çizelge 2.2. Enerji tüketiminin sektörel dağılımı	9
Çizelge 2.3. Türkiye’de üretilen ve tüketilen petrolün karşılaştırılması	9
Çizelge 2.4. Bazı alkollerin çeşitli fiziksel özellikleri	13
Çizelge 2.5. Benzin, metanol ve etanolün çeşitli özellikleri	15
Çizelge 2.6. Bazı metanol-benzin ve etanol-benzin karışımlarının çeşitli özellikleri	20
Çizelge 2.7. Emisyon ve yakıt tüketimi sonuçları	39
Çizelge 2.8. Maksimum yükte motorun ısı balansı	40
Çizelge 3.1. Deney motorunun teknik özellikleri	41
Çizelge 3.2. Kontrol panelinde yer alan göstergelerin ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri	45
Çizelge 3.3. Sun MGA 1200 egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri	49
Çizelge 3.4. Test yakıtlarının çeşitli özellikleri	53
Çizelge 3.5. Biyolojik sinir sistemi ile YSA’nın benzerlikleri	63
Çizelge 4.1. Motor momenti ve FÖYT denklemleri için giriş ve gizli katmanlar arasındaki ağırlıklar	146
Çizelge 4.2. Hata analizleri sonuçları	152
Çizelge 4.3. En yüksek motor momenti ve en düşük FÖYT’nin elde edilebileceği noktalar	157

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dünya petrol üretimi dağılımı	6
Şekil 2.2. Dünya fosil yakıt tüketiminin bölgelere göre dağılımı	7
Şekil 2.3. Dünya fosil yakıt üretim ve tüketimlerinin bölgelere göre dağılımı	7
Şekil 2.4. 1998-2002 yılları arasında Türkiye’de kullanılan enerji kaynakları	8
Şekil 2.5. Ham petrol fiyatının yıllara göre değişimi	10
Şekil 2.6. Brezilya’da etanol fiyatının yıllara göre değişimi	11
Şekil 2.7. E95 yakıtı kullanılan motorda çalışma sıcaklığının fonksiyonu olarak motorun ilk harekete geçiş süresi	17
Şekil 2.8. E85 ve benzin enjektörleriyle pils genişliğine bağlı olarak püskürtülen yakıt miktarlarının değişimi	18
Şekil 2.9. M85, E85 ve benzinin motor moment ve gücüne etkisi	19
Şekil 2.10. Çeşitli hidrokarbon yakıtların yakıt/hava eşdeğerlik oranına bağlı olarak laminar yanma hızlarının değişimi	20
Şekil 2.11. ECE seyir çevrimine göre katalitik konvertörsüz orta büyüklükteki bir taşıtın ortalama egzoz kompozisyonu	22
Şekil 2.12. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak egzoz emisyonlarının değişimi	23
Şekil 2.13. Ateşleme zamanının NO _x , HC emisyonları ve özgül yakıt tüketimine etkisi	24
Şekil 2.14. Yüzey/hacim oranının HC konsantrasyonuna etkisi	24
Şekil 2.15.a) Sıkıştırma oranının HC emisyonu değişimine etkisi b) Sıkıştırma oranının NO _x emisyonlarının değişimine etkisi	25
Şekil 3.1. Motor bloğunda kullanılan şim kalınlıklarına göre sıkıştırma oranlarının değişimi	46
Şekil 3.2. Egzoz kalorimetresinin şematik resmi	50
Şekil 3.3. Biyolojik sinir sisteminin blok şeması	62

Şekil	Sayfa
Şekil 3.4. Biyolojik nöron	63
Şekil 3.5. Bir işlemci elemanın temel grafik gösterimi	64
Şekil 3.6. Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağ yapısının sistematik diyagramı	65
Şekil 4.1. Motor devrine bağlı olarak motor momentinin ve efektif gücün değişimi	67
Şekil 4.2. Motor devrine bağlı olarak FÖYT'nin değişimi	68
Şekil 4.3. Motor devrine bağlı olarak efektif verimin değişimi	69
Şekil 4.4. Motor yüküne bağlı olarak FÖYT'nin değişimi (SO: 9/1, Motor devri: 2000 d/d)	70
Şekil 4.5. Motor yüküne bağlı olarak FÖYT'nin değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 2000 d/d)	71
Şekil 4.6. Motor yüküne bağlı olarak efektif verimin değişimi (SO: 9/1, Motor devri: 2000 d/d)	71
Şekil 4.7. Motor yüküne bağlı olarak efektif verimin değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 2000 d/d)	72
Şekil 4.8. Motor devrine bağlı olarak volümetrik verimin değişimi	73
Şekil 4.9. Ateşleme zamanına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (SO: 8/1, Motor devri: 2000 d/d)	74
Şekil 4.10. Ateşleme zamanına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (SO 8/1, Motor devri: 3500 d/d)	75
Şekil 4.11. Ateşleme zamanına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (SO: 9/1, Motor devri: 2000 d/d)	76
Şekil 4.12. Ateşleme zamanına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (SO: 9/1, Motor devri: 3500 d/d)	77
Şekil 4.13. Ateşleme zamanına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 2000 d/d)	78
Şekil 4.14. Ateşleme zamanına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 3500 d/d)	82

Şekil	Sayfa
Şekil 4.15. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (SO: 8/1, Motor devri: 2000 d/d)	83
Şekil 4.16. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (SO: 8/1, Motor devri: 3500 d/d)	84
Şekil 4.17. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 2000 d/d)	85
Şekil 4.18. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 3500 d/d)	86
Şekil 4.19. Hava/yakıt oranının hava fazlalık katsayısına (HFK) bağlı olarak değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 2000 d/d)	87
Şekil 4.20. Yakıt tüketiminin hava fazlalık katsayısına (HFK) bağlı olarak değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 2000 d/d)	88
Şekil 4.21. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (SO: 8/1, Motor devri: 2000 d/d)	89
Şekil 4.22. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (SO: 8/1, Motor devri: 3500 d/d)	89
Şekil 4.23. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 2000 d/d)	90
Şekil 4.24. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 3500 d/d)	91
Şekil 4.25. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak volumetrik verimin değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 2000 d/d)	92
Şekil 4.26. Sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Motor devri: 2000 d/d)	93
Şekil 4.27. Sıkıştırma oranına bağlı olarak maksimum motor momentini veren ateşleme zamanının değişimi (Motor devri: 2000 d/d)	94
Şekil 4.28. Sıkıştırma oranına bağlı olarak vuruntunun oluştuğu ateşleme zamanının değişimi (Motor devri: 2000 d/d)	95
Şekil 4.29. Sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Motor devri: 3500 d/d)	96

Şekil	Sayfa
Şekil 4.30. Sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Motor devri: 5000 d/d)	96
Şekil 4.31. Sıkıştırma oranına bağlı olarak maksimum motor momentini veren ateşleme zamanının değişimi (Motor devri: 3500 d/d)	97
Şekil 4.32. Sıkıştırma oranına bağlı olarak maksimum motor momentini veren ateşleme zamanının değişimi (Motor devri: 5000 d/d)	98
Şekil 4.33. Motor devrine bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının değişimi	99
Şekil 4.34. Ateşleme zamanına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının değişimi (SO: 8/1, Motor devri: 3500 d/d)	100
Şekil 4.35. Ateşleme zamanına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 3500 d/d)	100
Şekil 4.36. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının değişimi (SO: 8/1, Motor devri: 3500 d/d)	101
Şekil 4.37. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 3500 d/d)	102
Şekil 4.38. Sıkıştırma oranına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının değişimi (Motor devri: 2000, 3500 ve 5000 d/d)	103
Şekil 4.39. Motor devrine bağlı olarak CO emisyonunun değişimi	104
Şekil 4.40. Ateşleme zamanına bağlı olarak CO emisyonunun değişimi (SO: 9/1)	105
Şekil 4.41. Ateşleme zamanına bağlı olarak CO emisyonunun değişimi (SO: 10/1)	105
Şekil 4.42. HFK'ye bağlı olarak CO emisyonunun değişimi (SO: 9/1)	106
Şekil 4.43. HFK'ye bağlı olarak CO emisyonunun değişimi (SO: 10/1)	107
Şekil 4.44. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak CO emisyonunun değişimi (SO: 9/1)	108
Şekil 4.45. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak CO emisyonunun değişimi (SO: 10/1)	108

Şekil	Sayfa
Şekil 4.46. Sıkıştırma oranına bağlı olarak CO emisyonunun değişimi	109
Şekil 4.47. Motor devrine bağlı olarak HC emisyonunun değişimi	110
Şekil 4.48. Ateşleme zamanına bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (SO: 9/1)	111
Şekil 4.49. Ateşleme zamanına bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (SO: 10/1)	111
Şekil 4.50. HFK'ye bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (SO: 9/1)	112
Şekil 4.51. HFK'ye bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (SO: 10/1)	113
Şekil 4.52. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (SO: 9/1)	113
Şekil 4.53. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (SO: 10/1)	114
Şekil 4.54. Sıkıştırma oranına bağlı olarak HC emisyonunun değişimi	115
Şekil 4.55. Ateşleme zamanına bağlı olarak efektif verimin değişimi (SO: 8/1, Motor devri: 3500 d/d)	116
Şekil 4.56. Ateşleme zamanına bağlı olarak efektif verimin değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 3500 d/d)	117
Şekil 4.57. HFK'ye bağlı olarak efektif verimin değişimi (SO: 8/1, Motor devri: 3500 d/d)	118
Şekil 4.58. HFK'ye bağlı olarak efektif verimin değişimi (SO: 10/1, Motor devri: 3500 d/d)	118
Şekil 4.59. Sıkıştırma oranına bağlı olarak efektif verimin değişimi (Motor devri: 2000 d/d)	121
Şekil 4.60. Sıkıştırma oranına bağlı olarak efektif verimin değişimi (Motor devri: 3500 d/d)	121
Şekil 4.61. Sıkıştırma oranına bağlı olarak efektif verimin değişimi (Motor devri: 5000 d/d)	122

Şekil	Sayfa
Şekil 4.62. Motor devrine ve sıkıştırma oranına bağlı olarak sürtünme gücünün değişimi	123
Şekil 4.63. Ateşleme zamanı ve sıkıştırma oranına bağlı olarak egzozla kaybedilen ısı enerjisinin değişimi	124
Şekil 4.64. HFK ve sıkıştırma oranına bağlı olarak egzozla kaybedilen ısı enerjisinin değişimi	125
Şekil 4.65. Ateşleme zamanı ve sıkıştırma oranına bağlı olarak soğutma suyuna geçen ısı enerjisinin değişimi	126
Şekil 4.66. HFK ve sıkıştırma oranına bağlı olarak soğutma suyuna geçen ısı enerjisinin değişimi	127
Şekil 4.67. E0 yakıtı için efektif verim ve ısı kayıplarının dağılımı	128
Şekil 4.68. E60 yakıtı için efektif verim ve ısı kayıplarının dağılımı	128
Şekil 4.69. Ateşleme zamanı ve sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinin değişimi (E0 yakıtı)	137
Şekil 4.70. Ateşleme zamanı ve sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinin değişimi (E60 yakıtı)	137
Şekil 4.71. HFK ve sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinin değişimi (E0 yakıtı)	143
Şekil 4.72. HFK ve sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinin değişimi (E60 yakıtı)	143
Şekil 4.73. Kullanılan yapay sinir ağ yapısı	145
Şekil 4.74. E0 yakıtının deneysel verileri ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	147
Şekil 4.75. E10 yakıtının deneysel verileri ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	148
Şekil 4.76. E20 yakıtının deneysel verileri ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	149
Şekil 4.77. E40 yakıtının deneysel verileri ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	150

Şekil	Sayfa
Şekil 4.78. E60 yakıtının deneysel verileri ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	151
Şekil 4.79. Farklı sıkıştırma oranlarında dMoment'in HFK'ye bağlı değişimi (E60)	154
Şekil 4.80. Farklı sıkıştırma oranlarında dFÖYT'nin HFK'ye bağlı değişimi (E10)	155
Şekil 4.81. Farklı sıkıştırma oranlarında dMoment'in ateşleme zamanına bağlı değişimi (E60)	156
Şekil 4.82. HFK'nin ve motor yükünün FÖYT'ye etkisi (E0 yakıtı)	158
Şekil 4.83. HFK'ye bağlı olarak FOEB ve FÖYT'nin değişimi (E0 yakıtı)	158
Şekil 4.84. HFK'nin ve motor yükünün FÖYT'ye etkisi (E60 yakıtı)	159
Şekil 4.85. HFK'ye bağlı olarak FOEB ve FÖYT'nin değişimi (E60 yakıtı)	159

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Deney motoru	42
Resim 3.2. Dinamometre ve deney seti	43
Resim 3.3. Kontrol paneli	44
Resim 3.4. Dijital terazi ve kronometre	47
Resim 3.5. Hava akışmetresi	48
Resim 3.6. Sun MGA 1200 marka egzoz gaz analizörü	49
Resim 3.7. Egzoz kalorimetresi	50
Resim 3.8. Motor soğutma suyu akışmetresi	51
Resim 3.9. Elektronik indikatör cihazı	52
Resim 4.1. E0 yakıtı kullanımında ve 22° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, 2000 d/d)	79
Resim 4.2. E60 yakıtı kullanımında ve 22° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, 2000 d/d)	79
Resim 4.3. E60 yakıtı kullanımında ve 36° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, 2000 d/d)	80
Resim 4.4. E0 yakıtı kullanımında oluşan vuruntunun basınç-krank mili açısı diyagramındaki görüntüsü (SO: 10/1, 2000 d/d)	80
Resim 4.5. E0 yakıtı kullanımında ve 36° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, 2000 d/d).....	81
Resim 4.6. E0 yakıtı kullanımında ve 12° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, 3500 d/d)	130
Resim 4.7. E0 yakıtı kullanımında ve 24° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, 3500 d/d)	130
Resim 4.8. E0 yakıtı kullanımında ve 30° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, 3500 d/d)	131

Resim	Sayfa
Resim 4.9. E0 yakıtı kullanımında ve 36° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, 3500 d/d)	131
Resim 4.10. E60 yakıtı kullanımında ve 12° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, 3500 d/d)	132
Resim 4.11. E60 yakıtı kullanımında ve 24° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, 3500 d/d)	132
Resim 4.12. E60 yakıtı kullanımında ve 30° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, 3500 d/d)	133
Resim 4.13. E60 yakıtı kullanımında ve 36° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, 3500 d/d)	133
Resim 4.14. E0 yakıtı kullanımında ve 12° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, 3500 d/d)	134
Resim 4.15. E0 yakıtı kullanımında ve 24° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, 3500 d/d)	134
Resim 4.16. E0 yakıtı kullanımında vuruntu oluşumu (SO: 10/1, 3500 d/d)	135
Resim 4.17. E60 yakıtı kullanımında ve 12° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, 3500 d/d)	135
Resim 4.18. E60 yakıtı kullanımında ve 24° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, 3500 d/d)	136
Resim 4.19. E60 yakıtı kullanımında ve 36° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, 3500 d/d)	136
Resim 4.20. E0 yakıtı kullanımında ve 30° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, HFK: 0,9 ve 1,1)	139
Resim 4.21. E60 yakıtı kullanımında ve 30° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, HFK: 0,9 ve 1,1)	140
Resim 4.22. E0 yakıtı kullanımında ve 24° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, HFK: 0,9 ve 1,1)	141
Resim 4.23. E60 yakıtı kullanımında ve 24° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, HFK: 0,9 ve 1,1)	142

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
c_{ps}	Suyun özgül ısısı (kJ/kgK)
D	Silindir çapı (m)
h_c	Basınç farkı (mmCiva)
H_U	Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)
L	Kurs (m)
M	Motor Momenti (Nm)
$\dot{m}_{ms}$	Motor soğutma suyu debisi (kg/s)
$\dot{m}_s$	Egzoz kalorimetresindeki soğutma suyu debisi (kg/s)
$\dot{m}_h$	Havanın debisi (g/h)
$\dot{m}_y$	Yakıt debisi (g/h)
n	Motor devri (d/d)
n_R	Her bir iş zamanı için krank mili devir sayısı İki zamanlı motorlar için; $n_R = 1$ Dört zamanlı motorlar için; $n_R = 2$
P_e	Efektif Güç (kW)
Q_e	Egzoz gazlarına geçen ısı enerjisi (kW)
Q_s	Soğutma suyuna geçen ısı enerjisi (kW)
Q_T	Motora yakıt ile verilen toplam ısı enerjisi (kW)
T_φ	Çevre sıcaklığı (°C)
T_{e1}	Egzoz manifoldundaki egzoz gaz sıcaklığı (°C)
T_{e2}	Egzoz kalorimetresi girişindeki egzoz gaz sıcaklığı (°C)
T_{e3}	Egzoz kalorimetresi çıkışındaki egzoz gaz sıcaklığı (°C)

Simgeler**Açıklama**

T_{ms1}	Motor soğutma suyu giriş sıcaklığı (°C)
T_{ms2}	Motor soğutma suyu çıkış sıcaklığı (°C)
T_{s1}	Egzoz kalorimetresi girişindeki soğutma suyu sıcaklığı (°C)
T_{s2}	Egzoz kalorimetresi çıkışındaki soğutma suyu sıcaklığı (°C)
V_K	Kurs hacmi (m ³)
η_e	Efektif verim
η_v	Volumetrik verim
ρ_h	Havanın yoğunluğu (kg/m ³)
ρ_s	Suyun yoğunluğu (kg/m ³)

Kısaltmalar**Açıklama**

AOS	Araştırma Oktan Sayısı
E	Etanol
EGR	Egzoz Gaz Resirkülasyonu
FOEB	Fren Ortalama Efektif Basıncı
İOE	İndike Ortalama Efektif Basınç
FÖYT	Fren Özgöl Yakıt Tüketimi
GKA	Gaz Kelebek Açıklığı
H	Hava
HFK	Hava Fazlalık Katsayısı
KMA	Krank Mili Açısı
LPG	Likit Petrol Gazı
M	Metanol
SO	Sıkıştırma Oranı
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TGKA	Tam Gaz Kelebek Açıklığı
ÜÖN	Üst Ölü Nokta

Kısaltmalar**Açıklama****Y**

Yakıt

YSA

Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Enerji, gelişen dünyanın vazgeçilmez bir ihtiyacıdır. Ülkeler hedefledikleri ekonomik büyümeyi ve sosyal kalkınmayı gerçekleştirmek için ihtiyaç duydukları enerjiyi yeterli miktarda, güvenilir, çevreye duyarlı ve ekonomik olarak karşılamak durumundadırlar. Bugün dünyamızda kullanılan enerji kaynaklarının başında gelen fosil yakıtların yerini, gelecekte bunlara alternatif yakıtların alacağı kaçınılmazdır. Dünyadaki petrol rezervleri ve üretim miktarları dikkate alındığında petrolün 21. yy. ortalarında tükeneyeğine yönelik tahminler yapılmaktadır [1]. Bu tahminlerin yanı sıra çevre kirliliğinin de giderek artıyor olması daha çevreci yakıt kaynaklarına yönelik çalışmaların gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Enerjinin taşınması, dönüşümü ve kullanılması çeşitli çevre problemlerini de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle enerji ve çevre politikaları oluşturulurken, ekonomik ve sosyal hedefler dikkate alınarak, çevre kirliliğinin azaltılmasına yardımcı olacak enerji sistemlerinin geliştirilmesi ve mevcut sistemlerde enerji üretimi ve tüketimi esnasında çevreye olan etkileri azaltacak tedbirler hedeflenir [2].

Dünya enerji üretim ve tüketiminde fosil yakıtlar ve özellikle petrol önemli bir paya sahiptir. Dünya enerji üretim ve tüketiminde petrolün payı 1950 öncesinde %30'un biraz altında iken, 1980'de %50 ve 1990'da %55 gibi yüksek bir değere ulaşmıştır [3].

Karasal petrol yataklarının kuyu derinliklerinin artması ve denizlerdeki rezervlerin işletilebilmesi için büyük harcamalara ihtiyaç duyulması, dünya petrol üretiminin geçmiş yıllara göre daha pahalı olmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra dünya petrol rezervlerinin sınırlı, yenilenemez ve tükenebilir olması, alternatif enerji kaynakları arayışının temel nedeni olmaktadır. Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji kaynakları ve biyokütle enerji kaynakları, alternatif enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Bu kaynakların gelecekte karşılaşılabilecek enerji krizlerini çözümlemede etkin rol üstlenmelerini sağlayabilmek için bu enerji kaynaklarından

geniş ölçüde yararlanabilme imkanlarının araştırılması ve geliştirilmesi insanlığa, çevreye ve ekonomiye önemli yararlar sağlayabilecektir [3].

Doğal çevrenin korunması için getirilen düzenlemelerin ve kanunların sıkı denetimler sağlaması alternatif yakıtlara olan ilgiyi arttırmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde 1990'da yapılan yasal bir düzenlemede metanol, etanol, reformüle benzin, doğalgaz, LPG ve elektrik temiz alternatif yakıt olarak dikkate alınmaktadır. Reformüle benzin karışımları için hem metanol hem de etanol diğer oksijen içeren yakıtlarla birlikte kullanılabilir [4]. Ayrıca, biyogaz, bitkisel yağlar, eterler ve hidrojen, potansiyel alternatif yakıtları oluşturmaktadır. Yağlı tohumlu bitkilerden elde edilen biyodizel, petrol kökenli yakıt olan motorin ile çeşitli oranlarda karıştırılarak veya saf olarak dizel motorlarında kullanılabilir. Biyodizel yağlı tohumlu bitkilerin yanı sıra atık yemeklik yağ ve hayvansal yağlardan da elde edilebilir [5]. Alkoller içerisinde daha çok metanol ve etanol alternatif yakıt olarak göz önüne alınmaktadır. Brezilya'da etanol başarıyla kullanılmaktadır. Taşıtların yaklaşık %70-75'i E20-E24 yakıtıyla, %15-20'si saf etanolle çalışmaktadır. Özellikle ağır taşıtların oluşturduğu kalan kısım dizel araçlardır. Etanol Brezilya dışında Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada da yakıt olarak değerlendirilmektedir. Almanya, Japonya, Avusturya ve Yeni Zelanda'da alkol yakıtlarına olan ilgi artmaktadır. Avrupa Birliği 2005 yılı sonuna kadar taşımacılıkta biyoyakıtların en az %2 pazar payına sahip olmasını benimsemiştir. Bu oran 2010 yılı sonuna kadar minimum %5,75 olarak öngörülmektedir [4, 6-8].

Metanol temel olarak doğalgaz, kömür, ağır artık yağlar ve biyokütleden üretilmektedir. Etanol ise biyokütleden fermantasyon yoluyla temel olarak şeker kamışı, buğday ve odundan üretilmektedir. Metanol ve etanolün vuruntuya olan direnci benzinli motorların daha yüksek sıkıştırma oranlarında kullanılabilmesine imkan verir. Bu özellik termik verimin geliştirilmesini sağlar. Daha düşük alev sıcaklığıyla yanmanın gerçekleşmesi ısı kayıplarının ve NO_x emisyonunun azaltılmasına yardımcı olur. Metanolün ve etanolün yüksek buharlaşma ısısına sahip olması, benzinli motorla karşılaştırıldığında dolgu yoğunluğunu artırdığından volumetrik verimin artmasına müsaade eder. Ancak benzine ve dizel yakıtına göre

metanolün ve etanolün ısı değeri daha düşüktür. Bu nedenle metanol veya etanol kullanımında aynı miktar enerji için daha fazla yakıtın motora verilmesi gerekir. Bu özellik hacimsel yakıt ekonomisinin düşük olmasına sebep olur. Düşük buharlaşma basıncı ve yüksek buharlaşma ısısı soğukta ilk hareket ve ısınma sürecindeki performansı olumsuz etkiler. Ayrıca metanolün düşük bir parlaklıkla yanması, yakıtın taşınması, depolanması ve kullanımında güvenliği azaltır [4].

Türkiye'nin toplam enerji arzı 2002 yılında 78,4 milyon TEP olup, yenilenebilir enerji kaynakları bu arzın %13'ünü oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının %59,7'sini biyokütle (%46,8 odun-%12,9 hayvan ve bitki artıkları), %29'unu hidrolik ve %11'ini diğer yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgar, güneş, jeotermal vb.) oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde biyokütle önemli bir paya sahip olmasına rağmen doğrudan yakılması ve modern biyokütle tekniklerinin yaygın olarak kullanılmaması verimsiz bir şekilde tüketilmesine neden olmaktadır [5].

Türkiye'nin Avrupa Birliğine uyum süreci yaşaması, bir OECD ülkesi olması ve Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesini 24 Mayıs 2004 tarihinde imzalamış olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım paylarının artırılmasını desteklediğini göstermektedir. 20 Aralık 2003 tarih ve 25322 sayılı TC Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Petrol Piyasası Kanununda biyodizel ve biyoetanol, petrolle harmanlanan ürünler olarak tanımlanmıştır. Bu yasa, biyodizelin motorin ile, biyoetanolün benzinle karıştırılarak kullanılması yönünde yapılan ilk yasal düzenlemedir. 11 Haziran 2004 tarih ve 25489 sayılı resmi gazetede Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından yayımlanan "Benzin ve Motorin Kalitesi Yönetmeliği"nin Ek 1'inde oksijenli bileşikler arasında etanol yer alarak, %5 oranında benzinle karıştırılarak kullanımına izin verilmiştir. 17 Haziran 2004 tarih ve 25495 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun Petrol Piyasası Lisans Yönetmeliğinde biyodizel, akaryakıt olarak tanımlanmıştır. Biyodizel ve biyoetanol 30 Eylül 2004 tarihli resmi gazetede yayımlanan 2004/7893 karar sayısında özel tüketim vergisinden muaf tutulmuştur [5].

Bu çalışma, buji ile ateşlemeli bir motorda petrol kökenli bir yakıt olan kurşunsuz benzine alternatif bir enerji kaynağı olarak etanol kullanımında çalışma parametrelerinin motor performansı, egzoz emisyonları ve ısı kayıplarına etkilerini araştırmaya yöneliktir. Bu amaçla motor performansı ve egzoz emisyonları üzerinde önemli etkiye sahip olan sıkıştırma oranı, ateşleme zamanı, hava/yakıt oranı ve giriş hava sıcaklığı gibi temel parametreler değiştirilmiştir. Çeşitli oranlarda hazırlanan (hacimsel olarak %10, %20, %40 ve %60 etanol içeren) etanol-kurşunsuz benzin karışımları ve yalnızca kurşunsuz benzin kullanımında motor performansı, egzoz emisyonları, ısı kayıpları ve silindir basınç değişimleri, dikkate alınan parametrelerle birlikte incelenmiştir. En yüksek motor momenti ve en düşük FÖYT'yi veren yakıtın ve çalışma koşullarının belirlenmesi için deneysel verilerden yararlanarak YSA çalışması yapılmıştır. YSA ile elde edilen matematiksel ifade Q-Basic programında kullanılmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Üretimi ve Kullanımı

Gelişen teknoloji ve artan nüfus nedeniyle tüketilen enerji miktarı, her geçen gün artmaktadır. Dünyamızda kullanılan başlıca enerji kaynakları fosil yakıtlardan elde edilen enerjilerdir. Fosil yakıtlardan özellikle petrol, dünyada en yaygın olarak kullanılan enerji kaynağıdır. Bu nedenle petrol krizinin yaşandığı dönemlerde, alternatif enerji kaynakları arayışları daha fazla yoğunluk kazanmaktadır.

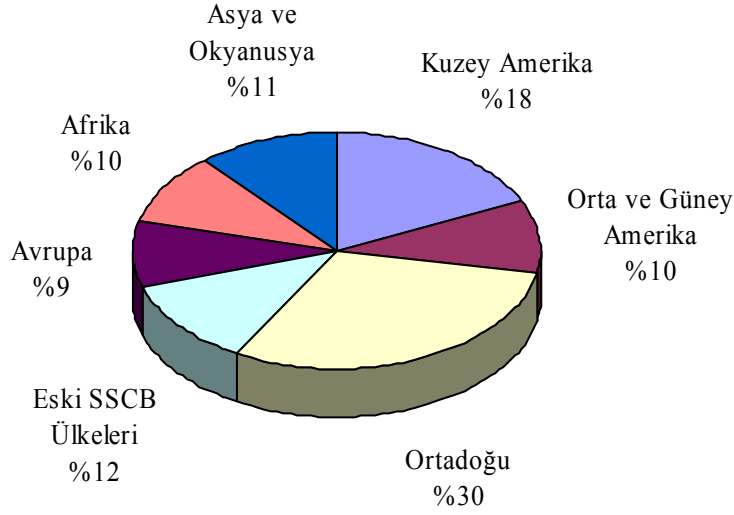
Dünyadaki fosil yakıt rezervleri Çizelge 2.1’de görülmektedir. Fosil yakıtlardan kömürün en yüksek rezerve sahip olması nedeniyle gelecekte petrolün azalmasıyla daha fazla önem kazanabileceğini göstermektedir. Dünya petrol rezervleri dağılımına bakıldığında 93,3 milyar ton ve %65’lik pay ile Ortadoğu en zengin bölge konumundadır. Dünyadaki petrol kullanma ihtiyacı dikkate alındığında bu bölge gelecekte de önemini korumaya devam edecektir. Ülkeler bazında petrol rezervleri değerlendirildiğinde Suudi Arabistan %25 ile birinci sırayı alırken, Suudi Arabistan’ı Irak (%11), Birleşik Arap Emirlikleri (%9), Kuveyt (%9), İran (%9) ve Venezuela (%7) izlemektedir [1, 9].

Çizelge 2.1. Dünya fosil yakıt rezervleri [1]

Bölge	Petrol Milyar Ton	Doğal gaz Trilyon m ³	Kömür (Milyar Ton)	
			Taşkömürü	Linyit
Kuzey Amerika	8,3	7,6	120,2	137,6
Orta ve Güney Amerika	13,7	7,2	7,8	14
Avrupa	2,6	4,9	47,5	77,9
Eski SSCB Ülkeleri	9,1	56,1	97,4	132,6
Ortadoğu	93,3	55,9	1,7	
Afrika	10	11,2	55,2	0,2
Asya ve Okyanusya	5,9	12,3	189,3	103,1
TOPLAM DÜNYA	142,9	155,1	519,1	465,4

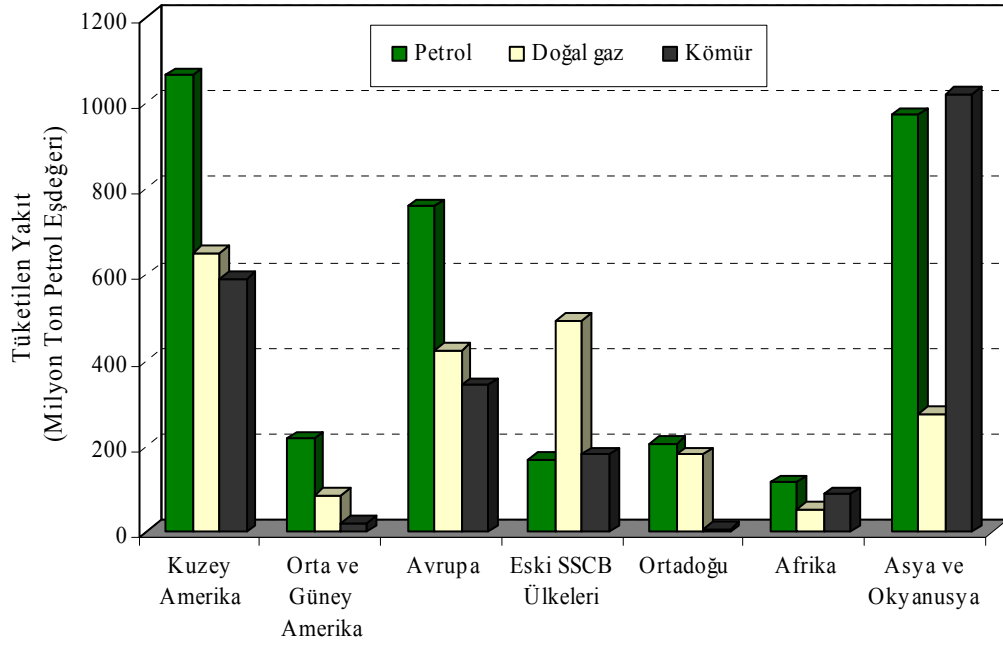
Dünya petrol üretiminin bölgelere göre dağılımı Şekil 2.1’de görülmektedir. Dünya petrol üretiminde 1,1 milyar ton ve %30’luk pay ile Ortadoğu ülkeleri ilk sırayı almaktadır. Ortadoğu ülkelerinden Suudi Arabistan 422,9 milyon ton ve %11,8’lik

pay ile dünya petrol üretiminde birinci ülke durumundadır. ABD 351,7 milyon ton (%9,8) ve Rusya Federasyonu 348,1 milyon ton (%9,7) üretimleriyle ikinci ve üçüncü sırayı almaktadırlar [1].

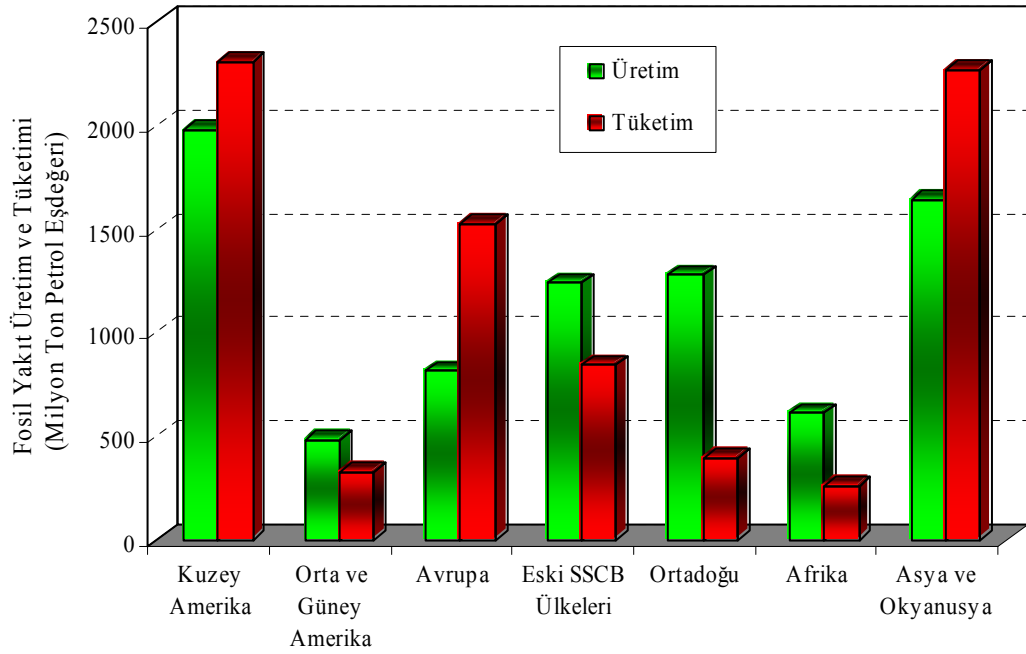


Şekil 2.1. Dünya petrol üretimi dağılımı [1]

Dünya fosil yakıt tüketiminin bölgelere göre dağılımı Şekil 2.2’de yer almaktadır. 2001 yılında fosil yakıtların tüketimi 2000 yılına kıyasla %0,3 artış göstermiştir. Petrol, tüketilen fosil kökenli yakıtlar arasında önemli bir paya sahiptir. Enerji tüketimi ülkenin büyüklüğüne ve sanayileşme seviyesine bağlı olarak değişim göstermektedir. Amerika, Çin, Rusya, Japonya ve Almanya en yüksek enerji tüketicisi konumunda olan ülkelerdir. Dünya fosil enerji üretim ve tüketimlerinin bölgelere göre dağılımı (Şekil 2.3) incelendiğinde Kuzey Amerika, Avrupa, Asya ve Okyanusya bölgelerinin enerji tüketimlerinin üretimlerinden daha fazla olduğu görülmektedir [1].



Şekil 2.2. Dünya fosil yakıt tüketiminin bölgelere göre dağılımı [1]

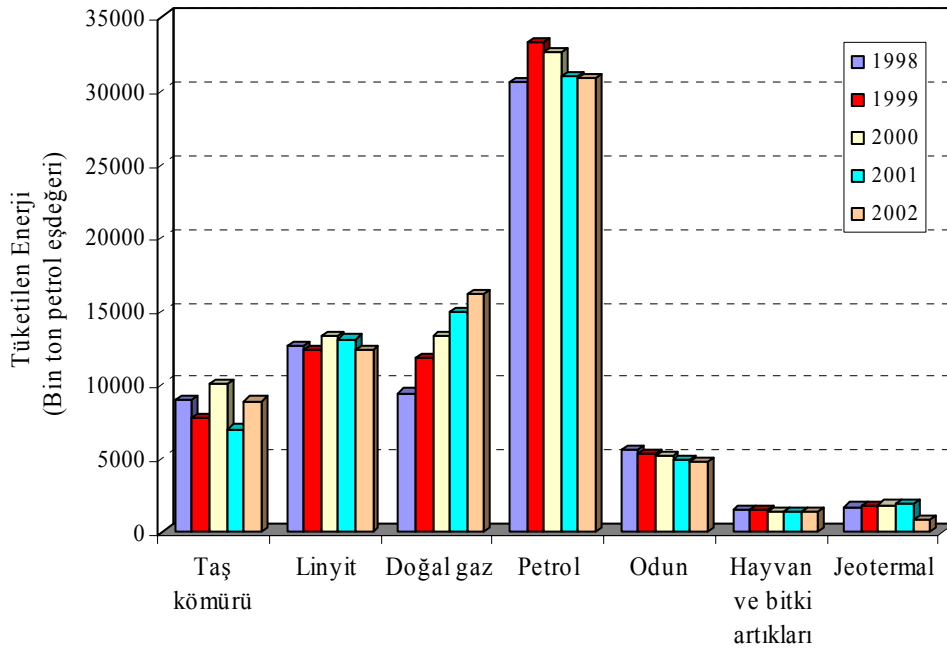


Şekil 2.3. Dünya fosil yakıt üretim ve tüketimlerinin bölgelere göre dağılımı [1]

2002 yılında Türkiye'nin nüfusu 69,645 milyon olarak gerçekleşmiştir. Türkiye üyesi olduğu OECD-Uluslararası Enerji Ajansı ülkeleri içinde, 1990-2002 yılları arasında yıllık ortalama %1,81'lik nüfus artış hızı ile en yüksek nüfus artış hızına sahip ülkedir. Nüfus artışının yanında köyden kente ve özellikle doğudan batıya göç söz

konusudur. Coğrafi konumu ve çevresindeki enerji kaynakları itibarıyla Asya ve Avrupa kıtaları arasında enerji koridoru olmaya aday olan Türkiye'nin enerji politikalarının önemi ortaya çıkmaktadır [1].

Şekil 2.4'te 1998-2002 yılları arasında Türkiye'de kullanılan enerji kaynakları yer almaktadır. Dünyanın gelişen ve gelişmekte olan ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de enerjinin büyük bir kısmı fosil yakacıklardan elde edilmektedir. Özellikle petrol tüketimi, toplam tüketim içerisinde önemli bir paya sahiptir (2002 yılı verilerine göre yaklaşık %39). Enerji tüketiminin sektörel dağılımı dikkate alındığında (Çizelge 2.2), ulaştırma sektörünün nihai enerji tüketimi içerisindeki payı 1990 yılında %21 iken; 2002 yılında %19 olarak gerçekleşmiştir. Ulaştırma sektöründe ana yakıt petrol (1990 yılında 8,292 milyon ton iken 2002 yılında 10,658 milyon ton olarak gerçekleşmiştir) olmakla birlikte doğal gaz ve elektrik enerjisi de kullanılmaktadır. Ulaştırma sektöründe karayolu ulaştırması %93 ile en yüksek paya sahiptir. Son yıllarda tüketilen toplam petrol ürünleri içerisinde LPG'nin payında önemli bir artış görülmektedir. Bu oran 2002 yılında %11'e ulaşmıştır [1].



Şekil 2.4. 1998-2002 yılları arasında Türkiye'de kullanılan enerji kaynakları [10]

Çizelge 2.2. Enerji tüketiminin sektörel dağılımı [1]

(Bin ton petrol eşdeğeri)	1990	1995	2000	2001	2002
Sanayi	14543	17372	23635	20547	24465
Konut ve Hizmetler	15358	17596	19860	17935	18184
Ulaştırma	8723	11066	12007	12000	11320
Tarım	1956	2556	3073	2964	3026
Enerji Dışı	1031	1386	1915	1638	1777
Net	41611	49976	60490	55083	58772

Türkiye’de üretilen ve tüketilen petrolün karşılaştırılması Çizelge 2.3’de yer almaktadır. 1994 yılında üretilen petrol, toplam petrol tüketimin %14,3’ünü karşılarken, 2002 yılına kadar bu oran %8,3’e kadar azalmıştır. Üretilen ve tüketilen petrol miktarları arasındaki fark ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Tüpraş’ın 1998 Yılı Faaliyet Raporunda, ülkemizde işlenen ham petrolün %87’sinin Tüpraş rafinerilerinde işlendiği ve ham petrol ihtiyacının İran, Suudi Arabistan, Libya, Suriye, Mısır, Kazakistan, Cezayir, Irak, Rusya Federasyonu, yurt içi ve serbest piyasadan karşılandığı belirtilmektedir [11].

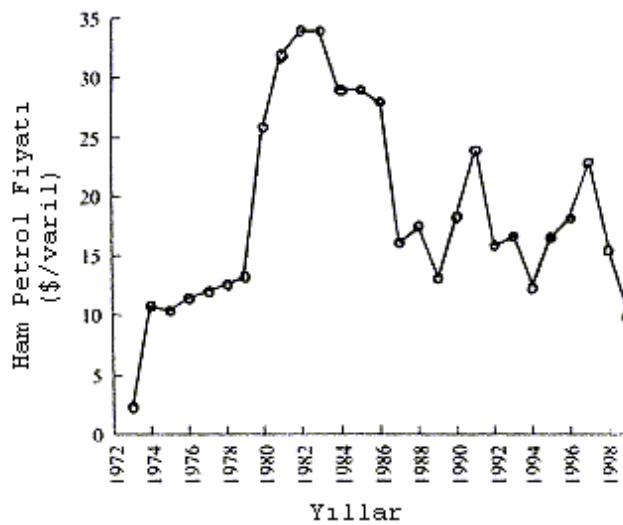
Çizelge 2.3. Türkiye’de üretilen ve tüketilen petrolün karşılaştırılması [10, 12]

(1000 ton)	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Petrol üretimi	3871	3692	3675	3630	3385	3087	2886	2679	2541
Petrol tüketimi	27142	29324	31084	30636	30582	33236	32595	30936	30777

Petrol kökenli yakıtlara alternatif bir enerji kaynağı olan biyokütle enerjisi büyük bir potansiyele sahiptir. Biyokütle enerjisi, rüzgar ve güneş gibi kesikli olmayıp, sürekli enerji sağlayabilen ve kolay depolanabilen bir alternatif enerji kaynağıdır. Ana bileşenleri karbonhidrat bileşikler olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler biyokütle kaynaklarıdır. Odun (enerji ormanları, çeşitli ağaçlar), yağlı tohum bitkileri (ayçiçeği, soya, kolza vb.), karbonhidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar vb.), elyaf bitkileri (keten, kenevir, sorgum vb.), protein bitkileri (bezelye, fasulye vb.), bitkisel atıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk vb.) bitkisel biyokütle kaynaklarını oluşturmaktadır. Bitkisel biyokütle, yeşil bitkilerin fotosentez yoluyla güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek depolamaları sonucu oluşur. Fotosentezle, enerji içeriği yaklaşık 3.10^{21} J/yıl olan organik madde oluşur. Bu miktar dünya enerji

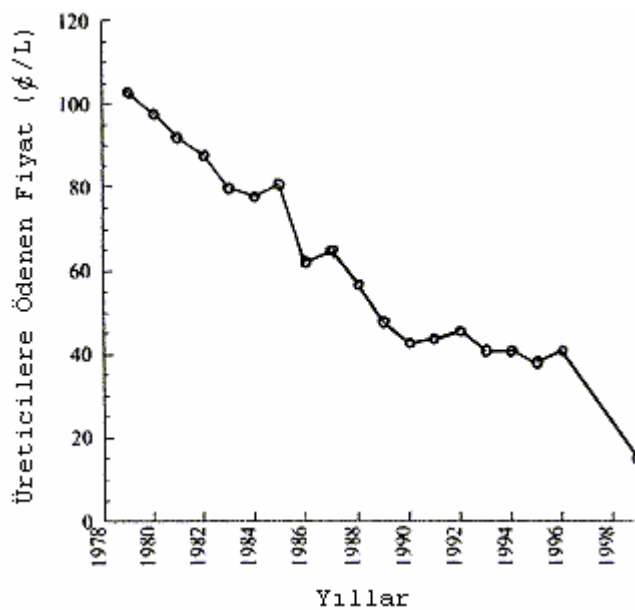
tüketiminin yaklaşık on katıdır. Yıllık ortalama yağış miktarı 250 mm civarında olan orta verimli bir hektarlık araziden yılda ortalama 80-100 ton yaş veya 25-30 ton biyokütle elde edilebilmektedir. Daha uygun iklim koşullarında bu miktar da artabilecektir. Kara kavak, balzam kavakları, söğüt ve okaliptus gibi hızlı büyüyen ağaçlar enerji elde etmek amacıyla yetiştirilmektedir. Enerji ormanlarından elde edilen ortalama yıllık biyokütle miktarı hektarda 22 ton civarındadır. Bir milyon hektar üzerine kurulacak enerji ormanından yılda yaklaşık 7 milyon ton biyokütle enerji kaynağı elde edilebilir. Bu miktar yaklaşık olarak 30 milyon varil ham petrole eş değerdir [5].

Yakıtın elde edilebilirliği, ekonomik olması ile ilgili bir unsurdur. Bu açıdan petrol kaynaklı yakıtların birim maliyetleri değişmese bile rezervlerin tükenmesi nedeniyle ekonomik olan ve olmayan yakıtlar arasındaki dengenin yakın bir gelecekte değişeceği tahmin edilmektedir. Benzinin maliyeti 1970'lerden itibaren oldukça dalgalı bir seyir izlemiştir. Şekil 2.5'te Suudi Arabistan ham petrol fiyatının yıllara göre değişimi yer almaktadır. Benzin fiyatlarının ham petrol fiyatlarından etkilenmesinin yanı sıra ham petrol kalitesi ve kaynağı, rafineri boyutu ve konfigürasyonu, ülke petrol üretim politikası, benzinin kalitesi vb. çeşitli faktörler de benzinin maliyeti üzerinde etkilidir. Bununla beraber ortalama olarak benzinin fiyatı ham petrol fiyatının 1,3 katı alınabilir [9, 13].



Şekil 2.5. Ham petrol fiyatının yıllara göre değişimi [13]

Alternatif enerji kaynakları arasında gösterilen etanolün maliyeti ham madde, üretim teknolojisi ve pazarlama faktörlerinin maliyetlerine bağlıdır. Etanol fiyatının yıllara göre değişimi Şekil 2.6'da görülmektedir. Brezilya'da etanolün maliyeti 2000 yılından itibaren yaklaşık 21 ¢/L olduğu hesaplanmıştır. Üreticilere ödenen ortalama fiyat 1990'ların ortaları süresince yaklaşık 34 ¢/L'de sabit kalmıştır. Fakat büyük arz fazlası nedeniyle 1999'un sonunda 15 ¢/L ile üretim maliyetinin altında bir fiyat almıştır [13].



Şekil 2.6. Brezilya'da etanol fiyatının yıllara göre değişimi [13]

2.2. Alkoller

2.2.1. Alkollerin genel özellikleri

Alkoller, R-OH genel formülüne sahiptirler ve alkanlardan (C_nH_{2n+2}) bir hidrojenin çıkarılarak, yerini hidroksil ($-OH$) grubunun almasıyla türeyen organik bileşiklerdir. Alkoller, doğada bulunan maddeler olup, günlük hayatta pek çok kullanım alanı bulunmaktadır. Dört karbon (C) atomuna kadar olan düşük moleküllü alkoller, büyük miktarlarda üretilmektedir [14-16].

Metil alkol (metanol CH_3OH), odundan damıtma yöntemiyle elde edilebildiği gibi sentetik olarak katalizör (krom oksit Cr_2O_3 ve çinko oksit ZnO karışımı) beraberinde karbonmonoksit (CO) ve hidrojen (H_2) üretilmektedir. Kendi başına toksit bir madde olup, ağızdan veya deri yoluyla alındığı takdirde körlüğe veya ölümlere neden olabilmektedir. Metil alkol, en yaygın endüstriyel solventlerden biridir. İçten yanmalı motorlar için iyi bir yakıttır. Indianapolis 500 araçlarında 1965'ten beri yakıt olarak kullanılmaktadır [14-18].

Etil alkol (etanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$), çözücü, dezenfektan, akaryakıt ve çeşitli kimyasalların üretiminde kullanılmaktadır. Etil alkol, karbonhidratların fermantasyonu (mayalanması) ile hazırlanır. Fermantasyon, organik bileşiklerin biyolojik katalizörlerin (enzim) etkisiyle daha basit bileşiklere ayrıştırılmasıdır. Şeker kamışının saflaştırılması sonucunda kalan melasın mayalanmasıyla elde edilen etil alkol, patates ve pirinç içerisindeki nişastanın benzer şekilde mayalanmasıyla da üretilmektedir. Mısır, buğday, çavdar, arpa, üzüm gibi çeşitli tarımsal ürünlerden etil alkol elde edilebilmektedir. Fermantasyonda kullanılacak karbonhidratın seçiminde bulunabilirlik ve alkolün kullanım alanı etkilidir [14-16, 19].

İzopropil alkol (2-propanol $(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{OH}$), propene asit-katalizli su katılmasıyla üretilir ve antibakteriyel, endüstriyel solvent olarak kullanılır [14-16].

Çizelge 2.4'te bazı alkollerin çeşitli fiziksel özellikleri yer almaktadır. Metil alkolden itibaren C sayısı arttıkça kaynama noktası ve yoğunluk artmaktadır. Bütil alkole kadar olan alkoller su içerisinde sınırsız miktarda çözünürlüğe sahiptir. Alkol molekülünde hidrofob (alkil grubu) ve hidrofil (hidroksil grubu) etki gösteren zıt iki grup bulunur. Küçük moleküllü alkollerde hidroksil grubunun özellikleri alkil grubunu bastırır ve hidrofil özellik kendisini gösterir. Dört veya beş karbon atomundan daha az karbon sayısına sahip alkoller, su içerisinde kolayca çözünebilirken, beşten sekize kadar karbona sahip alkoller kısmen çözünürler. Alkollerin moleküler ağırlığı arttıkça hidrokarbon (alkil grubu) parçası da artar ve su içerisinde daha zor çözünmeye başlar [14-19].

Çizelge 2.4. Bazı alkollerin çeşitli fiziksel özellikleri [19]

	Formülü	Kaynama noktası (°C)	Yoğunluk (20 °C’de g/ml)	Suda çözünürlük
Metil alkol	CH ₃ OH	64,5	0,79	∞
Etil alkol	CH ₃ CH ₂ OH	78,3	0,79	∞
Propil alkol (1-Propanol)	CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH	97,2	0,80	∞
İzopropil alkol (2-Propanol)	(CH ₃) ₂ CHOH	82,3	0,79	∞
Bütil alkol (1-Bütanol)	CH ₃ (CH ₂) ₃ OH	117	0,81	8,3/100ml

Alkol, içten yanmalı motorlarda yakıt olarak 19. yy.den beri kullanılmaktadır. Ancak yüksek fiyatı nedeniyle geniş bir kullanım alanı bulamamıştır. Alkollerin daha temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olması ve buji ile ateşlemeli motorlarda vuruntu dayanımı alternatif yakıt olarak tercih edilme nedenlerinin başında gelmektedir [20].

Alkoller, buji ile ateşlemeli motorların yanı sıra sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda da kullanılabilir. Ancak alkollerin dizel motorlarında kullanımında çeşitli mahsurlar ortaya çıkmaktadır. Etanolün dizel yakıtında (motorin) çözünürlüğü sınırlıdır. Etanol-motorin karışımlarındaki faz ayrışması ve karışımdaki su miktarı önemli bir problemdir. Bununla birlikte etanolün setan sayısı son derece düşüktür. Dizel motorlarında kendi kendine kolayca tutuşan ve tutuşma gecikmesi azaltan yakıtların tercih edildiği dikkate alındığında yakıtın setan sayısı önem kazanmaktadır. Ayrıca motorin içerisine etanol eklendiğinde karışımın ısı değeri azalmaktadır [7, 8, 21, 22].

Etanolün motorin içerisindeki çözünürlüğü sıcaklığa, dizel yakıtının hidrokarbon kompozisyonuna ve karışımdaki su miktarına bağlıdır. Yaklaşık olarak 10 °C’nin altındaki sıcaklıklarda iki yakıt ayrılmaktadır. Karışımdaki etanol miktarı arttıkça çözünürlük sıcaklığı artarak hacimsel olarak %50 etanol içeren karışımda en yüksek değere ulaşmakta daha sonra azalmaktadır. Hacimsel olarak %20 etanol içeren karışım 0 °C’de, %50 etanol içeren karışım 23 °C’de ayrılmaktadır. Dizel yakıtı olarak etanol-motorin karışımları kullanımında emisyonların ve yanma karakteristiklerinin iyileştirilmesi için setan geliştiriciler tercih edilmektedir. Setan geliştirici içeren etanol-motorin karışımları, motorin ve etanol-motorin

karışımlarından daha iyi motor performansı sağlayabilmektedir. Setan geliştirici içeren etanol-motorin karışımları FÖYT'nin artmasına neden olmakta, buna karşılık efektif verimin gelişmesine katkıda bulunmaktadır. NO_x , HC ve duman emisyonları azalmaktadır [7, 8, 21-23].

2.2.2. Alkollerin buji ile ateşlemeli motorlarda kullanımı

Metanol renksiz bir sıvıdır ve hemen hemen renksiz bir alevle yanar. Yakıt olarak kullanıldığında fakir limitlerde tutuşabilir olması ve yüksek oktan sayısı önemli avantajlar sağlar. Benzinle karşılaştırıldığında düşük buhar basıncı, buharlaşma ve çalışma esnasındaki emisyonların azaltılmasında yardımcı olur. Benzin motorlarında kullanıldığında bir takım düzenlemeler gerektirir. Yakıt sistemi daha yüksek besleme kapasitesine ihtiyaç duyar. Benzine göre daha düşük enerjiye sahip olduğundan mevcut yakıt tankı ile katedilen mesafenin azalmasına neden olur. Saf metanolün soğukta ilk hareket problemi oluşturması nedeniyle M85 olarak adlandırılan %85 metanol ve %15 kurşunsuz benzinden oluşan karışım alternatif yakıt olarak geniş bir kullanıma sahiptir. Metanolde olduğu gibi E85olarak adlandırılan etanol-benzin karışımı alternatif yakıt olarak göz önüne alınmaktadır. Bununla birlikte %90 kurşunsuz benzin ve %10 etanol karışımı (gasohol) etanolün temel kullanım alanını oluşturmaktadır [16, 24].

Metanol ve etanol tek bir bileşikten oluşmuştur. Benzin ise, çeşitli hidrokarbon bileşiklerden meydana gelmiştir. Metanolün ve etanolün oksijen içermesi nedeniyle benzinle karşılaştırıldığında özelliklerinde çeşitli farklılıklar gösterirler. Etanolün özellikleri genellikle metanol ve benzin arasında yer alır. Benzin, metanol ve etanolün çeşitli özellikleri Çizelge 2.5'te yer almaktadır [25].

Metanolün kompozisyonu yanma karakteristiklerinde önemli bir rol oynar. Metanol ve benzin yaklaşık aynı miktar hidrojen içermektedir. Ancak metanolün kompozisyonunda bulunan oksijen, benzine göre daha az karbona sahip olmasına neden olmaktadır. Oksijen içermesi nedeniyle metanole benzeyen etanol daha düşük

oranda oksijene sahiptir. (% 34,7) Etanol, yaklaşık olarak metanolle aynı miktar hidrojene sahipken, bünyesindeki karbon oranı daha yüksektir [25].

Çizelge 2.5. Benzin, metanol ve etanolün çeşitli özellikleri [25]

	Benzin	Metanol	Etanol
Kimyasal Formülü	$C_4 - C_{12}$	CH_3OH	C_2H_5OH
Moleküler ağırlığı	100-105	32,04	46,07
Karbon (% ağırlık)	85-88	37,5	52,2
Hidrojen (% ağırlık)	12-15	12,6	13,1
Oksijen (% ağırlık)	0-4	49,9	34,7
Yoğunluk (15 °C, kg/dm ³)	0,69-0,79	0,796	0,79
Donma noktası (°C)	-40	-97,5	-114
Kaynama noktası (°C)	27-225	65	78
Buhar basıncı (38 °C, kPa)	48-103	32	15,9
Özgül ısı (kJ/kg K)	2	2,5	2,4
Viskozite (mPa s, 20 °C)	0,37-0,44	0,59	1,19
Buharlaştırma Isısı (kJ/kg)	349	1178	923
Alt Isıl Değeri (1000 kJ/L)	30-33	15,8	21,1
Parlama noktası (°C)	-43	11	13
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	257	464	423
Stokiyometrik hava/yakıt oranı (ağırlık)	14,7	6,45	9
Araştırma oktan sayısı	88-100	108,7	108,6
Motor oktan sayısı	80-90	88,6	89,7
Tutuşma limitleri (% hacimsel olarak)			
Alt	1,4	7,3	4,3
Üst	7,6	36	19
Alev yayıma hızı (m/s)	4-6	2-4	

Metanol benzinden daha düşük bir donma noktasına sahiptir. Bu özelliğiyle daha iyi antifiriz bileşikler bulunmadan önce motorun soğutma sisteminde antifiriz olarak kullanılmıştır. Metanolün donma noktası benzine göre daha düşük olmasına rağmen bu özellik metanole önemli bir avantaj sağlamaz. Benzinin donma noktası, taşıt yakıt sistemindeki problemleri önleyecek yeterliliktedir. Etanolün donma noktası metanolün de altındadır [25].

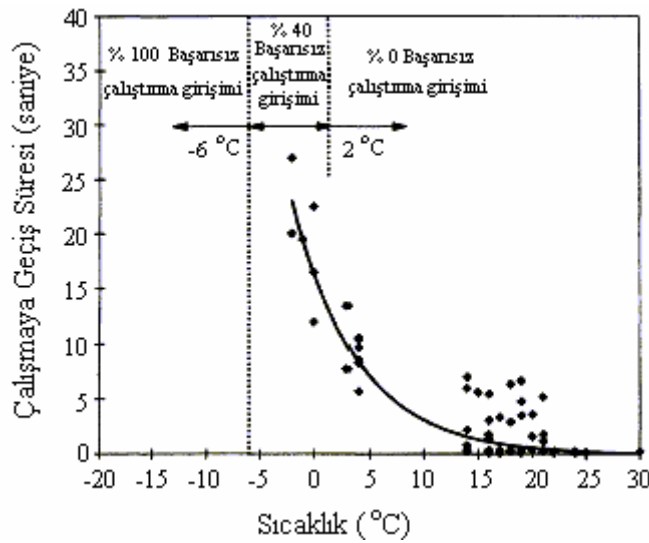
Metanol 65 °C sıcaklıkta ve etanol 78 °C sıcaklıkta kaynar. Benzinin kaynaması ise, oldukça geniş bir sıcaklık aralığındadır. Benzinin çok düşük kaynama noktasına sahip hidrokarbonları içermesi sebebiyle metanol ve etanol benzin kadar kolay

tutuşamaz. Metanolün parlama noktası 11 °C ve etanolün parlama noktası 13 °C iken benzininki -43 °C'dir. Aynı zamanda benzinle alkoller arasındaki önemli farklardan birisi de metanolün ve etanolün düşük buhar basıncı özelliğidir. Saf metanol yaklaşık 7 °C'nin altındaki sıcaklıklarda benzin için tasarlanmış yakıt sistemlerinde çalışamaz [25].

Metanolün ve etanolün buharlaşma ısısı benzinden daha yüksektir. Örneğın metanolün buharlaşma ısısı benzinin yaklaşık 3,4 katıdır. Bu özellik buji ile ateşlemeli motorlarda çıkış gücü için bir avantaj sağlar. Yakıt taneciklerinin sıvı halden buhar haline geçebilmek için çevreden aldıkları ısı giren hava sıcaklığını düşürür ve böylece havanın yoğunluğu artar. Aynı zamanda yanma sıcaklığını düşürerek kendi kendine tutuşma eğilimini ve azot oksit (NO_x) emisyonlarını azaltır [25-29].

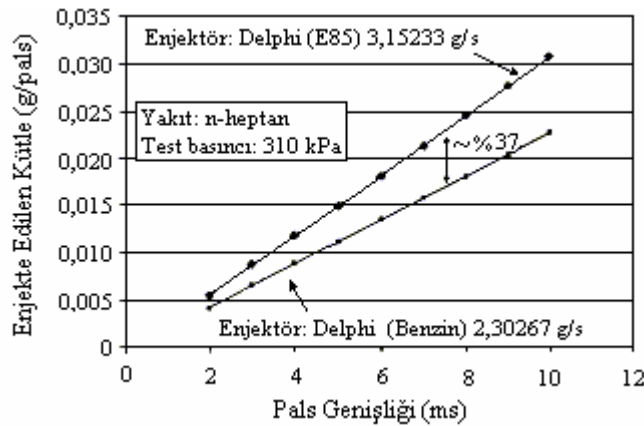
Metanolün buharlaşma ısısının benzinden daha yüksek ve buhar basıncının daha düşük olması soğuk iklim koşullarında buharlaşmayı zorlaştırır. Ayrıca stokiyometrik hava/yakıt oranı 6,45/1 olduğundan benzin kullanılan araçlara göre yaklaşık iki kat yakıtın motora verilmesi sağlanmalıdır. Soğukta ilk hareket ve sürüş problemlerini çözümlmek için zengin karışım hazırlanır. Böyle koşullarda silindirde oluşturulan buhar fazdaki yakıt/hava oranı, sağlanan tüm yakıt/hava oranlarından çok daha fakirdir. Düşük sıcaklıklarda uçucu bileşikler kolayca buharlaşır, karışımaya ilave edilen ekstra yakıt silindirde tutuşabilir karışım oluşturulmasını sağlayabilir. Saf alkol kullanılan motorlarda ilk hareket kabiliyeti sıcaklığın güçlü bir fonksiyonudur ve 0 °C sıcaklığın altındaki veya yakınlarındaki sıcaklıklarda çalışma mümkün olamamaktadır. Şekil 2.7'de E95 yakıtı kullanılan motorda çalışma sıcaklığının fonksiyonu olarak motorun ilk harekete geçiş süresi görölmektedir. -6 °C veya daha düşük sıcaklıklarda yapılan tüm deneylerde ilk harekete geçiş başarısız olmuştur. -6 °C ile 2 °C arasındaki sıcaklıklarda ilk harekete geçiş denemelerinin %40'ı başarısız olurken, 2 °C'nin üzerindeki denemelerde başarısız ilk harekete geçiş olmamıştır. Bu deneylerde başarısız ilk hareket, motorun çalışmaksızın 30 saniye veya daha uzun süre ilk hareketin verilmesi olarak tanımlanmıştır. Soğukta ilk hareket problemini

çözebilmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. En yaygın yaklaşım alkol içerisinde %10 veya %15 oranlarında benzin ilave edilmesidir. Brezilya ve diğer Latin Amerika ülkelerinde geniş ölçüde etanolün alt yapısı oluşturulmuştur ve otomotiv yakıtlarında yüksek alkol konsantrasyonları kullanılmaktadır. Brezilya'da bu problem soğuk havalarda kullanılan ayrı bir benzin tankıyla çözülmektedir [30-35].



Şekil 2.7. E95 yakıtı kullanılan motorda çalışma sıcaklığının fonksiyonu olarak motorun ilk harekete geçiş süresi [33]

Benzinin stokiometrik hava/yakıt oranı yaklaşık 14,7/1 iken; metanolün 6,45/1 etanolün ise; 9/1'dir. Bu nedenle benzinli taşıtı alkolle çalışabilecek hale getirebilmek için yakıt sisteminde bir takım düzenlemelerin yapılması gerekir. Yakıt enjeksiyon sistemine sahip motorlarda mevcut elektronik kontrol ünitesiyle etkili motor kontrolü için yeterli yakıt sağlayacak enjektörlere ve kullanılan yakıtı uyumlu parçalara ihtiyaç vardır. Örnek olarak; 1999 model Chevrolet Silverado marka taşıtı E85 yakıtıyla çalışabilecek hale dönüştürebilmek için yapılan çalışmada, kullanılan mevcut enjektörler ve etanolle uyumlu enjektörler için enjektör pals genişliğine karşılık püskürtülen kütle miktarlarının karşılaştırılması Şekil 2.8'de yer almaktadır. Bu enjektörlerin statik akış debileri 310 kPa test basıncında 2,303g/s ve 3,152 g/s'dir. Mevcut elektronik kontrol ünitesi kullanıldığında E85 için benzine göre yaklaşık %37 daha fazla yakıt sağlayacak yüksek akışlı enjektörler gereklidir. [25, 36].



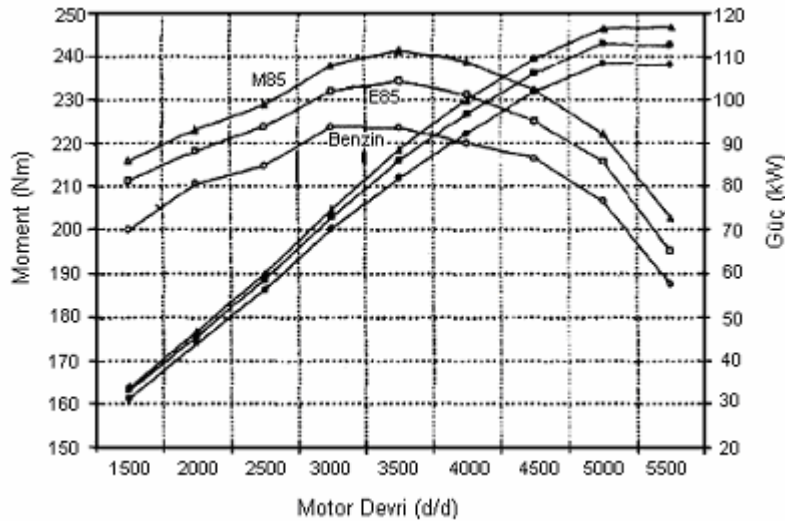
Şekil 2.8. E85 ve benzin enjektörleriyle puls genişliğine bağlı olarak püskürtülen yakıt miktarlarının değişimi [36]

Metanol ve etanolün kendi kendine tutuşma sıcaklığı benzininkinden daha yüksektir. Bu avantaj sayesinde metanol ve etanol buharı yanma başlamadan önce daha yüksek sıcaklıklara kadar sıkıştırılabilirler [25].

Oktan sayıları itibarıyla metanol ve etanol daha iyi özelliklere sahiptir. Benzine göre yüksek oktan sayısına sahip olmaları nedeniyle motor gücü ve verimi açısından daha yüksek sıkıştırma oranlarında motorun çalıştırılabilmesine olanak sağlarlar. Sıkıştırma oranı, ateşleme zamanı ve hava/yakıt oranı gibi çeşitli motor parametreleri optimum seviyede tutularak, standart benzin motoruna göre daha yüksek moment ve güç elde edilebilir [25, 35, 37, 38].

Metanolün ve etanolün oksijen içermesi benzine göre ısı değerlerinin daha az olmasına neden olmaktadır. Örneğin etanolün alt ısı değeri benzinin %64-%70'i kadardır. Bu sebeple benzinle karşılaştırıldığında aynı miktar güç elde edebilmek için hacimsel olarak 1,5 kat daha fazla etanole ihtiyaç vardır. Etanolün alt ısı değeri metanolden 1,3 kat daha fazladır. Bu nedenle metanol veya etanol yakıt olarak kullanıldığında aynı sıkıştırma oranında yakıt tüketimini artırmaktadır. Motorun çıkış gücü büyük ölçüde yanma odasında açığa çıkan ısı miktarının bir fonksiyonudur. Yanma odasında elde edilebilecek ısı, yakıt özellikleri ve kullanılabilir hava miktarı tarafından belirlenir. Benzin, M85 ve E85 yakıtlarıyla elde edilen motor momentleri ve motor gücünün motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 2.9'da görülmektedir.

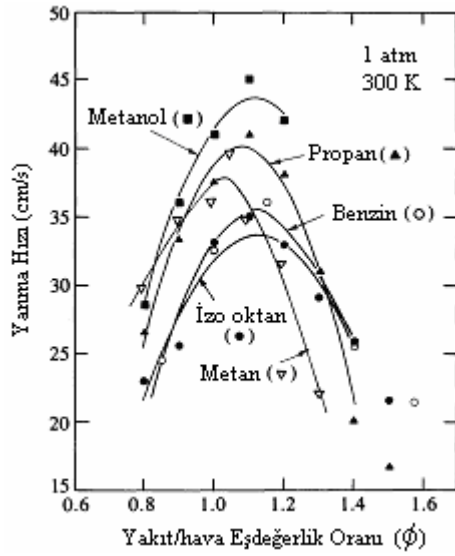
Alkollerin düşük ısıl değerlerine rağmen düşük stokiyometrik hava/yakıt oranlarına sahip olmaları, verilen hava miktarı için açığa çıkacak enerji miktarının eşdeğer veya daha fazla olmasına imkan verir [25, 39-43].



Şekil 2.9. M85, E85 ve benzinin motor momenti ve gücüne etkisi [37]

Tutuşma limitleri açısından bu üç yakıt karşılaştırıldığında etanolün tutuşabilme limitlerinin benzinden daha yüksek metanolden daha düşük olduğu görülür. Alt tutuşma limitinin yüksek olması, tutuşabilir karışım oluşmadan önce benzine göre daha fazla etanol buharının havayla karıştırılmasını gerekir. Etanolün yüksek buharlaşma ısısı, düşük buhar basıncı, yüksek kaynama noktası buharlaşmada benzine göre çok daha fazla enerji gerektirir. Yeterli buharlaşmayla etanol ile hava tutuşabilir karışım oluşturulduğunda tutuşabilir karışımın sürekliliğini sağlamak için geniş bir aralık tavsiye edilir ki bu açıdan etanolün üst tutuşma limiti benzinden daha yüksektir [25].

Çeşitli hidrokarbon yakıtların yakıt/hava eşdeğerlik oranının laminar yanma hızına etkisi Şekil 2.10'da görülmektedir. Bütün yakıtlarda en yüksek yanma hızı stokiyometrik orandan biraz daha zengin karışımında elde edilmektedir [44].



Şekil 2.10. Çeşitli hidrokarbon yakıtların yakıt/hava eşdeğerlik oranına bağlı olarak laminar yanma hızlarının değişimi [44]

Benzin-alkol karışımlarında karışımdaki alkol miktarına bağlı olarak yakıt özellikleri değişim göstermektedir. Bazı metanol-benzin ve etanol-benzin karışımlarının çeşitli özellikleri Çizelge 2.6'da görülmektedir. Alkol içeren karışımlarda buharlaşma ısısı ve oktan sayısı karışımdaki alkol miktarına ve çeşidine bağlı olarak artmaktadır. Vuruntu dayanımının alkol-benzin karışımlarında daha iyi olması motor verimi açısından sıkıştırma oranını arttırmaya olanak sağlamaktadır. Ancak metanol-benzin ve etanol-benzin karışımlarında stokiyometrik hava/yakıt oranı ve ısı değeri azalmaktadır. Bu özellik alkol içeren yakıtlarda yakıt tüketiminin artmasına sebep olmaktadır.

Çizelge 2.6. Bazı metanol-benzin ve etanol-benzin karışımlarının çeşitli özellikleri [45]

	Benzin	M10	M15	M20	E10	E15	E20
Yoğunluk (15,56 °C, kg/dm ³)	0,7697	0,7692	0,7697	0,7707	0,7747	0,7752	0,7771
Oksijen (% ağırlık)	0	5,15	7,71	10,27	4,08	6,1	8,11
Reid Buhar basıncı (kPa)	35	57,4	61,6	66,5	59,5	58,1	54,6
Buharlaşma Isısı (kJ/kg)	350	428	466	505	413	445	476
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	14,6	13,77	13,35	12,94	13,95	13,62	13,3
Isıl Değeri (MJ/kg)	44	41,528	40,298	39,073	41,974	40,969	39,971
Araştırma Oktan Sayısı	84,7	88,2	91,6	94,4	88,4	91,5	93,4

2.3. Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Yanma

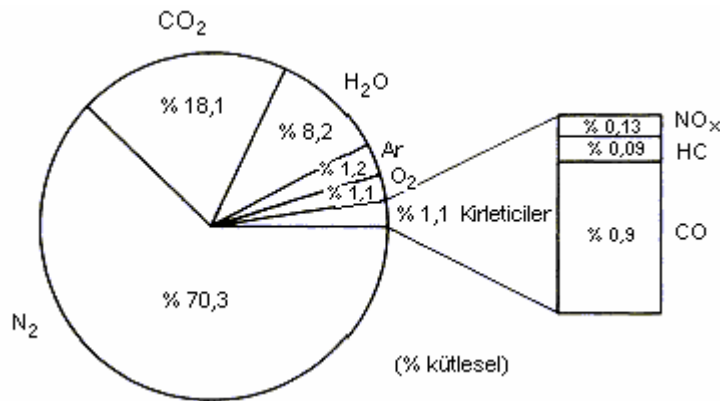
Buji ile ateşlemeli motorlarda yanma, silindir içerisine alınarak sıkıştırılan yakıt/hava karışımının harici bir kaynakla ateşlenmesi sonucunda başlatılır. Bu nedenle karışımın oluşturulması ve ateşleme, bu motorlarda yanma olayını farklı kılan önemli özelliklerdir. Ateşleme sistemi tarafından sağlanan enerji, buji tırnakları arasında elektronlar tarafından çevredeki karışım moleküllerine aktarılarak yüksek enerjili bir nüve oluşturur. Başlangıçta ısı kaybı yüksek olduğundan reaksiyonlar yavaş gelişir ancak reaksiyona katılan molekül sayısı arttıkça açığa çıkan enerji cidarlardan transfer edilen ısıyı hızla geçerek basınç ve sıcaklığın yükselmesine neden olur. Yanma hızına bağlı olarak alev cephesi ilerlemesine devam eder ve yanmamış gazların basınç ve sıcaklığını giderek yükseltir. Yanma hızı; karışımın sıcaklığına, basınca, yakıt/hava oranına ve yanma odasındaki türbülansa bağlı olarak değişir. Yanmamış bölgedeki gazların basınç ve sıcaklığının alev cephesinin ilerlemesiyle sürekli artması sonucu yanmanın sonlarına doğru bu bölgedeki gazların reaksiyona katılması hemen hemen sabit hacimde gerçekleşir. Yanma odası çeperlerine doğru yaklaştıkça soğuma nedeniyle alev cephesinin ilerlemesi yavaşlar ve artan ısı kaybı nedeniyle söner [9, 46].

Buji ile ateşlemeli motorlarda, buji ile oluşturulan alev cephesi yanma odasında ilerlerken alev cephesinin ulaşmadığı bir başka noktada basınç ve sıcaklığı yükselen taze karışımın kendiliğinden tutuşması vuruntuya sebep olmaktadır. Vuruntuyla birlikte maksimum basınç artar, yüksek frekanslı basınç değişimleri ve duyulabilen bir ses oluşur. Kendi kendine tutuşma buji ile ateşlemeli motorlarda istenmeyen bir durum olduğundan çeşitli motor parametrelerinin belirlenmesinde vuruntu dikkate alınır [9, 46].

2.4. Buji ile Ateşlemeli Motorlardan Kaynaklanan Egzoz Emisyonları ve Çeşitli Motor Parametrelerinin Egzoz Emisyonlarına Etkisi

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği potansiyel çevre problemlerinden birisidir. Şekil 2.11'de ECE seyir çevrimine göre katalitik konvertörsüz orta

büyüklerdeki bir taşıtın ortalama egzoz kompozisyonu görülmektedir. Yanma ürünleri arasında yer alan CO, HC ve NO_x emisyonları kirletici olarak nitelendirilen ürünlerdir. Bu emisyonlar esas olarak yakıt tipine ve yakıt/hava oranına bağlıdır.

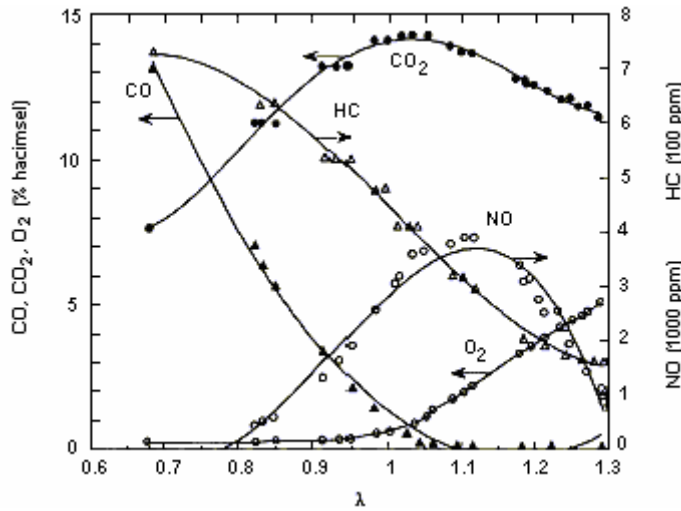


Şekil 2.11. ECE seyir çevrimine göre katalitik konvertörsüz orta büyüklükteki bir taşıtın ortalama egzoz kompozisyonu [47]

Yanma ürünleri arasında CO emisyonu bulunmasının temel nedeni yanma odasındaki oksijenin yetersiz olmasıdır. Oksijen miktarı yanma odasının genelinde yetersiz olabileceği gibi karışımın homojen olmaması nedeniyle lokal olarak da yetersiz olabilir. CO emisyonu eksik yanma sonucu olduğundan büyük ölçüde hava fazlalık katsayısına bağlı olarak değişmektedir. Ancak reaksiyon hızlarının düşük olması nedeniyle fakir karışımlarda CO'nun CO₂'ye dönüşümü tam olarak gerçekleşemez [48-50].

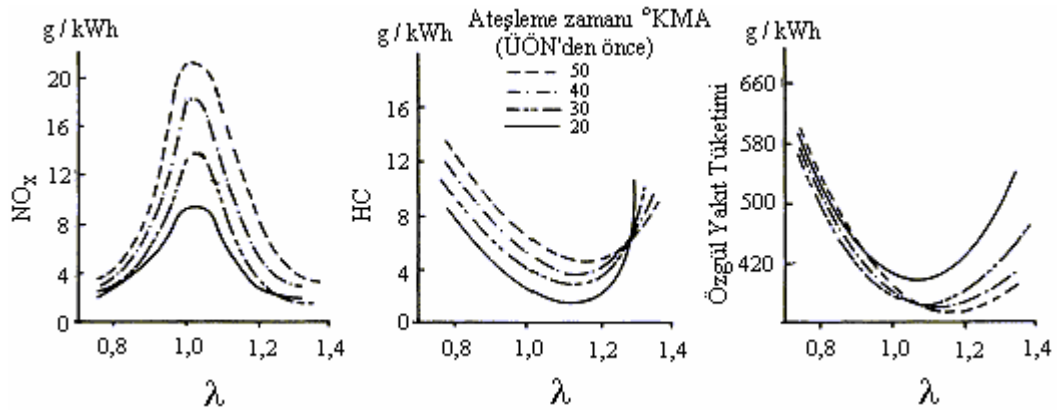
Sıcaklıkların, oksijen miktarının veya zamanın yetersiz olması sonucu yanmanın tamamlanamaması, egzoz gazları içerisinde hidrokarbonların bulunmasına neden olmaktadır. Zengin karışımlarda ortamda yeterli oksijen bulunmaması, çok fakir karışımlarda ise; sıcaklığın azalmasıyla birlikte oksidasyon reaksiyonlarının yavaşlaması yanmanın tamamlanamamasına ve hidrokarbonların artmasına neden olmaktadır. Ayrıca silindir içerisindeki ısı kayıpları nedeniyle soğuk cidarlara ulaşan alevin sönmesi HC emisyonu oluşumunu artırır [48-50].

Havanın bileşiminde bulunan azot normal şartlarda yanma olayında reaksiyona girmez. Yanma esnasında ulaşılan 1600 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda azot, ortamdaki oksijenle birleşerek azot oksitleri oluşturur. NO_x terimi genellikle NO ve NO_2 ile ilgilidir. Yanma odasındaki sıcaklık ve hava/yakıt oranı NO_x oluşumunu etkilemektedir. Şekil 2.12'de görüldüğü gibi HFK 1,1 civarında iken NO en fazla oluşmaktadır [48-51].



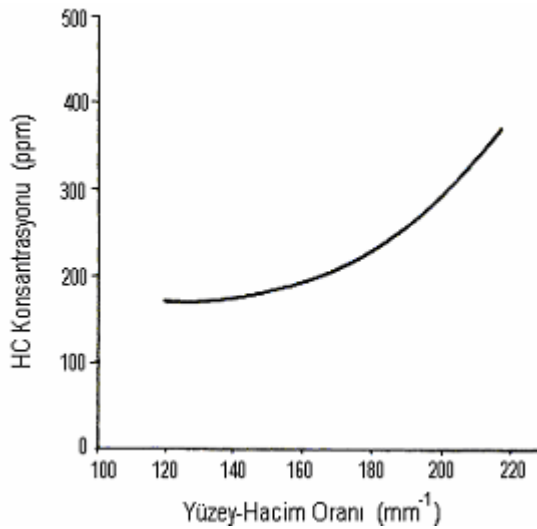
Şekil 2.12 Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak egzoz emisyonlarının değişimi [4]

Buji ile ateşlemeli motorlarda ateşleme zamanı motor gücü, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Şekil 2.13). Ateşleme zamanının avansa alınması bütün HFK aralığında NO_x emisyonlarını artırmaktadır. Özellikle stokiyometrik oranda ateşleme zamanının avansa alınması durumundaki NO_x emisyonlarındaki artış daha yüksektir. HC emisyonları da benzer bir eğilim göstermektedir. Ateşleme zamanının avansa alınmasıyla egzoz sıcaklığı azalmakta ve bunun sonucu olarak egzoz sistemindeki son reaksiyonlar azalarak, HC emisyonları artmaktadır [47, 49, 52].



Şekil 2.13. Ateşleme zamanının NO_x, HC emisyonları ve özgül yakıt tüketimine etkisi [47]

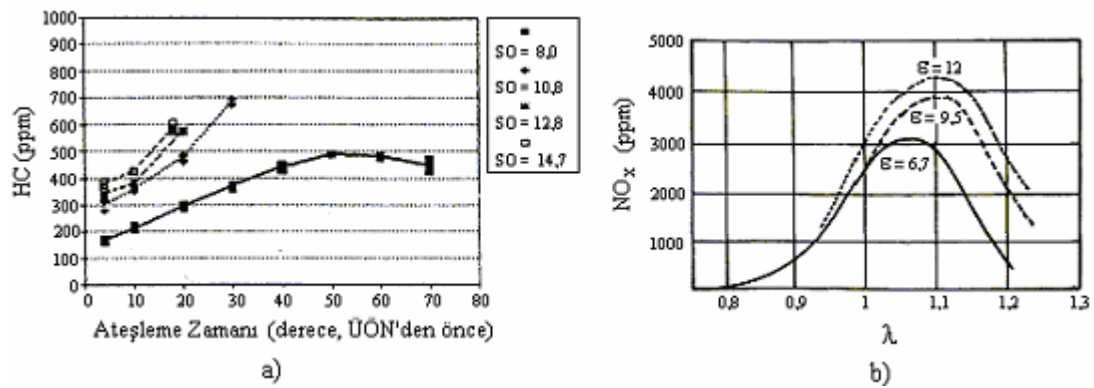
Yanma odasının yüzey/hacim oranı çap/kurs oranına, yanma odasının geometrisine ve sıkıştırma oranına bağlıdır. Sıkıştırma oranı sabit kalacak şekilde yanma odası şeklinin değiştirilmesi motorun vuruş dayanımını ve egzoz emisyonlarını etkiler. Yanma odası cidarlarının yüzey alanı büyüdükçe cidarlara olan ısı kayıpları artar. Bu nedenle alev sönme bölgesi genişleyerek HC emisyonlarını artırır (Şekil 2.14). Ancak cidarlara olan ısı iletimiyle sıcaklığın düşmesi NO_x emisyonlarını azaltır. CO emisyonunda sıcaklıktan daha çok hava/yakıt oranının etkili olması nedeniyle yüzey/hacim oranının belirgin bir etkisi olmamaktadır [49, 53].



Şekil 2.14. Yüzey/hacim oranının HC konsantrasyonuna etkisi [47]

Motorun termik verimi ve özgül yakıt tüketimi yönünden sıkıştırma oranı önemli bir parametredir. Buji ile ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranı vuruntu nedeniyle sınırlandırılmıştır [49, 53].

Sıkıştırma oranının artırılması termik verimi artırırken, yüzey/hacim oranını da artırdığından HC emisyonlarının yükselmesine sebep olur (Şekil 2.15.a). Ayrıca maksimum sıcaklığın artması NO_x emisyonlarının oluşumunu hızlandırmaktadır (Şekil 2.15.b) [49, 53].



Şekil 2.15. a) Sıkıştırma oranının HC emisyonu değişimine etkisi (Motor devri: 1500 d/d, $\lambda=1$ ve TGKA) [54]
b) Sıkıştırma oranının NO_x emisyonlarının değişimine etkisi [47]

Yanma odasındaki hava hareketlerinin artırılması alev hızını artırmakta ve alev sönme bölgesinin kalınlığı azalmaktadır. Bu durum HC emisyonlarının azalmasına neden olurken, sıcaklık artışı NO_x emisyonlarını artırmaktadır [49].

2.5. Egzoz Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevreye Etkisi

Zehirli bir gaz olan CO kokusuz ve renksizdir. Kandaki hemoglobine bağlanma yeteneğinin oksijene göre iki yüz kat fazla olması sebebiyle vücut hücrelerinin oksijen alma imkanını sınırlar, ortamdaki CO miktarına ve maruz kalma süresine bağlı olarak zehirlenmeye, bilinç kaybına ve ölüme sebep olabilir. Yanmamış ve kısmen yanmış hidrokarbonlar kötü kokulu ve tahriş edicidir. Bu hidrokarbonlardan parafinler ve olefinler solunum yollarını tahriş ederler. Aromatikler ise; kansere

neden olabilmektedir. Güneş ışığı altında gaz halindeki hidrokarbonlar azot oksitlerle birleşerek fotokimyasal sis oluştururlar. Bu sis tabakası solunum sistemine ve bitki örtüsüne zarar verebilmektedir. CO gibi kandaki hemoglobine birleşebilen azot oksitlerin insan sağlığı üzerindeki en olumsuz etkisi ciğerlerdeki nemle birleşerek, nitrik asit oluşumuna neden olabilmeleridir. Ayrıca atmosferdeki su ile birleşen azot oksitler nitrik asit oluşturarak, bitki örtüsüne zarar veren asit yağmurlarına neden olurlar [49, 55, 56].

Kurşun, benzinin oktan sayısını artırmak için kullanılan katıklarda (kurşun tetra metil ve kurşun tetra etil) bulunmakta ve egzoz gazlarıyla çevreye atılmaktadır. Egzozdan çıkan kurşunun önemli bir kısmı yakın çevrede birikmektedir. Atmosferdeki kurşun, vücuda solunumla alınmakla beraber toz, toprak ve gıdaların üzerine çökerek ağız yoluyla da alınmaktadır. Kandaki kurşun düzeyinin artması kurşun zehirlenmelerine yol açabilmektedir. Başta beyin olmak üzere merkezi sinir sistemi, kan yapan organlar, böbrekler ve organizmadaki tüm dokular kurşundan etkilenmektedirler. [55, 56].

2.6. Literatür Özetleri

Karaosmanoğlu (1990) tarafından yapılan doktora çalışmasında, alkol-benzin karışımlarının faz ayrışması ve yakıt özellikleri incelenmiştir. Alkol-benzin karışımlarında ortam sıcaklığı, benzinin kimyasal yapısı, karışımdaki alkol ve su miktarına bağlı olarak faz ayrışması meydana gelmektedir. Bu çalışmada farklı bileşimlere sahip benzinlerle oluşturulan metanol ve etanol karışımlarının faz ayrışması sıcaklıkları belirlenmiştir. Farklı benzinlerle oluşturulan metanol-benzin karışımlarında faz ayrışması sıcaklıklarının değişimi de farklı elde edilmiştir. Aromatik bileşikler daha yüksek olan benzinlerle hazırlanan metanol-benzin karışımlarında, karışımdaki alkol miktarı arttıkça faz ayrışması sıcaklığının azaldığı görülmüştür. Düşük aromatik içerikli benzinlerle oluşturulan karışımlardaki alkol miktarının artması faz ayrışması sıcaklığını arttırmaktadır. Etanol-benzin karışımlarında farklı bileşimlere sahip benzinlerin kullanılması durumunda karışımdaki alkol miktarının artması faz ayrışması sıcaklığının azalmasını

sağlamıştır. Karışımların su kaldırabilirlik değerlerinin ortam sıcaklığının artmasına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Aynı benzinle hazırlanan ve aynı oranda alkol içeren etanol-benzin karışımları, metanol-benzin karışımlarından daha yüksek su kaldırabilirlik değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir [57].

Hsieh ve arkadaşlarının (2002) yapmış oldukları çalışmada, etanol-benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli bir motorda motor performansına ve emisyonlara etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada New Sentra GA16DE marka 1600 cm³ çok nokta enjeksiyonlu, üstten çift kamlı, 9,5:1 sıkıştırma oranına sahip motor kullanılmıştır. %99,9 saflıktaki etanol hacimsel olarak %0-%30 oranlarında (E0, E5, E10, E20 ve E30) benzin ile karıştırılarak deneylerde kullanılacak yakıtlar elde edilmiştir [20].

Çeşitli oranlardaki benzin-etanol karışımlarının gaz keleşbeği açıklığına bağlı olarak 1000, 2000, 3000 ve 4000 d/d motor devirlerinde yalnız benzin (E0) kullanıldığı durumdaki motor momentini verebildiği görülmüştür. Özellikle kısmi keleşbek açıklıklarında (% 20) veya yüksek motor devirlerinde (4000 d/d) yalnız benzinle elde edilen motor momenti, E5-E30 karışımlarındaki yakıtlardan daha azdır. Araştırmacılar bunun nedenini, orijinal yakıt enjeksiyon stratejisinin bu çalışma şartlarında zengin karışım hazırlama eğiliminde olmasına ve benzine eklenen etanolün fakirleştirici etkisiyle hava/yakıt oranının stokiyometrik orana yaklaşmasıyla sağlanan daha iyi bir yanma oluşumuna bağlamaktadırlar [20].

Gaz keleşbeği açıklığına ve motor devrine bağlı olarak benzin ve çeşitli oranlardaki benzin-etanol karışımlarının fren özgül yakıt tüketimine etkisi incelendiğinde FÖYT'nin, düşük motor devirlerinde (1000, 2000 d/d) ve %20'nin üzerindeki GKA'da veya yüksek motor devirlerinde (3000, 4000 d/d) ve yüksek GKA'da (%40'ın üstünde) belirli bir değerde kaldığı görülmüştür. Yakıt enjeksiyon stratejisinin motoru zengin bölgede çalıştırma eğilimi ve etanol ilavesinin fakirleştirici etkisiyle yanmanın daha fazla tamamlanabilmesi etanol-benzin karışımlarıyla benzinin FÖYT'leri arasında fark oluşmamasını sağlamaktadır [20].

Benzin ve çeşitli oranlardaki benzin-etanol karışımlarının HC, CO ve NO_x emisyonlarına etkisi 3000 d/d motor devrinde ve farklı GKA'da karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. CO ve HC emisyonları karışımdaki etanol miktarı arttıkça azalmaktadır. CO ve HC emisyonları λ ile yakından ilişkilidir. λ karışımdaki etanol oranının artmasına bağlı olarak artmaktadır. Stokiyometrik orana yaklaşılmayla, yanma sürecinin daha fazla tamamlanabilmesine bağlı olarak CO ve HC emisyonları azalmaktadır. NO_x emisyonu ile yakıt tipi arasında net bir ilişki kurulamamıştır. NO_x emisyonundaki değişim, etanol miktarından çok motor çalışma koşuluna bağlı olarak meydana gelmiştir [20].

Bayındır (1998) tarafından yapılan doktora çalışmasında, etanol-benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli bir motorda motor karakteristiklerine etkileri araştırılmıştır. Deneyler, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı, kurs hacmi 392,3 cm³ ve sıkıştırma oranı 6:1 olan Cussons marka motorda yapılmıştır. Yakıt olarak normal benzin ve %96,6 saflıkta etanol kullanılarak hazırlanan etanol-benzin karışımları (E10, E20 ve E30) kullanılmıştır. 6:1, 7:1 ve 8:1 sıkıştırma oranlarında ateşleme avansı ve hava/yakıt oranı değiştirilmiştir. Motorun standart sıkıştırma oranı ve ateşleme zamanında etanol-benzin karışımlarıyla elde edilen motor momenti ve gücünün normal benzinden daha az gerçekleştiği görülmüştür. Motor momenti ve gücünün karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi artarken, özgül enerji tüketiminin daha az gerçekleştiği anlaşılmıştır. Motorun sıkıştırma oranı arttırıldığında motor gücünde normal benzinle karşılaştırıldığında etanol-benzin karışımlarında daha fazla artış sağlanmıştır [58].

Kelly ve arkadaşları (1996) farklı yakıtların kullanılabilmesine olanak sağlayan yakıt sistemine sahip Chevrolet Lumina marka araçlarda benzin, E50 ve E85 yakıtları kullanarak, Federal Test Prosedürüne göre emisyonların değişimini araştırmışlardır. Deneylerde 1992 ve 1993 model, farklı yakıtların kullanılabilmesine olanak sağlayan yakıt sistemli 21 adet Chevrolet Lumina ile aynı miktarda standart benzinli Chevrolet Lumina marka otomobil kullanılmıştır. Bu araçlar V6 3,1 L hacminde, sıkıştırma oranı 8,8:1 ve yakıt sistemi çok nokta enjeksiyonlu bir motora sahiptir. Bu araçlarda

farklı segman, yakıt deposu, motor elektronik kontrol modülü, yüksek kapasiteli yakıt enjektörleri, korozyona dayanıklı yakıt sistemi ve motora gönderilen etanol miktarını belirleyen ek yakıt kompozisyon sensörü kullanılmıştır. Benzin, E50 ve E85 yakıtları rastgele bir sırayla her bir etanol-benzin karışımlarıyla çalışabilen araçlarda kullanılmıştır. E85 yakıtı kullanıldığında benzine göre NO_x emisyonunun Laboratuvar 1’de %25, Laboratuvar 2’de %32 azaldığı, CO emisyonunun da Laboratuvar 1’de %24, Laboratuvar 2’de %12 azaldığı görülmüştür. Şasi dinamometresinde yapılan yakıt ekonomisi ölçümünde E85 ve benzinin eşdeğer enerjilerinin benzerlik gösterdiği görülmüştür. Benzinle karşılaştırıldığında E85’in eşdeğer enerji yakıt ekonomisinin Laboratuvar 1’de %1 gelişme gösterdiği, Laboratuvar 2’de %1 azaldığı anlaşılmıştır [59].

Wicker ve arkadaşları (1999) yaptıkları bir çalışmada, taşıtın E85 (%85 denatüre etanol ve %15 benzin) yakıtıyla çalışabilecek şekilde dönüştürme işlemi için pratik düşünceler ileri sürmüşlerdir. Yapılan çalışmada 5,3 L hacminde, V8 benzin motorlu, orijinal ekipmana sahip, 1999 model Chevrolet Silverado marka pikap kullanılmıştır. Benzinli taşıtı kolayca E85 ile çalışabilecek hale getirebilmek için yakıt sisteminde bir takım düzenlemelerin yapılması gerektiğinden mevcut elektronik kontrol ünitesi kullanıldığında E85 için benzine göre yaklaşık %40 daha fazla yakıt sağlayacak yüksek akışlı enjektörlere ihtiyaç duyulmuştur. Delphi tarafından sağlanan enjektörlerin statik akış debileri 310 kPa test basıncında 2,303g/s ve 3,152 g/s’dir [36].

Motor devrine bağlı olarak motor momenti ve motor gücünün değişimi için yapılan ölçümler 2000 ile 5500 d/d devir aralığında 250 d/d aralıkla yapılmıştır. Motor momenti ve gücünde her iki yakıtta da benzer eğriler elde edilmiştir. E85 motor momentinde yaklaşık %2,5 artış gösterirken, Federal Test Prosedürünün şehir ve otoban testlerinde yakıt ekonomisinin yaklaşık %30 azalmasına neden olmuştur [36].

Yüksel ve Yüksel (2004) tarafından yapılan çalışmada, karbüratörlü yakıt sistemine sahip buji ile ateşlemeli bir motorun, etanol-benzin karışımı ile çalışabilir hale dönüştürülebilmesi için karbüratör yeniden dizayn edilmiştir. İki şamandıra

devresine sahip yeni karbüratörde, etanol ve benzin yakıt tankları ayrı ayrı bu şamandıra devrelerine bağlanmıştır. Dört silindirli, su soğutmalı, sıkıştırma oranı 8:1 olan Opel Record L marka motorda benzin ve etanol-benzin karışımı kullanılarak, motor performans karakteristikleri incelenmiştir. Etanol-benzin karışımındaki etanol miktarı, motor devrine bağlı olarak artmaktadır. Etanol-benzin karışımında özgül yakıt tüketimi artarken, motor momenti ve efektif güçte azalma elde edilmiştir. Termik verimde herhangi bir değişim görülmemiştir. Etanol-benzin karışımı kullanıldığında egzoz emisyonlarında önemli iyileşmeler olduğu belirlenmiştir. CO emisyonu %80, HC emisyonu %50 azalırken, CO₂ emisyonu motor koşullarına bağlı olarak %20 artmıştır [60].

Al-Baghdadi (2000) tarafından yapılan çalışmada, hidrojen ve etanol ilavesi yapılan dört zamanlı buji ile ateşlemeli bir motorun performansı incelenmiştir. Çalışmada Recardo E6/US tek silindirli, buji ile ateşlemeli, karbüratörlü, sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir araştırma motoru kullanılmıştır. Kütlesel olarak %0-20 oranında hidrojen ve hacimsel olarak %0-30 oranında etanol benzine ilave edilerek elde edilen karışımlar stokiyometrik karışım oranında, en iyi momenti sağlayacak optimum ateşleme avansında, 7, 8 ve 9 sıkıştırma oranlarında ve 1500 d/d motor devrinde NO_x ve CO emisyonları, termik verim, özgül yakıt sarfıyatı ve motor gücü üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışılan parametreler 1500 d/d motor devrinde, stokiyometrik karışım oranında, en iyi momenti sağlayan optimum ateşleme avansında ve sıkıştırma oranı 7 iken saf benzinle elde edilen verilerle ilişkilendirilerek boyutsuz hale getirilmiştir. Hidrojenin kütlesel %8 ve etanol %30 ilave edilmesiyle elde edilen karışımla 9/1 sıkıştırma oranında CO emisyonunda %48,5, NO_x emisyonunda %31,1 ve özgül yakıt sarfıyatında %58,5 azalma gerçekleştiği görülmüştür. Ayrıca motor termik verimi %10,1 ve motor çıkış gücü %4,72 artmıştır. Etanol, NO_x ve CO emisyonlarında azalma, motor gücü ve termik verimde artış sağlarken, özgül yakıt sarfıyatında bir parça artışa neden olmuştur. Hidrojen ilavesi ise; NO_x emisyonunu artırırken, CO emisyonunu azaltmaktadır. Ayrıca hidrojen ilavesi termik verimde artışa, özgül yakıt sarfıyatında azalmaya sebep olduğu çalışmanın bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır [61].

He ve arkadaşları (2003) elektronik yakıt enjeksiyon sistemine sahip buji ile ateşlemeli motorda etanol-benzin karışımlarının emisyonlar üzerindeki etkisini ve katalitik dönüştürücünün verimini incelemişlerdir. Çalışmada çok nokta yakıt enjeksiyon sistemli ve sıkıştırma oranı 8,2:1 olan motor kullanılmıştır. Egzoz gazları, katalitik konvertörün giriş ve çıkışından ölçülmüştür. Deneylerde kurşunsuz benzin (E0) ve hacimsel olarak %10 etanol ve %30 etanol içeren etanol-benzin karışımları kullanılmıştır [62].

Etanol kullanımında motor çıkışındaki CO emisyonu azalmaktadır. 2000 d/d'de ve tam yükte motor çıkışındaki CO emisyonu, E0 ile karşılaştırıldığında E10 için %4,7 ve E30 için %5,8 azalmıştır. 3000 d/d'de motor çıkışındaki CO emisyonu ise, %5,7 ve %3,1 azalmıştır. Katalitik konvertör verimi, motor çıkışındaki emisyonlar ve egzoz çıkışındaki emisyonlardan hesaplanmıştır. E0 ile karşılaştırıldığında etanol karışımları için katalitik konvertör verimi kısmi yüklerde ve 2000 d/d'de artmıştır. 3000 d/d'de ise; sadece E30 karışımı için katalitik konvertör verimi daha yüksektir [62].

Motor çıkışındaki toplam HC emisyonları E0 ile karşılaştırıldığında 2000 d/d'de E10 için %6-13 ve E30 için %15-29,5 azalmıştır. 3000 d/d'de ise; toplam HC emisyonları etanol karışımlarında sırasıyla %5-15,3 ve %22,1-25,8 azalmıştır. E10 ve E30 yakıtlarında katalitik konvertörün toplam HC emisyonlarını dönüştürülebilirliği birçok çalışma şartlarında E0'dan daha az elde edilmiştir. Ancak E10 ve E30'un motor çıkışındaki toplam HC emisyonlarının E0'dan çok daha az olması egzoz çıkışındaki emisyonların da daha az olmasını sağlamıştır [62].

Etanol-benzin karışımlarında motor çıkışındaki NO_x emisyonları, etanolün benzine göre daha yüksek buharlaşma ısısına sahip olması nedeniyle azalma göstermiştir. E10 ve E30 yakıtlarında katalitik konvertörün NO_x emisyonlarını dönüştürülebilirliği birçok çalışma şartlarında E0'dan daha az olduğu görülmüştür. Fakat egzoz çıkışındaki NO_x emisyonları, üç yakıt için de oldukça yakın değerlerde kalmıştır [62].

Yakıt tüketimi açısından 2000 ve 3000 d/d motor devirlerinde bu üç yakıt karşılaştırıldığında; etanolün düşük ısıl değere sahip olması nedeniyle aynı çalışma şartlarında aynı güç için daha fazla yakıtı ihtiyaç duyurduğundan fren özgül yakıt tüketimi, karışımdaki etanol miktarın bağlı olarak artış göstermiştir [62].

Çetinkaya ve Çelik (1997) tarafından yapılan çalışmada, buji ile ateşlemeli bir motorda metanol-benzin karışımlarının motor performansına etkisi incelenmiştir. Deneylerde kütleli olarak %30, %50 ve %75 metanol içeren metanol-benzin karışımları, normal benzin ve saf metanol kullanılmıştır. Metanol %99,5 saflıktadır. Deneyler, silindir hacmi 1200 cm³, sıkıştırma oranı 7,3:1 olan, dört zamanlı, dört silindirli, karbüratörlü Anadol marka benzin motorunda gerçekleştirilmiştir. Tam yükte ve 2000-4500 d/d motor devri aralığında gerçekleştirilen çalışmada ateşleme zamanı, maksimum motor momentini verecek şekilde ayarlanmıştır. Faz ayrışması problemini çözümlmek için çift şamandıralı karbüratör kullanılmıştır. Metanol ve benzin iki ayrı fiskiyeden geçirilerek aynı ventürde karıştırılmıştır. Motor momentinin metanol miktarına bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. En yüksek moment saf metanollü çalışmada elde edilirken, efektif güçte ortalama %10 artış kaydedilmiştir. Özgül yakıt tüketimi karışımdaki metanol miktarına bağlı olarak artmaktadır. Saf metanolla minimum özgül yakıt tüketimi 625 g/kWh olarak elde edilmiştir. Egzoz emisyonları metanollü çalışmada genelde azalma göstermiştir. Benzinle karşılaştırıldığında CO emisyonunda en fazla iyileşme saf metanolde (%50'nin üzerinde azalma) görülmüştür. HC emisyonu karışımdaki metanol miktarının artmasıyla azalmış ancak saf metanolde artış göstermiştir. Araştırmada, yüksek motor devirlerinde düzenli çalışma ve ilk harekete geçiş kolaylığı yönünden M50 yakıtının en uygun yakıt olduğu sonucuna varılmıştır [63].

Alasfour (1998) tarafından yapılan çalışmada, giriş havası sıcaklığı değiştirilerek buji ile ateşlemeli bir motorda %30 izo-bütanol-benzin karışımının NO_x emisyonuna etkisi incelenmiştir. Metanol ve etanole oranla izo-bütanolün ısıl değerinin daha yüksek olması ve su ile düşük çözünürlüğü izo-bütanole avantaj sağlanmaktadır. Ancak alternatif yakıt olarak metanol ve etanolla karşılaştırıldığında yüksek üretim maliyeti ve petrol olmayan kaynaklardan elde edilebilir olmaması nedeniyle cazip

değildir. Yapılan deneysel çalışmada tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı, yakıt enjeksiyonlu, sıkıştırma oranı 8,86:1 ve kurs hacmi 0,4498 L olan Hydra araştırma motoru kullanılmıştır. Deneyler 1500 d/d motor devrinde tam gaz kelebek açıklığında gerçekleştirilmiştir. Farklı giriş havası sıcaklıkları için yakıt/hava eşdeğerlik oranının bir fonksiyonu olarak maksimum momenti veren ateşleme zamanının değişiminde elde edilen sonuçlar izo-bütanol-benzin karışımında yalnızca benzine göre maksimum momenti veren ateşleme zamanının daha az olduğunu göstermektedir. Bu durum izo-bütanolün benzine göre daha hızlı yanma oranına sahip olduğu şeklinde yorumlanmıştır [51].

%30 İzo-bütanol-benzin karışımı ve saf benzin için yakıt/hava eşdeğerlik oranının bir fonksiyonu olarak NO_x emisyonunun değişimi incelenmiştir. NO_x oluşumu hava/yakıt oranına, maksimum çevrim sıcaklığına ve yanma oranına bağlıdır. Yüksek sıcaklık ve yüksek yanma oranı NO_x oluşumunu artırmaktadır. Teorik olarak yakıt/hava eşdeğerlik oranının 1,0'dan 1,1'e artması maksimum çevrim sıcaklığını yaklaşık 38 °C artırırken, oksijen konsantrasyonunu %50 azalmaktadır. İzo-bütanol-benzin karışımında $\Phi=0,9$ ve 1500 d/d motor devrindeki maksimum NO_x konsantrasyonu saf benzine göre yaklaşık %9 azalmakta ve benzinden biraz daha fakir bölgede oluşmaktadır. NO_x emisyonundaki azalma yakıt/hava karışımının zengin olduğu bölgede daha belirgin bir şekilde gerçekleşmiştir [51].

Alasfour (1998) tarafından yapılan bu çalışmada, %30 izo-bütanol-benzin karışımı kullanılan Hydra tek silindirli, buji ile ateşlemeli ve yakıt enjeksiyonlu bir motorun ateşleme zamanı değiştirilerek NO_x emisyonuna etkisi incelenmiştir. Ateşleme zamanı, vurununun ortaya çıkması ve NO_x emisyonu üzerinde önemli bir etkiye sahip olması nedeniyle bu çalışmada incelenmiştir. Farklı yakıt/hava eşdeğerlik oranlarında ateşleme zamanının fonksiyonu olarak egzoz sıcaklığının değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Deney sonuçları egzoz sıcaklığının ateşleme zamanının rötara alınmasıyla arttığını göstermektedir. Ateşleme zamanının rötara alınması yakıtın çoğunluğunun ÜÖN'den sonra yanmasına neden olduğundan yanmanın tamamlanamamasına ve egzoz sıcaklığının artmasıyla sonuçlanmaktadır.

Egzoz sıcaklığı, yakıt/hava eşdeğerlik oranı 1,0'den 0,9 ve 0,8'e doğru fakirleştirildiğinde ise azalmaktadır [64].

Ateşleme zamanının yakıt/hava eşdeğerlik oranının fonksiyonu olarak NO_x emisyonu üzerindeki etkisi üç farklı ateşleme zamanında (20° , 23° ve 27°) incelenmiştir. Ateşleme zamanı 20° den 27° avansa alınması durumunda NO_x emisyonunu %27 artmaktadır. Zengin karışımlarda ateşleme zamanının değişimi NO_x emisyonu oluşumunda çok küçük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür [64].

Myung ve arkadaşları (1993) farklı yakıtların kullanılabilmesine olanak sağlayan yakıt sistemli Hyundai marka taşıtın geliştirilmesine yönelik çalışma yapmışlardır. Araştırma ve geliştirilmesi yapılan taşıt benzin, M85 (%85 metanol-%15 benzin karışımı) veya bunların kombinasyonu ile çalışabilmektedir. Bu amaçla taşıtta metanol konsantrasyonunun ölçümü için elektrostatik tip yakıt sensörü ve özel amaçlı elektronik kontrol ünitesi kullanılmıştır. Hyundai Scoupe marka otomobilin motoru 1,5 L hacminde olup, çok nokta enjeksiyon sistemine sahiptir ve sıkıştırma oranı 10:1'dir. Ateşleme zamanı en iyi moment sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Tam yükte benzin ve M85 yakıtları kullanılarak yapılan testlerde, M85 ile daha iyi bir performans elde edilmiştir. M85'te maksimum çıkış gücü benzine göre yaklaşık %6 artmıştır. Bu gelişme yüksek termik verim ve giriş havasının birim hacmindeki M85'in yüksek ısı değeri bir sonucu olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca eşdeğer ısı değeriyle ilgili özgül yakıt tüketiminde M85 kullanıldığında benzine oranla ortalama %5,5'lik bir iyileşme elde edilmiştir [65].

Al-Hasan (2003) tarafından yapılan çalışmada, etanol-kurşunsuz benzin karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Deneylerde Toyota marka, dört silindirli, dört zamanlı, buji ile ateşlemeli, kurs hacmi 1452 cm^3 ve sıkıştırma oranı 9:1 olan motor kullanılmıştır. Motor testleri 1000, 2000, 3000 ve 4000 d/d motor devirlerinde 3/4 GKA'da yapılmıştır. Deneyler için on farklı etanol-kurşunsuz benzin karışımları hazırlanmıştır. Her karışımda etanol miktarı %2,5 oranında artırılmış ve karışımlarda %0-25 aralığında %99 saflıkta etanol kullanılmıştır. Etanolün su buharıyla reaksiyonunun önlemek ve karışımın

homojenliğini sağlayabilmek amacıyla karışımlar deneyden hemen önce hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kurşunsuz benzine etanol ilave edilmesi motor performansında ve egzoz emisyonlarında gelişme sağlamıştır. Etanol ilavesi ortalama olarak motor gücünü %8,3, termik verimi %9 ve volumetrik verimi %7 artırmıştır. Yakıt tüketimi ortalama %5,7 artarken, fren özgül yakıt tüketimi yaklaşık %2,4 azalmıştır. Etanol-kurşunsuz benzin karışımları egzoz emisyonlarının azalmasında da etkili olmuştur. CO emisyonu yaklaşık %46,5 ve HC emisyonu %24,3 azalmıştır. CO₂ emisyonu ise; yaklaşık %7,5 artmıştır. Motor performansı ve egzoz emisyonlarında en iyi sonuçlar %20 etanolün bulunduğu karışımda elde edilmiştir [66].

Guerrieri ve arkadaşları (1995) yüksek oranlı etanol karışımlarının taşıt ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Egzoz emisyonları ve yakıt ekonomisi, 1990 ve 1992 yıllarında üretilen altı araçta benzin ve hacimsel olarak %10-40 oranlarında etanol bulunan dokuz farklı etanol-benzin karışımları kullanılarak test edilmiştir. Her bir karışımdan emisyon verileri, standart Federal Test Prosedürü uygulanarak elde edilmiştir. Test yakıtları ve temel yakıt arasındaki yakıt ekonomisi ve emisyonlardaki farklar oransal olarak hesaplanmıştır. Taşıtların yakıt ekonomisi ve ortalama emisyon değerleri belirlenmiştir [67].

Etanol yüzdesine bağlı olarak HC ve CO emisyonları ile yakıt ekonomisinin değişimi incelendiğinde karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak değişim gösterdiği görülmüştür. En yüksek etanol konsantrasyonunda toplam HC emisyonu %30, CO emisyonu %50, yakıt ekonomisi %15 azalmıştır [67].

Abdel-Rahman ve Osman (1997) tarafından yapılan çalışmada, farklı etanol-benzin karışımlarının farklı sıkıştırma oranlarında buji ile ateşlemeli bir motorun performansına etkileri araştırılmıştır. Testlerde %10, %20, %30 ve %40 etanol içeren etanol-benzin karışımları kullanılmıştır. Karışımlar deneyden hemen önce hazırlanmıştır. Karışımlarda 72 saat sonra bile herhangi bir ayrışma gözlenmemiştir. Tam gaz kelebek açıklığında, 2150 d/d motor devrinde ve farklı sıkıştırma oranlarında açık indikatör diyagramının değişimi incelenmiştir. 10:1 sıkıştırma

oranında E10 yakıtı kullanıldığında, maksimum basınç kurşunsuz benzinden daha yüksek elde edilirken, karışımdaki etanol miktarı %10'un üzerindeki karışımlarda maksimum basınç azalmıştır. Sıkıştırma oranına bağlı olarak maksimum indike basınç artmaktadır. Bununla birlikte kullanılan yakıtın oktan sayısı vuruntu eğilimini sınırlayamadığından sıkıştırma oranı arttıkça indike güçte azalma elde edilmiştir. Her bir karışım için maksimum indike gücü veren optimum sıkıştırma oranları belirlenmiştir. En iyi sıkıştırma oranı %10, %20, %30 ve %40 etanol içeren karışımlar için sırasıyla 8, 10, 12 ve 12 olarak bulunmuştur. Benzine etanol ilavesinin oluşturulan karışım üzerinde önemli iki etkisi ortaya çıkmaktadır. İlk olarak etanol ilavesi karışımın oktan sayısını arttırmaktadır. Etanolün buharlaşma ısının benzinden daha yüksek olması son gaz bölgesindeki reaksiyonların gecikmesine yardımcı olmaktadır. Karışımın ısı değeri azalması etanol ilavesinin ikinci bir etkisi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durum motor performansını olumsuz etkilemektedir. Yapılan çalışmada etanol miktarı %10'a kadar arttırıldığında ilk etkinin, daha yüksek oranlarda ikinci etkinin etkili olduğu görülmüştür [68].

Benson ve arkadaşları (1995) farklı yakıtların kullanılabilmesine olanak sağlayan yakıt sistemli araçlarda benzin ve E85 yakıtlarının emisyonlara etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada üç farklı yakıt (A, C2 ve E85) üç farklı taşıtta (Chevrolet Lumina, Ford Taurus ve Plymouth Acclaim) kullanılarak emisyonların değişimi incelenmiştir. Test edilen benzinlerden Yakıt A, 1988 ulusal ortalama bileşimi, Yakıt C2 ise; 1996 California Faz 2 düzenlemesini karşılayan benzindir [69].

Test edilen araçlardan Chevrolet Lumina marka araçta egzoz çıkışındaki CO ve NO_x emisyonları E85 yakıtı kullanıldığında her iki yakıttan daha az oluşmuştur. Ford Taurus ve Plymouth Acclaim marka araçlarda ise; egzoz çıkışındaki CO emisyonu E85 yakıtında her iki yakıttan daha yüksek iken, NO_x emisyonu daha az gerçekleşmiştir [69].

Al-Farayedhi (2002) tarafından yapılan çalışmada, buji ile ateşlemeli bir motorda oksijen içeren üç farklı yakıtın oktan sayılarının egzoz emisyonlarına etkileri

incelenmiştir. Yaygın olarak kullanılan MTBE (metil tersiyer bütül eter), metanol ve etanol, hacimsel olarak %10, %15 ve %20 oranlarında kurşunsuz benzine katılarak, çalışmada kullanılan karışımlar elde edilmiştir. Karışımlarda Araştırma Oktan Sayısı (AOS) 84,7 olan yakıt kullanılmıştır. %98,71 saflıktaki MTBE'nin hacimsel olarak %10, %15 ve %20 oranlarında bulunduğu MTBE-Benzin karışımlarının AOS'leri sırasıyla 87,9, 89,8 ve 91,7'dir. %99,99 saflıkta metanolün kullanıldığı metanol-benzin karışımlarının AOS'leri 88,2, 91,6 ve 94,4'tür. 88,4, 91,5 ve 93,4 AOS'lerine sahip etanol-benzin karışımlarında ise, %91 saflıkta etanol kullanılmıştır [70].

2000 d/d sabit motor devrinde, stokiometrik karışım oranında ve 680 kPa fren ortalama efektif basıncında yapılan deneylerde oktan sayısına bağlı olarak CO, HC ve NO_x emisyonlarının değişimleri incelenmiştir. Genel olarak yakıtın oktan sayısındaki artış CO ve HC emisyonlarını azaltırken, NO_x emisyonunu artırdığı görülmüştür [70].

Araştırma oktan sayısı 92 olan ve kurşun tetra etil içeren benzin kullanılarak, farklı motor yüklerinde ve 1000, 2000 ve 3000 d/d motor devirlerinde CO, HC ve NO_x emisyonlarının değişimleri incelendiğinde CO ve NO_x emisyonlarının motor devrine bağlı olarak arttığı, HC emisyonunun ise azaldığı anlaşılmıştır. MTBE karışımlarının 1000, 2000 ve 3000 d/d motor devirlerinde, 680 kPa sabit motor yükünde oktan sayısına bağlı olarak CO, HC ve NO_x emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Tüm motor devirlerinde CO emisyonu oktan sayısı artarken azalmış, motor devrindeki artışa bağlı olarak artmıştır. HC emisyonu, oktan sayısı ve motor devrindeki artışa karşılık azalmıştır. NO_x emisyonları ise; oktan sayısı ve motor devrine bağlı olarak artmıştır [70].

Alasfour (1997) tarafından yapılan çalışmada, Hydra tek silindirli, buji ile ateşlemeli ve yakıt enjeksiyonlu bir motorda benzine katılan metanol ve bütanolün fren özgül yakıt tüketimine, egzoz gaz sıcaklığına ve termik verime etkisi deneysel olarak araştırılmıştır [71].

Deneyler, 1700 d/d motor devrinde ve tam gaz kelebek açıklığında benzin ve hacimsel olarak %30 alkol içeren metanol-benzin ve bütanol-benzin karışımları kullanılarak yapılmıştır. Yakıt/hava eşdeğerlik oranı 0,8-1,3 arasında değiştirilmiştir. Her bir eşdeğerlik oranı için ateşleme zamanı maksimum momenti verecek şekilde ayarlanarak egzoz gaz sıcaklıkları kaydedilmiştir. Yaklaşık stokiyometrik hava/yakıt oranında ateşleme zamanı değiştirilerek, motor momenti ölçülmüştür[71].

Deneylerde elde edilen sonuçlara göre; fren özgül yakıt tüketimi, alkol-benzin karışımlarında artmış ve en yüksek artış metanol-benzin karışımında görülmüştür. Motor momenti yalnız benzin kullanıldığında en yüksek değerini alırken; metanol-benzin karışımında, bütanol-benzin karışımından daha az elde edilmiştir. Egzoz sıcaklığı, $\Phi=1,1$ 'de maksimum değerine ulaşmış ve bütanol-benzin karışımında metanol-benzin karışımına göre daha yüksek egzoz sıcaklığı elde edilmiştir. Termik verim zengin bölgede ($\Phi>1$) azalma göstermiştir. Bütanol-benzin karışımında termik verim, metanol-benzin karışımından daha yüksek elde edilmiştir. Bütanol-benzin karışımında $\Phi=1$ 'de termik verim, saf benzine göre %4,5 azalmıştır. Volumetrik verim, fakir bölgede maksimum değerine erişmiş, minimum değerini $\Phi=1,1$ 'de alırken, sıcaklığın düşmesi nedeniyle zengin bölgede yeniden artmıştır. En yüksek volumetrik verim metanol-benzin karışımında elde edilmiştir [71].

Fanick ve arkadaşları (1996) tarafından yapılan çalışmada, 1994 model kolay değiştirilebilir yakıt sistemli, 3 L hacminde V6 motor, üç yollu katalitik konvertör ve EGR sistemine sahip Ford Taurus marka araçta beş ayrı yakıt (benzin, M85, E85_d, LPG ve doğalgaz) kullanılarak emisyon değişimleri incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan E85_d yakıtı, %85 denatüre etanol ve %15 benzin karışımından oluşmaktadır. Bu karışımda kullanılan denatüre etanol, %95 etanol ve %5 benzinle hazırlanmıştır. Emisyonlar, şasi dinamometresinde Federal Test Prosedürüne göre değerlendirilmiştir. Bu prosedür şehir içi dinamometre sürüş programını içermektedir. Deneylerde elde edilen sonuçlar Çizelge 2.7'de yer almaktadır. Alkol içeren M85 ve E85_d yakıtları, benzinle karşılaştırıldığında daha düşük kirletici emisyon (HC, CO ve NO_x emisyonları) değerlerine sahip olduğu görülmüştür [72].

Çizelge 2.7. Emisyon ve yakıt tüketimi sonuçları [72]

	Toplam HC (g/km)	CO (g/km)	NO _x (g/km)	Yakıt Tüketimi (L/100km)
Benzin	2,21	43,15	0,3	12,4
M 85	1,19	32,27	0,02	20,5
E 85 _d	2,06	41,4	0,02	15,62
LPG	1,75	54,62	0,04	13,05
Doğalgaz	2,97	66,84	<0,01	16,29

Ajav ve arkadaşları (2000) bir dizel motorunda alternatif yakıt kullanarak motorun ısı balansını incelemişlerdir. Yakıt olarak motorin ve motorin-etanol karışımları kullanılmıştır. Hacimsel olarak %5, %10, %15 ve %20 etanol içeren motorin-etanol karışımları hazırlanmıştır. Deneyler Kirloskar TV 110 marka, 7,4 kW gücünde, tek silindirli, 15,6:1 sıkıştırma oranına sahip ve su soğutmalı olan dizel motorunda, 1500 d/d motor devrinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde motor yükü artırıldığında faydalı işe dönüşen ısı miktarının arttığı ve kayıpların azaldığı görülmüştür. Maksimum yükte faydalı işe dönüşen ısı miktarı motorin kullanıldığında %28,68 iken, %5, %10, %15 ve %20 etanol içeren karışımlarda sırasıyla %28,73, %31,06, %31,95 ve %32,89 olarak elde edilmiştir. Araştırmacılar, motorinle karşılaştırıldığında etanolün serinletici etkisinin daha verimli bir yanma sağladığı görüşündedirler. Egzoz gaz sıcaklığı ve yağlama yağı sıcaklıklarının etanol-motorin karışımlarının kullanımında daha düşük gerçekleşmesi bu yollarla oluşan ısı kayıplarını azaltmakta ve krank milinden daha fazla faydalı iş elde edilebilmektedir. Çizelge 2.8’de faydalı işe dönüşen ısı miktarı, soğutma suyu, egzoz, yağlama yağı yoluyla oluşan ısı kayıpları ve diğer kayıpların dağılımı görülmektedir. Diğer kayıplar radyasyon ve hesaplanmayan kayıpları ifade etmektedir [73].

Çizelge 2.8. Maksimum yükte motorun ısı balansı [73]

	Motorin	E5	E10	E15	E20
Faydalı iş (kJ/h)	26162,8	28195,2	28083,6	26586	25894,8
(%)	28,68	28,73	31,06	31,95	32,89
Soğutma suyu (kJ/h)	17395,2	17359,2	15591,6	14385,6	14299,3
(%)	17,72	17,69	17,64	17,29	17,13
Egzoz (kJ/h)	18248,4	16250,4	14558,4	13219,2	12963,6
(%)	18,59	16,56	16,1	15,89	15,53
Yağlama yağı (kJ/h)	18453,6	14713,2	11905,2	10148,4	10108,8
(%)	18,8	14,99	13,16	12,2	12,11
Diğer kayıplar (kJ/h)	15552	21,618	19933,2	18856,8	20217,6
(%)	16,21	22,03	22,04	22,67	22,34

Yamin ve Badran (2002) tarafından dört zamanlı buji ile ateşlemeli bir motorda propan kullanılarak, ısı kayıplarının azaltılabilmesi yönelik analitik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada çeşitli devirlerde eşdeğerlik oranı, sıkıştırma oranı, bujini konumu ve yanma süresinin ısı kayıplarına etkisi incelenmiştir. İncelenen parametrelerin özellikle iş zamanı boyunca meydana gelen ısı kayıplarına etkisi araştırılmıştır. Ateşleme zamanının avansa alınması ısı kayıplarını arttırmaktadır. Yanmanın ÜÖN’de tamamlanması ısı kayıpları için daha fazla sürenin oluşmasına sebep olmaktadır. Sıkıştırma oranının artması, bujinin merkeze yakın konumda olması ve geniş supap alanının ısı kayıplarını azaltıcı etkisinin olduğu belirlenmiştir [74].

3. MATERYAL METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Deney ortamı

Deneyler, TS 1231’de belirtilen atmosferik deney şartlarına uygun olarak Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

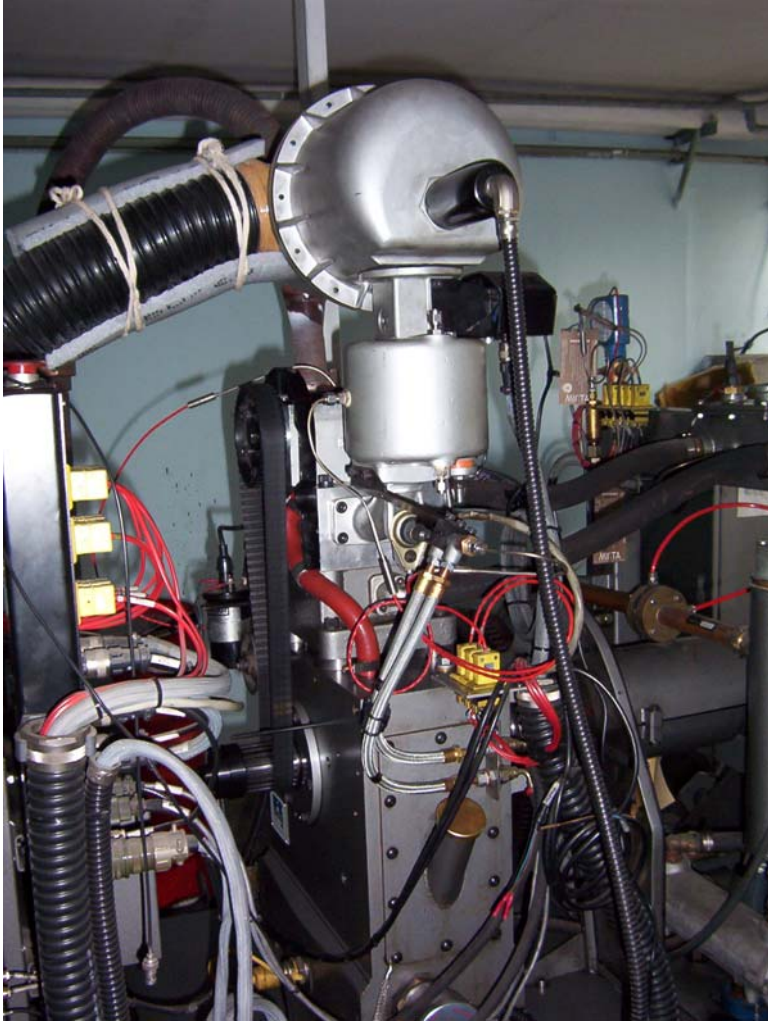
TS 1231’de belirtilen kıvılcımla ateşlemeli motorlar için atmosferik deney şartları; sıcaklık $288\text{ K} < T < 308\text{ K}$ ve basınç $80\text{ kPa} < P < 110\text{ kPa}$ değerleri arasında olmalıdır [75].

3.1.2. Deney motoru

Deneylerde Çizelge 3.1’de teknik özellikleri verilen ve Resim 3.1’de görülen tek silindirli buji ile ateşlemeli ve enjeksiyonlu Hydra marka motor kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Deney motorunun teknik özellikleri [76, 77]

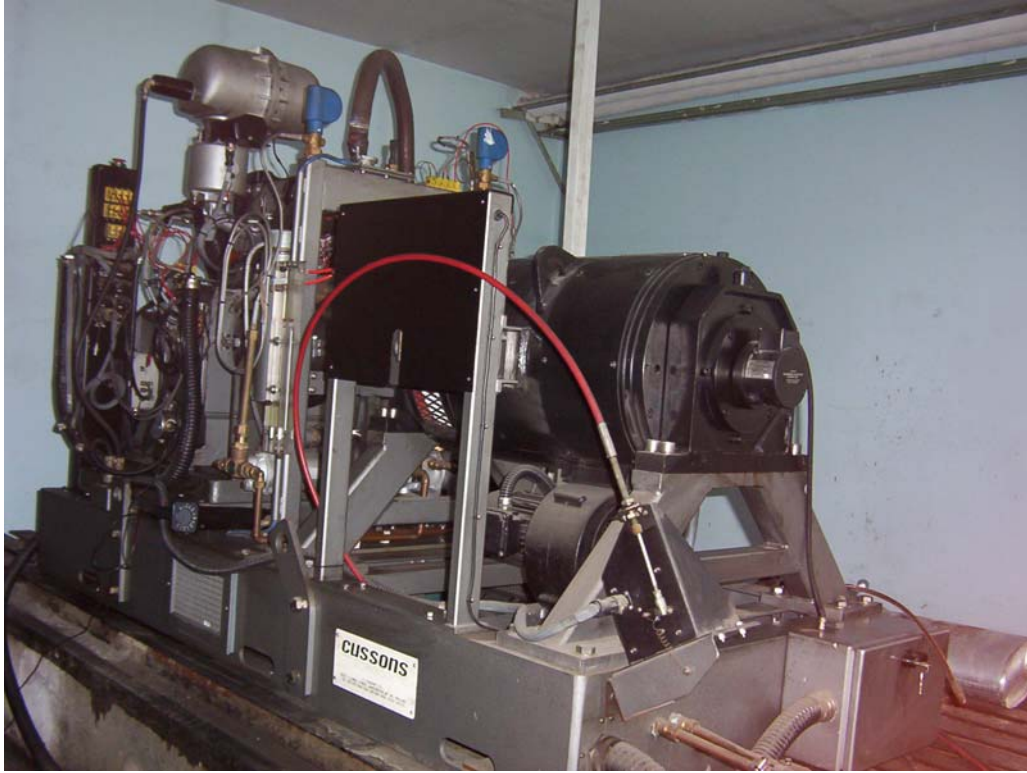
Markası	Hydra
Silindir sayısı	1
Çap X Kurs	80,26 X 88,9 mm
Maksimum devir	5400 d/d
Maksimum güç	15 kW
Sıkıştırma oranı	5/1 – 13/1
Supap düzenlemesi	Üstten kamlı, düşey iki supap
Yakıt sistemi	Enjeksiyonlu
Ateşleme zaman aralığı	70° ÜÖN’den önce - 20° ÜÖN’den sonra



Resim 3.1. Deney motoru

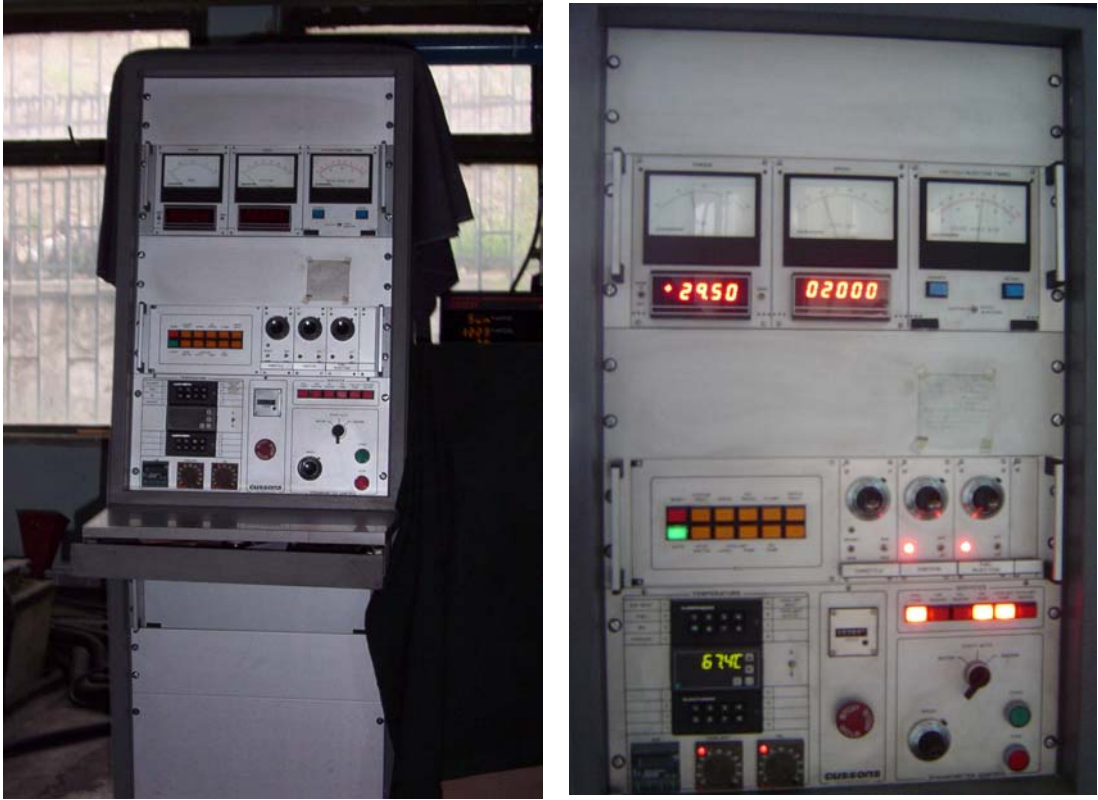
3.1.3. Dinamometre ve kontrol paneli

Tam yükte ve kısmi yüklerde yapılan deneylerde motorun frenlenmesi için McClure firmasının ürettiği, 6500 d/d motor devrine ve 30 kW güce kadar frenleme yapabilen elektrikli DC bir dinamometre kullanılmıştır [77]. Dinamometrenin ve deney setinin resmi Resim 3.2’de yer almaktadır.



Resim 3.2. Dinamometre ve deney seti

Deneyleerin gerçekleştirilmesi esnasında dikkate alınan parametrelerin (ateşleme zamanı, hava/yakıt oranı, giriş hava sıcaklığı, motor devri ve yükü, soğutma suyu ve yağlama yağı sıcaklığı) değiştirilmesi ve kontrolünde Resim 3.3’de gösterilen kontrol paneli kullanılmıştır.



Resim 3.3. Kontrol paneli

Deneylemlerin gerçekleştirilebilmesi öncelikle kontrol panelinin aktif hale gelmesiyle mümkün olmaktadır. Motor çalıştırılmadan önce, motorun yağ ve su pompaları kontrol panelindeki düğmeler yardımıyla çalıştırılmaktadır. Motorun alışma sıcaklığına daha kısa sürede ulaştırılabilmesi için istenildiğinde su ve yağlama yağı ısıtıcıları da panel üzerinde yer alan düğmeler ile çalıştırılabilmektedir. Panelde sistem elemanlarının aktif olduğunu bildiren bir self kontrol düzeneği de yer almaktadır. Sistem herhangi bir arıza bildirmediği taktirde motor ve dinamometre aktif hale getirilebilir. Motor momenti ve motor devri kontrol paneli üzerinde yer alan analog ve dijital göstergeler yardımıyla ölçülebilmektedir. Ateşleme zamanı analog gösterge ile belirlenebilmektedir. Bu göstergelerin ölçüm aralığı ve hassasiyetleri izelge 3.2’de yer almaktadır. Giriş hava sıcaklığı, yakıt sıcaklığı, yağlama yağı sıcaklığı, motordan çıkan egzoz gazı sıcaklığı, soğutma suyunun motora giriş ve çıkış sıcaklığları kontrol panelinde bulunan göstergeden 0,1 C hassasiyetinde dijital olarak alınabilmektedir. Ayrıca panelde yer alan elle kumandalı

anahtarlar yardımıyla motor devri, motor yükü, ateşleme zamanı ve enjektör açık kalma miktarı %0,1 hassasiyette ayarlanabilmektedir.

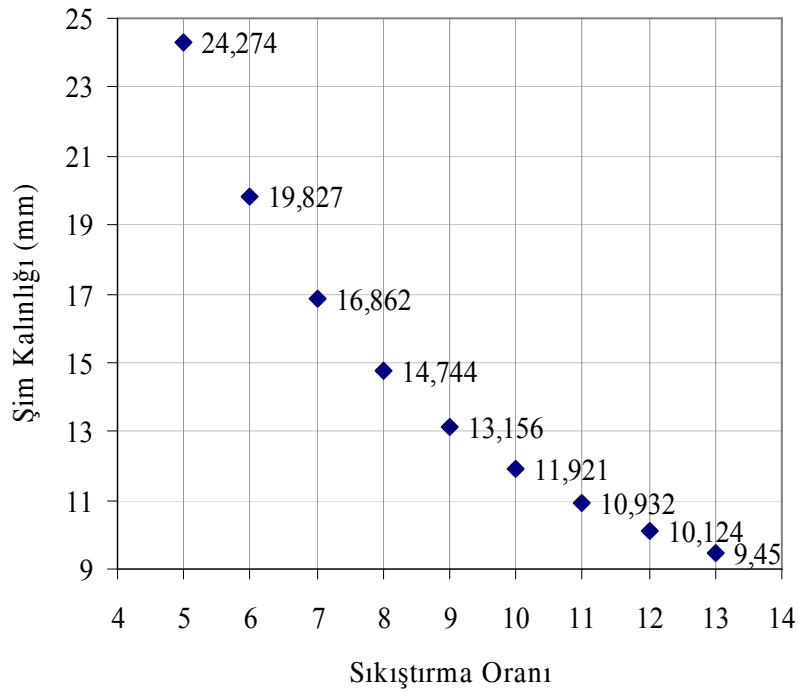
Çizelge 3.2. Kontrol panelinde yer alan göstergelerin ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri [77]

	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Hassasiyeti
Motor Momenti	0-80 Nm	0,01 Nm
Motor Devri	0-7000 d/d	1 d/d
Ateşleme Zamanı	70° KMA ÜÖN'den önce - 20° KMA ÜÖN'den sonra	1° KMA

3.1.4. Değiştirilen motor parametreleri

Sıkıştırma oranı

Sıkıştırma oranı motor bloğuna yerleştirilen şim kalınlığına bağlı olarak değiştirilebilmektedir. Şekil 3.1'de şim kalınlığına bağlı olarak sıkıştırma oranının değişimi görülmektedir. Her bir sıkıştırma oranı değiştirilmesi işleminde, kam mili ile krank milinin birbirine göre konumları 0,01 mm hassasiyetindeki bir komparatör yardımıyla kontrol edilmiş ve ayarlanmıştır.



Şekil 3.1. Motor bloğunda kullanılan şim kalınlıklarına göre sıkıştırma oranlarının değişimi [78]

Ateşleme zamanı ve hava/yakıt oranı

Ateşleme zamanı ve hava/yakıt oranı kontrol panelinde (Bkz. Resim 3.3) bulunan elle kumandalı ayar düğmeleri yardımıyla değiştirilebilmektedir. Hava/yakıt oranı, enjektörün açık kalma miktarının değiştirilmesiyle ayarlanabilmektedir.

Giriş hava sıcaklığı

Giriş hava sıcaklığı, emme manifolduna yerleştirilen rezistans ile rezistansa kumanda eden ve kontrol paneline yerleştirilmiş elektronik devre yardımıyla değiştirilebilmektedir.

3.1.5. Kullanılan ölçüm cihazları

Terazi ve kronometre

Yakıt tüketimi, kütsel olarak ölçülmüştür. Ölçümde 0,1 gram hassasiyetinde ve 8 kg'ye kadar ölçüm yapabilen Ohaus GT 8000 marka dijital terazi kullanılmıştır.

Kütsel yakıt ölçümünde sürenin belirlenmesinde 0,01 saniye hassasiyetinde Robic SC 700 marka dijital kronometre kullanılmıştır. Resim 3.4'te dijital terazi ve kronometre görölmektedir.



Resim 3.4. Dijital terazi ve kronometre

Hava akışmetresi

Hava tüketiminin ölçümünde Resim 3.5'te görölen 1 mm su sütunu hassasiyetine sahip Go-Power M-5000 marka hava akışmetresi kullanılmıştır. Hava tüketimi ölçümünde motor gücüne uygun ventüri, cihazın katalogunda belirtilen güç aralığına göre seçilmiştir [79]. Daha hassas bir ölçüm yapabilmek amacıyla düşük motor devirlerinde (1500-2500 d/d aralığında) 0,75" (19,05 mm), 3000-5000 d/d motor

devri aralığında 1,183" (30,05 mm) ventüri kullanımı tercih edilmiştir. Kullanılan ventürilerle elde edilen ölçümlere karşılık gelen hava tüketimlerini veren grafikler EK-1'deki Şekil 1 ve Şekil 2'de yer almaktadır.



Resim 3.5. Hava akışmetresi

Egzoz emisyonları ölçüm cihazı

Egzoz emisyonlarının ölçümünde Resim 3.6'da resmi bulunan Sun MGA 1200 marka egzoz gaz analizörü kullanılmıştır. Bu cihaz; motor devrini 1 d/d hassasiyetinde ve yağ sıcaklığını 1 °C hassasiyetinde ölçebilmektedir. Cihazın diğer teknik özellikleri Çizelge 3.3'te görülmektedir.



Resim 3.6. Sun MGA 1200 marka egzoz gaz analizörü

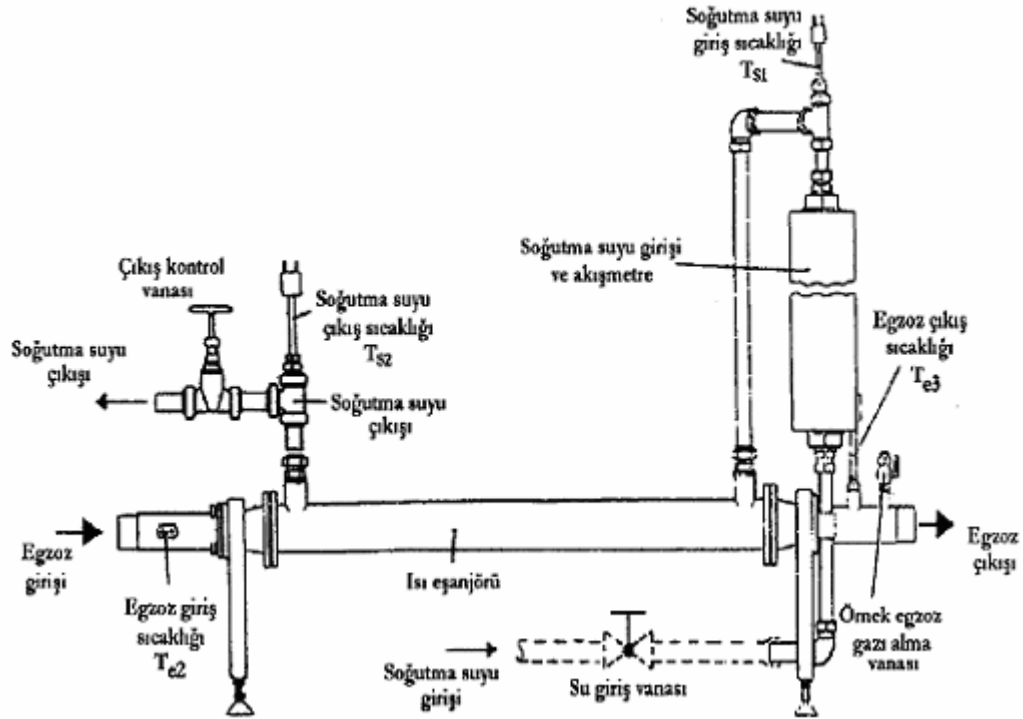
Çizelge 3.3. Sun MGA 1200 egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri

	Ölçüm Aralığı	Hassasiyeti
Hava fazlalık katsayısı (λ)	0.80-2.00	0.001
CO (% hacimsel)	0-%10	%0.01
HC (ppm)	0-20000	1
CO ₂ (% hacimsel)	0-%20	%0.01
O ₂ (% hacimsel)	0-%21	%0.1

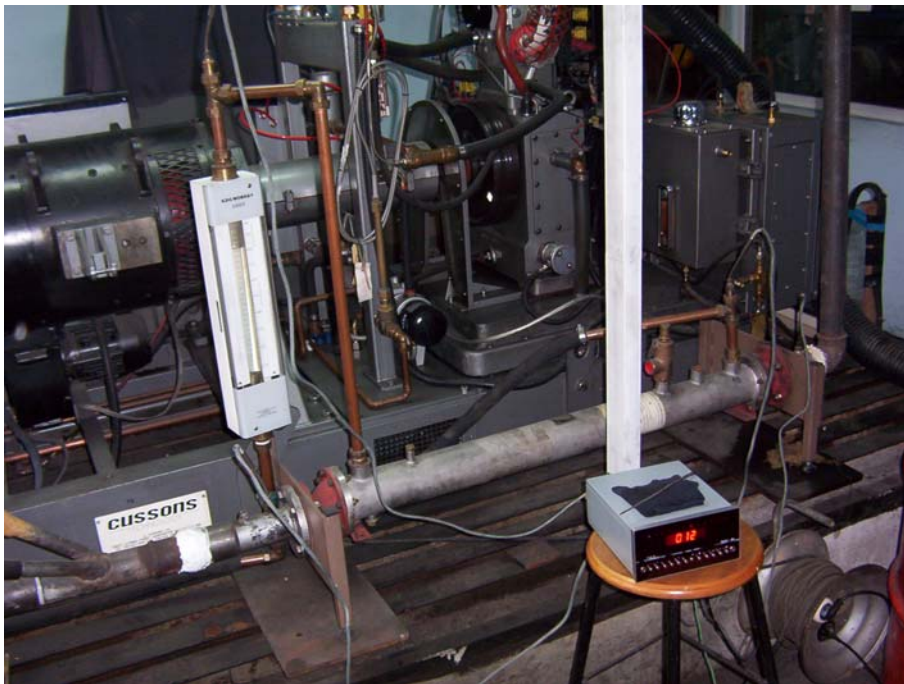
Egzoz kalorimetresi

Egzoz gazları yoluyla kaybedilen ısı enerjisinin belirlenmesinde kullanılan kalorimetrenin şematik resmi Şekil 3.2’de, deney seti üzerindeki bağlantı düzeni Resim 3.7’de görülmektedir. Egzoz gazları, motor ile susturucu arasına yerleştirilen egzoz kalorimetresindeki borular içerisinden geçirilmektedir. Bu boruların çevresinden soğutma suyu geçmektedir. Kalorimetreden egzoz gazları geçerken bu akışa ters yönde geçirilen soğutma suyunun debisinin belirlenmesi için kalorimetre üzerinde bir akışmetre ve su akışının kontrolü için bir akış kontrol vanası bulunmaktadır. Kalorimetreden geçen soğutma suyunun debisi, 80-980 L/h ölçüm aralığında 20 L/h hassasiyette ölçülebilmektedir. Kalorimetre üzerinde dört noktadan sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Kalorimetre giriş ve çıkışındaki egzoz gaz sıcaklıkları ve soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıklarının ölçümleri, Nikel-Nikel

krom termokupllar ve Elimko 6000 marka 12 kanallı cihaz ile yapılabilmektedir. Bu cihaz sıcaklıkları 1 °C hassasiyette ölçebilmektedir.



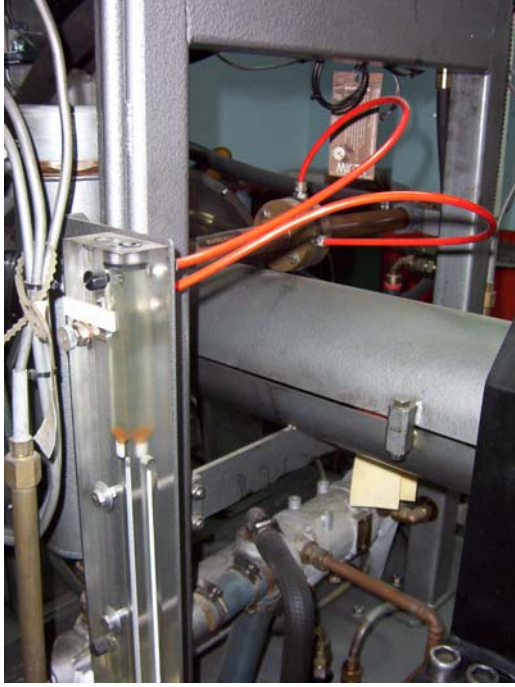
Şekil 3.2. Egzoz kalorimetresinin şematik resmi [80]



Resim 3.7. Egzoz kalorimetresi

Motor soğutma suyu akışmetresi

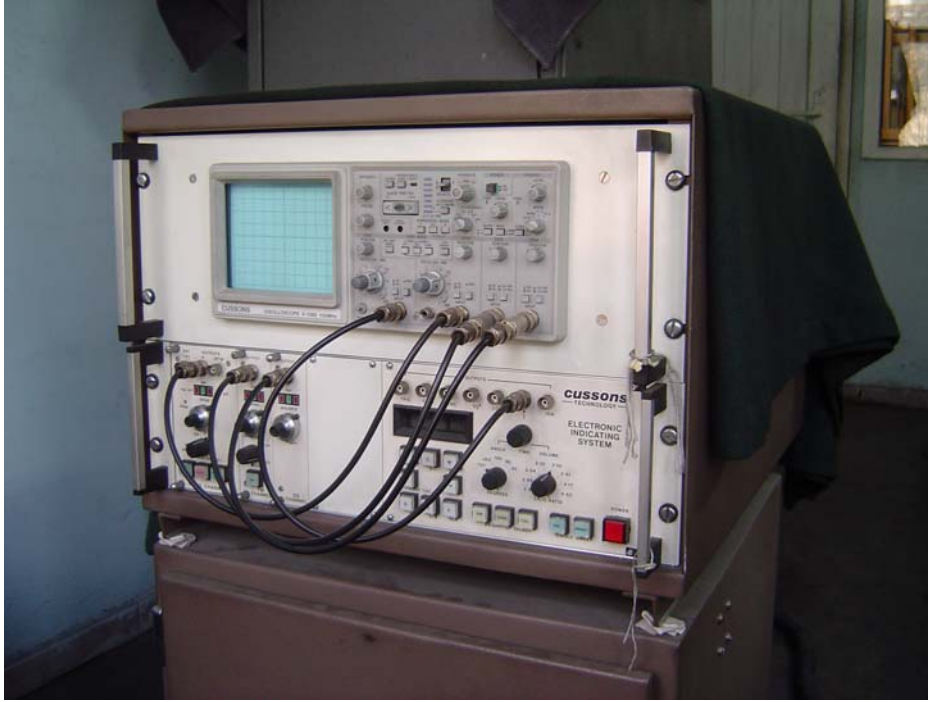
Motor soğutma suyu debisinin belirlenmesinde Resim 3.8’de görülen Cussons P8168 marka akışmetre kullanılmıştır. Basınç farkı, akışmetredeki orifis plakaya bağlı manometreden 1 mm Civa sütunu hassasiyetinde ölçülebilmektedir.



Resim 3.8. Motor soğutma suyu akışmetresi

Elektronik indikatör cihazı

Silindir içi basınç değişimleri, Resim 3.9’da yer alan Cussons P4410 marka elektronik indikatör cihazı ile elde edilmiştir. İndikatör cihazına 250 bar basınca kadar ölçüm yapabilen, -14,7 pC/bar hassasiyetinde, çalışma sıcaklığı -50-350 °C ve ölçüm toleransı $\pm \%0,5$ olan Kistler 6121 marka basınç sensörü bağlanmıştır. Basınç değişimleri hacme ve krank mili açısına bağlı olarak incelenmiştir.



Resim 3.9. Elektronik indikatör cihazı

3.1.6. Deney yakıtları

Deneylerde kurşunsuz benzin ve kurşunsuz benzin-etanol karışımları kullanılmıştır. Kurşunsuz benzin Petrol Ofisi'ne bağlı bir benzin istasyonundan 95 oktanlı olacak şekilde temin edilmiştir. Karışımlarda faz ayrışmasını önleyebilmek amacıyla %99,5 saflıkta etil alkol kullanılmıştır. Karışımlar hacimsel olarak oluşturulmuştur. Deneylerde kullanılan yakıtlar:

E0 (%100 kurşunsuz benzin)

E10 (%90 kurşunsuz benzin-%10 etanol karışımı)

E20 (%80 kurşunsuz benzin-%20 etanol karışımı)

E40 (%60 kurşunsuz benzin-%40 etanol karışımı)

E60 (%40 kurşunsuz benzin-%60 etanol karışımı)

Çalışmada kullanılan yakıtların çeşitli özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Test yakıtlarının çeşitli özelliklikleri

Görünüş	Yöntem	E0	E10	E20	E40	E60
	Gözle muayene	Berrak ve parlak	Berrak ve parlak	Berrak ve parlak	Berrak ve parlak	Berrak ve parlak
Distilasyon (% Hacim) 70 °C 100 °C 180 °C	TS 1232	24 46,8 97,6	40,2 53,9 97,3	39,3 66 98	37,7 84,2 98,2	18,2 92,5 98,7
Yoğunluk (15 °C'de kg/m ³)	TS 6311	764,9	768	771,5	780,6	789,5
Reid Buhar Basıncı (kPa)	ASTM D 323	57,6	66,7	66,2	63	57,4
Kurşun (g/L)	IP 352	0,004	0,003	0,002	0	0
Kükürt (% Ağırlıkça)	TS 6838	0,012	0,017	0,022	0,026	0,032
Araştırma Oktan Sayısı	ASTM D 2699	86,4	87,4	89,8	90,9	92,7
Motor Oktan Sayısı	ASTM D 2700	98,8	99,9	101,6	101,7	102,8

3.2. Metot

Deneyler gerçekleştirilmeden önce emisyon ölçüm cihazının ve diğer ölçü aletlerinin bakımı ve kalibrasyonu yaptırılarak, deney seti kullanıma hazır hale getirilmiştir. Tüm deneylerde ölçüm işlemine geçilmeden önce motor ve motorun bağlı bulunduğu sistem ekipmanları çalıştırılarak, motorun çalışma sıcaklığına gelmesi ve soğutma suyu termostatının birkaç defa açması beklenmiştir. Deney ekipmanlarının kullanıma hazır hale gelmesiyle (ısınması ve otomatik kalibrasyonları) ölçüm işlemine başlanmıştır. Çalışma esnasında incelenen değişkenin dışındaki motor parametreleri sabit tutulmuştur. İncelenen motor parametreleri:

- Sıkıştırma oranı (8/1-13/1)
- Ateşleme zamanı (10 °KMA-36 °KMA ÜÖN'den önce)
- Hava fazlalık katsayısı (0,8-1,2)
- Giriş hava sıcaklığı (25 °C-70°C)
- Motor devri (1500 d/d-5000 d/d)
- Gaz kelebek açıklığı (%5-%100)'dır.

3.2.1. Motor momenti

Motor momenti, dinamometrenin kontrol panelinde yer alan analog ve dijital göstergelerden direkt olarak kaydedilmiştir. Ortam basıncı ve sıcaklığı dikkate alınarak, TS 1231'e göre, buji ile ateşlemeli motorlar için verilen düzeltme faktörü kullanılmıştır.

$$K_d = \left(\frac{99}{P} \right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T}{298} \right)^{0,6} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte P atmosferik basınç olup, birimi kPa'dır. Atmosferik sıcaklık T ile ifade edilmiştir ve birimi Kelvin (K)'dir [75].

$$M = K_d \cdot M_{\ddot{o}} \text{ (Nm)} \quad (3.2)$$

Örnek Hesaplama: Tam yükte, 1500 d/d motor devrinde, E0 yakıtı kullanılarak, stokiyometrik hava/yakıt oranında (HFK= 1), 9/1 sıkıştırma oranında ve 21 °KMA ateşleme zamanında ölçülen motor momenti 26,35 Nm olarak gerçekleşmiştir. Deneyin gerçekleştirildiği ortam basıncı 91,8 kPa ve sıcaklığı 24 °C'dir. Elde edilen verilere göre motor momenti Eş. 3.1 ve Eş. 3.2 ile;

$$K_d = \left(\frac{99}{P} \right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T}{298} \right)^{0,6} = \left(\frac{99}{91,8} \right)^{1,2} \cdot \left(\frac{297}{298} \right)^{0,6} = 1,0926$$

$$M = K_d \cdot M_{\ddot{o}} = 1,0926 \cdot 26,35 = 28,79 \text{ Nm olarak hesaplanmıştır.}$$

3.2.2. Efektif güç

Motor milinden alınan faydalı güç;

$$P_e = \frac{2 \cdot \pi \cdot M \cdot n}{60 \cdot 1000} \text{ (kW)} \quad (3.3)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

Örnek Hesaplama: Tam yükte, 1500 d/d motor devrinde, E0 yakıtı kullanılarak, stokiyometrik hava/yakıt oranında (HFK= 1), 9/1 sıkıştırma oranında ve 21 °KMA ateşleme zamanında motor momenti Eş. 3.1 ve Eş. 3.2 ile 28,79 olarak elde edilmiştir. Eş. 3.3 kullanılarak, motor gücü;

$$P_e = \frac{2 \cdot \pi \cdot M \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 28,79 \cdot 1500}{60 \cdot 1000} = 4,52 \text{ kW olarak elde edilir.}$$

3.2.3. Fren ortalama efektif basıncı

Fren ortalama efektif basınç, motorun gerçek çevrimdeki eşdeğer efektif gücü verebilmesi için kurs boyunca pistonu etki etmesi gereken sabit basınç olarak tanımlanmaktadır ve; [9]

$$FOEB = \frac{P_e \cdot n_R \cdot 60}{V_K \cdot n} \text{ (kPa)} \quad (3.4)$$

ifadesi ile hesaplanabilir.

Eşitlikte yer alan kurs hacmi (V_K);

$$V_K = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \text{ (m}^3\text{)} \text{ eşitliği ile hesaplanabilir.}$$

$$V_K = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = \frac{\pi \cdot 0,08026^2}{4} \cdot 0,0889 = 0,0004495 \text{ m}^3$$

Örnek Hesaplama: Tam yükte, 1500 d/d motor devrinde, E0 yakıtı kullanılarak, stokiyometrik hava/yakıt oranında (HFK= 1), 9/1 sıkıştırma oranında ve 21 °KMA ateşleme zamanında motor gücü Eş. 3.3 ile 4,52 kW olarak elde edilmiştir. Motorun kurs hacmi 0,0004495 m³'tür. Eş. 3.4 ile FOEB;

$$FOEB = \frac{P_e \cdot n_R \cdot 60}{V_K \cdot n} = \frac{4,52 \cdot 2 \cdot 60}{0,0004495 \cdot 1500} = 804,45 \text{ kPa olarak bulunur.}$$

3.2.4. Fren özgül yakıt tüketimi

Birim zamanda tüketilen yakıt miktarının efektif güce oranını ifade eden fren özgül yakıt tüketimi;

$$FÖYT = \frac{\dot{m}_y}{P_e} \text{ (g/kWh)} \quad (3.5)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

Örnek Hesaplama: Tam yükte, 1500 d/d motor devrinde, E0 yakıtı kullanılarak, stokiyometrik hava/yakıt oranında (HFK= 1), 9/1 sıkıştırma oranında ve 21 °KMA ateşleme zamanında motorun 42,4 gram yakıtı 2 dakikalık süre içerisinde tükettiği ölçülmüştür. Buna göre $\dot{m}_y$;

$\dot{m}_y = \frac{42,4 \cdot 60}{2} = 1272 \text{ g/h' dir.}$ Motor gücü eşitlik 3.3 ile 4,52 kW olarak elde edilmiştir. Eş. 3.5 ile FÖYT;

$$FÖYT = \frac{\dot{m}_y}{P_e} = \frac{1272}{4,52} = 281,42 \text{ g/kWh olarak elde edilir.}$$

3.2.5. Efektif verim

Motor milinden alınan işin motora verilen ısı enerjisine oranını ifade eden efektif verim; [9]

$$\eta_e = \frac{P_e}{Q_T} \quad (3.6)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

Örnek Hesaplama: Tam yükte, 1500 d/d motor devrinde, E0 yakıtı kullanılarak, stokiyometrik hava/yakıt oranında (HFK= 1), 9/1 sıkıştırma oranında ve 21 °KMA ateşleme zamanındaki termik verim;

Eş. 3.6 ve bilinen (Motor gücü 4,52 kW, tüketilen yakıtın debisi $\dot{m}_y=1272 \text{ g/h}$ ve yakıtın alt ısı değeri $H_U=43932 \text{ kJ/kg}$) değerler ile efektif verim;

$$\eta_e = \frac{P_e}{Q_T}$$

$$\eta_e = \frac{P_e}{\dot{m}_y \cdot H_u} \cdot 1000 \cdot 3600 = \frac{4,52}{1272 \cdot 43932} \cdot 1000 \cdot 3600 = 0,2912 \quad (\%29,12) \quad \text{olarak}$$

bulunur.

3.2.6. Volumetrik verim

Volumetrik verim, motorun gerçek çalışma koşullarında tükettiği hava miktarının aynı çalışma şartlarında kapasitesine göre tüketmesi gereken teorik hava miktarına oranıdır [9]. Volumetrik verim;

$$\eta_V = \frac{2 \cdot \dot{m}_h}{60 \cdot 1000 \cdot \rho_h \cdot V_K \cdot n} \quad (3.7)$$

eşitliği ile belirlenebilir.

Örnek Hesaplama: Tam yükte, 1500 d/d motor devrinde, E0 yakıtı kullanılarak, stokiyometrik hava/yakıt oranında (HFK= 1), 9/1 sıkıştırma oranında ve 21 °KMA ateşleme zamanındaki volumetrik verim;

Eş. 3.7 ve bilinen (Tüketilen havanın debisi $\dot{m}_h = 18688,32$ g/h (Tüketilen havanın debisi 0,75" ventüri için EK-1'deki Şekil 1'de yer alan grafikten alınmıştır.), havanın yoğunluğu $\rho_h = 1,22586$ kg/m³ ve motorun kurs hacmi $V_K = 0,0004495$ m³) değerler ile;

$$\eta_V = \frac{2 \cdot \dot{m}_h}{60 \cdot 1000 \cdot \rho_h \cdot V_K \cdot n}$$

$$\eta_V = \frac{2 \cdot 18688,32}{60 \cdot 1000 \cdot 1,22586 \cdot 0,0004495 \cdot 1500} = 0,7537 \quad (\%75,37) \quad \text{olarak bulunur.}$$

3.2.7. Hava/yakıt oranı ve hava fazlalık katsayısı

Motorun gerçek çalışma koşullarındaki hava/yakıt oranının yakıtın kimyasal yapısına bağlı olarak tam yanmasını sağlayacak stokiyometrik hava/yakıt oranına oranı hava fazlalık katsayısını ifade etmektedir [9].

$$H/Y = \frac{\dot{m}_h}{\dot{m}_y} \quad (3.8)$$

$$HFK = \frac{(H/Y)_{gerçek}}{(H/Y)_{stokiyometrik}} \quad (3.9)$$

Örnek Hesaplama: Tam yükte, 1500 d/d motor devrinde, E0 yakıtı kullanılarak, stokiyometrik hava/yakıt oranında (HFK= 1), 9/1 sıkıştırma oranında ve 21 °KMA ateşleme zamanındaki hava/yakıt oranı ve (HFK) Eş. 3.8 ve Eş. 3.9 kullanılarak ve bilinen (Tüketilen havanın debisi $\dot{m}_h = 18688,32$ g/h ve tüketilen yakıtın debisi $\dot{m}_y = 1272$ g/h) değerler ile;

$$H/Y = \frac{\dot{m}_h}{\dot{m}_y} = \frac{18688,32}{1272} = 14,7$$

$$HFK = \frac{(H/Y)_{gerçek}}{(H/Y)_{stokiyometrik}} = \frac{14,7}{14,7} = 1 \text{ olarak elde edilir.}$$

3.2.8. Egzozla kaybedilen ısı enerjisi

Egzoz kalorimetresinde egzozla kaybedilen ısı enerjisinin belirlenmesi için öncelikle egzoz gazlarını içerdği ısı enerjisini üç kısımda ifade etmek gerekir. Bunlar;

1. Egzoz manifoldu ile egzoz kalorimetresi arasında kaybolan ısı enerjisi,

2. Egzoz kalorimetresinden egzoz gazları geçerken soğutma suyuna aktardıkları ısı enerjisi,
3. Egzoz kalorimetresinden çıkan egzoz gazlarında kalan ısı enerjisi olarak ifade edilebilir [80].

Bu ifadelere göre egzoz gazlarını içerdiği ısı enerjisi;

$Q_e = \dot{m}_e \cdot c_{pe} \cdot (T_{e1} - T_{e2}) + \dot{m}_e \cdot c_{pe} \cdot (T_{e2} - T_{e3}) + \dot{m}_e \cdot c_{pe} \cdot (T_{e3} - T_{\varphi})$ eşitliği ile belirtilebilir. Bu eşitlikten;

$Q_e = \dot{m}_e \cdot c_{pe} \cdot (T_{e1} - T_{\varphi})$ elde edilebilir. Egzoz kalorimetresindeki ısı balansı çıkarılırsa;

$\dot{m}_e \cdot c_{pe} \cdot (T_{e2} - T_{e3}) = \dot{m}_s \cdot c_{ps} \cdot (T_{s2} - T_{s1})$ eşitliği elde edilebilir. Bu iki eşitlik kullanılarak;

$$Q_e = \frac{\dot{m}_s \cdot c_{ps} \cdot (T_{s2} - T_{s1})}{(T_{e2} - T_{e3})} \cdot (T_{e1} - T_{\varphi}) \text{ (kW)} \quad (3.10)$$

eşitliği elde edilir [80].

Örnek Hesaplama: Tam yükte, 3500 d/d motor devrinde, E0 yakıtı kullanılarak, stokiyometrik hava/yakıt oranında (HFK= 1), 9/1 sıkıştırma oranında ve 26 °KMA ateşleme zamanında egzozla kaybedilen ısı enerjisinin belirlenmesi için öncelikle deneydeki ölçüm sonuçları ve diğer verilerin ifade edilmesi gerekir.

Egzoz kalorimetresindeki soğutma suyunun debisi $\dot{m}_s = 120 \text{ L/h}$ (0,033274 kg/s) ve sıcaklıklar; $T_{e1} = 728,9 \text{ °C}$, $T_{e2} = 389 \text{ °C}$, $T_{e3} = 46 \text{ °C}$, $T_{s1} = 27 \text{ °C}$, $T_{s2} = 70 \text{ °C}$ ve $T_{\varphi} = 34 \text{ °C}$ olarak ölçülmüştür. $c_{ps} = 4,19 \text{ kJ/kgK}$ ve $\rho_s = 998,21 \text{ kg/m}^3$ bilinenleri ile egzozla kaybedilen geçen ısı enerjisi;

$$Q_e = \frac{\dot{m}_s \cdot c_{ps} \cdot (T_{s2} - T_{s1})}{(T_{e2} - T_{e3})} \cdot (T_{e1} - T_c)$$

$$Q_e = \frac{0,033274 \cdot 4,19 \cdot (70 - 27)}{(389 - 46)} \cdot (728,9 - 34) = 12,15 \text{ kW olarak bulunur.}$$

3.2.9. Soğutma suyuna geçen ısı enerjisi

Motor soğutma suyuna geçen ısı enerjisinin belirlenmesi için motora giren ve motordan çıkan soğutma suyu sıcaklıklarının ve soğutma suyu debisinin belirlenmesi gerekir. Sıcaklıklar kontrol panelindeki (Bkz. Resim 3.3) dijital göstergeden direkt olarak ölçülebilmektedir. Motor soğutma suyu akışmetresi (Bkz. Resim 3.8) kullanılarak, soğutma suyunun debisi basınç farkı (mmCiva sütunu yüksekliği) olarak ifade edilebilmektedir. Basınç farkının kg/s olarak dönüştürülebilmesi için Eş. 3.11 kullanılabilir. Eş. 3.11'in elde edilişi EK-2'de yer almaktadır. Eş. 3.12 kullanılarak motor soğutma suyuna geçen ısı enerjisi belirlenebilir [81].

$$\dot{m}_{ms} = 0,046603 \cdot (h_c)^{0,5} \text{ (kg/s)} \quad (3.11)$$

$$Q_s = \dot{m}_{ms} \cdot c_{ps} \cdot (T_{ms2} - T_{ms1}) \text{ (kW)} \quad (3.12)$$

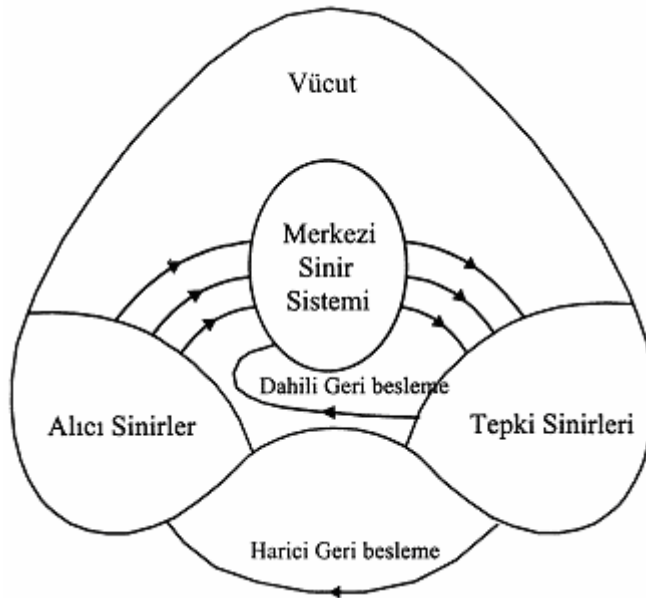
Örnek Hesaplama: Tam yükte, 3500 d/d motor devrinde, E0 yakıtı kullanılarak, stokiyometrik hava/yakıt oranında (HFK= 1), 9/1 sıkıştırma oranında ve 26 °KMA ateşleme zamanında motora giren soğutma suyu sıcaklığı 48 °C ve motordan çıkan soğutma suyu sıcaklığı 69,8 °C'dir. Soğutma suyunun akışmetredeki basınç farkı 3 mmCiva yüksekliğidir. Bu verilere göre motor soğutma suyuna geçen ısı enerjisi Eş. 3.11 ve Eş. 3.12 kullanılarak;

$$\dot{m}_{ms} = 0,046603 \cdot (h_c)^{0,5} = 0,046603 \cdot (3)^{0,5} = 0,0807 \text{ kg/s}$$

$$Q_s = \dot{m}_{ms} \cdot c_{ps} \cdot (T_{ms2} - T_{ms1}) = 0,0807 \cdot 4,19 \cdot (69,8 - 48) = 7,37 \text{ kW olarak elde edilir.}$$

3.2.10. Yapay sinir ağı uygulaması

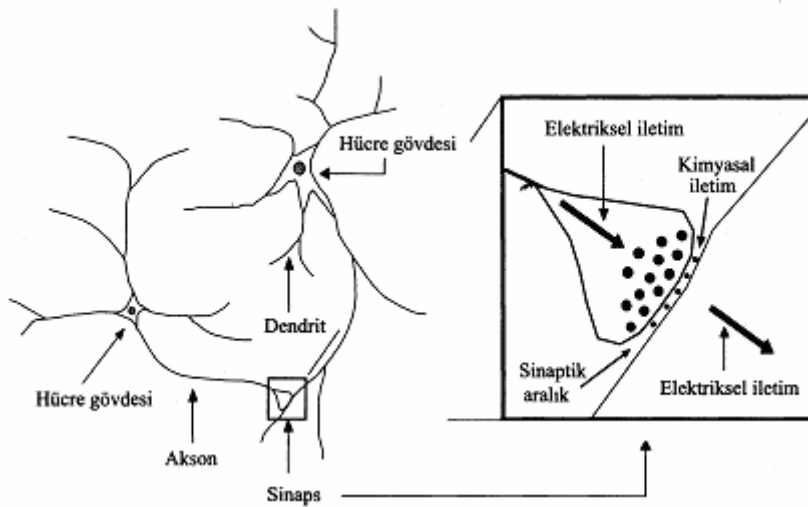
Yapay sinir ağı (YSA), biyolojik sinir ağlarının işleyiş yönteminden esinlenerek geliştirilmiştir. Biyolojik sinir ağı beyinde bulunan çok sayıda sinir hücresinin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bir sinir hücresi çok sayıda sinir hücresine bağlıdır. Sinir hücreleri fonksiyonlarını birbirlerine bağlı olmaları neticesinde gerçekleştirirler. İnsan beyinde yaklaşık 10^{12} adet sinir hücresi ve yaklaşık olarak her birinin 10^4 bağlantısı vardır. Şekil 3.3'te blok şeması görülen biyolojik sinir sistemi, merkezi sinir sistemi, alıcı ve tepki sinirlerinden oluşur. Merkezi sinir sistemi (beyin) aldığı bilgiyi yorumlar ve uygun bir karar üretir. Alıcı ve tepki sinirleri bu merkezin kontrolündedir. Alıcı sinirler (reseptör), iç ve dış ortamlardan algıladıkları uyarıları elektriksel sinyallere dönüştürerek beyne iletirler. Beyin veri işleme süreci sonunda aldığı kararları elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri (efektör) ise; beyin ürettiği elektriksel sinyalleri uygun tepkilere dönüştürmek üzere organlara iletir [82, 83].



Şekil 3.3. Biyolojik sinir sisteminin blok şeması [83]

Sinir sisteminin temel birimi olan ve nöron olarak da adlandırılan sinir hücresi, hücre gövdesi, dendrit, akson ve sinapsdan oluşur (Şekil 3.4). Bir nöronda birden fazla

sayıda (yüzlerce hatta bazen binlerce) bulunabilen dendritler, nörona gelen bilgiyi alan kısa uzantılardır. Nörona bilgi, alıcı sinirlerden veya bir başka nörondan gelebilir. Akson, dendritlerden aldığı bilgiyi diğer hücelere aktarır. Akson, sinaps aracılığıyla diğer nöronların dendritlerine bağlanmıştır. Sinir hücreleri arasında iletişimi sinaps gerçekleştirir. Sinapslar fiziksel bağlantılar olmayıp elektriksel sinyallerin geçmesini sağlayan boşluklardır [82, 83].



Şekil 3.4. Biyolojik nöron [83]

Biyolojik sinir ağları insanın davranışlarını ve çevresini anlayabilmesini sağlar. Beyin öğrenebilme, bilgiyi depolayabilme, ilişkilendirebilme, soyut ve somut kavramları açıklayabilme, mevcut bilgilerden yeni sonuçlar çıkartabilme gibi özelliklere sahiptir. İnsan beyninin çalışma prensibi örnek alınarak geliştirilmeye çalışılan YSA, örnekler vasıtasıyla öğrenir ve lineer olmayan problemleri çözebilir. YSA ile biyolojik sinir sisteminin benzerlikleri Çizelge 3.5'te görülmektedir [82-84].

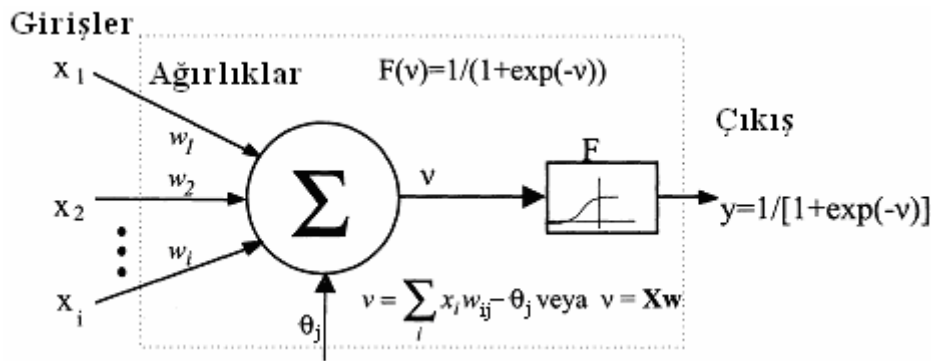
Çizelge 3.5. Biyolojik sinir sistemi ile YSA'nın benzerlikleri [83]

Biyolojik Sinir Sistemi	YSA
Nöron	İşlem elemanı
Dendrit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer fonksiyonu
Akson	Eleman çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

YSA'nın temel birimi işlemci elemandır (yapay nöron). İşlemci eleman girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, transfer fonksiyonu ve çıkıştan oluşmaktadır. Girişler dış kaynaklardan veya diğer işlem elemanlarından gelen işaretlerdir. Her bir giriş kendine ait bir ağırlığa sahiptir. Girişler kaynağına göre kuvvetli veya zayıf olabileceğinden ağırlıkları farklıdır. Ağırlıklar hücreye gelen bilginin hücre üzerindeki etkisini ifade eder. YSA'da bilgi ağırlık değerlerinde saklanır. Hücreye gelen net girdinin hesaplanması için giriş değerlerine toplama fonksiyonu uygulanır [82, 83, 85, 86].

$$v = \sum_{i=1}^n x_i w_{ij} - \theta_j \quad (3.13)$$

Burada x_i i'inci girişi, w_{ij} j'inci elemandan i'inci elemana bağlantı ağırlığını ve θ_j eşik değerini ifade etmektedir. Bu değer öğrenme eğrisi olarak da adlandırılan transfer (aktivasyon) fonksiyonuna uygulanırsa, sonuçta çıkış değeri elde edilir. Çıkış değeri hücreye gelen net girdiye karşılık üretilen değerdir. İşlemci elemanın çıkış değeri, bir başka işlemci elemanın giriş değeri veya ağırlık çıkış değeri olabilir [82, 83]. Şekil 3.5'te bir işlemci elemanın temel grafik gösterimi yer almaktadır.

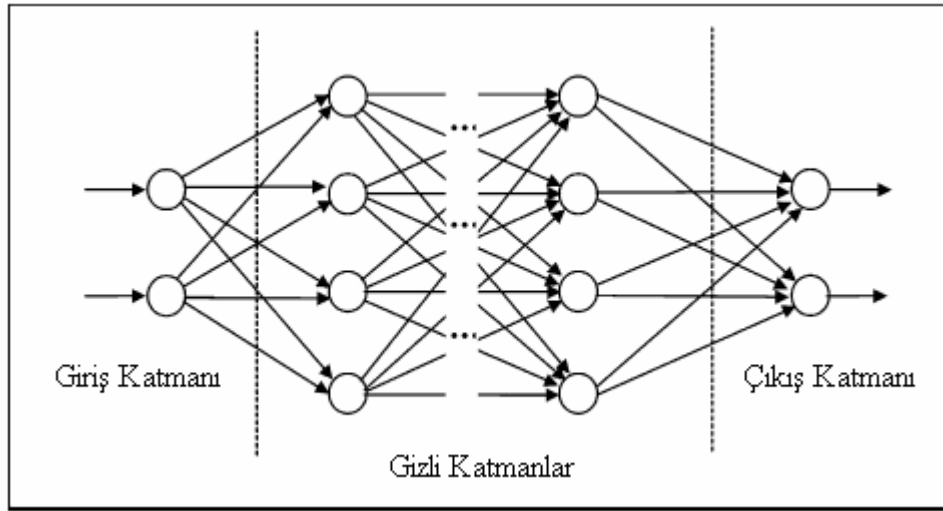


Şekil 3.5. Bir işlemci elemanın temel grafik gösterimi [83]

Sinir ağlarının en önemli aşaması eğitim basamağıdır. YSA'nın istenen bir işlevi yerine getirebilmesi için çeşitli öğrenme yaklaşımları kullanılır ve bu yaklaşımlara göre ağırlıklar değiştirilir. Öğrenme ağırlıkların değişimi ile gerçekleşmektedir. Değişim yoksa öğrenme işlemi de durmuştur. Eğitimden sonra ağırlıklar anlamlı

bilgiler içerir. Eğitilebilen ağlar yeni şekilleri tanıyabilir veya sınıflandırma yapabilir [83-85, 87, 88].

Yapay sinir ağları çeşitli yapılara sahiptir. Şekil 3.6’da çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağ yapısının sistematik diyagramı görülmektedir. Bu ağ genellikle giriş katmanı, gizli katman veya katmanları ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanındaki işlemci elemanlar, dış dünyadan gelen bilgileri ara katmana iletirler. Ara katman gelen bilgileri işleyerek çıkış katmanına gönderir. Bir ağda birden fazla ara katman olabilir. Çıkış katmanı ara katmandan gelen bilgileri işleyerek, ağın giriş katmanındaki veri için üretilmesi gereken çıktıyı verir [82, 89].



Şekil 3.6. Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağ yapısının sistematik diyagramı [89]

Yapay sinir ağları matematiksel olarak modellenmesi mümkün olmayan veya çok zor olan problemlerin çözümünde kullanılabilmektedir. Yapay nöronların lineer olmama özelliği doğadaki birçok probleme YSA'nın uygulanabilmesini sağlamaktadır [82, 83].

Bu çalışmada giriş katmanında 3500 d/d motor devrinde çalışma parametrelerinden sıkıştırma oranı, ateşleme zamanı, hava fazlalık katsayısı ve yakıt tipi dikkate alınmıştır. Çıkış katmanında elde edilen motor momenti ve fren özgül yakıt tüketimi denklemleri Simplex metodu için yazılan Q-Basic programı kullanılarak optimize

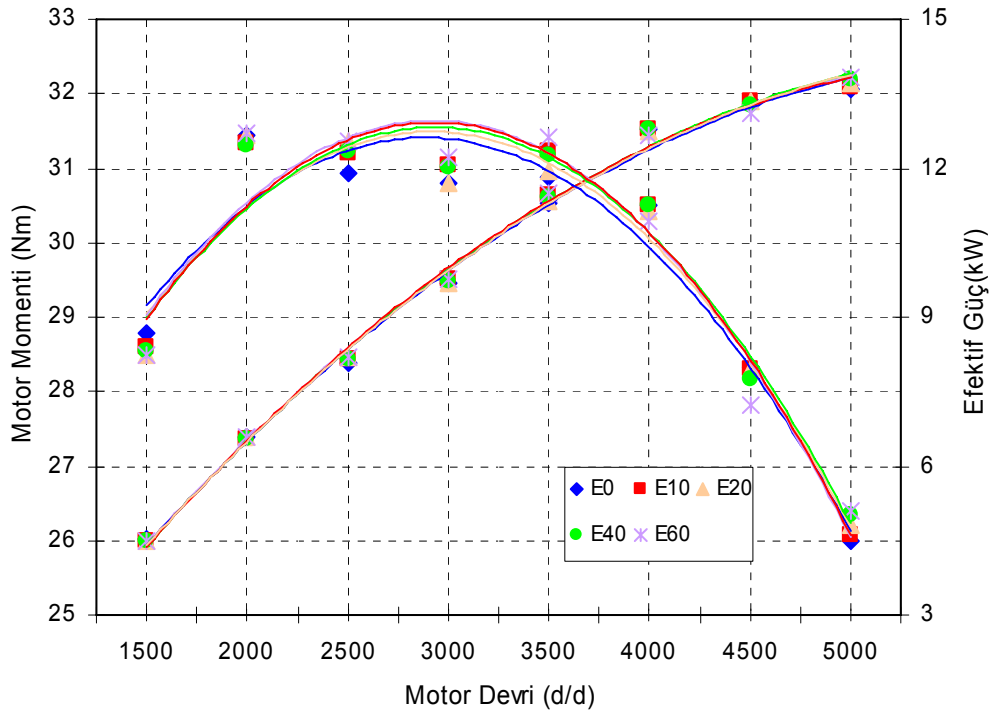
edilmiştir. Sınır şartları ($\alpha_i < x < \beta_i$) Eş. 3.14 kullanılarak tanımlanan problem için dıştan penaltı fonksiyonu kullanılarak motor momenti maksimize, fren özgül yakıt tüketimi minimize edilmiştir.

$$x_i = \alpha_i + (\beta_i - \alpha_i) \sin^2 y_i \quad (3.14)$$

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Motor Momenti ve Efektif Güç

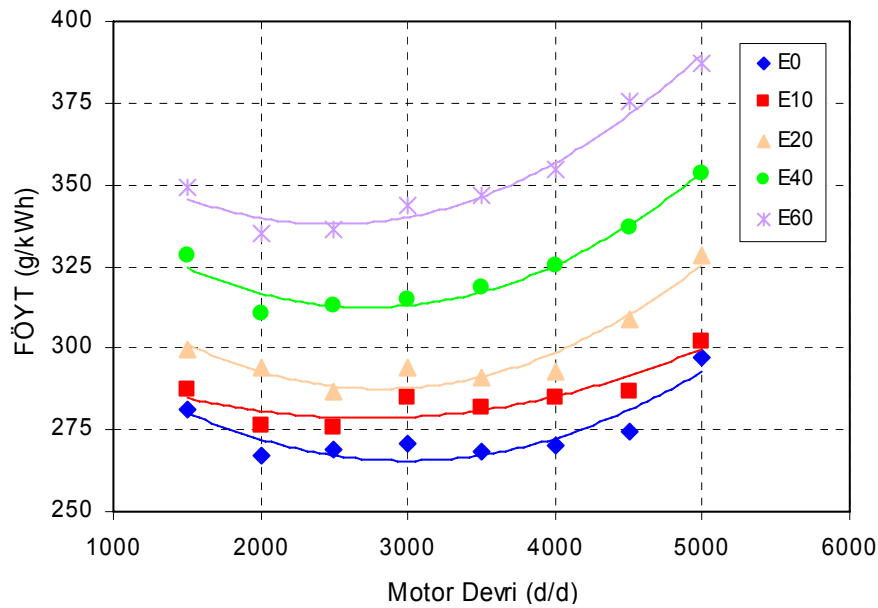
Deneylein gerçekleştirildiği motorun, motor devrine bağlı olarak motor momenti ve efektif gücün değişimi şekil 4.1'de görülmektedir. Tam yükte, farklı motor devirlerinde, stokiyometrik hava/yakıt oranında ve maksimum motor momentini veren ateşleme zamanında yapılan deneylerde, maksimum motor momenti tüm yakıtlarda 2000 d/d motor devrinde elde edilirken, 2500-3500 d/d motor devri aralığında da maksimum motor momentine yakın bir değer elde edilmiştir. En yüksek motor momenti E60 yakıtı (31,48 Nm) kullanımında görülmüştür. Yüksek motor devirlerinde artış eğilimi azalsa da efektif güç, tüm yakıtlarda 5000 d/d motor devrine kadar artış göstermektedir. En yüksek efektif g E60 yakıtıyla 5000 d/d'de 13,82 kW olarak elde edilirken, E0 yakıtına göre efektif güç %1,6 artmıştır.



şekil 4.1. Motor devrine bağlı olarak motor momentinin ve efektif gücün değişimi (Sıkıştırma oranı: 9/1, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

4.2. Fren Özgöl Yakıt Tüketimi

Motor devrine bağlı olarak tam yükte, stokiyometrik hava/yakıt oranında ve maksimum motor momentini veren ateşleme zamanında yapılan deneylerde, elde edilen Fren Özgöl Yakıt Tüketimi (FÖYT) eğrileri Şekil 4.2’de görülmektedir. FÖYT, karışımdaki etanol miktarlarına bağlı olarak artış göstermektedir. Bu artışın başlıca sebebi etanolün düşük alt ısı değeri dır. Oluşturulan karışımlarda hacimsel olarak etanol miktarı arttıkça karışımın ısı değeri de azalmaktadır. Motordan aynı miktar güç elde edebilmek için daha fazla etanol-kurşunsuz benzin karışımına ihtiyaç duyulmaktadır. E60 yakıtıyla maksimum motor momentinin elde edildiği 2000 d/d’de benzine (E0) göre FÖYT %25,5 artmıştır. Her bir deney yakıtında FÖYT değerleri, 2000-3500 d/d motor devri aralığında birbirine oldukça yakın sonuçlar vermekte ve 2000 veya 2500 d/d motor devrinde minimum değerini almaktadır.

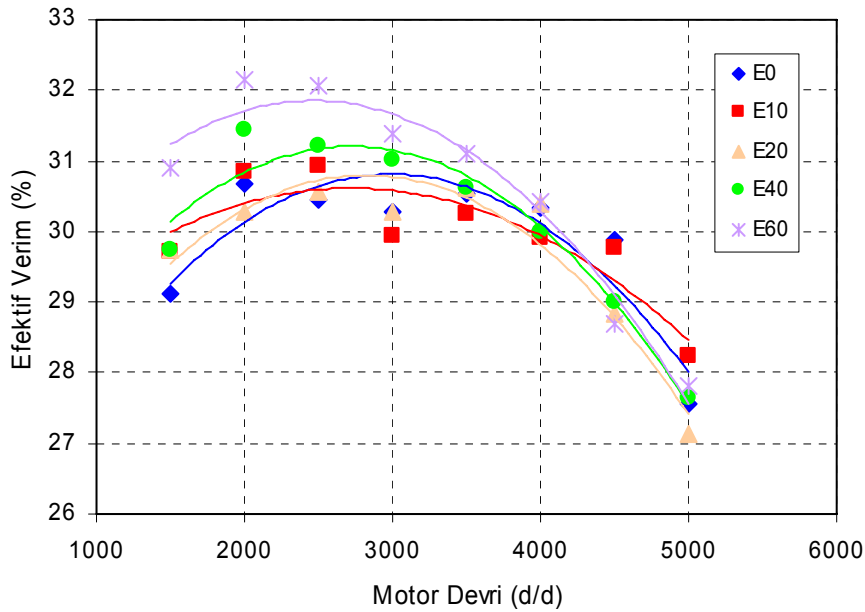


Şekil 4.2. Motor devrine bağlı olarak FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 9/1, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

4.3. Efektif Verim

Efektif verimin motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 4.3'te görülmektedir. Etanol içeren deney yakıtlarında efektif verim, kurşunsuz benzin (E0) kullanımına

göre hazırlanan karışımlardaki etanol miktarına bağlı olarak artış göstermektedir. Bu artış özellikle düşük motor devirlerinde daha belirgindir. Etanolün düşük ısıl değerine rağmen kurşunsuz benzine kıyasla daha yüksek motor momentini ve efektif güç sağlaması efektif verimin artmasına katkıda bulunmaktadır. E0 yakıtıyla karşılaştırıldığında 1500-5000 d/d motor devri aralığında ortalama olarak efektif verimde en yüksek artış %2,38 ile E60 yakıtında görülmektedir. 1500-3000 d/d motor devri aralığında bu artış ortalama %4,95 olarak gerçekleşmektedir.

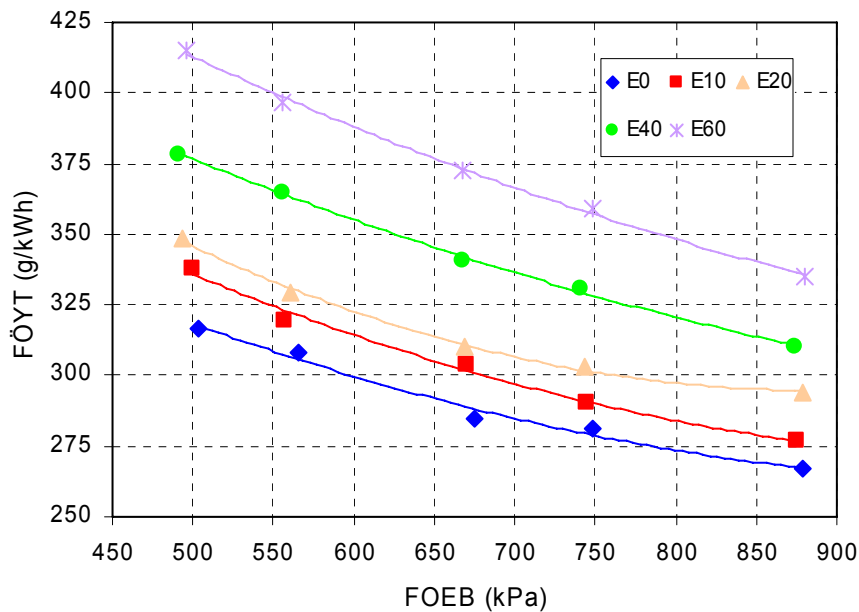


Şekil 4.3. Motor devrine bağlı olarak efektif verimin değişimi (Sıkıştırma oranı: 9/1, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

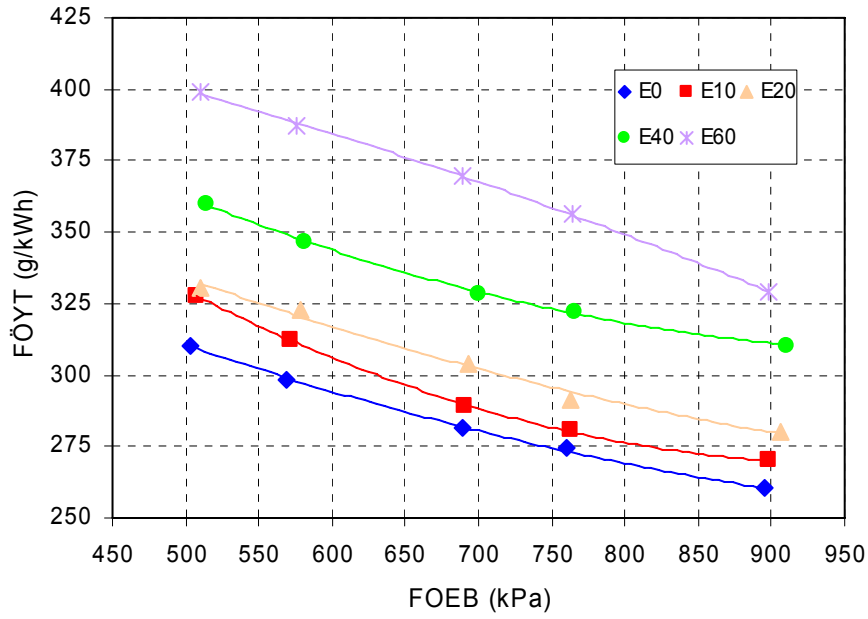
4.4. Kısmi Yükte FÖYT ve Efektif Verim

Buji ile ateşlemeli motorlarda kısmi yüklerdeki gerçek sıkıştırma oranı geometrik sıkıştırma oranından daha düşüktür. Motor performansı ve verimi açısından önemli bir parametre olan sıkıştırma oranının gaz kelebeği açıklığına bağlı olarak değişmesi kısmi yüklerde motor veriminin azalmasına sebep olmaktadır [90]. Stokiyometrik hava/yakıt oranında, 9:1 sıkıştırma oranında ve maksimum motor momentini veren ateşleme zamanında motor yüküne bağlı olarak 2000 d/d motor devrinde yapılan deneylerde, elde edilen Fren Özgöl Yakıt Tüketimi (FÖYT) eğrileri Şekil 4.4'te, 10:1 sıkıştırma oranında elde edilen eğriler Şekil 4.5'te görülmektedir. Şekil 4.6'da 9:1,

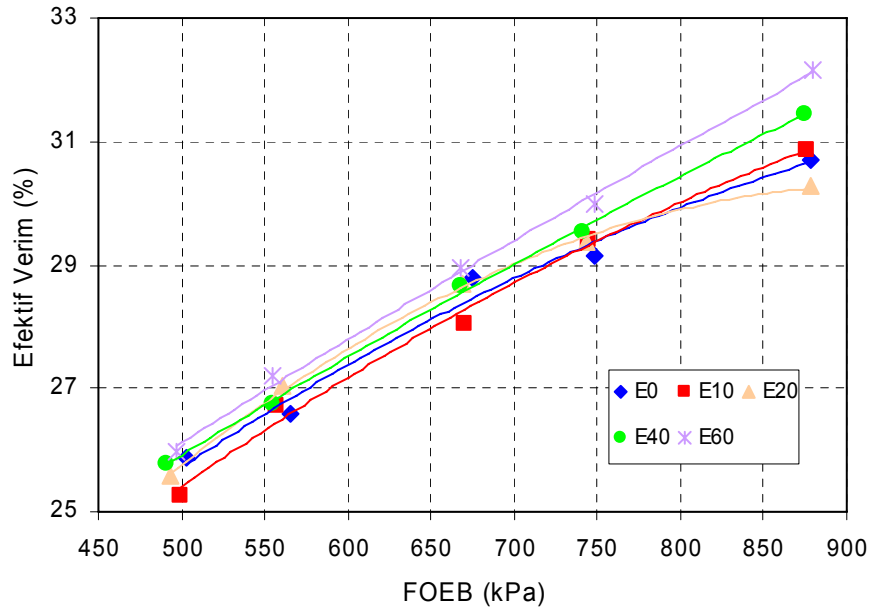
Şekil 4.7’de 10:1 sıkıştırma oranında efektif verimin motor yüküne bağlı olarak değişimi yer almaktadır. Kısmi gaz kelebek açıklıklarında FÖYT tüm yakıtlarda artmakta ve efektif verim azalmaktadır. Etanolün düşük alt ısı değere sahip olması FÖYT’nin karışımdaki etanol miktarlarına bağlı olarak artış göstermesine neden olmaktadır. Sıkıştırma oranının 10:1 arttırılmasıyla FOEB’de görülen artış yakıt ekonomisinin gelişmesini sağlamaktadır. Kurşunsuz benzinde FÖYT, ortalama %2,25 azalırken, E60 yakıtında %1,9 olarak gerçekleşmiştir. Test yakıtlarından yüksek oranda etanol içeren karışımlarda efektif verimin daha yüksek olduğu Şekil 4.6 ve 4.7’de görülmektedir. Kurşunsuz benzinle karşılaştırıldığında efektif verimde 10:1 sıkıştırma oranında ortalama olarak E10 yakıtında %0,34, E20 yakıtında %1,24, E40 yakıtında %2,21, E60 yakıtında %1,83 artış olduğu belirlenmiştir.



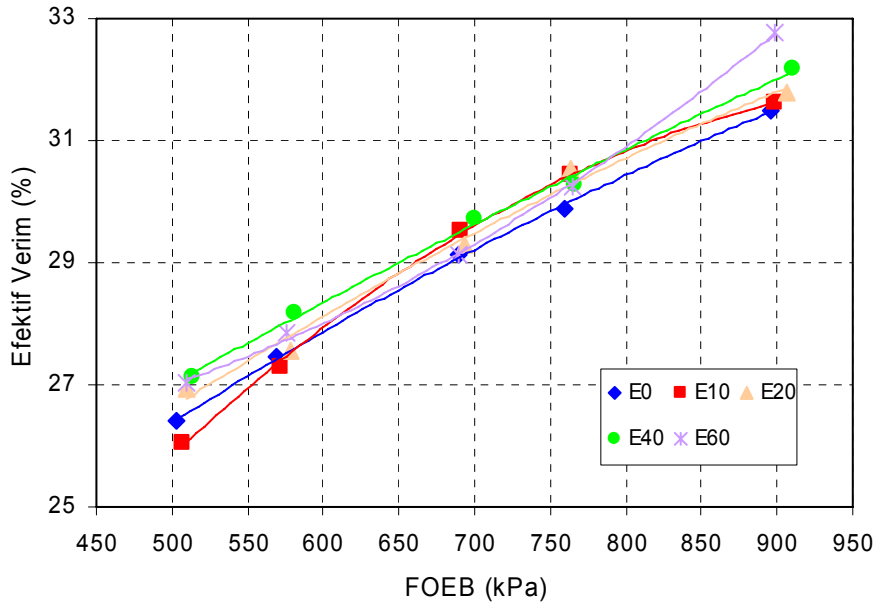
Şekil 4.4. Motor yüküne bağlı olarak FÖYT’nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 9/1, Motor Devri: 2000 d/d, λ : 1, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)



Şekil 4.5. Motor yüküne bağlı olarak FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor Devri: 2000 d/d, λ : 1, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)



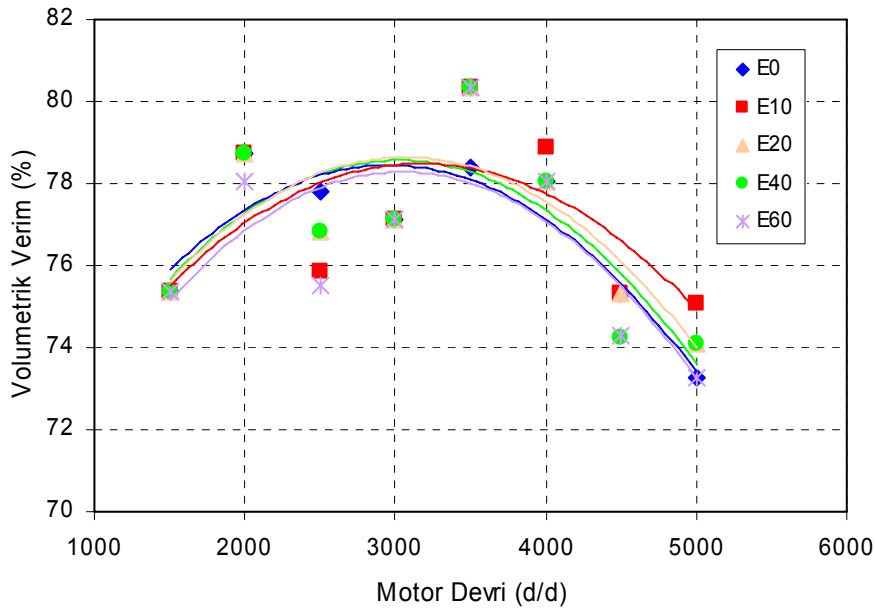
Şekil 4.6. Motor yüküne bağlı olarak efektif verimin değişimi (Sıkıştırma oranı: 9/1, Motor Devri: 2000 d/d, λ : 1, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)



Şekil 4.7. Motor yüküne bağlı olarak efektif verimin değişimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor Devri: 2000 d/d, λ : 1, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

4.5. Volumetrik Verim

Şekil 4.8’de motor devrine bağlı olarak volumetrik verimin değişimi görülmektedir. Alkollerin yüksek buharlaşma ısısına sahip olma özelliği, volumetrik verimde artış sağlamakta ve motor gücünü olumlu yönde etkilemektedir. Deneysel çalışmada hassas bir şekilde hava tüketiminin ve volumetrik verimin belirlenmesi için düşük motor devirlerinde küçük çaptaki ventüri, yüksek motor devirlerinde ise; bir üst çaptaki ventüri hava akışmetresinde kullanılmıştır. Ancak volumetrik verimde, karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak bir değişim görülemedi. Elde edilen verimlerin tüm karışımlarda yaklaşık aynı değerlerde olduğu görülmüştür. Yakıt enjeksiyon sistemine sahip olan deney motorunda yakıt, emme supabının hemen arkasına emme zamanında püskürtüldüğünden emme havası sıcaklığının değişmesine imkan olmamaktadır.



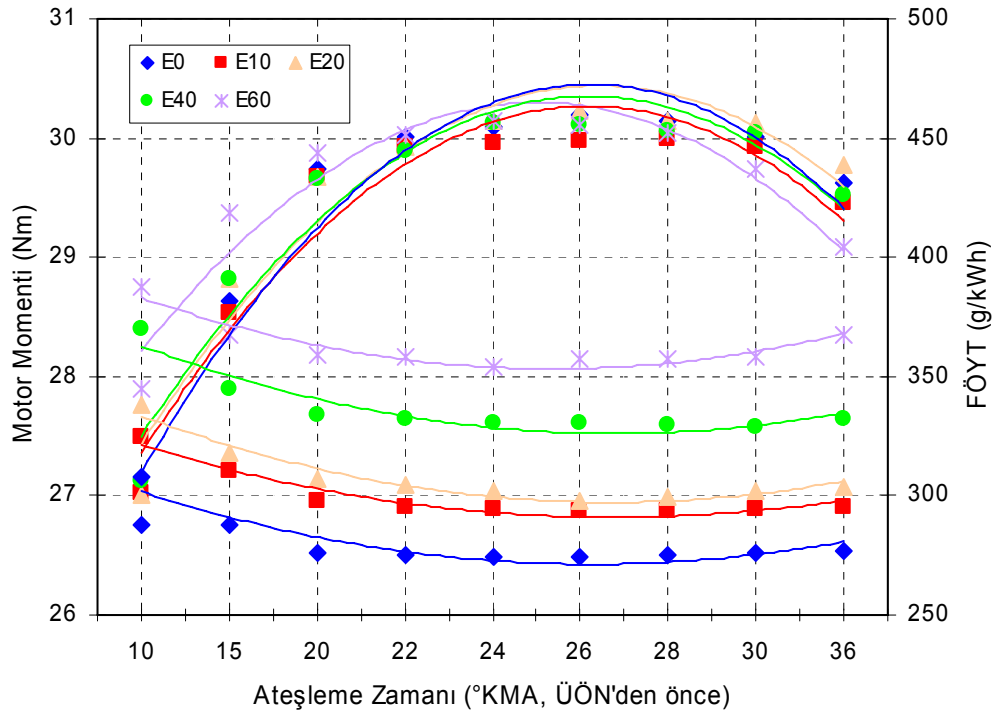
Şekil 4.8. Motor devrine bağlı olarak volumetrik verimin değişimi (Sıkıştırma oranı: 9/1, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

4.6. İşletme Parametrelerinin Motor Performansına Etkisi

4.6.1. Ateşleme zamanı

Ateşleme zamanına bağlı olarak 8/1 sıkıştırma oranında, 2000 d/d motor devrinde motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi Şekil 4.9'da görülmektedir. Maksimum motor momentini E0 yakıtıyla 26° Krank Mili Açısı'nda (KMA) elde edilirken, en yüksek oranda etanol içeren E60 yakıtında 24° KMA'da elde edilmiştir. Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı, E0 yakıtı ve etanol içeren karışımlarda küçük bir değişim göstermiştir. Yakıtlar arasındaki önemli farklılık, maksimum motor momentini veren ateşleme zamanına göre daha düşük ateşleme zamanında görülmektedir. Rötarlı ateşlemede motor momentini, karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak artış göstermiştir. 10° KMA ateşleme zamanında E0'a göre E10 yakıtında motor momentini %0,97, E60 yakıtında motor momentini %4,26 daha iyi sonuç vermektedir. Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanına göre daha yüksek ateşleme zamanlarında, etanol içeren karışımlarla elde edilen motor momentini daha azdır. 36° KMA ateşleme zamanında E0 yakıtı, E10 yakıtından %0,54, E60 yakıtından %1,82 daha yüksek sonuç vermiştir. FÖYT karışımdaki etanol miktarına

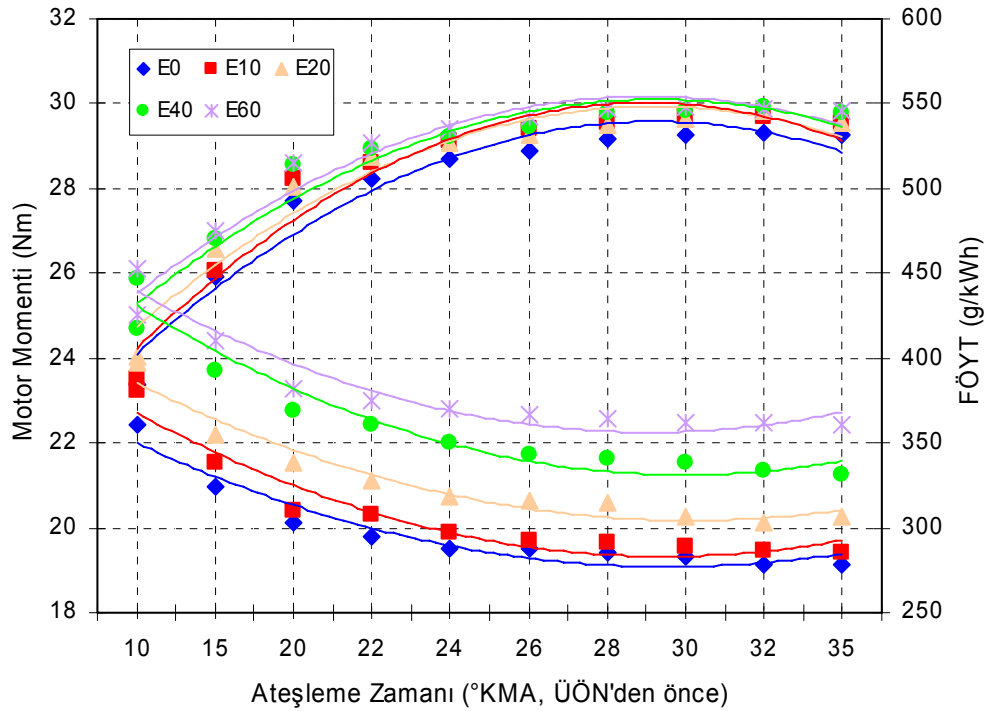
bağlı olarak artış gösterirken, test yakıtlarının tamamında maksimum momenti veren ateşleme zamanında veya biraz daha yüksek avanslarda en düşük değerini almaktadır.



Şekil 4.9. Ateşleme zamanına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 8/1, Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük)

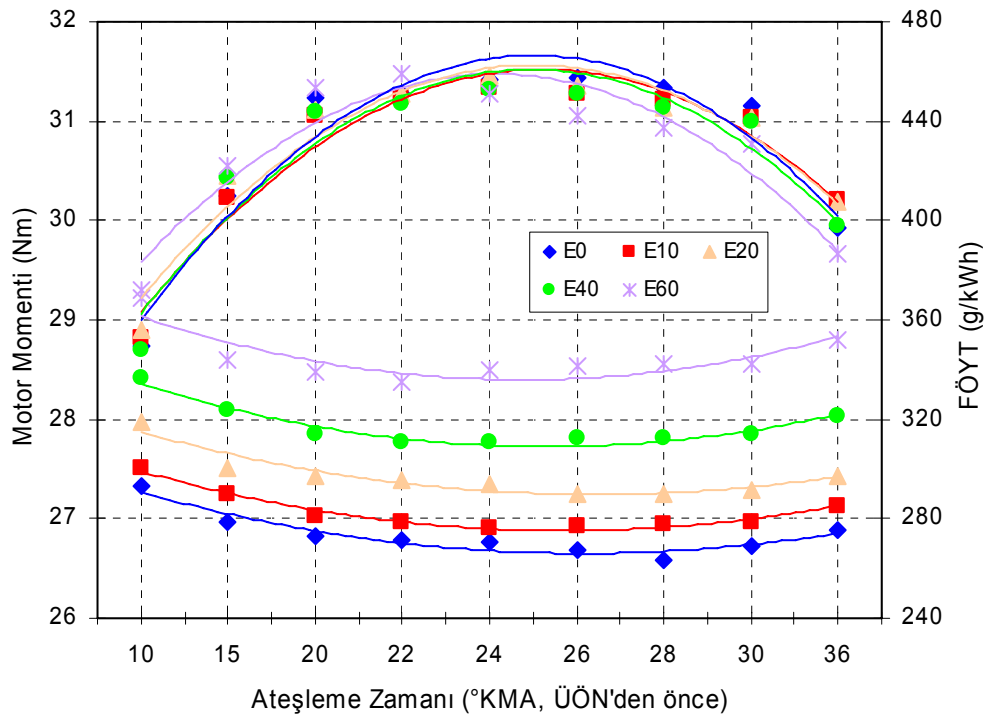
8/1 sıkıştırma oranında ve 3500 d/d motor devrinde ateşleme zamanının motor momentine ve FÖYT'ye etkisi Şekil 4.10'da yer almaktadır. Bu çalışma koşullarında maksimum motor momentini, E0 yakıtıyla 32° Krank Mili Açısı'nda (KMA) elde edilirken, en yüksek oranda etanol içeren E60 yakıtında 30° KMA'da elde edilmiştir. Diğer yakıtlarda ise, 30 veya 32° KMA'da elde edilmiştir. Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanına göre daha düşük ateşleme zamanlarında, etanol içeren karışımlar kurşunsuz benzinden daha iyi sonuç vermektedir. 10° KMA'da E60 yakıtında E0'a göre motor momentini %6,93 artmıştır. Yüksek avanslarda ise; motor momentindeki artış azalmaktadır. 36° KMA'da E60 yakıtında E0 kıyasla motor momentini sadece %1,88 oranında artış göstermiştir. 2000 d/d motor devrinde olduğu gibi FÖYT karışımındaki etanol miktarına bağlı olarak artış göstermektedir. Minimum

FÖYT'nin elde edildiği ateşleme zamanında E0 yakıtına göre, E60 yakıtında %29,54 artış görülmüştür.



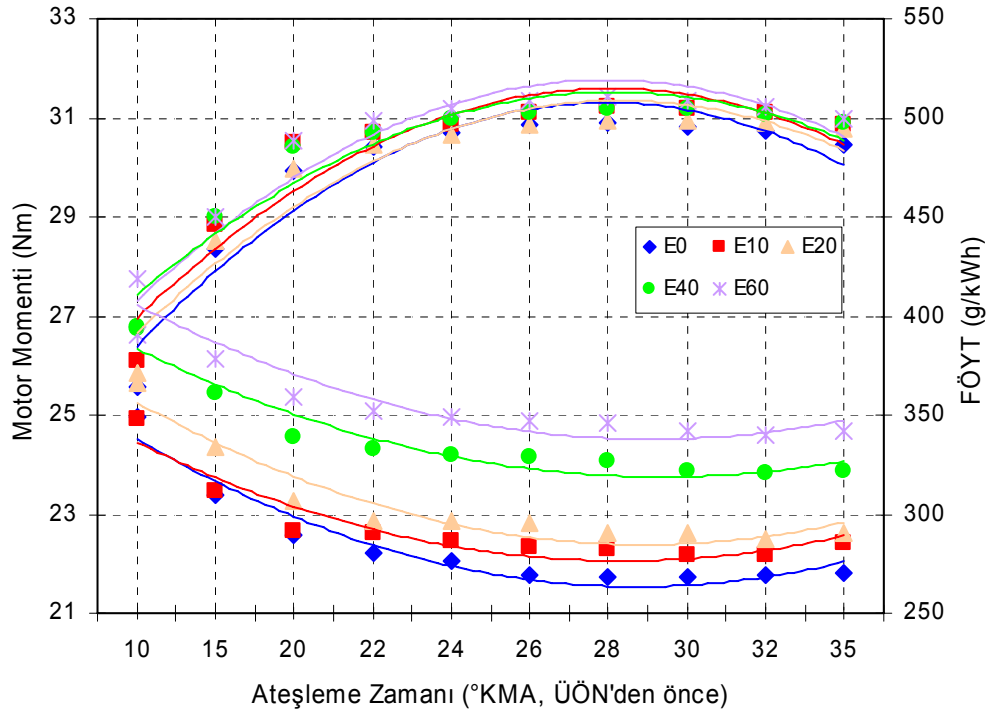
Şekil 4.10. Ateşleme zamanına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 8/1, Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük)

Motor momentinin ve FÖYT, 2000 d/d motor devrinde ve 9/1 sıkıştırma oranında ateşleme zamanına bağlı olarak 8/1 sıkıştırma oranında görülen değişime benzer bir değişim göstermektedir (Şekil 4.11). Maksimum motor momentinin, E0 yakıtıyla 26° Krank Mili Açısı'nda (KMA) elde edilirken, en yüksek oranda etanol içeren E60 yakıtında 22° KMA'da elde edilmiştir. Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanından itibaren ateşleme zamanı rötara alındığında kurşunsuz benzine göre etanol içeren karışımlarda motor momentinin daha iyi değerler vermektedir. 10° KMA ateşleme zamanında E0'a göre E10 yakıtında motor momentinin %0,24, E60 yakıtında motor momentinin %1,95 daha yüksek elde edilmiştir. 36° KMA'da ise, E0 yakıtı, E60 yakıtından %0,91 daha yüksek sonuç vermiştir. FÖYT karışımındaki etanol miktarına bağlı olarak artış göstermektedir. Minimum FÖYT'nin elde edildiği ateşleme zamanında E0 yakıtına göre, E10 yakıtında FÖYT %5, E60 yakıtında ise; %27,2 artış göstermektedir.



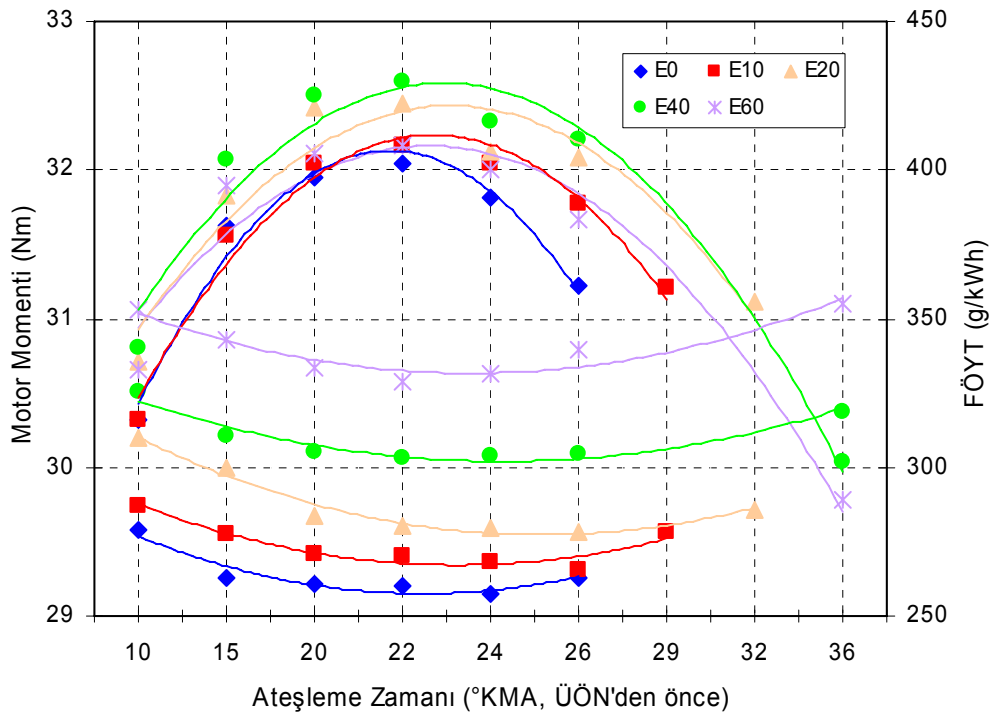
Şekil 4.11. Ateşleme zamanına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 9/1, Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük)

9/1 sıkıştırma oranında, 3500 d/d motor devrinde ve farklı ateşleme zamanlarında motor momentinin ve fren özgül yakıt tüketiminde elde edilen veriler Şekil 4.12'de verilmiştir. Tüm test yakıtlarında maksimum motor momentinin 28° KMA'da elde edilirken, rötarlı ateşlemelerde etanol içeren karışımların performansının daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Motor momentinin, 10° KMA'da E0 yakıtında 25,55 Nm, E10'da 26,08 Nm ve E60 yakıtında ise; 26,6 Nm olduğu görülmüştür. Ayrıca 35° KMA gibi yüksek ateşleme zamanlarında da etanol-kurşunsuz benzin karışımlarının performansı E0'dan daha iyidir (E0 yakıtında motor momentinin 30,47 Nm, E10'da 30,85 ve E60 yakıtında 31 Nm). Ancak motor momentindeki görülen artış rötarlı ateşlemedeki kadar yüksek değildir. FÖYT, motor momentindeki değişime ve özellikle kullanılan yakıtın sahip olduğu ısı değere bağlı olarak değişim göstermektedir. Minimum FÖYT'nin elde edildiği ateşleme zamanında E0 yakıtına göre, E10 yakıtında FÖYT %4,29, E60 yakıtında ise; %26,9 artış göstermektedir.



Şekil 4.12. Ateşleme zamanına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 9/1, Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük)

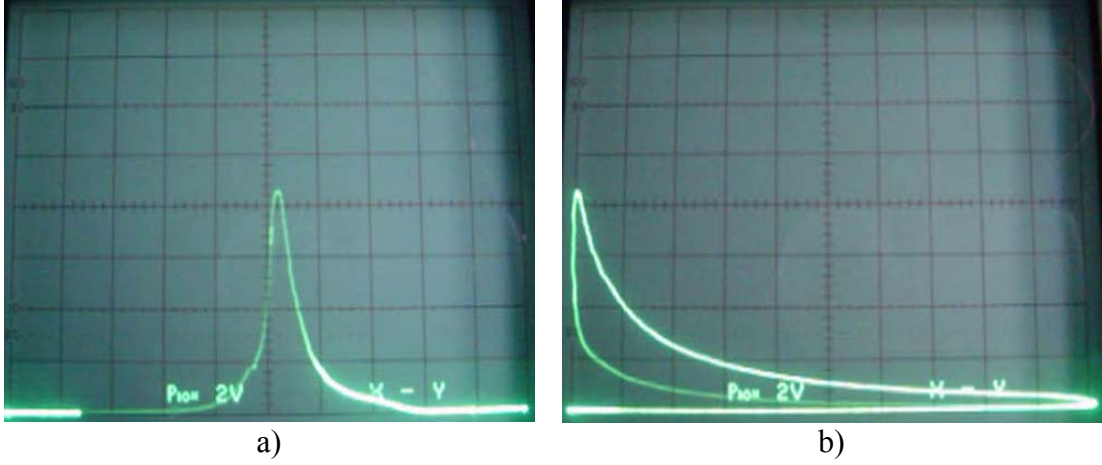
2000 d/d motor devrinde ve 10/1 sıkıştırma oranında incelenen tüm ateşleme zamanlarında etanol içeren karışımlar daha yüksek motor momentini vermiştir (Şekil 4.13). E0 yakıtında 24° KMA ateşleme zamanından itibaren vuruntu kendisini göstermiştir. E40 ve E60 yakıtlarında 36° KMA'ya kadar ateşleme zamanı artırılrsa da vuruntu oluşmamıştır. Kurşunsuz benzine kıyasla etanolün daha yüksek oktan sayısına sahip olması karışımlarının oktan sayısını ve vuruntu direncini artırmakta, yüksek sıkıştırma oranlarında motorun daha iyi çalışmasını sağlamaktadır. En yüksek motor momentini E40 yakıtının kullanılmasıyla 22° KMA'da 32,6 Nm olarak elde edilmiştir.



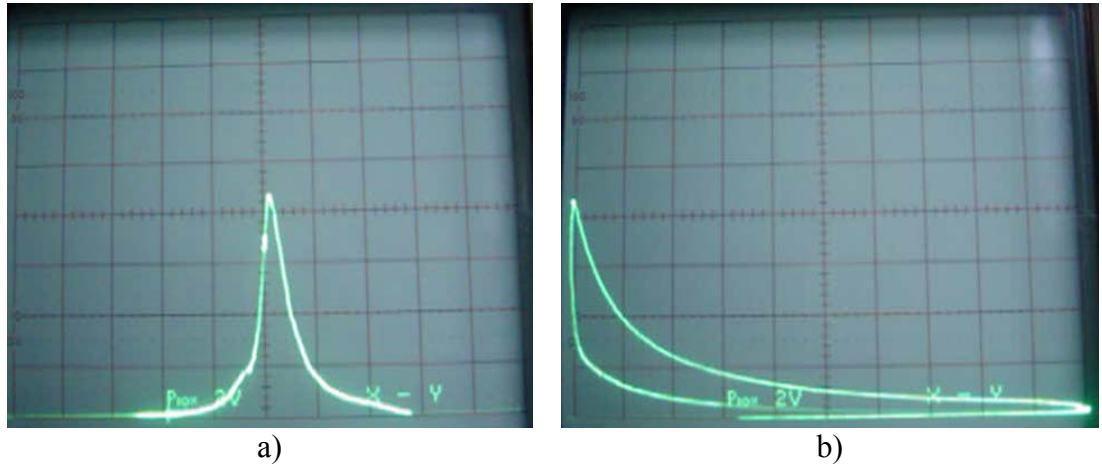
Şekil 4.13. Ateşleme zamanına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük)

En yüksek motor momentinin elde edildiği 22° KMA ateşleme zamanında E0 ve E60 yakıtları kullanımında basınç-krank mili açısı ve basınç-hacim diyagramlarının değişimi Resim 4.1 ve 4.2'de görülmektedir. Basınç-krank mili açısı diyagramında basınç tepe değerine yakın parlak nokta ÜÖN'yi, bu noktanın altındaki parlak nokta da ateşleme zamanını ifade etmektedir. Maksimum basınç piston ÜÖN'yi geçtikten sonra oluşmaktadır. Her iki diyagramda da herhangi bir vuruşu görülmemektedir. Ateşleme zamanının daha da erkene alınması durumunda basıncın arttığı ve ÜÖN'ye yaklaştığı Resim 4.3'te anlaşılmaktadır. Resim 4.3'teki basınç-krank mili açısı ve basınç-hacim diyagramları E60 yakıtı kullanımında ve ateşleme zamanının 36° KMA'ya alınmasıyla elde edilmiştir. Ateşleme zamanının 36° KMA'ya artırılmasına rağmen basınç eğrilerinde herhangi bir vuruşu rastlanmamıştır. E0 yakıtının kullanımında 24° KMA ateşleme zamanından itibaren vuruşunun olduğu görülmüştür. Ateşleme zamanı avansa alındıkça vuruşunun şiddeti de artmaktadır (Resim 4.4). Basınç-krank mili açısı diyagramında vuruşunun daha anlaşılır olması için basınç eğrisinin üst kısmı büyütülerek verilmiştir. Resim 4.5'te 36° KMA

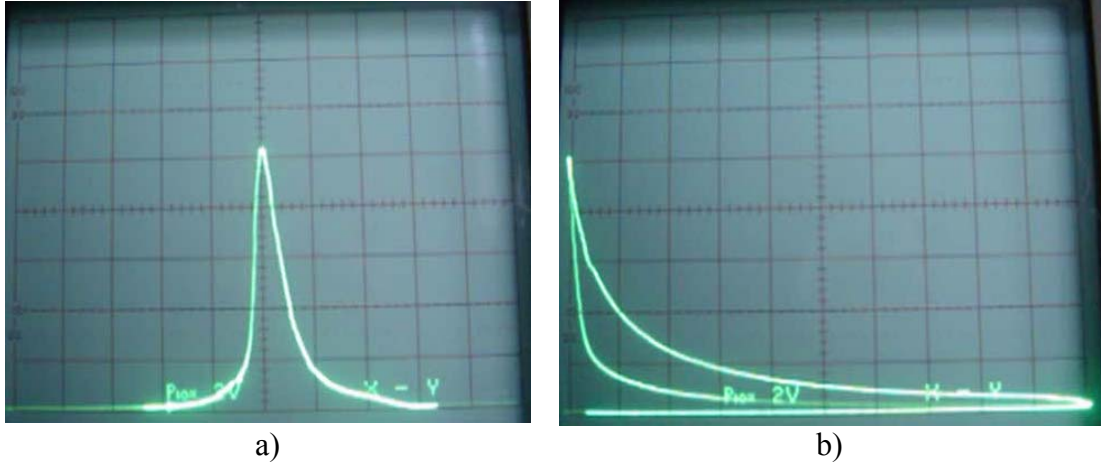
ateşleme zamanında E0 yakıtı kullanımında oluşan vuruntunun basınç-krank mili açısı ve basınç-hacim diyagramlarındaki görüntüsü yer almaktadır.



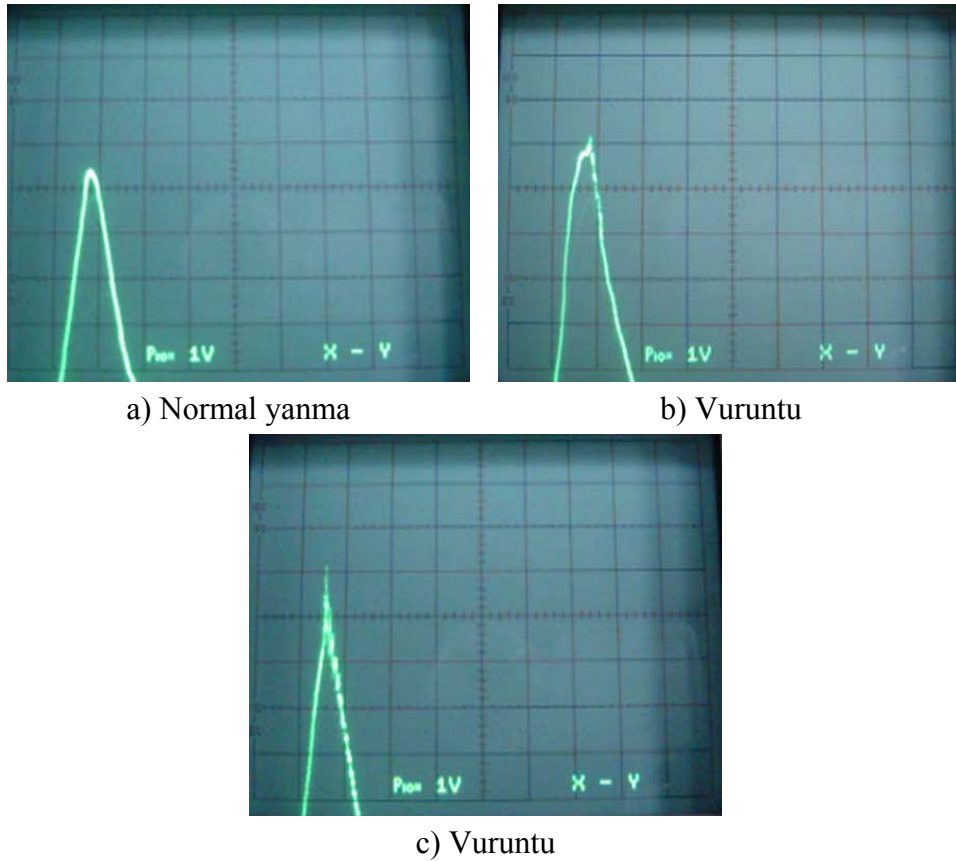
Resim 4.1. E0 yakıtı kullanımında ve 22° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değışimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük, İOEB: 1082,5 kPa, η_e : %31,49) a) Basınç-krank mili açısı diyagramı b) Basınç-hacim diyagramı



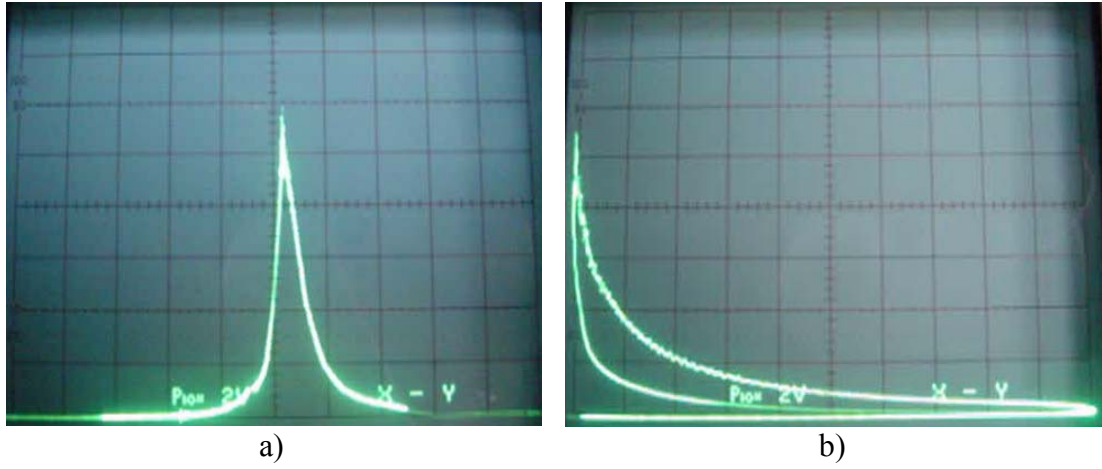
Resim 4.2. E60 yakıtı kullanımında ve 22° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değışimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük, İOEB: 1086,5 kPa η_e : %32,77) a) Basınç-krank mili açısı diyagramı b) Basınç-hacim diyagramı



Resim 4.3. E60 yakıtı kullanımında ve 36° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük, İOEB: 1019,8 kPa η_e : %30,33) a) Basınç-krank mili açısı diyagramı b) Basınç-hacim diyagramı

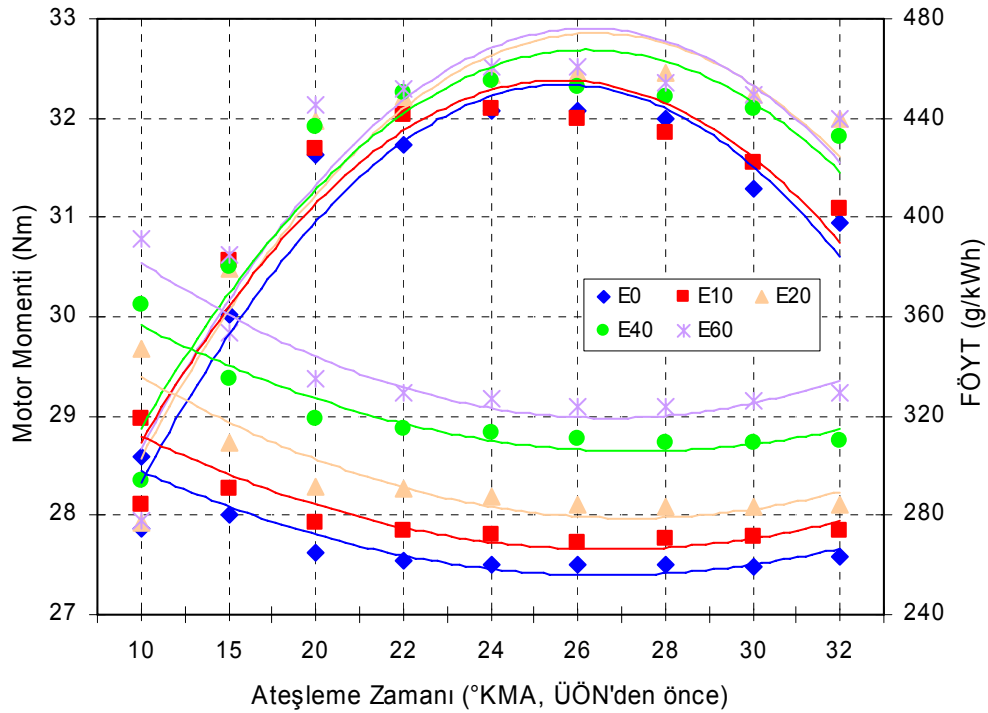


Resim 4.4. E0 yakıtı kullanımında oluşan vuruntunun basınç-krank mili açısı diyagramındaki görüntüsü (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük, Ateşleme Zamanı: a) 22° KMA b) 24° KMA c) 36° KMA ÜÖN'den önce)



Resim 4.5. E0 yakıtı kullanımında ve 36° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük) a) Basınç-krank mili açısı diyagramı b) Basınç-hacim diyagramı

10/1 sıkıştırma oranında ve 3500 d/d motor devrinde en yüksek motor momenti, E60 yakıtıyla elde edilirken (24° KMA'da 32,52 Nm), genel olarak bütün ateşleme aralığında motor momenti etanol içeren yakıtlarda daha yüksek elde edilmiştir (Şekil 4.14). 8/1 ve 9/1 sıkıştırma oranlarında etanol içeren karışımlar düşük ateşleme zamanlarında motor momentinde daha yüksek artış sağlarlarken, 10/1 sıkıştırma oranlarında yüksek ateşleme zamanlarında daha fazla artış göstermişlerdir. Sıkıştırma oranı artırıldıkça motorun avans ihtiyacı azalmakta ve yüksek ateşleme zamanlarında yakıtın vuruntu dayanımı motor performansında etkili olmaktadır. 10° KMA'da E60 yakıtında E0'a göre motor momenti %0,29 daha iyi iken, 32° KMA'da E60 yakıtında kurşunsuz benzine (E0) kıyasla motor momenti %3,43 oranında artış göstermiştir. Ortalama olarak FÖYT, E10 yakıtında kurşunsuz benzine göre %4,27 artarken, E60 yakıtında %25,8 artış göstermiştir.



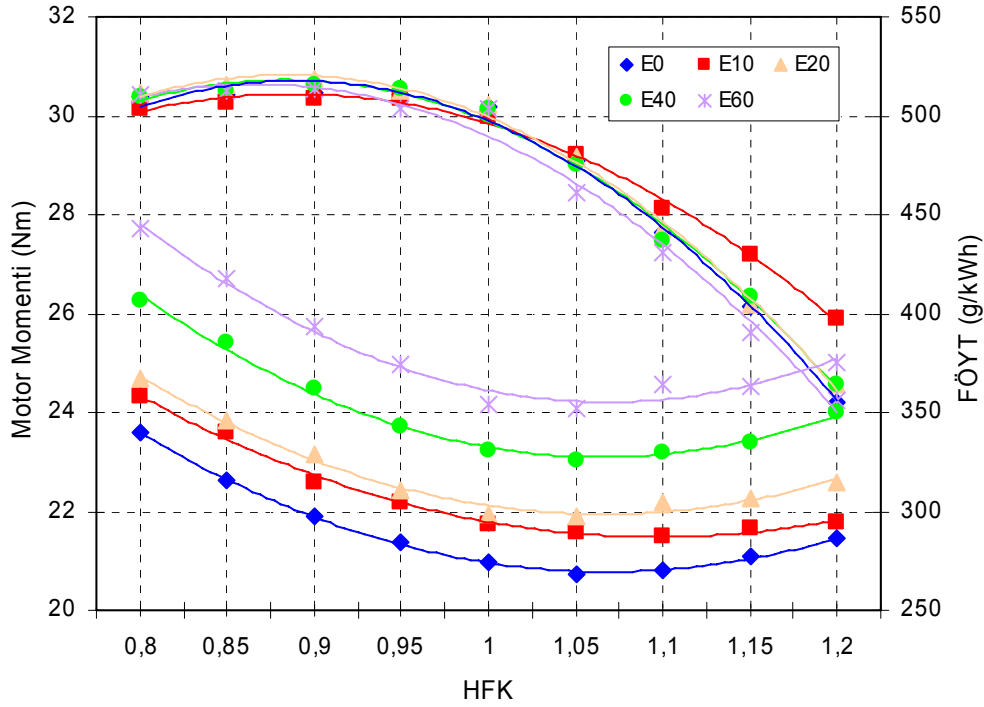
Şekil 4.14. Ateşleme zamanına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük)

4.6.2. Hava fazlalık katsayısı

Yanma hızı, stokiyometrik hava/yakıt oranından (HFK=1) biraz daha zengin bir karışımda (0,9-0,95 HFK) en yüksek değerdedir. Karışım bu orandan itibaren zenginleştikçe ortama giren fazla yakıtın çektiği ısı ve yanma veriminin azalması nedeniyle alev hızı düşmektedir. Karışımın fakirleştirilmesi durumunda faydalı işe dönüşebilecek kimyasal enerji azaldığından alev sıcaklığı ve hızı yine düşmektedir [9, 46].

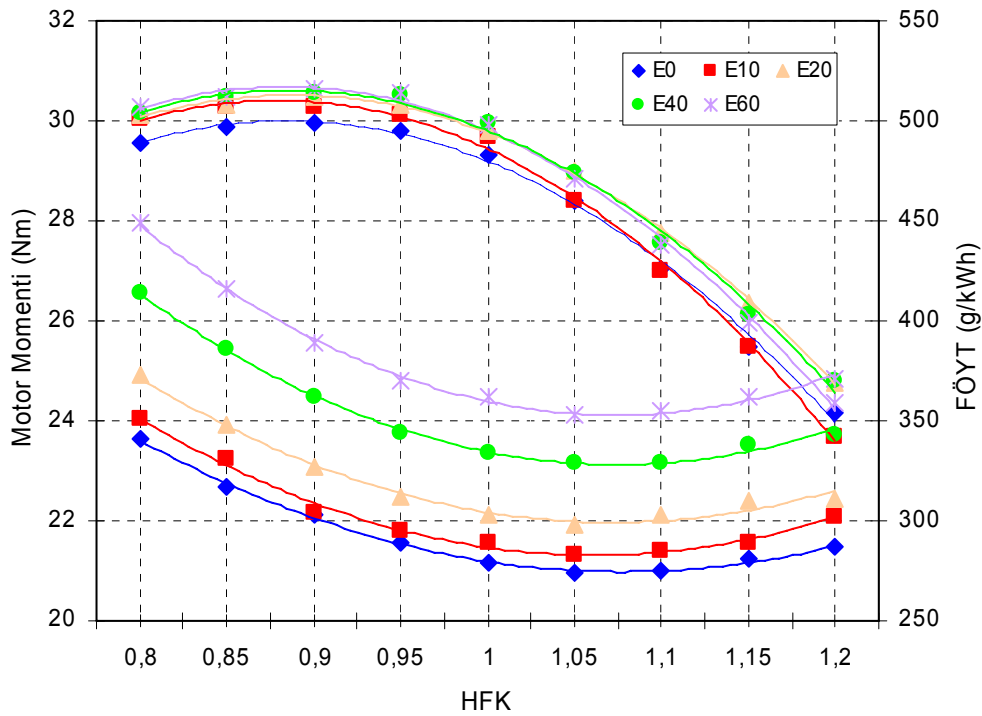
HFK'ye (Hava Fazlalık Katsayısı) bağlı olarak motor momentinde ve FÖYT'de, 8/1 sıkıştırma oranında ve 2000 d/d'de elde edilen grafikler Şekil 4.15'te verilmiştir. Kullanılan tüm yakıtlarda en yüksek motor momentini 0,9 HFK'de, en düşük FÖYT 1,05 veya 1,1'de elde edilmiştir. Kurşunsuz benzin (E0) kullanıldığında motor momentinde HFK'ye bağlı olarak görülen değişim, etanol içeren karışımlarda da aynıdır. Maksimum motor momentinin görüldüğü 0,9 HFK'de E0'a göre motor momentinde en yüksek artış E20 yakıtıyla (%0,82) elde edilmiştir. Yakıt tüketimi

yakıtın ısıl değerine ve HFK'ye bağlı bir değişim gösterirken, ortalama olarak E10 yakıtında yalnızca benzine (E0) göre FÖYT %6,16, E60 yakıtında %31,62 artmaktadır.



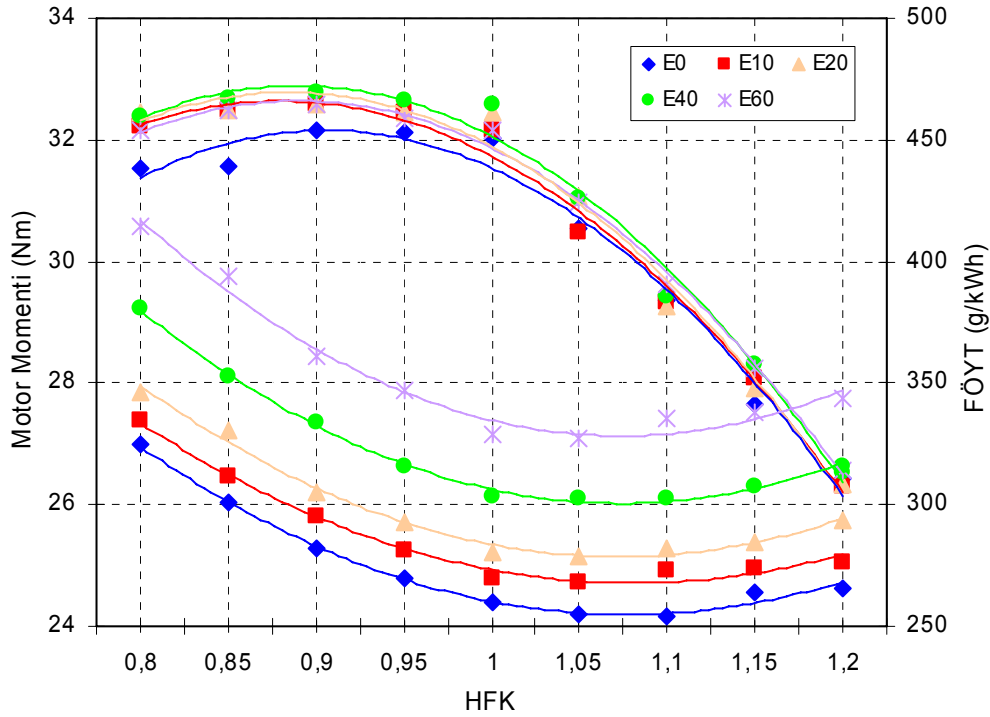
Şekil 4.15. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 8/1, Motor devri: 2000 d/d, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

8/1 sıkıştırma oranında ve 3500 d/d motor devrinde HFK'nin motor momentini ve FÖYT'ye etkisi Şekil 4.16'da görülmektedir. Kullanılan tüm yakıtlarda en yüksek motor momentini 0,9 HFK'de, en düşük FÖYT 1,05 veya 1,1'de elde edilmiştir. HFK'nin motor momentini ve FÖYT'ye etkisi, tüm test yakıtlarında benzer bir değişim göstermektedir. Stokiyometrik hava/yakıt oranından daha zengin karışımlarda E0'a göre motor momentinde ortalama olarak en iyi gelişme E60 yakıtının kullanılmasıyla (%2,3) sağlanmıştır. Aynı yakıtle fakir bölgedeki artış ortalama %1,5 olarak gerçekleşmiştir. Yakıt tüketimi kullanılan yakıtın ısıl değerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Ortalama olarak E10 yakıtının kullanılmasıyla benzine oranla FÖYT %3,23, E60 ile ortalama %29,54 artmaktadır.



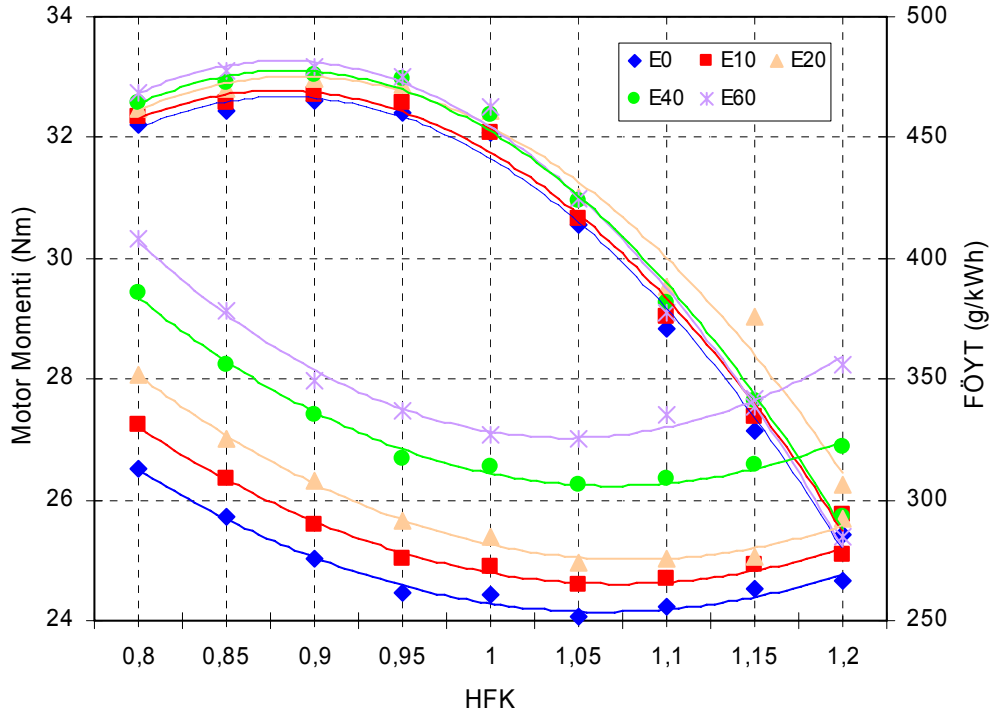
Şekil 4.16. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 8/1, Motor devri: 3500 d/d, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

HFK'ye bağlı olarak motor momentini ve FÖYT'nin 10/1 sıkıştırma oranında ve 2000 d/d motor devrindeki değişimi Şekil 4.17'de yer almaktadır. Stokiyometrik hava/yakıt oranından daha zengin bölgede etanol içeren karışımlarla elde edilen motor momentini sadece kurşunsuz benzin kullanımında görülen momentten daha yüksektir. Bu farklılık hava/yakıt oranının fakir bölgeye ilerlemesiyle azalmaktadır. Zengin bölgede motor momentinde ortalama olarak en yüksek artış etanol-kurşunsuz benzin karışımlarından E40 ile %2,46 olarak elde edilmiştir. Aynı yakıtle fakir bölgede ortalama artış ise; %1,16 olarak gerçekleşmiştir. HFK'nin 1'den büyük olduğu bölgede motor momentinde ortalama olarak en yüksek artış E60 (%1,29) ile sağlamıştır. FÖYT tüm yakıtlarda HFK'nin 1,05 veya 1,1 olduğu noktalarda minimum değerini almakta ve karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak artmaktadır. E0 ile karşılaştırıldığında ortalama olarak E10'da %4,4, E60 yakıtında %28,82 artış görülmüştür.



Şekil 4.17. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor devri: 2000 d/d, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

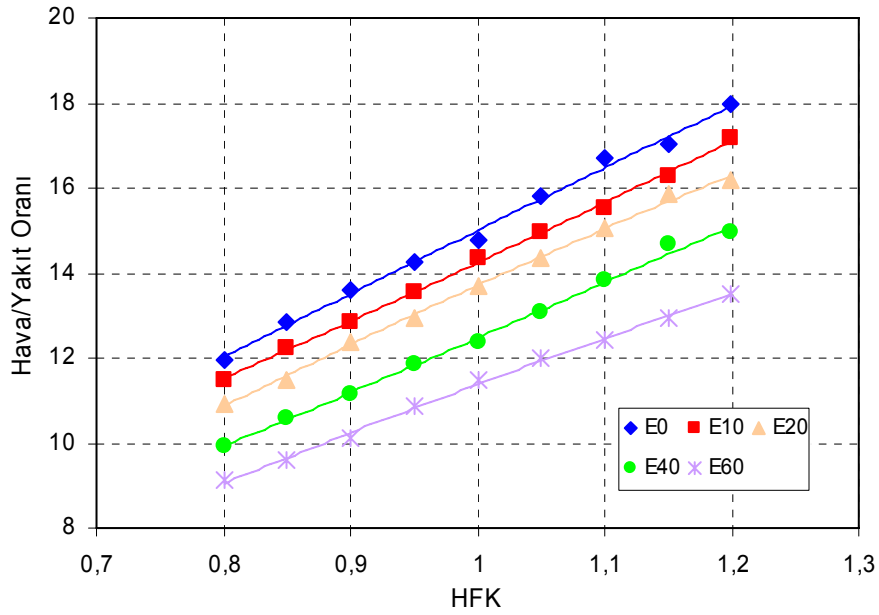
Şekil 4.18'de 10/1 sıkıştırma oranında ve 3500 d/d motor devrinde HFK'nin motor momentini ve FÖYT'ye etkisi görülmektedir. Stokiyometrik hava/yakıt oranından daha zengin ve daha fakir bölgede etanol içeren karışımlarla elde edilen motor momentini sadece kurşunsuz benzin kullanımında görülen momentten daha yüksektir. Stokiyometrik hava/yakıt oranından daha zengin karışımlarda E0'a göre motor momentini en fazla E60 yakıtının kullanılmasıyla ortalama %1,83 artarken, fakir bölgede bu artış aynı yakıtla ortalama %0,92 olarak gerçekleşmiştir. Fakir hava/yakıt oranlarında motor momentinde kurşunsuz benzine (E0) göre en iyi gelişme %3,53 ile E20 yakıtında görülmüştür. FÖYT tüm yakıtlarda HFK'nin 1,05 olduğu noktada minimum değerini almakta ve karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak artmaktadır. E0 ile karşılaştırıldığında ortalama olarak E10'da %4,9, E60 yakıtında %29,48 artış görülmüştür.



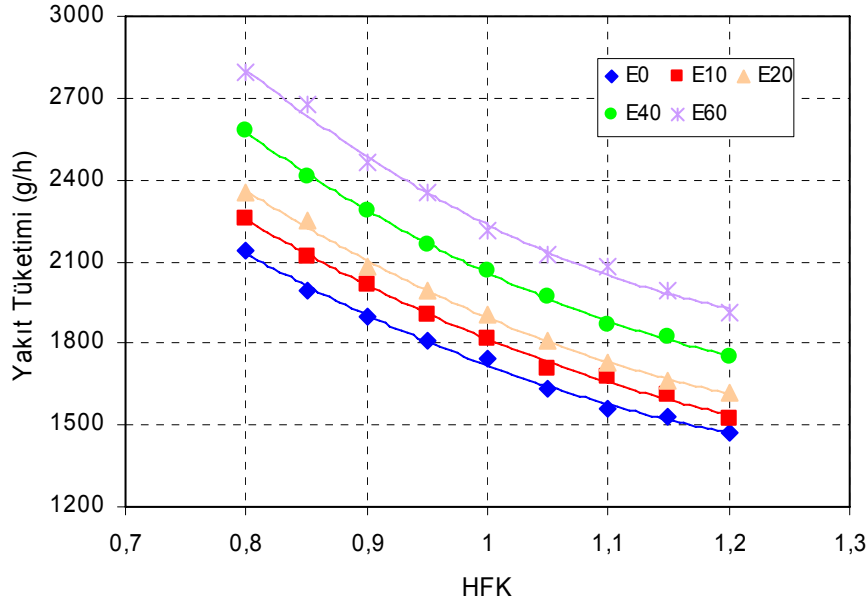
Şekil 4.18. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor devri: 3500 d/d, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

Etanolün ısı değeri ve stokiometrik hava/yakıt oranının benzinden az olması, etanol-benzin karışımlarının da alt ısı değeri ve stokiometrik hava/yakıt oranının azalması önemli bir etkisi olmaktadır. Şekil 4.19'da 10/1 sıkıştırma oranında ve 2000 d/d motor devrinde elde edilen hava/yakıt oranının HFK'ye bağlı olarak değişimi verilmiştir. Hava/yakıt oranı, karışımdaki etanol miktarının etkisiyle azalmaktadır. Şekil 2.8'de (Bkz.) yakıt enjeksiyon sistemine sahip bir aracın E85 yakıtıyla çalışabilecek hale dönüştürülebilmesi için yapılan çalışmada kullanılan enjektörlerin enjektör pals genişliğine karşılık püskürtülen kütle miktarlarının karşılaştırılması yer almaktadır. Mevcut elektronik kontrol ünitesi kullanıldığında E85 için benzine göre yaklaşık %37 daha fazla yakıt sağlayacak yüksek akışlı enjektörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürdeki bu çalışmaya benzer sonuçlar gerçekleştirilen deneysel çalışmada da görülmüştür. Deneylerde motorun tükettiği hava miktarında dikkate değer bir değişim görülmezken, test edilen etanol-kurşunsuz benzin karışımının stokiometrik hava/yakıt oranına bağlı olarak enjektörün açık kalma süresi arttırılmıştır. 10/1 sıkıştırma oranında ve 2000 d/d motor devrindeki

yakıt tüketiminin HFK'ye bağılı olarak değişimi Şekil 4.20'de yer almaktadır. Yakıt tüketimi karışımdaki etanol yüzdesine bağılı olarak artmaktadır. Stokiyometrik hava/yakıt oranında kurşunsuz benzine kıyasla E20 yakıtında yakıt tüketiminde yaklaşık %9, E60 yakıtında %27 artış görülmüştür.



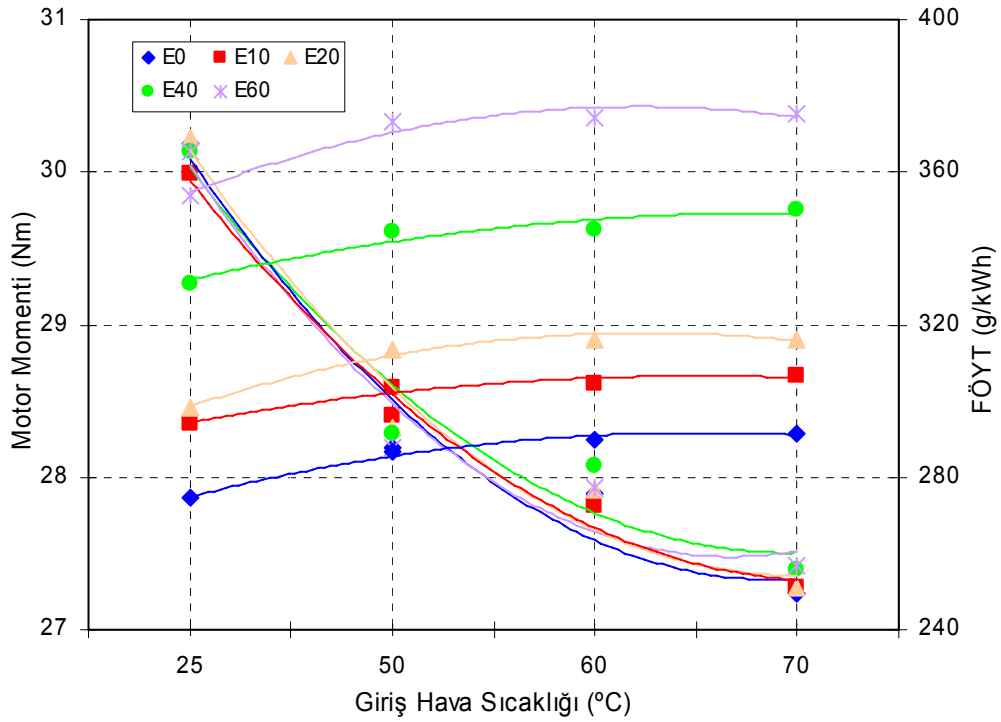
Şekil 4.19. Hava/yakıt oranının hava fazlalık katsayısına (HFK) bağılı olarak değişimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor devri: 2000 d/d, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)



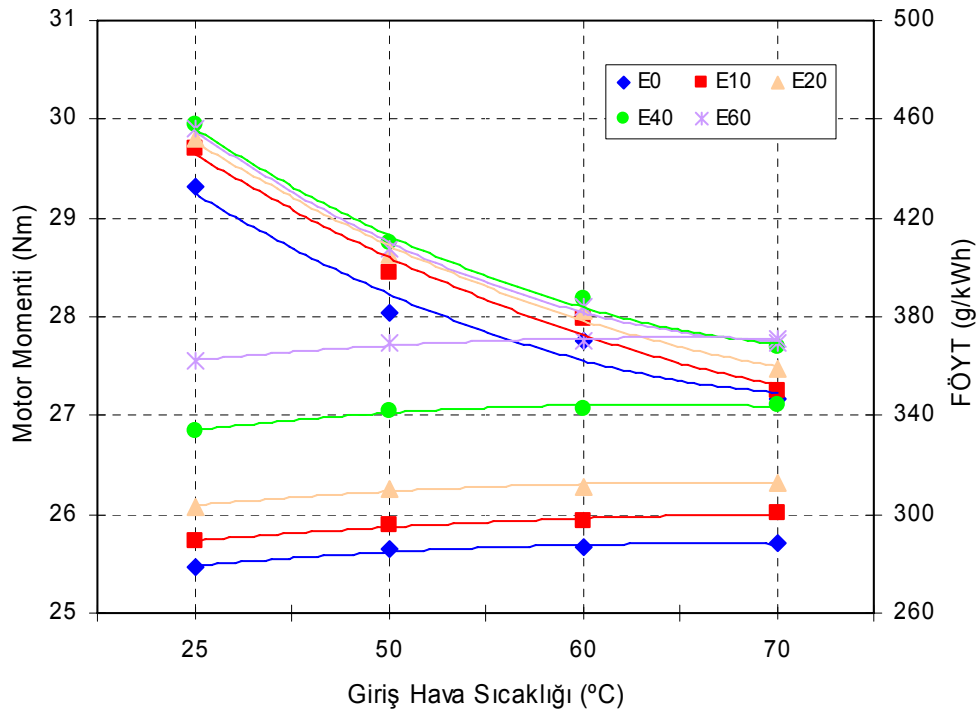
Şekil 4.20. Yakıt tüketiminin hava fazlalık katsayısına (HFK) bağlı olarak değişimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor devri: 2000 d/d, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

4.6.3. Giriş hava sıcaklığı

Silindir içerisine alınan havanın sıcaklığı, motor performansını belirleyen önemli bir parametredir. Giriş hava sıcaklığı, motorun tükettiği hava miktarını ve buna bağlı olarak volumetrik verimi etkilemektedir. Motor momentinin ve FÖYT'nin 8/1 sıkıştırma oranında giriş hava sıcaklığına göre 2000 d/d motor devrindeki değişimi Şekil 4.21'de, 3500 d/d'deki değişimi ise; Şekil 4.22'de görülmektedir. Giriş hava sıcaklığının artması her iki motor devrinde ve kullanılan tüm yakıtlarda motor momentinde azalmaya neden olmakta ve buna bağlı olarak FÖYT artmaktadır. 2000 d/d motor devrinde giriş hava sıcaklığının artmasıyla motor momentinde görülen en büyük azalma 70 °C'de E0 yakıtıyla %9,8'dir. E40 ve E60 yakıtlarında ise; %9'luk bir azalma olduğu anlaşılmaktadır. FÖYT tüm test yakıtlarında ortalama %5,72 artış göstermektedir. 3500 d/d motor devrinde de motor momentinde ve FÖYT'de benzer bir değişim elde edilmiştir. 70 °C'de motor momenti en yüksek E60 yakıtıyla (27,73 Nm) elde edilirken; FÖYT'de en az artış yine aynı yakıtta (%2,56) görülmektedir.

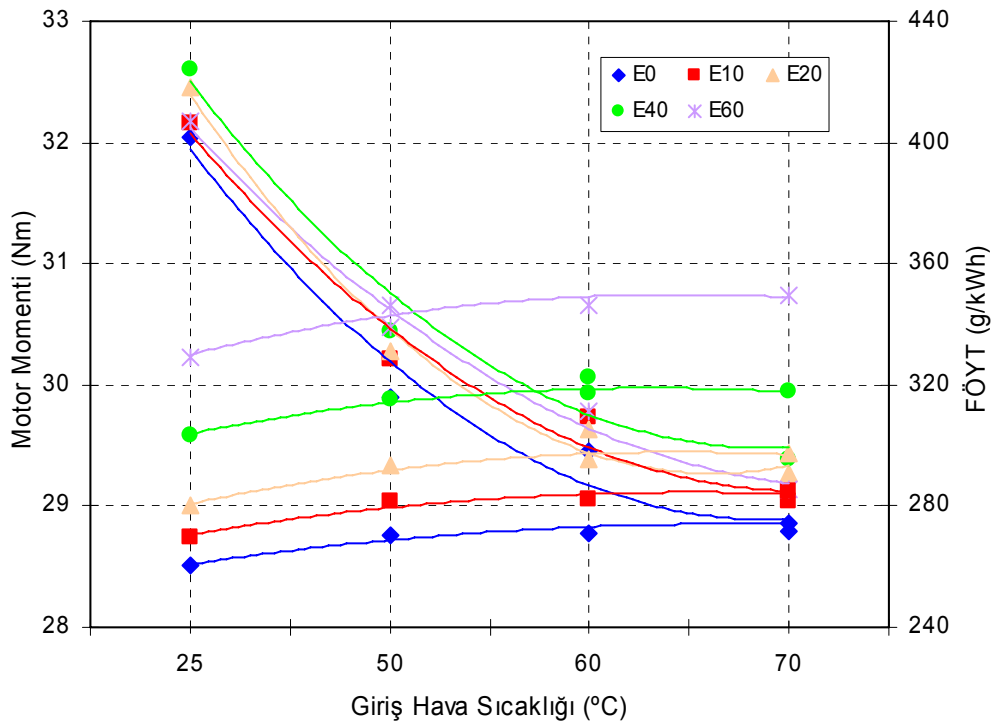


Şekil 4.21. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 8/1, Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

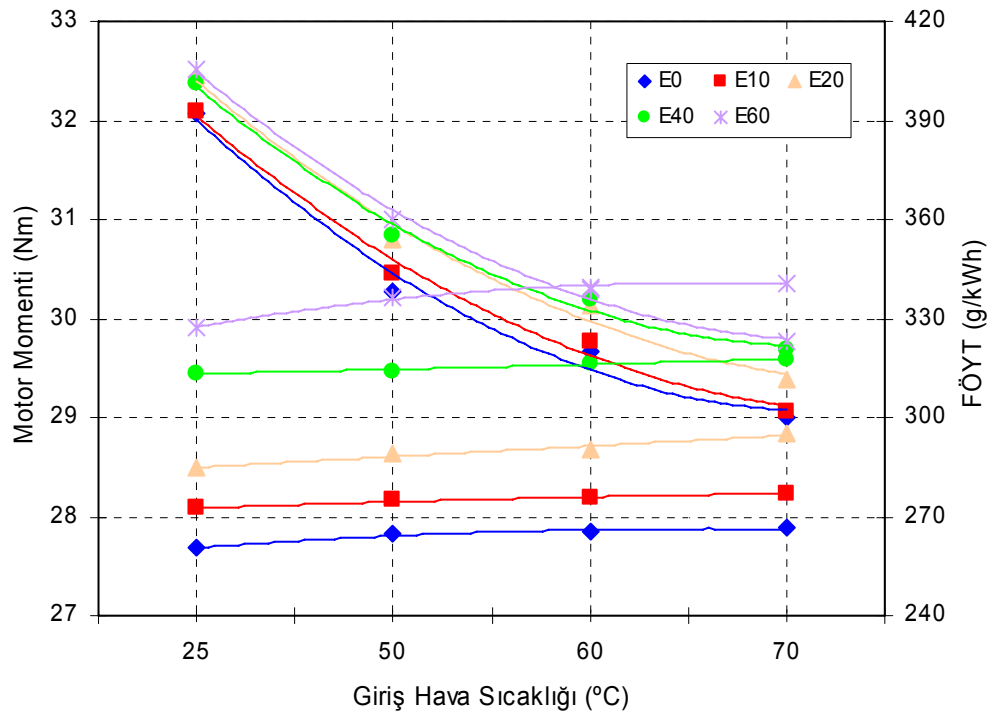


Şekil 4.22. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 8/1, Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

10/1 sıkıştırma oranında giriş hava sıcaklığının motor momentini ve FÖYT'ye 2000 d/d motor devrindeki etkisi Şekil 4.23'te, 3500 d/d'deki etkisi ise; Şekil 4.24'te görülmektedir. Giriş hava sıcaklığının artmasıyla 8/1 sıkıştırma oranında elde edilen değişime benzer bir etki motor momentini ve FÖYT'de görülmektedir. Her iki motor devrinde ve kullanılan tüm yakıtlarda artan giriş sıcaklığına bağlı olarak motor momentini azalmakta ve FÖYT artmaktadır. 2000 d/d motor devrinde giriş hava sıcaklığının artmasıyla motor momentinde görülen en büyük azalma 70 °C'de E0 yakıtıyla %10,11'dir. Aynı sıcaklıkta motor momentinde görülen en düşük azalma E60 yakıtında %9,42'dir. FÖYT tüm test yakıtlarında ortalama %5,67 artış göstermektedir. 3500 d/d motor devrinde 70 °C'de motor momentini en yüksek E60 yakıtıyla (27,76 Nm) elde edilirken; FÖYT tüm test yakıtlarında ortalama %2,6 artış göstermiştir.

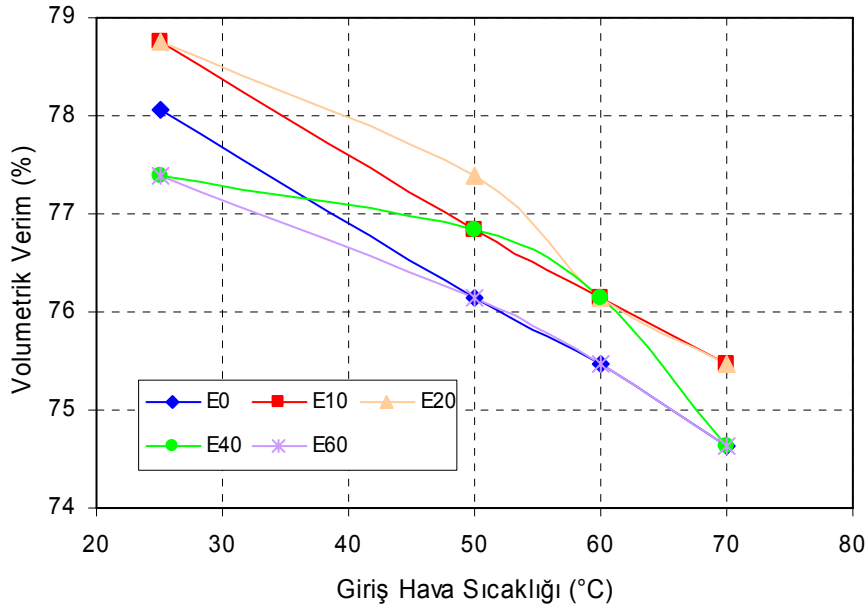


Şekil 4.23. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)



Şekil 4.24. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

10/1 sıkıştırma oranında ve 2000 d/d motor devrinde giriş hava sıcaklığına bağlı olarak volumetrik verimdeki değişim Şekil 4.25'te görülmektedir. Artan emme havası sıcaklığıyla tüm yakıtlarda volumetrik verim düşüş göstermektedir. Deneylerin gerçekleştirildiği motorda yakıtın enjektörden emme supabının hemen arkasına püskürtülüyor olması nedeniyle volumetrik verimdeki azalma, test yakıtlarındaki etanol miktarından bağımsız bir değişim göstermektedir. Volumetrik verim ortalama tüm test yakıtlarında %4,32 azalırken, motor momentinde ortalama %9,78 azalma elde edilmiştir.

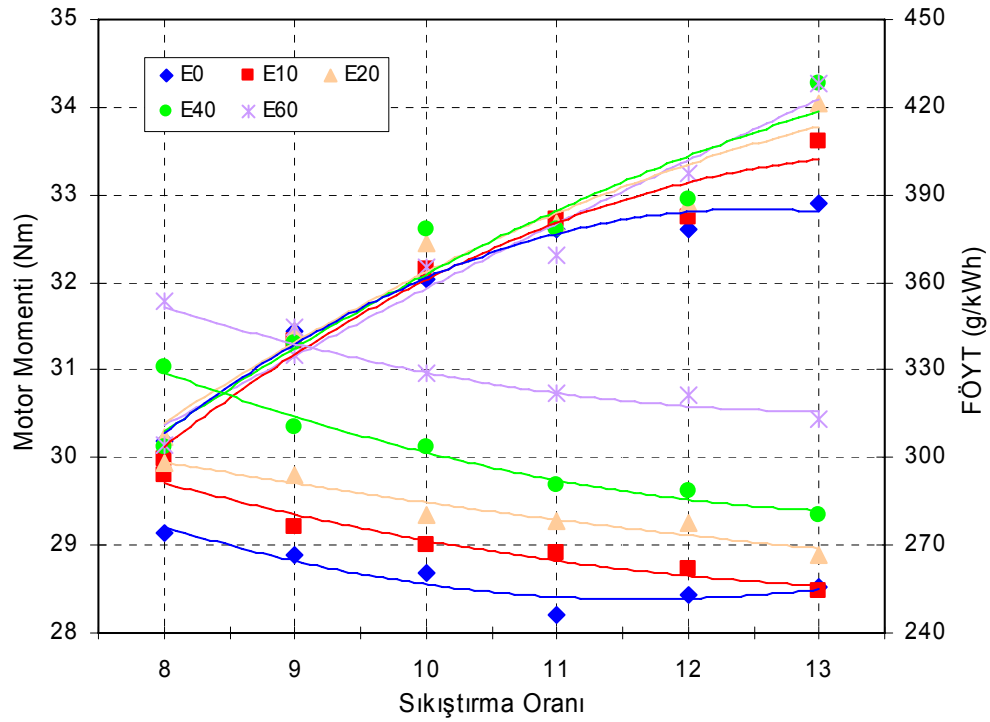


Şekil 4.25. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak volumetrik verimin değişimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

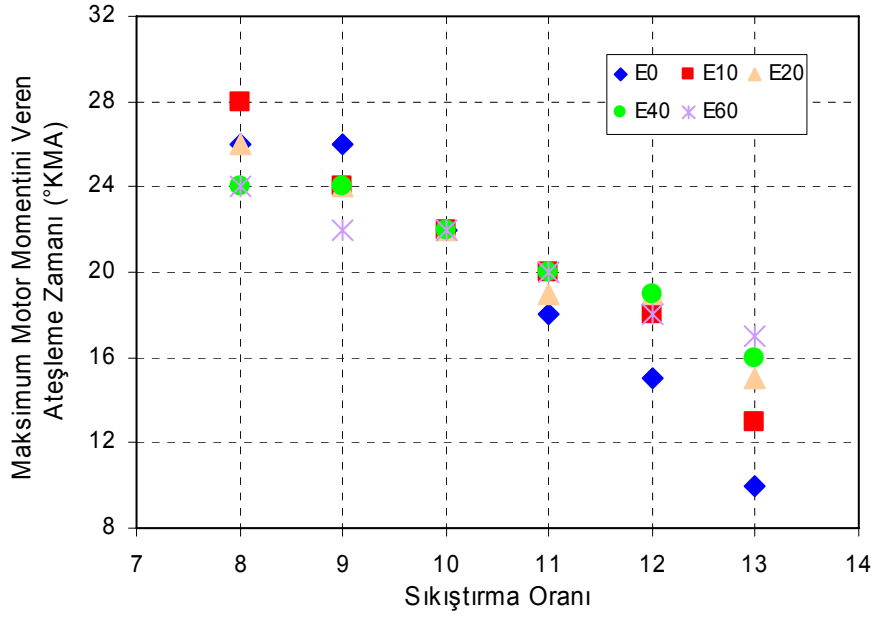
4.6.4. Sıkıştırma oranı

Sıkıştırma oranına bağlı olarak 2000 d/d motor devrinde motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi Şekil 4.26'da yer almaktadır. Sıkıştırma oranının artması, E0 yakıtında 11/1 sıkıştırma oranına kadar motor momentinin artmasını sağlamaktadır. 8/1 sıkıştırma oranına göre, bu noktaya kadar motor momenti %7,98 artmıştır. 11/1 sıkıştırma oranından 13/1 sıkıştırma oranına kadar moment sadece %0,95 artış göstermektedir. 8/1 sıkıştırma oranına göre 13/1 sıkıştırma oranında motor momentinde en yüksek artış E40 ve E60 yakıtlarıyla (yaklaşık %14) elde edilmiştir. Şekil 4.27'de 2000 d/d motor devrinde maksimum motor momentini veren ateşleme zamanının sıkıştırma oranına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Ateşleme zamanı, 8/1, 9/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarında E0 yakıtıyla motor momentinin maksimum değer alabilmesine olanak sağlayacak kadar artırılabilmiştir. Yakıtın oktan sayısı bu sıkıştırma oranlarında yeterli olabilmektedir. Ancak daha yüksek sıkıştırma oranlarında ateşleme zamanını, maksimum motor momenti elde edilinceye kadar artırma imkanı olmamıştır. Bu nedenle deneylerin gerçekleştirildiği motor, yüksek sıkıştırma oranlarında vuruntunun olduğu noktadan hemen önceki ateşleme zamanı

değerinde çalıştırılmıştır. E40 ve E60 yakıtlarının yeterli oktan sayıları, yüksek sıkıştırma oranlarında daha iyi motor performansı için avantaj oluşturmaktadır. 8/1 sıkıştırma oranına göre FÖYT, E0 yakıtında 11/1 sıkıştırma oranında minimum değeri alarak, yaklaşık %10 azalmış, bu sıkıştırma oranından itibaren artış göstermiştir. FÖYT’de en iyi gelişme yaklaşık %15 ile E40 yakıtında görülmüştür.

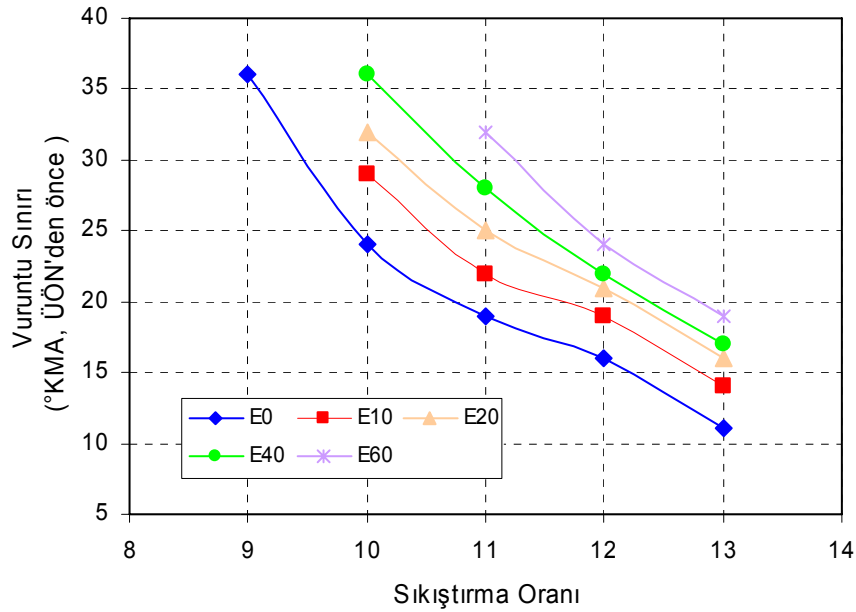


Şekil 4.26. Sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)



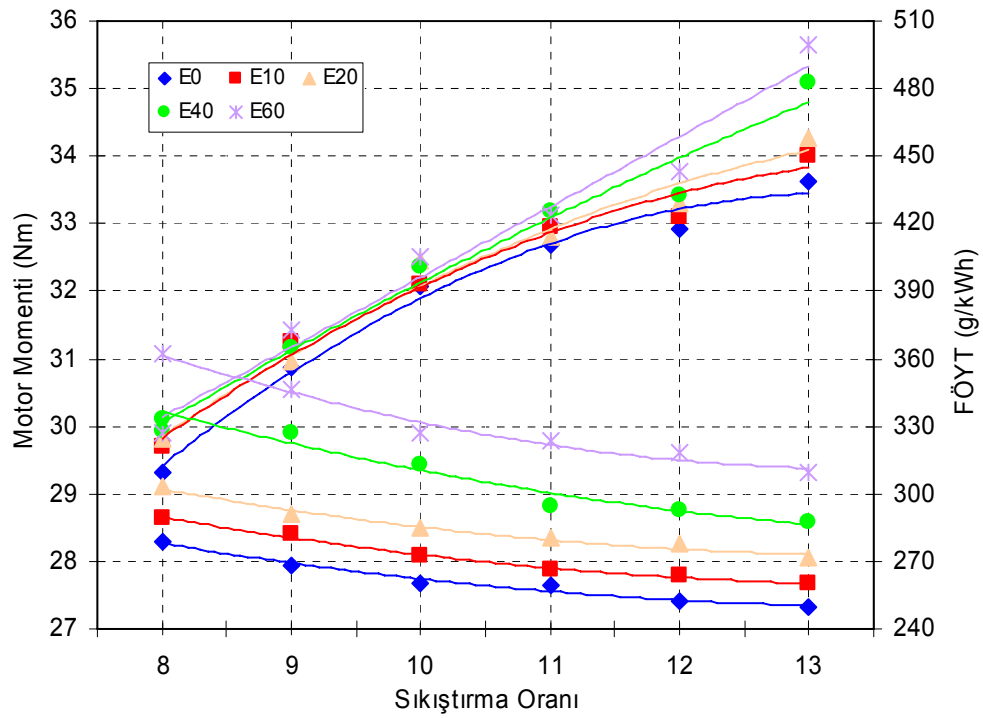
Şekil 4.27. Sıkıştırma oranına bağlı olarak maksimum motor momentini veren ateşleme zamanının değişimi (Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük)

Sıkıştırma oranına bağlı olarak vuruntu oluşumuna neden olan ateşleme zamanının 2000 d/d'de değişimi Şekil 4.28'de görülmektedir. Avans vuruntusu olarak bilinen ve çekiç sesine benzer ses özellikle düşük motor devirlerinde ateşleme zamanının arttırılmasıyla rahatlıkla duyulabilmektedir. Ayrıca bu vuruntu silindir içi basınç değişimini ifade eden osiloskop ekranındaki basınç eğrilerinde de görülebilmektedir. Sıkıştırma oranına bağlı olarak yapılan deneylerde etanol içeren karışımlarda avans vuruntusu kendisini ya göstermemiş ya da E0 yakıtına göre daha yüksek ateşleme zamanlarında oluşmuştur. Etanolün benzine kıyasla daha yüksek oktan sayısına sahip olması oluşturulan karışımların da daha iyi vuruntu dayanımına sahip olmalarını sağlamaktadır.

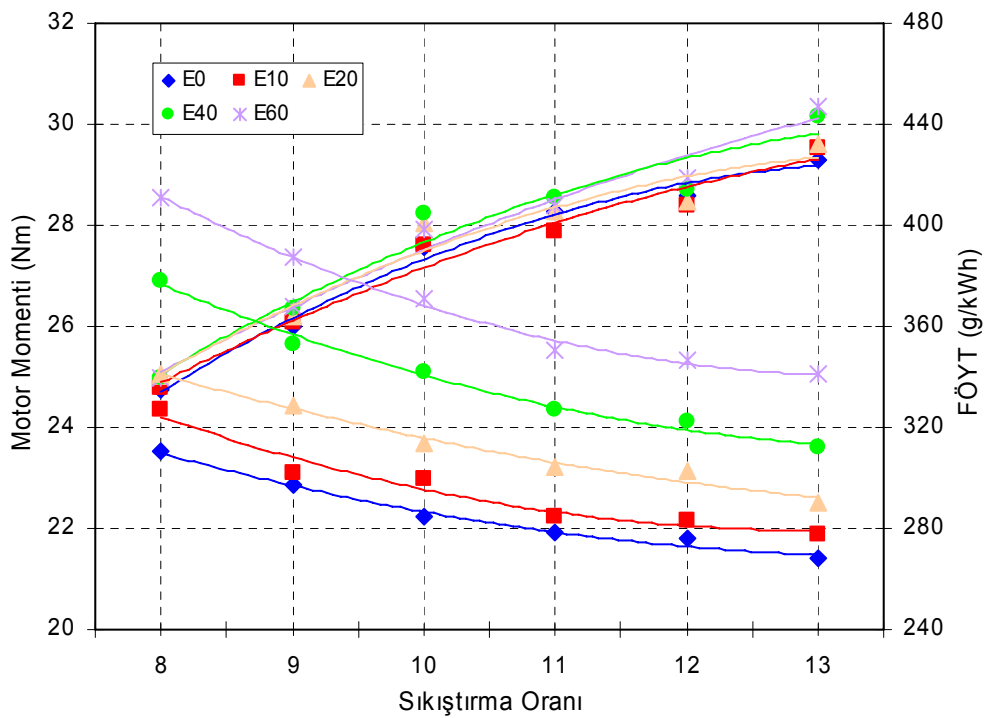


Şekil 4.28. Sıkıştırma oranına bağlı olarak vuruntunun oluştuğu ateşleme zamanının değişimi (Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük)

3500 ve 5000 d/d motor devirlerinde sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momenti ve FÖYT’de elde edilen değişimler Şekil 4.29 ve Şekil 4.30’da yer almaktadır. Her iki motor devrinde de sıkıştırma oranı arttıkça motor momentinde artış görülmektedir. 8/1 sıkıştırma oranına göre 13/1 sıkıştırma oranında E0 yakıtıyla motor momentinde elde edilen artış 3500 d/d’de %14,67, 5000 d/d’de ise; %18,43 olmuştur. 3500 ve 5000 d/d motor devirlerinde motor momentinde görülen en yüksek artış E60 yakıtıyla sırasıyla %19,22 ve %21,53 ile sağlanmıştır. 8/1 sıkıştırma oranına göre 13/1 sıkıştırma oranında FÖYT’de elde edilen iyileşme E0 yakıtıyla 3500 d/d’de %10,38, 5000 d/d’de ise; %13,61 olmuştur. 3500 ve 5000 d/d motor devirlerinde FÖYT’de elde edilen azalma E60 yakıtıyla sırasıyla %14,53 ve %17,04 olarak gerçekleşmiştir.

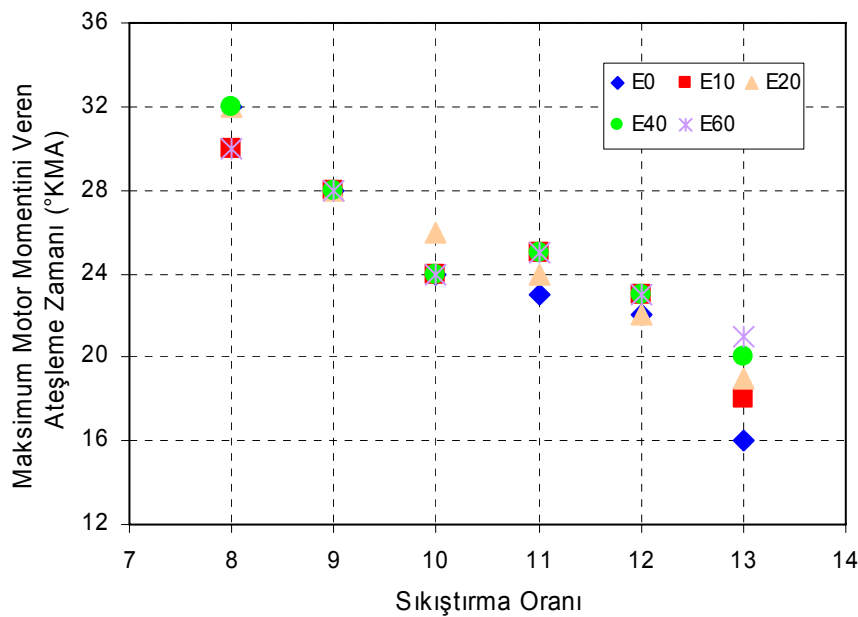


Şekil 4.29. Sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

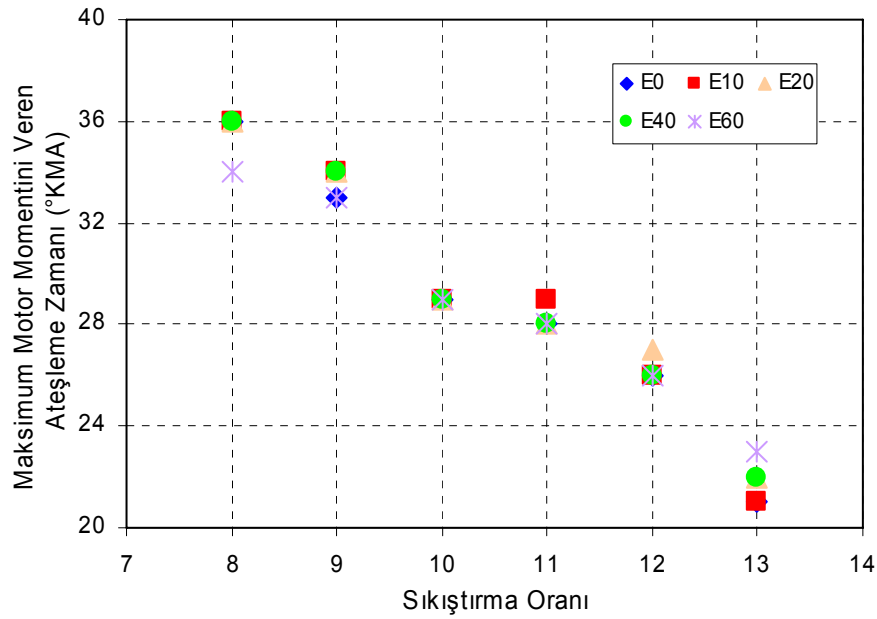


Şekil 4.30. Sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Motor devri: 5000 d/d, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

Sıkıştırma oranına bağlı olarak maksimum motor momentinin elde edildiği ateşleme zamanının 3500 d/d'de değişimi Şekil 4.31'de ve 5000 d/d'deki değişimi ise Şekil 4.32'de görülmektedir. 2000 d/d'deki değişime kıyasla (Bkz. Şekil 4.27) yüksek sıkıştırma oranlarında motor devrinin arttırılması, maksimum motor momentinin elde edildiği ateşleme zamanının kullanılan tüm yakıtlarda birbirlerine oldukça yakın değerlerde olmasını sağlamaktadır. Buradaki grafikler maksimum motor momentini veren ateşleme zamanının, sıkıştırma oranı, kullanılan yakıt ve motor devrine bağlı olduğunu göstermektedir. Sıkıştırma oranı arttıkça vurutuyu tetikleyen son gaz bölgesindeki basınç ve sıcaklık artmaktadır. Bu noktada son gaz bölgesindeki karışımın vurutu dayanımı büyük önem taşımaktadır. Düşük motor devirlerinde kullanılan yakıtın oktan sayısı motor performansını belirleyen en önemli parametre olmaktadır. Devir arttıkça son gaz bölgesine buji kıvılcımıyla oluşturulan alev cephesinin ulaşması daha kısa sürede gerçekleşmekte ve vurutu ihtimali azalmaktadır. Ancak burada yine yakıtın oktan sayısının önemli olduğunu söylemek gerekir. Deney sonuçları oktan sayısına bağlı olarak daha yüksek motor momentinin elde edildiğini göstermektedir. Yapılan deneylerde 3500 ve 5000 d/d motor devirlerinde E60 yakıtının, yüksek motor momenti için ateşleme zamanının arttırılabilesine olanak sağlayabildiği görülmüştür.



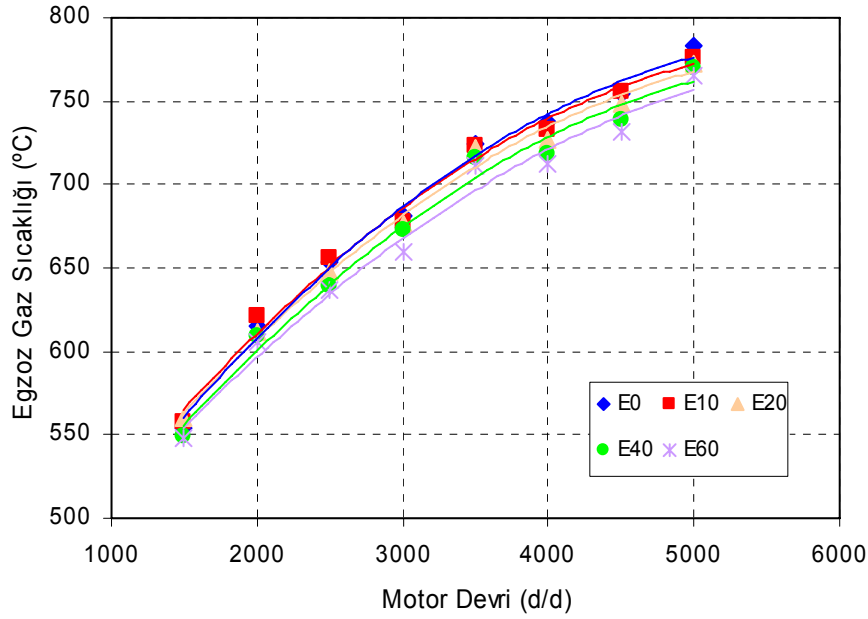
Şekil 4.31. Sıkıştırma oranına bağlı olarak maksimum motor momentini veren ateşleme zamanının değişimi (Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük)



Şekil 4.32. Sıkıştırma oranına bağlı olarak maksimum motor momentini veren ateşleme zamanının değişimi (Motor devri: 5000 d/d, λ : 1, Tam yük)

4.7. Egzoz Gaz Sıcaklığı

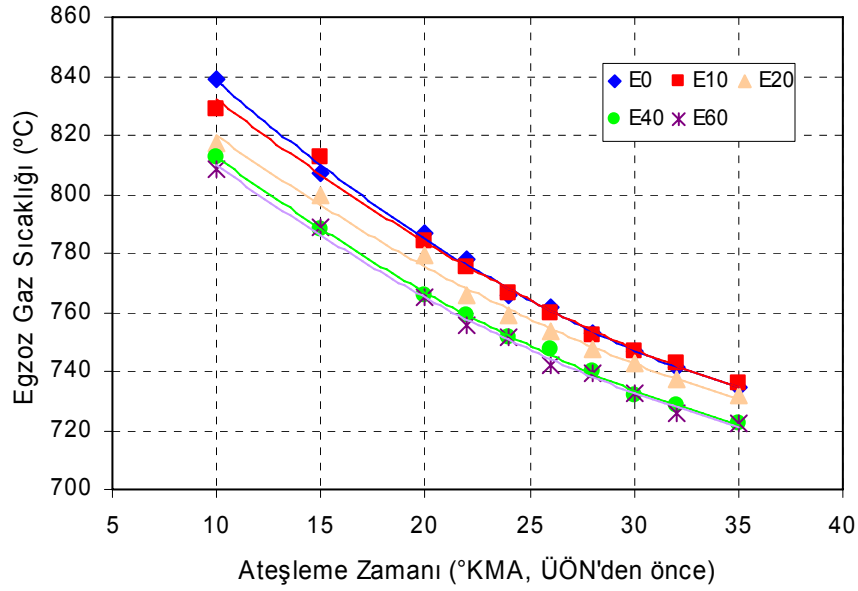
Egzoz gaz sıcaklığının motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 4.33'te yer almaktadır. Kullanılan bütün test yakıtlarında egzoz gaz sıcaklığı, motor devrinin artışına paralel olarak yükselmektedir. Ancak deneylerde karışımdaki etanol miktarına göre daha düşük egzoz gaz sıcaklığı elde edilmiştir. Yalnız kurşunsuz benzinle karşılaştırıldığında E10 yakıtında egzoz gaz sıcaklığı ortalama % 0,04 azalırken, E60 yakıtında ortalama % 2,4 azalma elde edilmiştir.



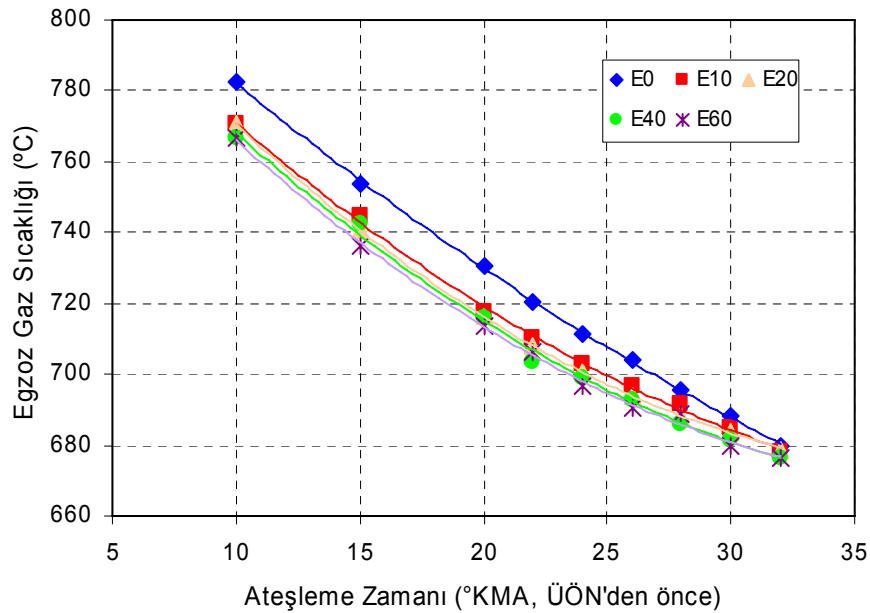
Şekil 4.33. Motor devrine bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının değişimi (Sıkıştırma oranı: 9/1, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

Ateşleme zamanı yanma olayının seyrine etki eden önemli bir parametre olup, egzoz gaz sıcaklığını etkilemektedir. Rötarlı ateşleme zamanlarında egzoz gaz sıcaklığı yükselmektedir. Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te ateşleme zamanına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının 8/1 ile 10/1 sıkıştırma oranlarındaki değişimi verilmiştir. Her iki sıkıştırma oranında da egzoz gaz sıcaklığının ateşleme zamanına bağlı olarak benzer bir değişim gösterdiği görülmektedir. Ateşleme zamanının 10 °KMA'dan itibaren artırılmasıyla egzoz gaz sıcaklığı her iki sıkıştırma oranında da azalmaktadır. Ateşlemenin daha erken yapılması maksimum basıncın ÜÖN'ye yaklaşmasını ve işe dönüşen enerji miktarının artmasını sağlamaktadır. Yanmanın daha erken gerçekleşmesiyle iş zamanında piston AÖN'ye doğru hareket ederken, gaz sıcaklığının düşmesi egzoz gaz sıcaklığını azalmaktadır. Etanol-kurşunsuz benzin karışımlarında karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak daha düşük egzoz gaz sıcaklıkları elde edilmiştir. Etanol benzin karışımlarıyla daha yüksek motor momenti elde edilmesi silindir içerisine sürülen ısıdan daha iyi yararlanıldığını göstermektedir. Bu durum kullanılmayan bir enerjiyi gösteren egzoz gaz sıcaklığının azalmasına sebep olmaktadır. 8/1 sıkıştırma oranında E10 yakıtında E0'a göre egzoz gaz sıcaklığı ortalama %0,12, E60 yakıtında ise, ortalama %2,33 azalma göstermektedir.

Egzoz gaz sıcaklığı, 10/1 sıkıştırma oranında E10'da ortalama %1,06 ve E60 yakıtında ortalama %1,71 oranlarında düşmektedir.

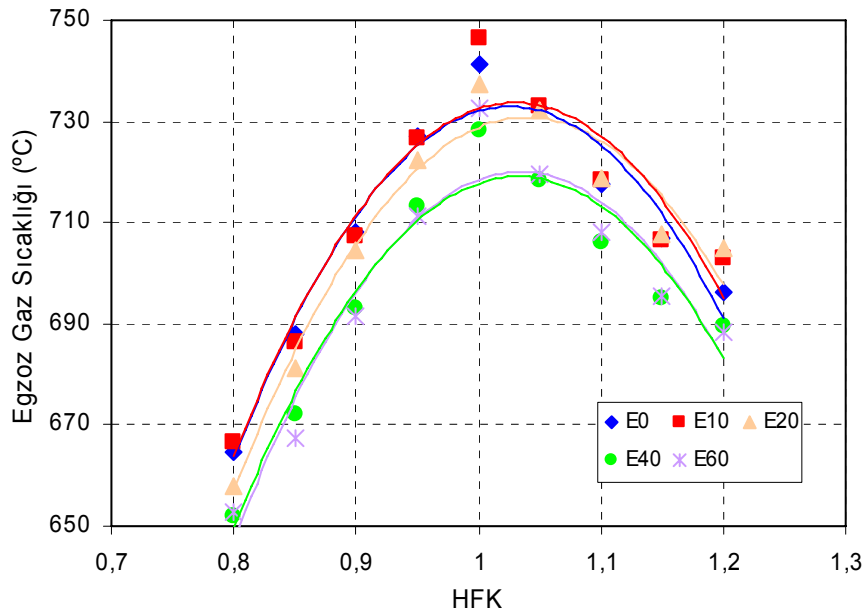


Şekil 4.34. Ateşleme zamanına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının değişimi (Sıkıştırma oranı: 8/1, Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük)

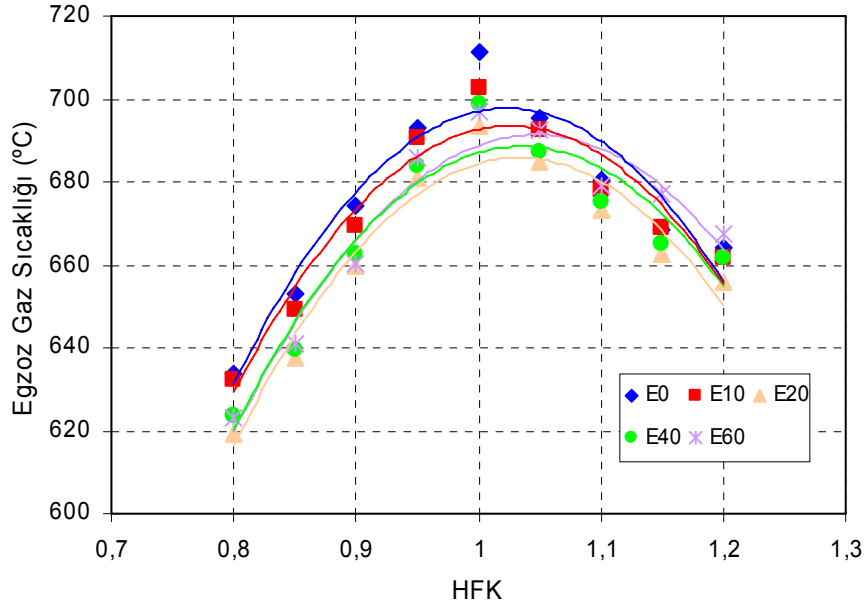


Şekil 4.35. Ateşleme zamanına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının değişimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük)

Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak 3500 d/d motor devrinde egzoz gaz sıcaklığının 8/1 sıkıştırma oranındaki değişimi Şekil 4.36, 10/1 sıkıştırma oranındaki değişimi ise, Şekil 4.37’de görülmektedir. HFK’ye bağlı olarak her iki sıkıştırma oranında da en yüksek egzoz gaz sıcaklığı stokiyometrik hava/yakıt oranında elde edilmiştir. Fakir karışımlarda silindire sürülen ısı enerjisinin azalması egzoz gaz sıcaklığını düşürmektedir. Zengin karışımlarda yanma hızının artmasıyla yanmanın ÜÖN’ye yakın bir konumda tamamlanması egzoz sıcaklığının azalmasında etkili olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca çok zengin karışımlarda yanmanın tamamlanamaması egzoz sıcaklığının azalmasında etkili olmaktadır. Etanol-kurşunsuz benzin karışımlarında karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak daha düşük egzoz gaz sıcaklıkları elde edilmiştir. 8/1 sıkıştırma oranında E10 yakıtında E0’a göre egzoz gaz sıcaklığı, ortalama %0,18 artarken, E60 yakıtında ise, ortalama %1,82 azalma göstermektedir. 10/1 sıkıştırma oranında, E10 yakıtının kullanılmasıyla ortalama %0,46 ve E60 yakıtında ortalama %0,83 oranlarında daha düşük değerler elde edilmiştir.

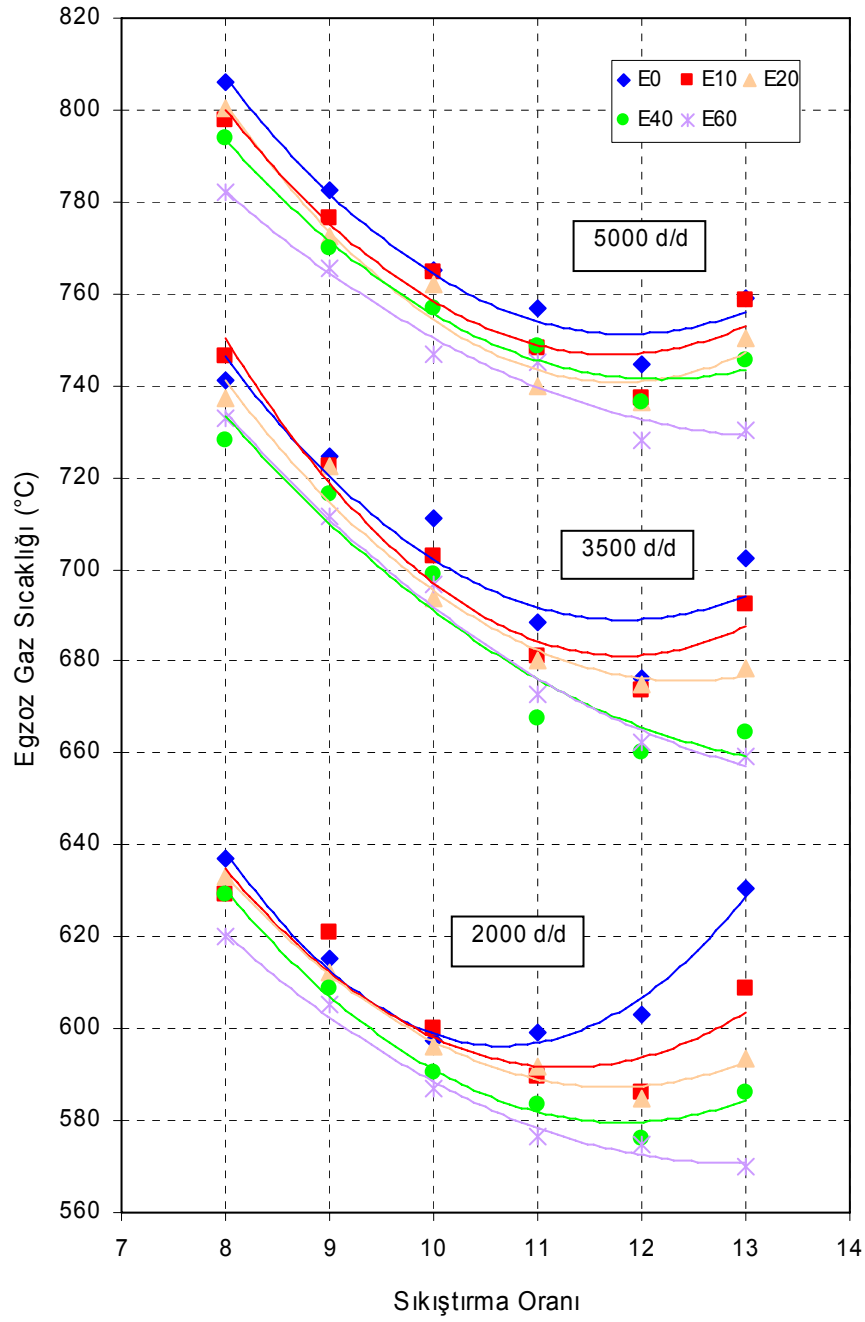


Şekil 4.36. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının değişimi (Sıkıştırma oranı: 8/1, Motor devri: 3500 d/d, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)



Şekil 4.37. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının değişimi (Sıkıştırma oranı: 10/1, Motor devri: 3500 d/d, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

Egzoz gaz sıcaklığının sıkıştırma oranına bağlı olarak 2000, 3500 ve 5000 d/d motor devirlerindeki değişimleri Şekil 4.38'de görülmektedir. Egzoz gaz sıcaklığı sıkıştırma oranına bağlı olarak genelde azalma eğilimi göstermektedir. Sıkıştırma oranının artmasıyla sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığı artmakta ve maksimum motor momenti için motorun ihtiyaç duyduğu ateşleme avansı azalmaktadır. Silindir içerisine yakıtla sürülen enerjiden ÜÖN'ye daha yakın bir noktada fayda sağlanmakta ve egzoz gazlarıyla dışarıya atılan enerji azalmaktadır. Ancak E0 yakıtı gibi düşük oktanlı yakıt kullanılmasıyla 10/1 sıkıştırma oranından itibaren yanma kötüleşmekte, vuruntu nedeniyle ateşleme avansı arttırılamadığı için yanma genişleme periyoduna kaymakta ve egzoz gaz sıcaklığını arttırmaktadır. Bu durum yüksek oktanlı yakıtlarda ve motor devri arttıkça düzelmektedir.

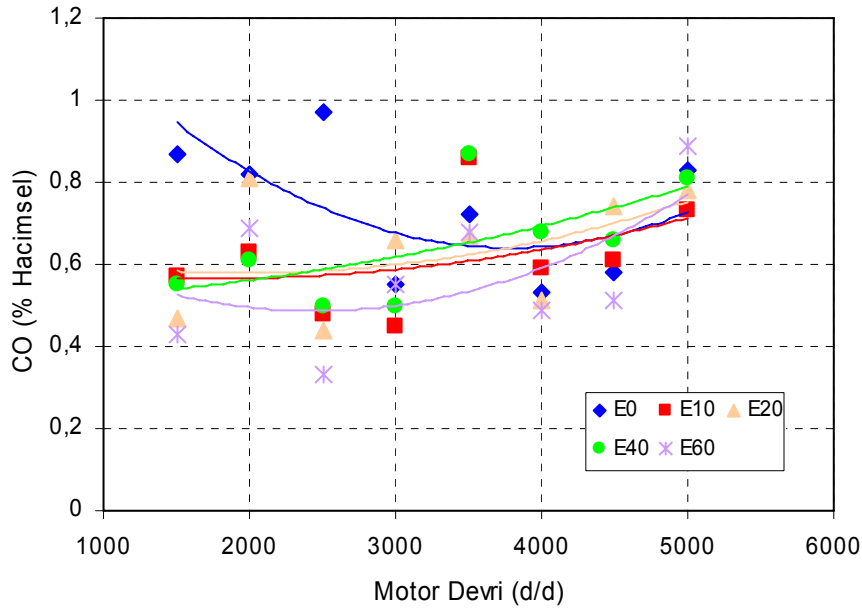


Şekil 4.38. Sıkıştırma oranına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının değişimi (Motor devri: 2000, 3500 ve 5000 d/d, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

4.8. Egzoz Emisyonları

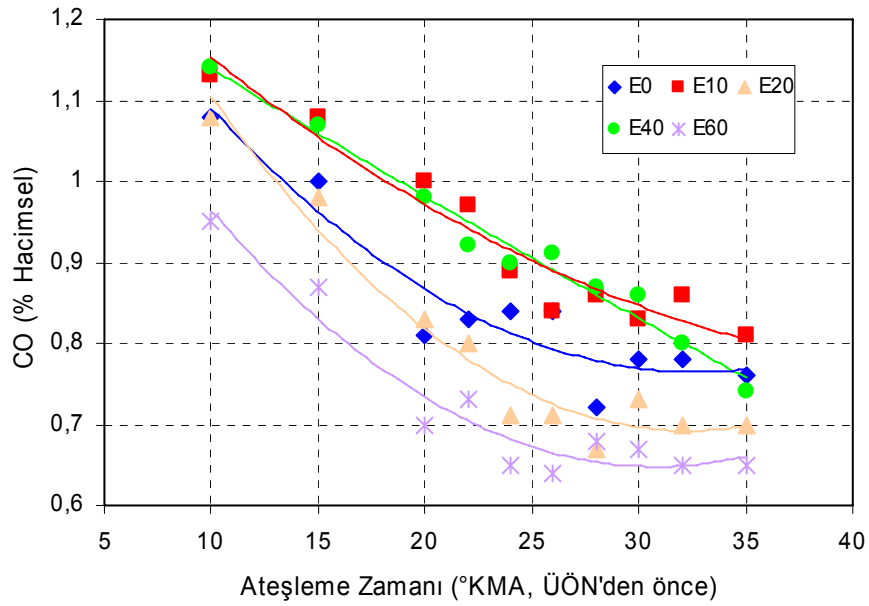
Motor devrine bağlı olarak CO emisyonunun değişimi Şekil 4.39’da görülmektedir. Tüm motor devirlerinde stokiometrik hava/yakıt oranında gerçekleştirilen

deneylerde CO emisyonu, genel olarak deney esnasında hava/yakıt oranında meydana gelen küçük değişimlerden daha çok etkilenmektedir. Etanol içeren karışımlarda artan motor devrine bağlı olarak küçük bir artış göstermektedir. CO emisyonunda, etanol içeren karışımlarda E0 yakıtına göre azalma görülürken, ortalama olarak maksimum azalma E60 yakıtıyla (%18,8) elde edilmiştir.

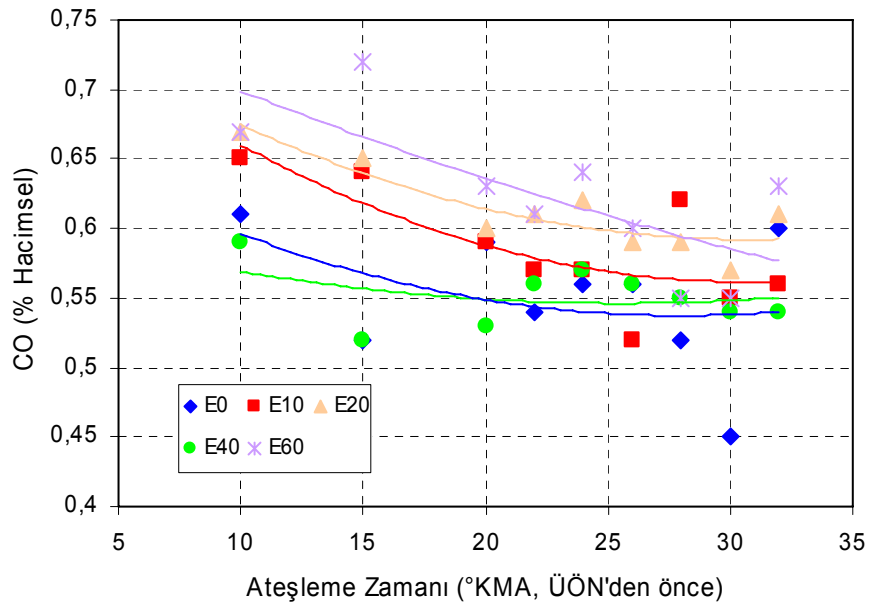


Şekil 4.39. Motor devrine bağlı olarak CO emisyonunun değişimi (Sıkıştırma oranı: 9/1, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

Ateşleme zamanına bağlı olarak 9/1 sıkıştırma oranında CO emisyonunun değişimi Şekil 4.40'ta verilmiştir. CO emisyonu tüm test yakıtlarında 10° KMA'da diğer ateşleme zamanlarına göre biraz daha yüksek değer almaktadır. Ateşlemenin geciktirilmesiyle yanmanın tamamlanması için tanınan sürenin azalması, CO emisyonunun bir miktar artmasına neden olmaktadır. Ateşleme zamanı, 10° KMA'dan 35° KMA'ya artırıldığında bütün test yakıtlarında CO emisyonu ortalama olarak yaklaşık %32 azalmaktadır. Şekil 4.41'de 10/1 sıkıştırma oranında CO emisyonunun değişimi görülmektedir. 9/1 sıkıştırma oranındaki değişime benzer bir şekilde ateşleme zamanı arttırıldıkça tüm deney yakıtlarında CO emisyonu azalmaktadır. Etanolün fakirleştirici etkisinden yararlanılmadığı için CO emisyonu etanol içeren yakıtlarda daha yüksek oluşabilmektedir.



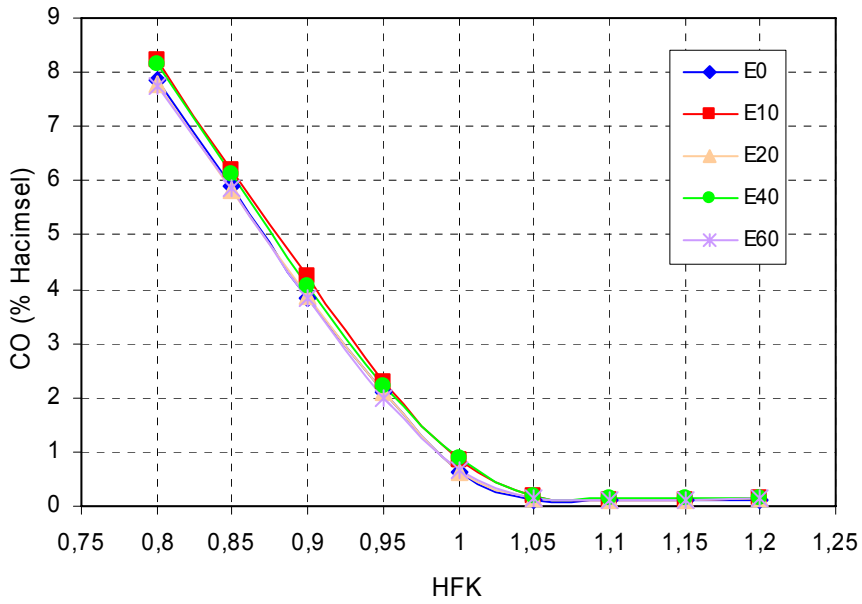
Şekil 4.40. Ateşleme zamanına bağlı olarak CO emisyonunun değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 9/1, λ : 1, Tam yük)



Şekil 4.41. Ateşleme zamanına bağlı olarak CO emisyonunun değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 10/1, λ : 1, Tam yük)

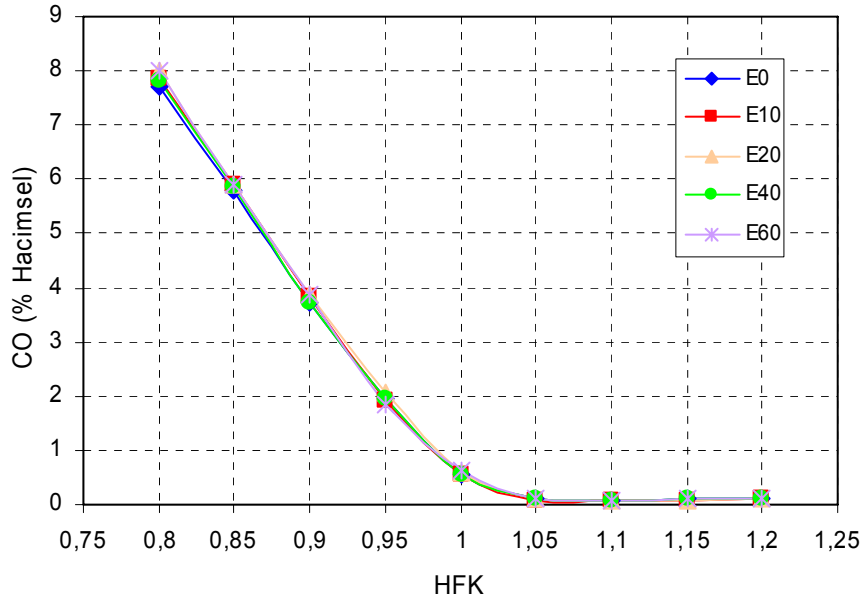
Şekil 4.42’de HFK’nin CO emisyonuna etkisi görülmektedir. Tüm test yakıtlarında stokiyometrik orana göre karışım zenginleştikçe CO oluşumu hızla artmaktadır. Stokiyometrik orana göre karışım fakirleştirildikçe 1,1 HFK’ye kadar CO emisyonu azalmakta daha sonra, önemli bir değişim göstermemektedir. Stokiyometrik orana

göre karışım 1,1 HFK'ye kadar fakirleştirildiğinde CO emisyonu tüm test yakıtlarında ortalama %84,26 azalmaktadır. Karışım 1,1 HFK'den 1,2 HFK'ye kadar fakirleştirildiğinde ise, CO emisyonu ortalama %10,94 artış göstermektedir. Stokiyometrik orana göre karışım 0,8 HFK'ye kadar zenginleştirildiğinde CO emisyonu, stokiyometrik hava/yakıt oranına göre ortalama 11,06 kat artış göstermektedir.



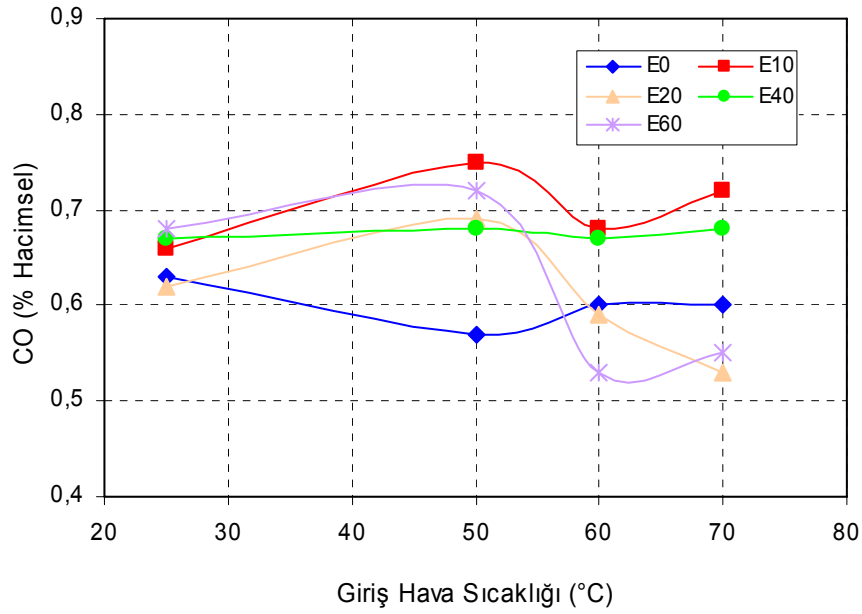
Şekil 4.42. HFK'ye bağlı olarak CO emisyonunun değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 9/1, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı, Tam yük)

10/1 sıkıştırma oranında HFK'nin CO emisyonuna etkisi Şekil 4.43'te yer almaktadır. HFK'nin değişimine duyarlı olan CO emisyonu tüm test yakıtlarında karışım oranının fakirleştirilmesiyle hızla düşmektedir. Ancak genel olarak 1,05 HFK'den daha fakir karışımlarda CO emisyonunda önemli bir değişim gerçekleşmemektedir.

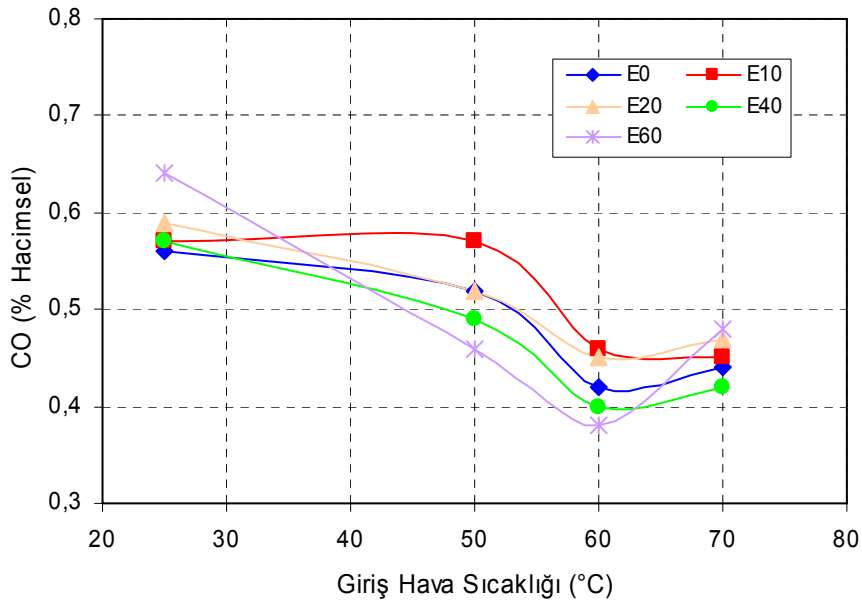


Şekil 4.43. HFK'ye bağlı olarak CO emisyonunun değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 10/1, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı, Tam yük)

Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak CO emisyonunun 9/1 sıkıştırma oranındaki değişimi Şekil 4.44'de yer almaktadır. 10/1 sıkıştırma oranındaki değişim ise; Şekil 4.45'te görülmektedir. Her iki grafikte incelendiğinde CO emisyonunun giriş hava sıcaklığından bağımsız bir değişim gösterdiği anlaşılmaktadır.



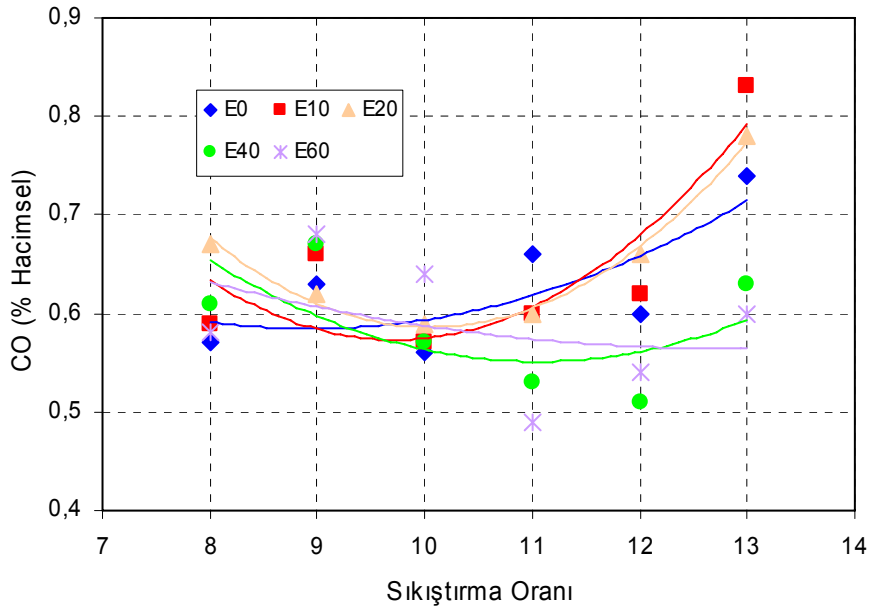
Şekil 4.44. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak CO emisyonunun değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 9/1, λ : 1, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı, Tam yük)



Şekil 4.45. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak CO emisyonunun değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 10/1, λ : 1, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı, Tam yük)

Şekil 4.46'da farklı sıkıştırma oranlarında CO emisyonunun değişimi yer almaktadır. Elde edilen veriler genelde CO emisyonunun sıkıştırma oranından bağımsız olarak

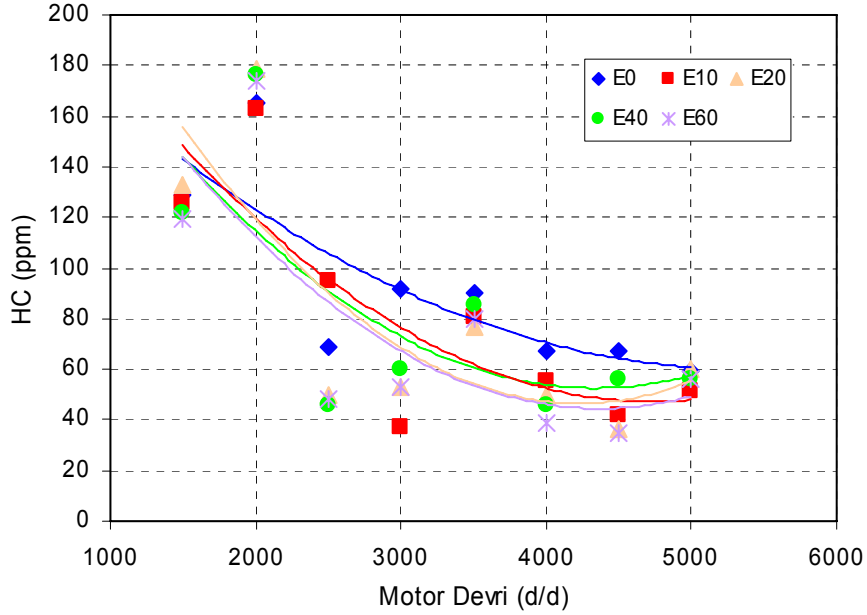
değişim gösterdiğini belirtmektedir. Bununla birlikte düşük oktanlı (E0 ve E10) yakıtlarda 10/1 sıkıştırma oranından itibaren CO emisyonunda bir miktar artış gerçekleşmektedir. E20 yakıtındaki artış, özellikle 11/1 sıkıştırma oranından itibaren görülmektedir. Düşük sıkıştırma oranlarında (8/1, 9/1 ve 10/1) CO emisyonu, sıkıştırma oranından daha çok deney esnasında hava/yakıt oranında meydana gelen küçük değişimlerden etkilenmektedir. Tüm sıkıştırma oranlarında E0 yakıtına göre ortalama olarak CO emisyonu, E40 yakıtında %5,73, E60 yakıtında %5,12 azalmaktadır.



Şekil 4.46. Sıkıştırma oranına bağlı olarak CO emisyonunun değişimi (Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı, Tam yük)

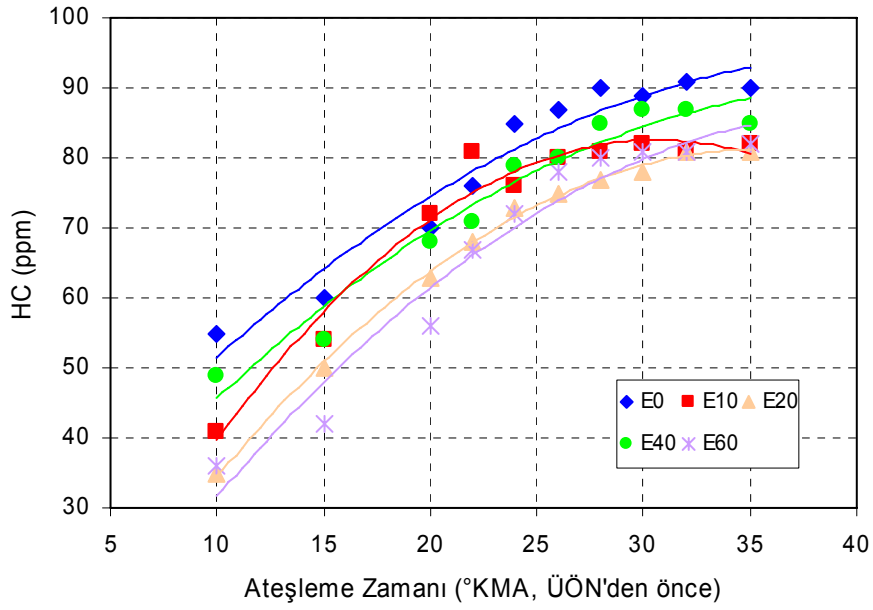
HC emisyonunun motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 4.47’de görülmektedir. Tüm motor devirlerinde stokiometrik hava/yakıt oranında gerçekleştirilen deneylerde HC emisyonu, bütün test yakıtlarında artan motor devrine bağlı olarak azalmaktadır. Motor devrinin artması yanma için gerekli sürenin kısalmasına neden olsa da HC emisyonları azalma eğilimi göstermektedir. HC emisyonlarının oluşumunda zaman kadar sıcaklık da büyük önem taşımaktadır. Silindir içerisindeki sıcaklığın artması HC emisyonlarının oluşmasında önemli olan son reaksiyonları hızlandırdığından HC’ler azalmaktadır. Etanol içeren karışımlarda daha düşük HC

emisyonu elde edilmiştir. E0 yakıtına göre ortalama olarak maksimum azalma E60 yakıtında (%22,61) görülmüştür.

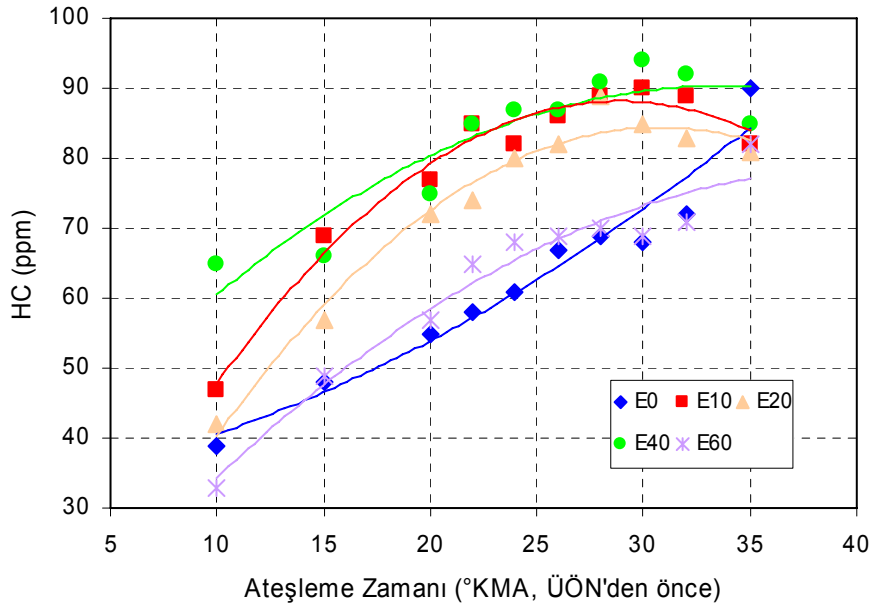


Şekil 4.47. Motor devrine bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (Sıkıştırma oranı: 9/1, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

Ateşleme zamanı, HC emisyonu oluşumunda etkili bir parametredir. Ateşleme zamanına bağlı olarak tüm test yakıtlarında HC emisyonu, artan ateşleme avansı ile artış göstermiştir (Şekil 4.48 ve 4.49). Bütün yakıtlarda en düşük HC emisyonu 10° KMA ateşleme zamanında görülmektedir. Ateşleme avansı artırıldıkça HC emisyonu da artış göstermektedir. HC emisyonu, son gaz bölgesi olarak adlandırılan yanma odasının soğuk cidarlarına yakın bölgelerde oluşur. Ateşleme zamanına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının azalması HC oluşumunu tetiklemektedir. E0 yakıtına göre HC emisyonlarında ortalama olarak en fazla iyileşme 9/1 sıkıştırma oranında E60 yakıtının kullanımında görülmüştür (%16,2).



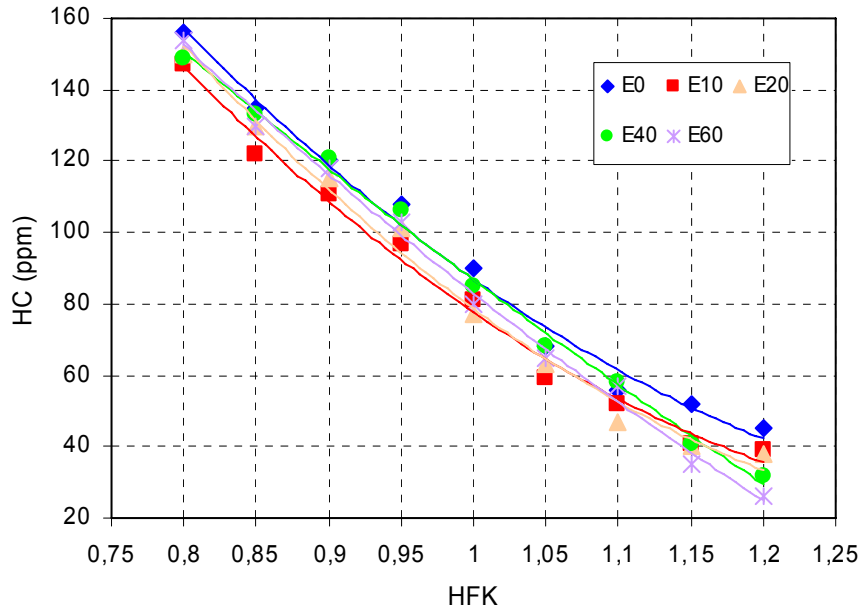
Şekil 4.48. Ateşleme zamanına bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 9/1, λ : 1, Tam yük)



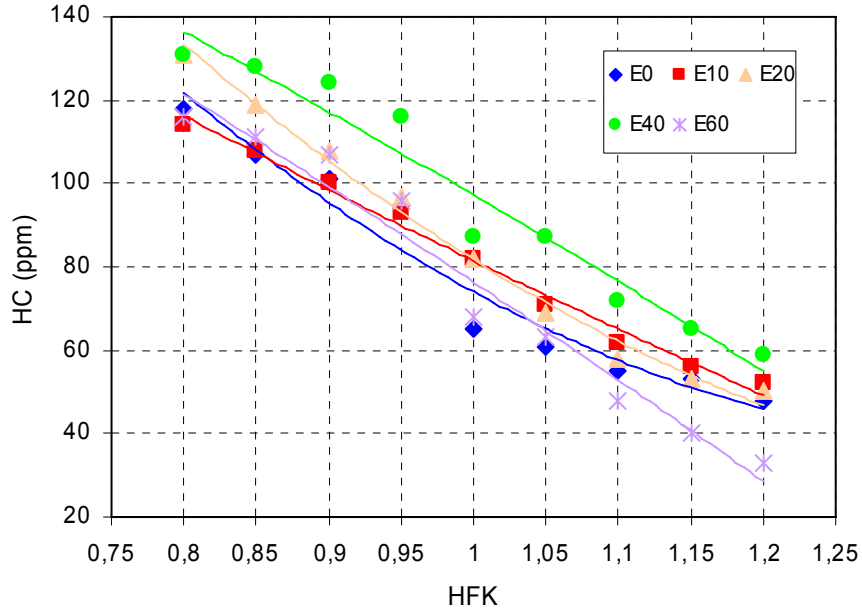
Şekil 4.49. Ateşleme zamanına bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 10/1, λ : 1, Tam yük)

Şekil 4.50'de 9/1 sıkıştırma oranında, Şekil 4.51'de 10/1 sıkıştırma oranında HFK'nin HC emisyonuna etkisi yer almaktadır. Hava/yakıt oranı zengin bölgeden fakir bölgeye doğru ilerledikçe HC emisyonu ortamda bulunan oksijenin artışıyla azalma eğilimi göstermektedir. Tüm test yakıtlarında benzer eğilim görülürken,

kurşunsuz benzinle karşılaştırıldığında 9/1 sıkıştırma oranında en düşük HC emisyonu E60 yakıtının kullanımında (ortalama %11,1) görülmüştür. 10/1 sıkıştırma oranında E0 ile karşılaştırıldığında E60 yakıtında HC emisyonu ortalama %5,7 azalırken, etanol içeren diğer yakıtlarda HC artmıştır.

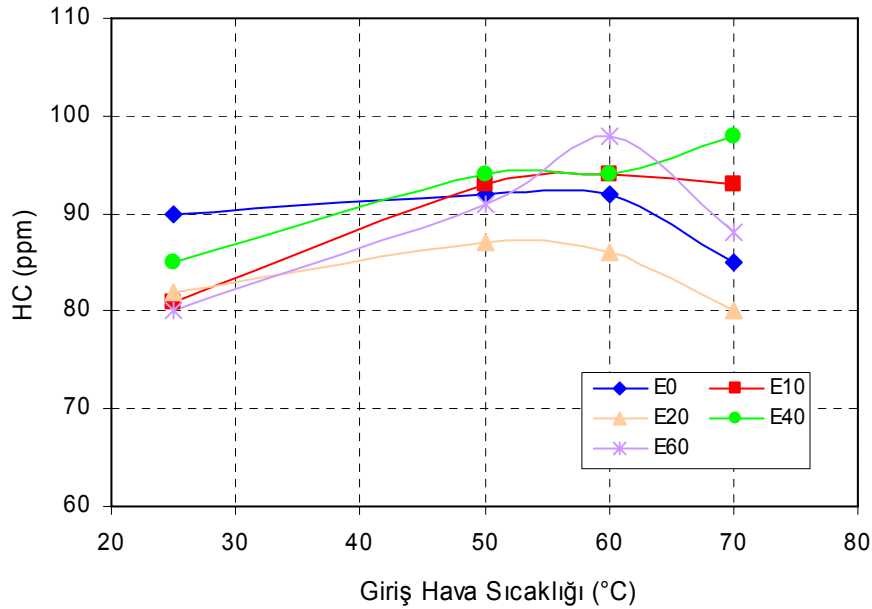


Şekil 4.50. HFK'ye bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 9/1, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı, Tam yük)

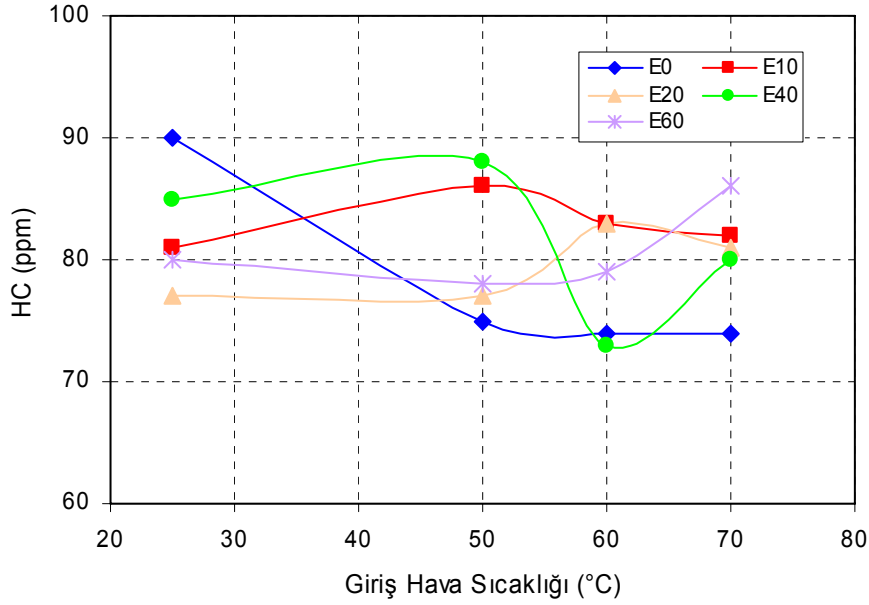


Şekil 4.51. HFK'ye bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 10/1, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı, Tam yük)

HC emisyonunun giriş hava sıcaklığına bağlı olarak değişimi incelendiğinde bu parametreden bağımsız bir değişim gösterdiği Şekil 4.52 ve 4.53'ten anlaşılmaktadır.



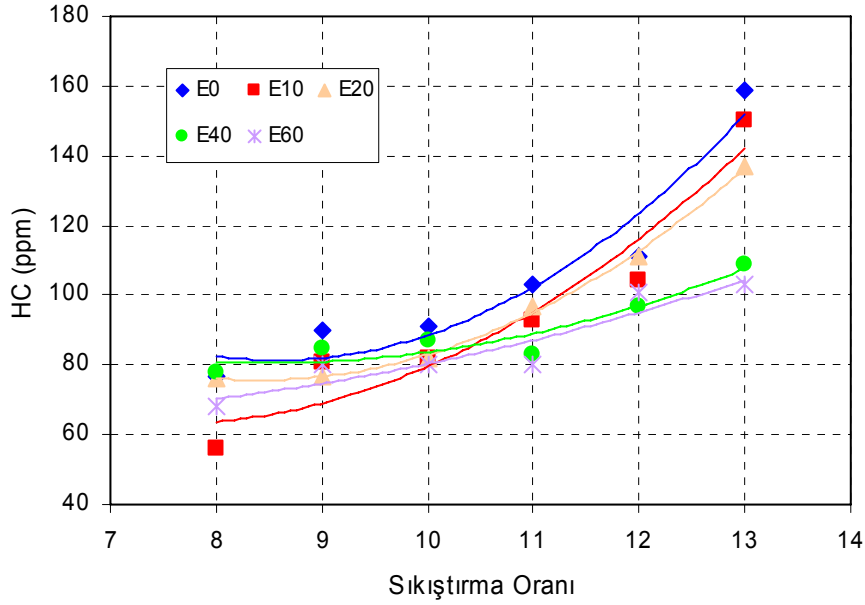
Şekil 4.52. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 9/1, λ : 1, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı, Tam yük)



Şekil 4.53. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 10/1, λ : 1, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı, Tam yük)

Yanma odasının yüzey/hacim oranı, çap/kurs oranına, yanma odasının geometrisine ve sıkıştırma oranına bağlı bir parametredir. Yanma odası cidarlarından olan ısı kayıpları, yüzey alanına bağlı olarak artar. Bu nedenle alev sönme bölgesi genişleyerek HC emisyonlarını artırır. Sıkıştırma oranının artırılması termik verimi artırırken, yüzey/hacim oranını da artırdığından HC emisyonlarının yükselmesine sebep olur [49, 53].

HC emisyonu, hava/yakıt oranının yanı sıra yanma odasının soğuk cidarlarına yakın bölgelerinde alevin sönmesiyle oluşur. Sıkıştırma oranına bağlı olarak yanma odası hacminin azalmasına rağmen alevin sönmesine neden olan yüzey alanı aynı miktarda azalmamakta ve buna bağlı olarak HC oluşumu artmaktadır. Şekil 4.54'te sıkıştırma oranına bağlı olarak HC emisyonunun değişimi görülmektedir. Sıkıştırma oranının artırılmasıyla HC emisyonu bütün test yakıtlarında artmaktadır. Kurşunsuz benzinle (E0) karşılaştırıldığında etanol içeren karışımlarda HC emisyonu azalırken, en düşük HC emisyonu, ortalama %16,91 ile E60 yakıtıyla elde edilmiştir.



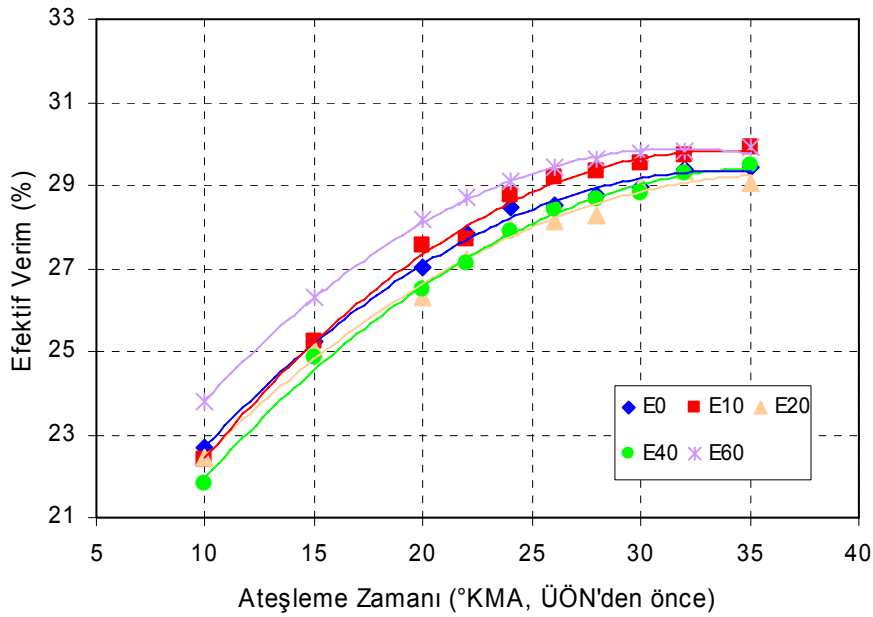
Şekil 4.54. Sıkıştırma oranına bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı, Tam yük)

4.9. Efektif Verim ve Isı Kayıpları

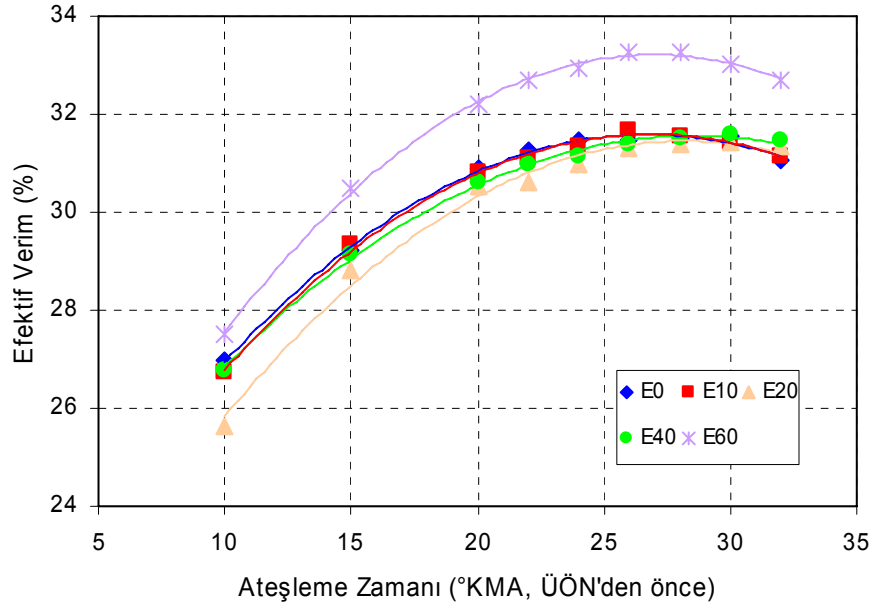
Ateşleme zamanı, yanmaya ve vuruntuya etki eden en önemli çalışma parametresidir. Ateşleme zamanının artırılmasıyla silindir içerisindeki basıncın artma süreci daha önce başlatılmış olur. Maksimum basınç ÜÖN'ye doğru kayarak, basınç ve sıcaklık değeri yükselir. Bu etki vuruntuya neden olacak ön reaksiyonları hızlandırdığından ateşleme avansının artması vuruntu meylini artırmaktadır. Belirli bir reaksiyon hızında vuruntu ne kadar erken başlarsa o nispete son gaz bölgesi reaksiyona katılacağından vuruntunun şiddeti artar [9, 44, 46, 91].

Silindir basıncı, yanma olayının önemli bir parametresidir. Ateşlemenin erken yapılması basıncın ÜÖN'den önce erken yükselmesine ve sıkıştırma boyunca iş kaybının artmasına neden olmaktadır. Geç ateşleme durumunda ise; ÜÖN'den sonra basınç yükselişi gecikir ve pistonun ÜÖN'den uzaklaşması nedeniyle artan hacim nedeniyle elde edilebilecek iş azalır [9, 44, 92, 93].

Ateşleme zamanının 3500 d/d motor devrinde 8/1 sıkıştırma oranında efektif verime etkisi Şekil 4.55'te, 10/1 sıkıştırma oranındaki etkisi Şekil 4.56'da görülmektedir. Efektif verim, 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarında 10 °KMA ateşleme zamanından itibaren ateşleme noktası avansa alındıkça artış göstermektedir. Efektif verimin maksimum değerini aldığı ateşleme zamanı, sıkıştırma oranına bağlı olarak değişmektedir. Diğer deney yakıtlarına kıyasla en yüksek efektif verimin elde edildiği E60 yakıtında 8/1 sıkıştırma oranında 35 °KMA'da, 10/1 sıkıştırma oranında 26 °KMA'da efektif verim maksimum olmaktadır. E0 yakıtına göre ortalama olarak 8/1 sıkıştırma oranında verim, E60 yakıtıyla %3,1, 10/1 sıkıştırma oranında %4,57 artış göstermektedir.

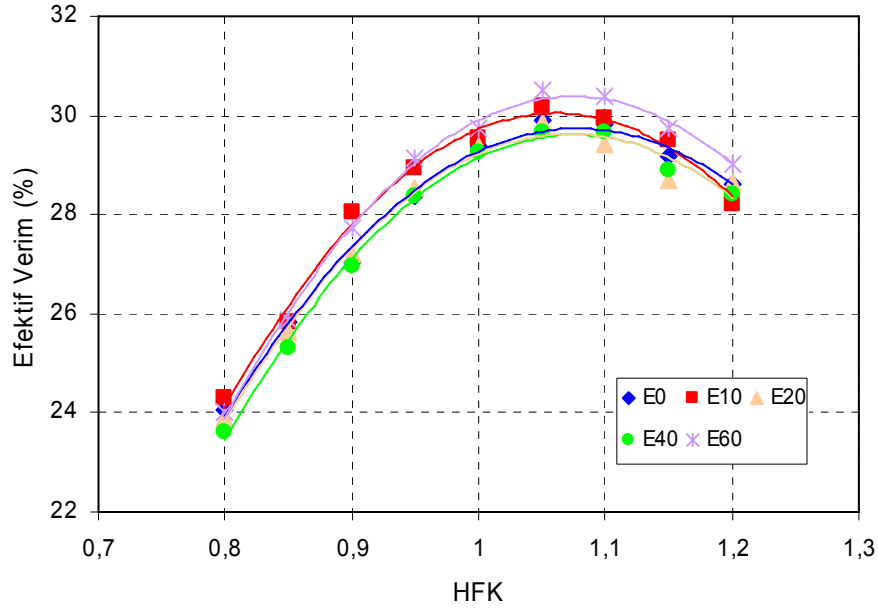


Şekil 4.55. Ateşleme zamanına bağlı olarak efektif verimin değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 8/1, λ : 1, Tam yük)

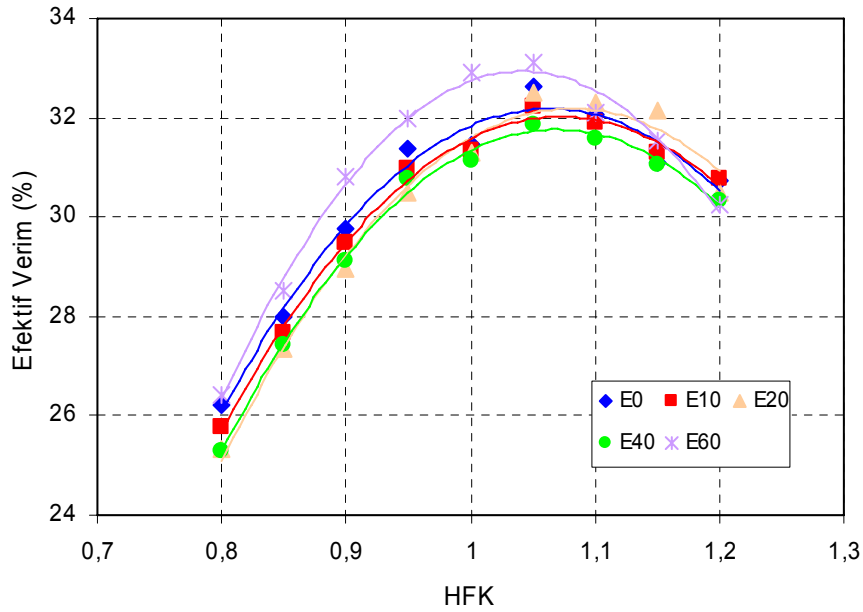


Şekil 4.56. Ateşleme zamanına bağlı olarak efektif verimin değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 10/1, λ : 1, Tam yük)

Şekil 4.57’de 8/1 sıkıştırma oranında, Şekil 4.58’de 10/1 sıkıştırma oranında efektif verimin HFK’ye bağlı değişimi görülmektedir. Efektif verim, HFK’nin 1,05 olduğu noktada en yüksek değerini almaktadır. Zengin karışımlarda yanma hızının artmasına rağmen silindir içerisine alınan yakıtın tamamının yanmasını sağlayacak oksijenin ortamda bulunmaması, fakir karışımlarda ise; faydalı işe dönüşebilecek kimyasal enerjinin azalmasıyla alev sıcaklığının ve hızının düşmesi efektif verimin azalmasına sebep olmaktadır. Yanmanın büyük ölçüde tamamlanabileceği, alev hızı ve sıcaklığının nispeten yüksek olduğu 1,05 HFK değerinde verim en yüksektir. E0 ile karşılaştırıldığında ortalama olarak efektif verimdeki en fazla artışı E60 yakıtı sağlamaktadır (8/1 sıkıştırma oranında %1,54, 10/1 sıkıştırma oranında %1,61).



Şekil 4.57. HFK'ye bağlı olarak efektif verimin değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 8/1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)



Şekil 4.58. HFK'ye bağlı olarak efektif verimin değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 10/1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

Sıkıştırma oranı dışındaki parametreler sabit tutulduğunda motorun vuruntu yapmaksızın çalışabildiği en yüksek sıkıştırma oranı kritik sıkıştırma oranıdır. Kritik

sıkıştırma oranı, motorun yapısal özelliklerine ve kullanılan yakıta bağlıdır. Sıkıştırma oranını artırmak, sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığı artırmak demektir. Bu durum yanma hızını arttırmasına rağmen motorun vuruşu temayülünü de arttırmaktadır [9, 46].

İçten yanmalı motorlarda sıkıştırma oranı, yakıt ekonomisini belirleyen önemli faktörlerden birisidir. Günümüzün modern dört supaplı (silindir başına iki emme ve iki egzoz supabı) benzin motorları ortalama 10/1 sıkıştırma oranına sahiptirler ve gelecekte daha yüksek sıkıştırma oranları mümkün olabilecektir. Teorik olarak termik verim sıkıştırma oranına bağlı olarak artmaktadır. Sıkıştırma oranının artması sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığın daha yüksek oluşmasını sağlarken, sürtünme kayıplarını lineer bir şekilde artırır. Ayrıca vuruş yönünden daha yüksek oktan sayısına sahip yakıtı gerektirir. Bu sebeple belirli bir sıkıştırma oranından itibaren yakıt tüketimi olumsuz bir şekilde etkilenmektedir [94-97].

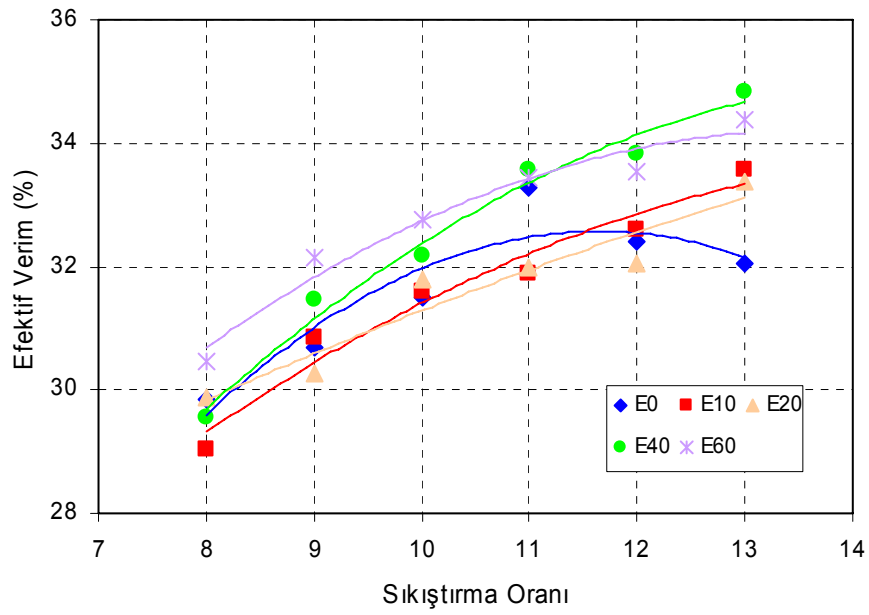
Sıkıştırma oranına bağlı olarak efektif verimin 2000 d/d motor devrindeki değişimi Şekil 4.59'da, 3500 d/d motor devrindeki değişimi Şekil 4.60'da ve 5000 d/d motor devrindeki değişimi ise; Şekil 4.61'de görülmektedir. Deneylerin gerçekleştirildiği her üç motor devrinde özellikle yüksek oranda etanol içeren (E40 ve E60) yakıtlarda efektif verim tüm sıkıştırma oranlarında artmaktadır. 2000 d/d motor devrinde 11/1 sıkıştırma oranının üzerindeki sıkıştırma oranlarında E0 yakıtıyla elde edilen efektif verimde azalma görülmektedir. 2000 d/d motor devrinde E0 yakıtıyla karşılaştırıldığında verimde görülen en yüksek artış E40 yakıtıyla 13/1 sıkıştırma oranında %8,61 elde edilmiştir. Tüm sıkıştırma oranlarında ortalama olarak E0'a göre E60 yakıtında % 3,71, E40 yakıtında da %2,93 artış sağlanmıştır.

Motor hızı arttıkça belirli bir sürede pistonun kat edeceği mesafe artar ve yanma için gerekli süre azalır. Ancak alev hızı, piston hızıyla artan türbülansın etkisiyle artarak motor devrine bağlı olarak yanma süresine karşılık gelen KMA hemen hemen sabit kalmaktadır [9, 46].

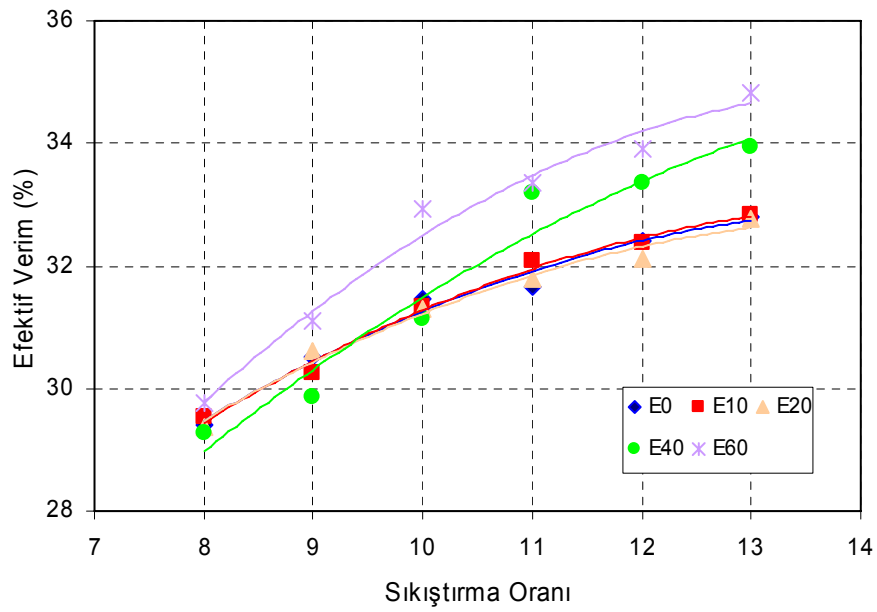
Motorun hızı artıkça türbülans etkisiyle alev hızı artmakta ve sıkıştırma süresinin azalmasıyla motorun vuruntu temayülü azalır. Ancak artan motor hızıyla son gaz sıcaklığının artması vuruntu ihtimalini artırır. Maksimum basınç ve volumetrik verim motor hızıyla önce artar daha sonra azalır. Artışta ulaşılan son nokta vuruntu ihtimalinin en az olduğu noktadır. Bu nedenlerle motor hızı vuruntuya etki eden en kompleks değişkendir. Ancak motor hızı artıkça vuruntu meyli belirgin bir şekilde azalmaktadır [9, 46].

3500 d/d ve 5000 d/d motor devirlerinde E0 yakıtı kullanımında efektif verim, yüksek sıkıştırma oranlarında da artış sağlamaktadır. Motor hızı artıkça vuruntu ihtimali azaldığından efektif verim bu değişimden olumlu yönde etkilenmektedir. Ancak yüksek oktan sayısına sahip E40 ve E60 yakıtlarıyla elde edilen efektif verim, yüksek motor devirlerinde de E0 yakıtından daha yüksektir. Efektif verim, ortalama olarak 3500 d/d motor devrinde E40 yakıtında %1,27, E60 yakıtında %3,98; 5000 d/d motor devrinde E40 yakıtında %0,52, E60 yakıtında %2,27 yalnız kurşunsuz benzin kullanımından daha yüksek elde edilmiştir.

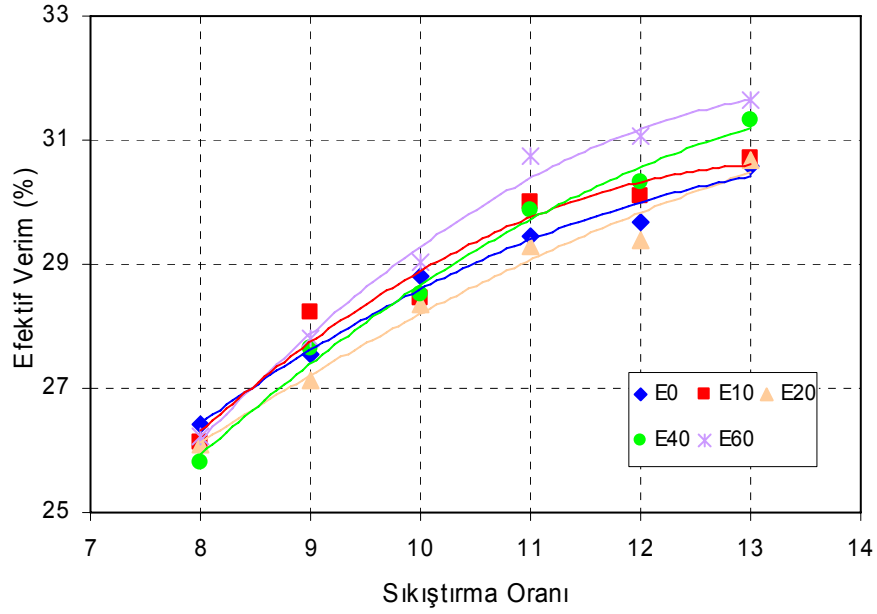
Sıkıştırma oranına bağlı olarak efektif verimde görülen en yüksek artışlar etanol içeren karışımların kullanımında elde edilmiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği tüm motor devirlerinde ortalama olarak 8/1 sıkıştırma oranına göre 13/1 sıkıştırma oranında efektif verim E0 yakıtında %11,58 artarken, en iyi gelişme yüksek oranda etanol içeren etanol-kurşunsuz benzin karışımlarında sağlanmıştır. Efektif verim, E40 yakıtıyla %18,39 ve E60 yakıtıyla %16,82 artmaktadır.



Şekil 4.59. Sıkıştırma oranına bağlı olarak efektif verimin değişimi (Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

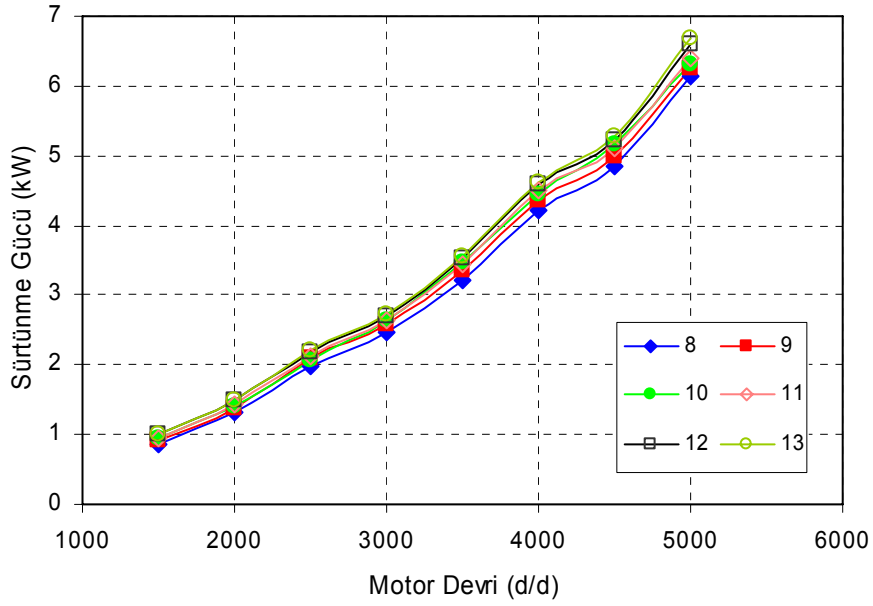


Şekil 4.60. Sıkıştırma oranına bağlı olarak efektif verimin değişimi (Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)



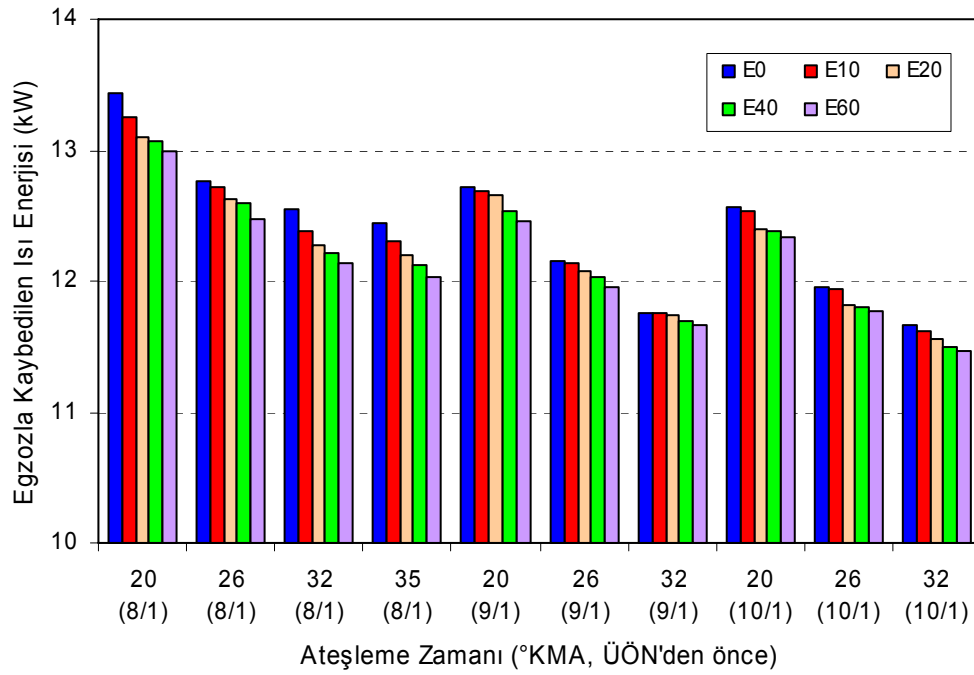
Şekil 4.61. Sıkıştırma oranına bağlı olarak efektif verimin değişimi (Motor devri: 5000 d/d, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

Sürtünme gücünün motor devrine ve sıkıştırma oranına bağlı olarak değişimi Şekil 4.62’de yer almaktadır. Sürtünme gücü, artan motor devri ve sıkıştırma oranıyla birlikte artış göstermektedir. 1500 d/d motor devrinden itibaren devir artırıldığında sürtünme gücü önemli miktarda artmaktadır. Tüm sıkıştırma oranlarında 1500 d/d motor devrine göre 5000 d/d motor devrinde ortalama olarak sürtünme gücü 6,79 kat artış göstermektedir. Sıkıştırma oranının 8/1’den 13/1’e artırılmasıyla bütün motor devirlerinde ortalama olarak %11,09 artış gerçekleşmektedir.



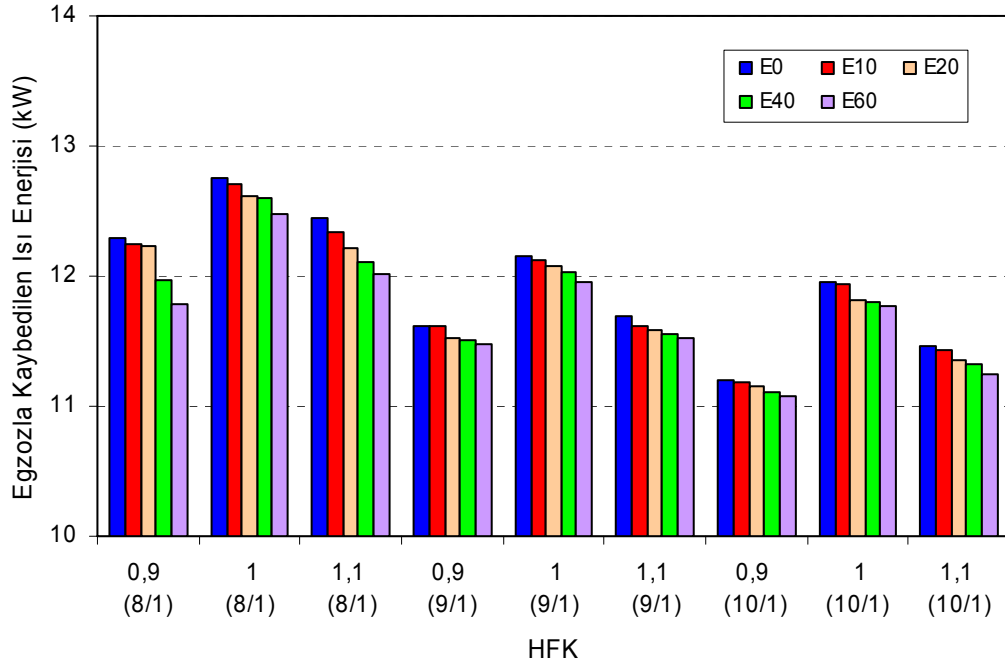
Şekil 4.62. Motor devrine ve sıkıştırma oranına bağlı olarak sürtünme gücünün değişimi (Tam GKA, Soğutma suyu sıcaklığı: 70°C, Yağlama yağı sıcaklığı: 75°C)

Kayıp bir enerji olan egzoz gazlarının taşıdığı ısı enerjisinin ateşleme zamanına ve sıkıştırma oranına bağlı olarak değişimi Şekil 4.63'te görülmektedir. Yüksek sıkıştırma oranlarında ve ateşleme zamanında egzozla kaybedilen enerji azalma eğilimi göstermektedir. Silindir içerisine sürülen ısı enerjisinin değişmemesine rağmen sıkıştırma oranının arttırılması, bu enerjiden daha fazla yararlanılmasına imkan sağlamakta ve motor momenti artmaktadır. Azalan egzoz gaz sıcaklığıyla birlikte kayıp enerji de azalmaktadır. Etanol içeren karışımlarda karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığı ve kayıp enerji azalmaktadır.



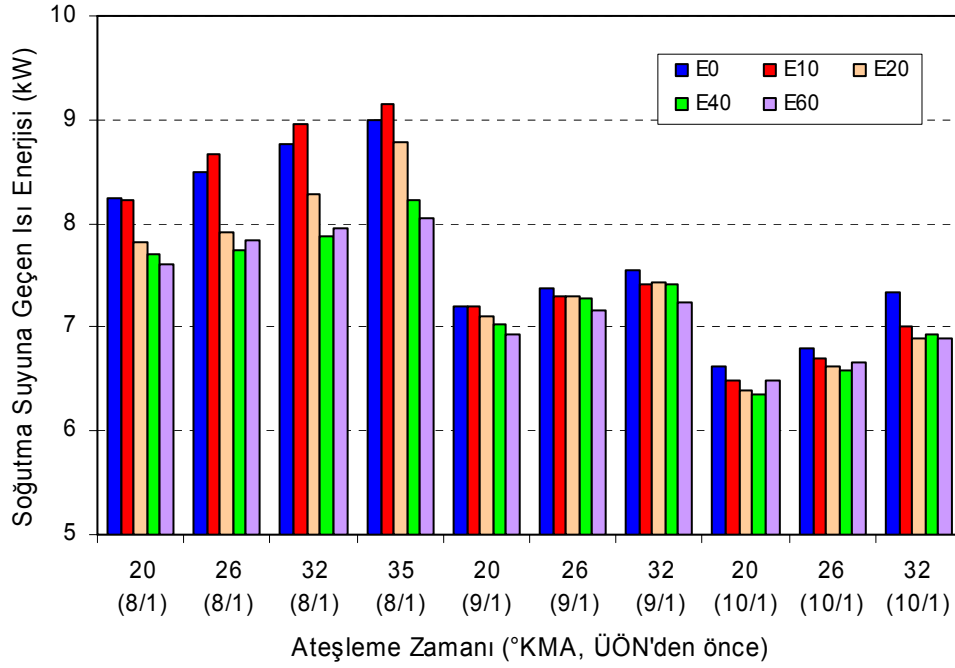
Şekil 4.63. Ateşleme zamanı ve sıkıştırma oranına bağlı olarak egzozla kaybedilen ısı enerjisinin değişimi (Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük)

Hava/yakıt oranı ve sıkıştırma oranının egzoz gazları yoluyla kayıp olan ısı enerjisine etkisi Şekil 4.64'te yer almaktadır. Artan sıkıştırma oranıyla birlikte kayıp enerji azalmakta ve stokiyometrik hava/yakıt oranında daha yüksek olmaktadır. Zengin karışımlarda yanma hızının artması yanmanın ÜÖN'ye daha yakın bir konumda tamamlanabilmesine olanak sağlamakta ve egzoz gaz sıcaklıkları azalmaktadır. Fakir karışımlarda yanma hızının düşmesine rağmen silindir içerisine sürülen ısı enerjisinin azalması egzoz kaybının daha düşük olmasını sağlamaktadır.



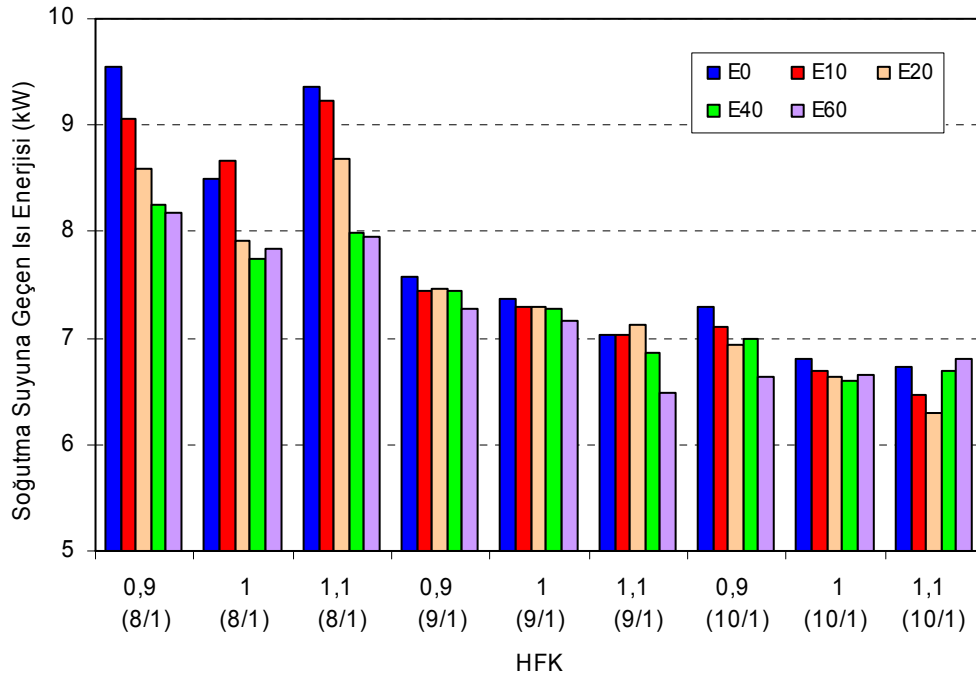
Şekil 4.64. HFK ve sıkıştırma oranına bağlı olarak egzozla kaybedilen ısı enerjisinin değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Ateşleme zamanı: 26° KMA ÜÖN'den önce, Tam yük)

İçten yanmalı motorlarda motorun yapısal özellikleri nedeniyle maksimum çevrim sıcaklığı sınırlandırılmıştır. Soğutma yapılması ısı enerjisinin bu yolla bir miktar kayba uğramasına sebep olmaktadır. Şekil 4.65 sıkıştırma oranı ve ateşleme zamanına bağlı olarak soğutma suyuna geçen ısı enerjisinin değişimini vermektedir. Sıkıştırma oranı arttıkça soğutma suyuna geçen kayıp enerji azalma eğilimi gösterirken artan ateşleme zamanına bağlı olarak artmaktadır. Yanma sürecinin artan ateşleme zamanıyla daha erkene alınması yanma odası cidarlarından soğutma suyuna olan ısı transferine daha fazla zaman vermekte ve ısı kaybı artmaktadır. Etanol benzin karışımlarında soğutma suyuna geçen ısı E0 yakıtından daha az gerçekleşmektedir.



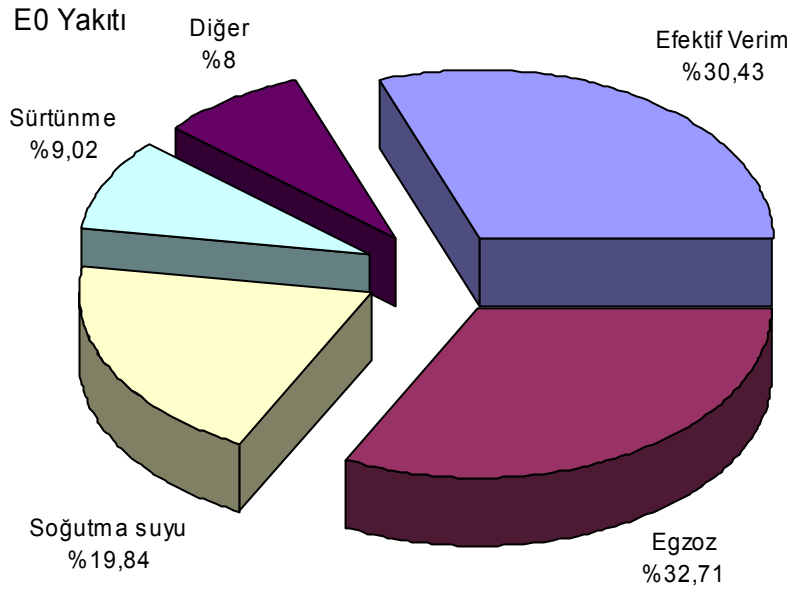
Şekil 4.65. Ateşleme zamanı ve sıkıştırma oranına bağlı olarak soğutma suyuna geçen ısı enerjisinin değişimi (Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük)

HFK ve sıkıştırma oranının soğutma suyuna geçen ısı enerjisine etkisi Şekil 4.66'da yer almaktadır. Genel olarak 0,9 HFK'den 1,1'e doğru karışım fakirleştikçe soğutma suyuna geçen ısı enerjisi azalmaktadır. Bu değişimde silindir içerisine sürülen ısı enerjisinin karışımın fakirleşmesiyle azalmasının etkisi olmaktadır. Bununla birlikte 1,1 HFK değerinde stokiyometrik hava/yakıt oranına yakın bir ısı kaybı olduğu görülmektedir. Hatta 8/1 sıkıştırma oranında 1,1 HFK'de daha yüksektir. Karışımın fakirleştirilmesi yanma hızını azalmakta ve yanmanın tamamlanması daha fazla KMA'da gerçekleşmektedir. Silindir cidarlarından soğutma suyuna ısı geçişi ve kayıp enerji artmaktadır.

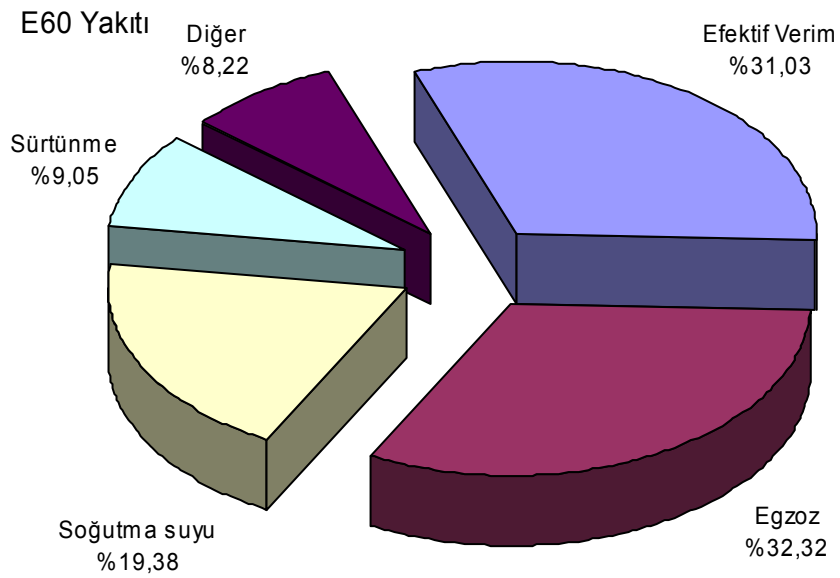


Şekil 4.66. HFK ve sıkıştırma oranına bağlı olarak soğutma suyuna geçen ısı enerjisinin değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Ateşleme zamanı: 26° KMA ÜÖN'den önce, Tam yük)

E0 ve E60 yakıtları için efektif verim ve ısı kayıplarının dağılımı Şekil 4.67 ve 4.68'de görülmektedir. Isı dağılımları incelendiğinde E60 ve E0 yakıtlarının kullanımında soğutma suyuna geçen ve egzoz gazları yoluyla kayıp olan ısı enerjileri oranlarının oldukça yakın olduğu ve E60 yakıtında biraz daha az gerçekleştiği görülmektedir. Grafikte belirtilen diğer kayıplar yağlama yağı ve radyasyonla kaybolan ısılar gibi kayıpları ifade etmektedir.



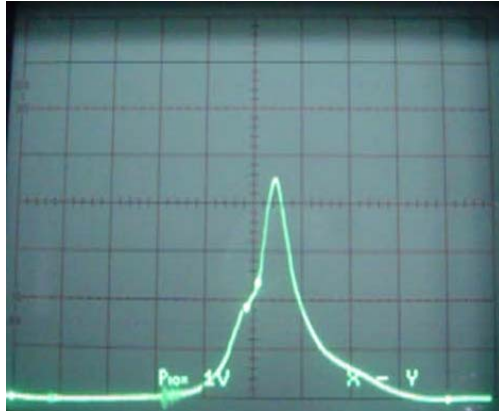
Şekil 4.67. E0 yakıtı için efektif verim ve ısı kayıplarının dağılımı (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma Oranı: 9:1, Ateşleme zamanı: 26° KMA ÜÖN'den önce, λ : 1, Tam yük)



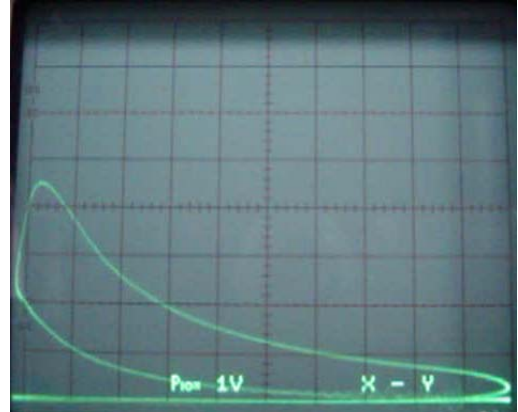
Şekil 4.68. E60 yakıtı için efektif verim ve ısı kayıplarının dağılımı (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma Oranı: 9:1, Ateşleme zamanı: 26° KMA ÜÖN'den önce, λ : 1, Tam yük)

4.10. Silindir Basınç Değişimleri

Silindir içerisindeki basıncın krank mili açısı ve kurs hacmine göre değişimleri E0 ve E60 yakıtları için 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarında 3500 d/d motor devrinde, stokiyometrik hava/yakıt oranında ($\lambda=1$) ve tam yükte farklı ateşleme zamanları için Resim 4.6-Resim 4.19’da verilmiştir. Basınç-krank mili açısı diyagramında maksimum basıncın olduğu tepe değerine yakın parlak nokta ÜÖN’yi, bu noktanın altındaki parlak nokta da ateşleme zamanını ifade etmektedir. Düşük sıkıştırma oranı ve rötarlı ateşlemede maksimum basıncın diğer ateşleme zamanlarına göre daha düşük ve ÜÖN’den daha uzak olduğu görülmektedir (Resim 4.6 ve 4.7). Ateşleme zamanının 36° KMA’ya arttırılmasıyla maksimum basınç ÜÖN’ye çok yakın bir noktada oluşmaktadır (Resim 4.8 ve 4.9). Bu değişimler her iki yakıtta benzer olup, E60 yakıtı kullanımında rötarlı ateşlemede ve yüksek ateşleme zamanlarında basıncın E0 yakıtından daha yüksek olduğu görülmektedir (Resim 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13). Sıkıştırma oranının 10/1’e arttırılmasıyla aynı ateşleme noktalarında E0 ve E60 yakıtlarında daha yüksek basınçlar elde edilmektedir (Resim 4.14, 4.15, 4.16 ve Resim 4.17, 4.18, 4.19). 8/1 sıkıştırma oranıyla karşılaştırıldığında rötarlı ateşlemede (12° KMA) basınç-krank mili açısı diyagramında ÜÖN ve ateşleme zamanı noktaları arasındaki basınç eğrisinin düşme eğilimi azalmaktadır. 36° KMA ateşleme zamanında en yüksek basıncın piston ÜÖN’de iken olduğu anlaşılmaktadır. E0 yakıtı kullanımında 32° KMA ateşleme zamanından itibaren vuruntu meydana gelmektedir (Resim 4.16). Resim 4.16.a ve 4.16.b’deki basınç eğrilerinde vuruntunun meydana getirdiği hızlı basınç dalgalanmaları daha yakından görülmektedir. E60 yakıtında basınç-krank mili açısı ve basınç-hacim diyagramlarında herhangi bir vuruntu oluşumu görülmemektedir (Resim 4.19). Ateşleme zamanı ve sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinin değişimi E0 yakıtı için Şekil 4.69’da, E60 yakıtı için Şekil 4.70’de görülmektedir. Silindir basınç değişimlerine bağlı olarak sıkıştırma oranının arttırılmasıyla motor momentinin rötarlı ateşleme zamanlarında çok daha belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Ayrıca maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı sıkıştırma oranının arttırılmasıyla azalmaktadır. Motor momentinin E60 yakıtı kullanımında E0 yakıtına kıyasla arttığı anlaşılmaktadır.



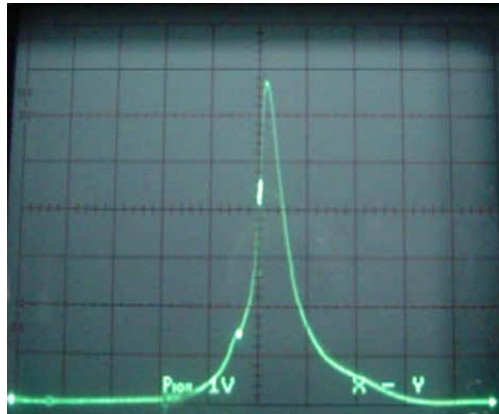
a)



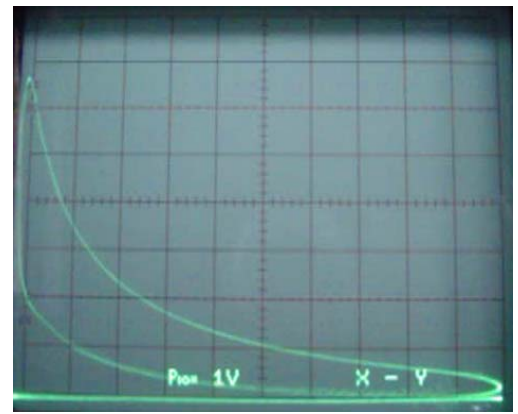
b)

Resim 4.6. E0 yakıtı kullanımında ve 12° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, İOEB: 938,95 kPa, η_e : %24,11)

a) Basınç-krank mili açısı diyagramı b) Basınç-hacim diyagramı



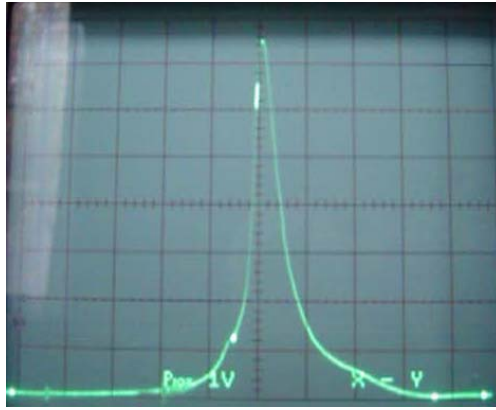
a)



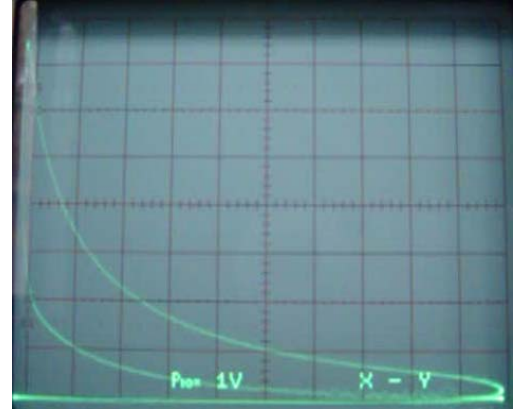
b)

Resim 4.7. E0 yakıtı kullanımında ve 24° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, İOEB: 1048 kPa, η_e : %28,45)

a) Basınç-krank mili açısı diyagramı b) Basınç-hacim diyagramı



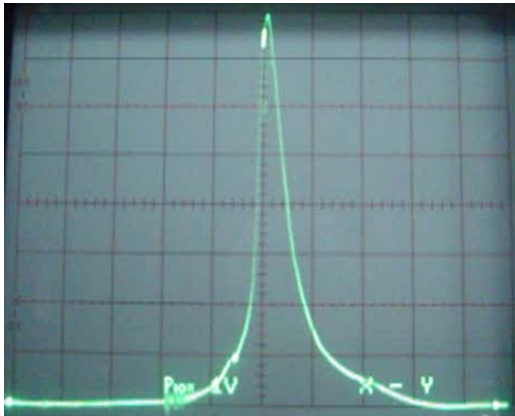
a)



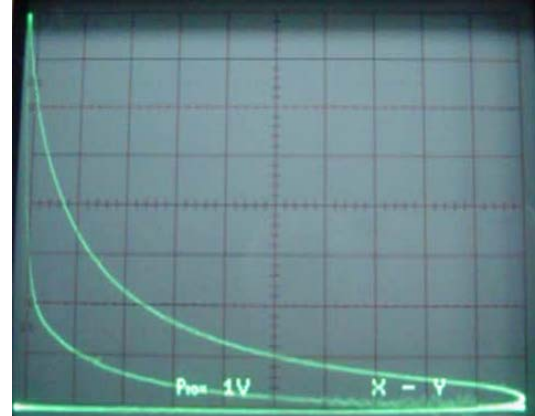
b)

Resim 4.8. E0 yakıtı kullanımında ve 30° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, İOEB: 1064 kPa, η_e : %28,93)

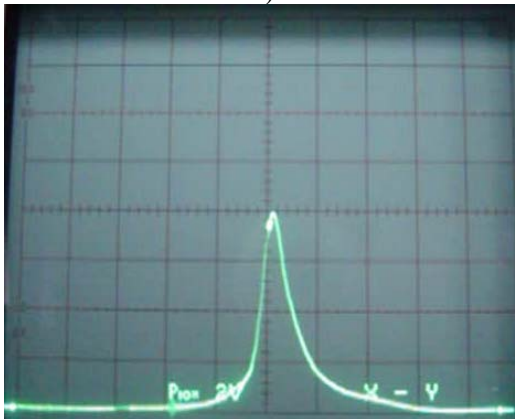
a) Basınç-krank mili açısı diyagramı b) Basınç-hacim diyagramı



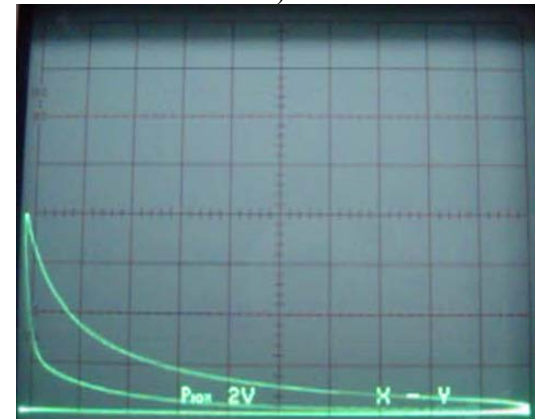
a)



b)



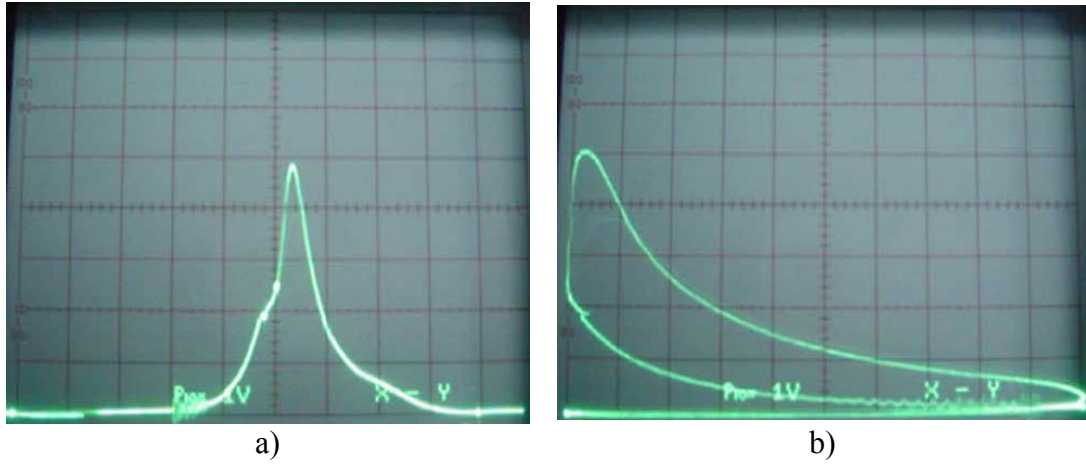
c)



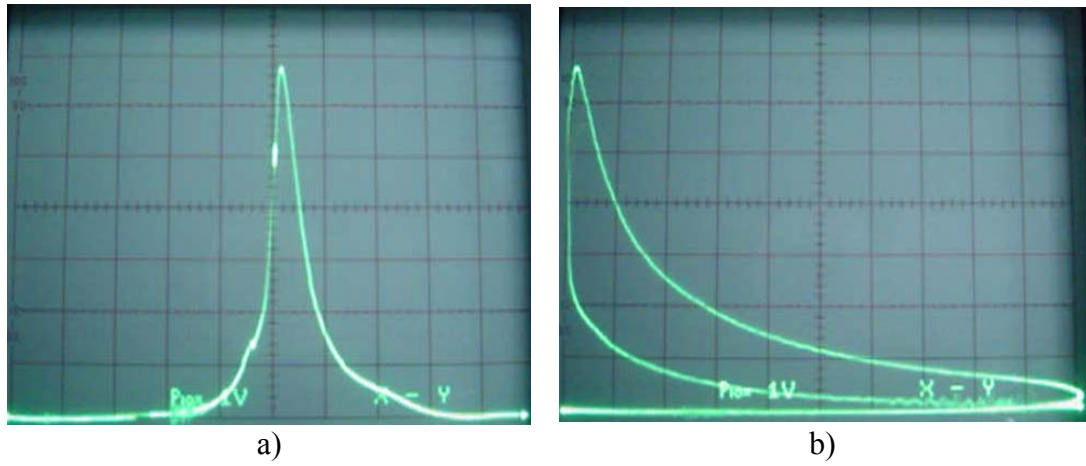
d)

Resim 4.9. E0 yakıtı kullanımında ve 36° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, İOEB: 1062,5 kPa, η_e : %29,42)

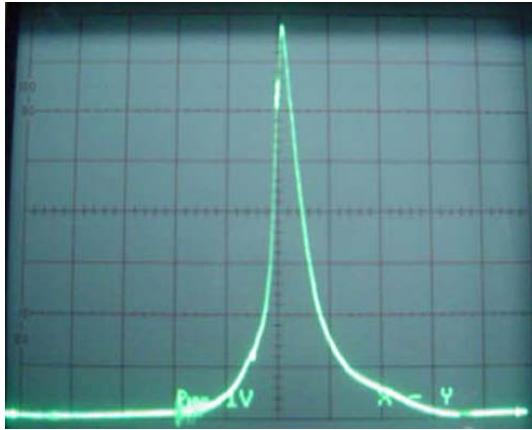
a) Basınç-KMA diyagramı (1 V) b) Basınç-hacim diyagramı (1 V)
c) Basınç-KMA diyagramı (2 V) d) Basınç-hacim diyagramı (2V)



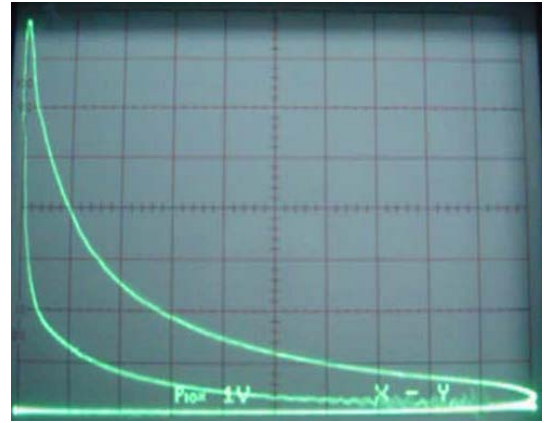
Resim 4.10. E60 yakıtı kullanımında ve 12° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, İOEB: 968,7 kPa, η_e : %24,91)
a) Basınç-krank mili açısı diyagramı b) Basınç-hacim diyagramı



Resim 4.11. E60 yakıtı kullanımında ve 24° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, İOEB: 1067,1 kPa, η_e : %29,09)
a) Basınç-krank mili açısı diyagramı b) Basınç-hacim diyagramı



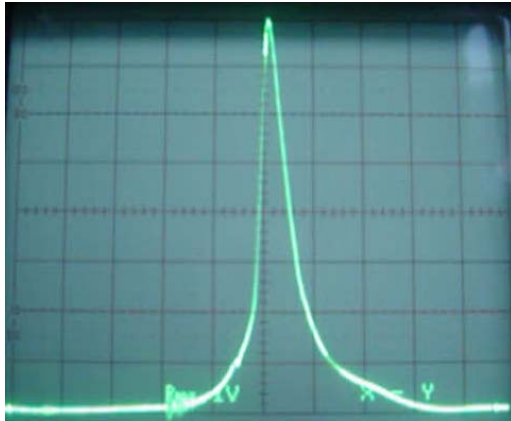
a)



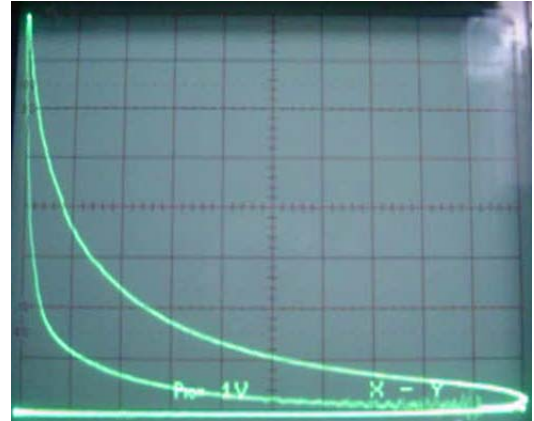
b)

Resim 4.12. E60 yakıtı kullanımında ve 30° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, İOEB: 1081,6 kPa, η_e : %29,76)

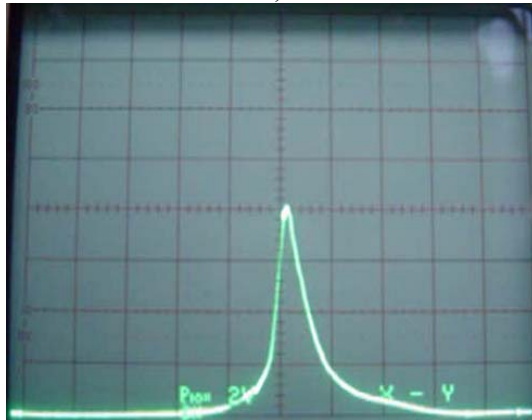
a) Basınç-krank mili açısı diyagramı b) Basınç-hacim diyagramı



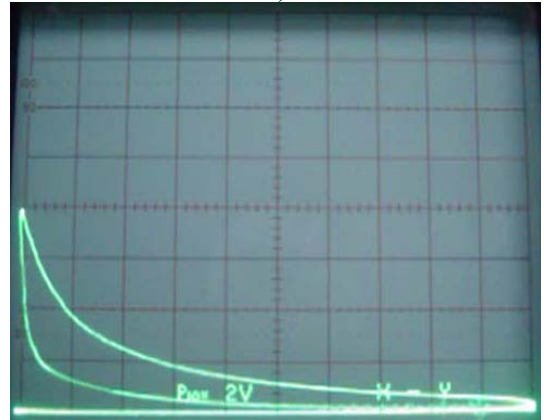
a)



b)



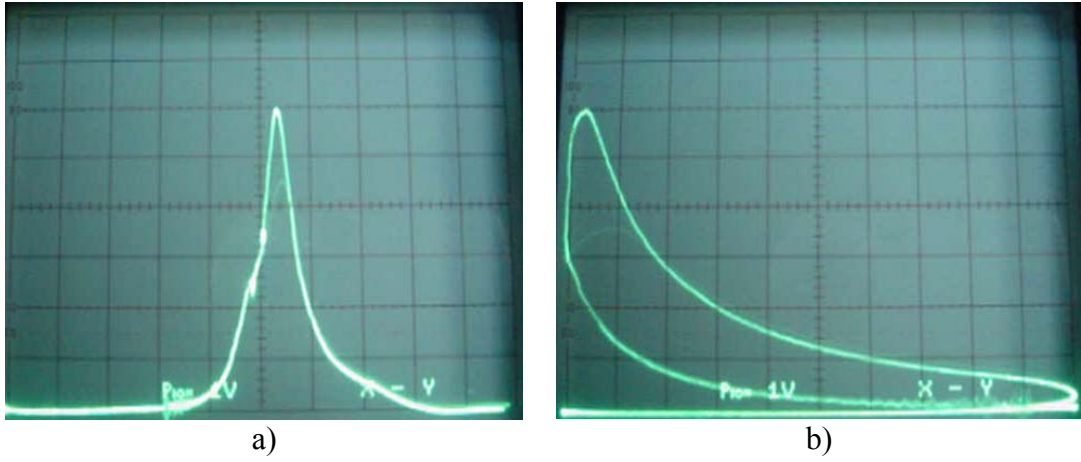
c)



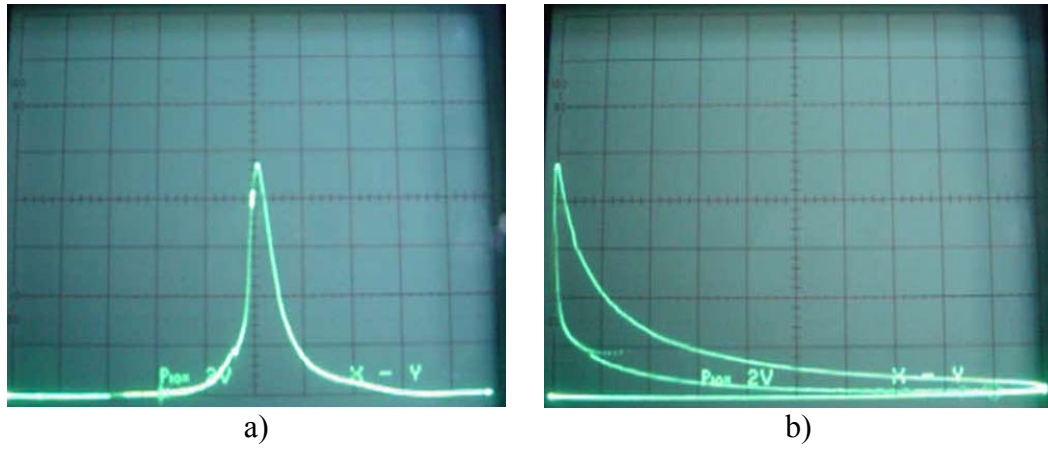
d)

Resim 4.13. E60 yakıtı kullanımında ve 36° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, İOEB: 1075,5 kPa, η_e : %29,79)

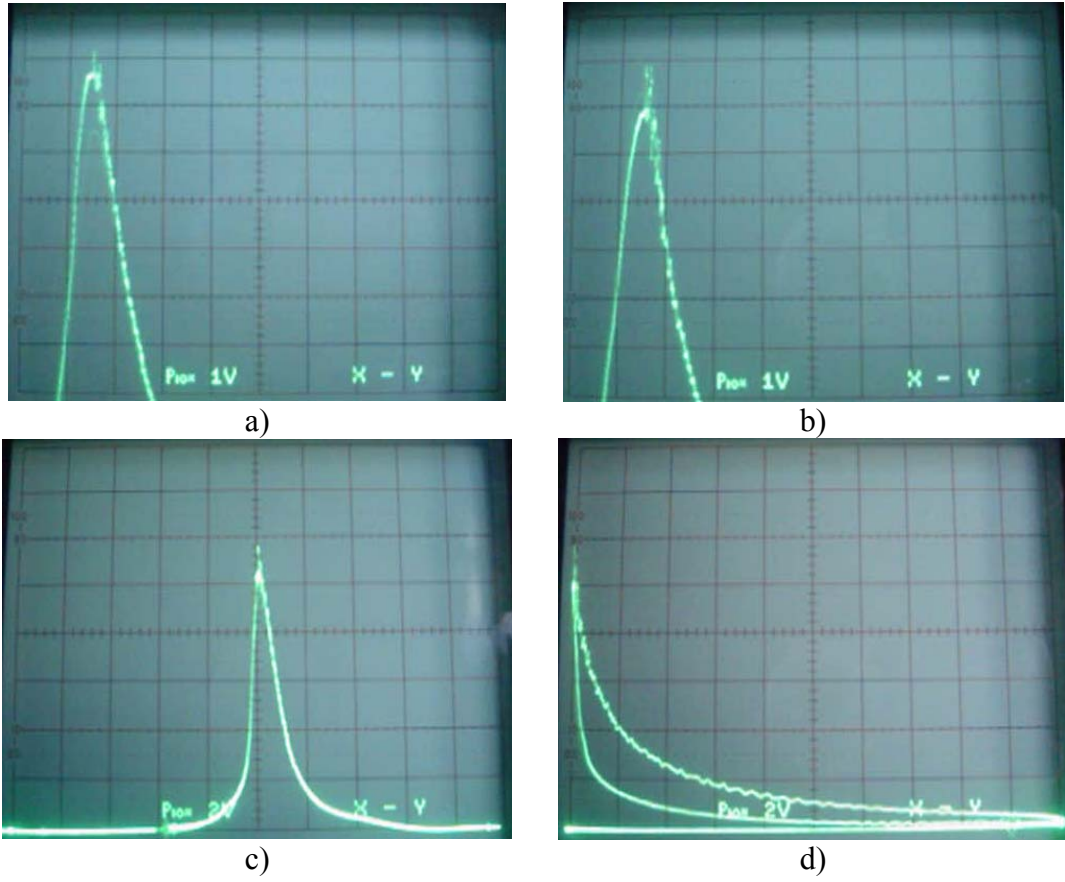
a) Basınç-KMA diyagramı (1 V) b) Basınç-hacim diyagramı (1 V)
c) Basınç-KMA diyagramı (2 V) d) Basınç-hacim diyagramı (2V)



Resim 4.14. E0 yakıtı kullanımında ve 12° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, İOEB: 1086,9 kPa, η_e : %28,56)
a) Basınç-krank mili açısı diyagramı b) Basınç-hacim diyagramı

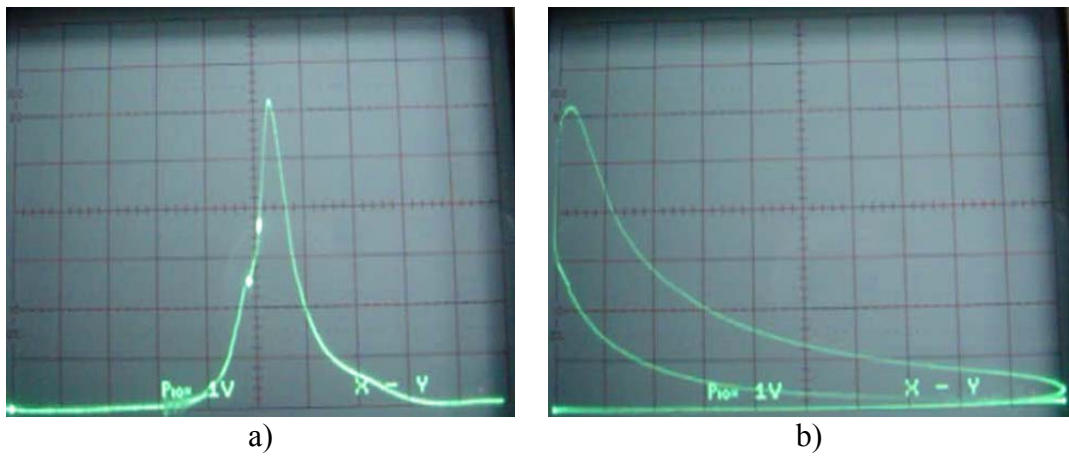


Resim 4.15. E0 yakıtı kullanımında ve 24° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, İOEB: 1160,9 kPa, η_e : %31,47)
a) Basınç-krank mili açısı diyagramı b) Basınç-hacim diyagramı



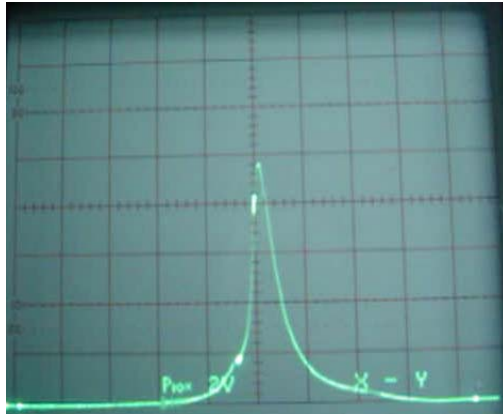
Resim 4.16. E0 yakıtı kullanımında vuruntu oluşumu (SO: 10/1)

- a) Basınç-krank mili açısı diyagramı (Ateşleme zamanı: 32° KMA)
- b) Basınç-krank mili açısı diyagramı (Ateşleme zamanı: 36° KMA)
- c) Basınç-krank mili açısı diyagramı
- d) Basınç-hacim diyagramı (36° KMA, İOEB: 1088,5 kPa, η_e : %29,91)

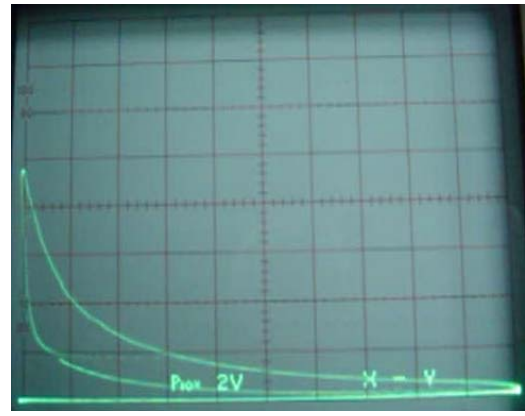


Resim 4.17. E60 yakıtı kullanımında ve 12° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, İOEB: 1097,6 kPa, η_e : %29,53)

- a) Basınç-krank mili açısı diyagramı b) Basınç-hacim diyagramı



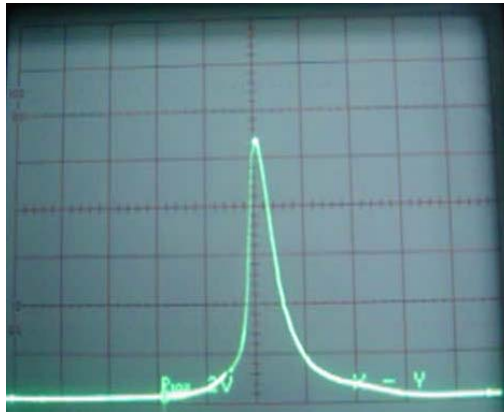
a)



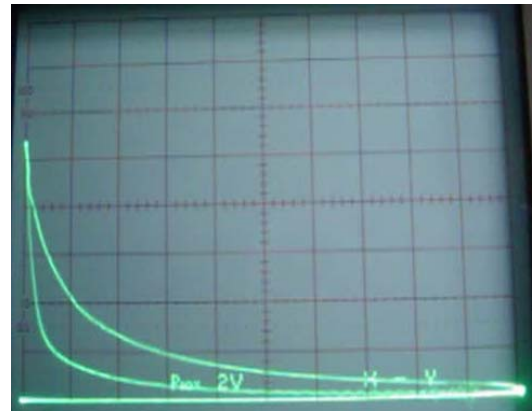
b)

Resim 4.18. E60 yakıtı kullanımında ve 24° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, İOEB: 1173,9 kPa, η_e : %32,93)

a) Basınç-krank mili açısı diyagramı b) Basınç-hacim diyagramı



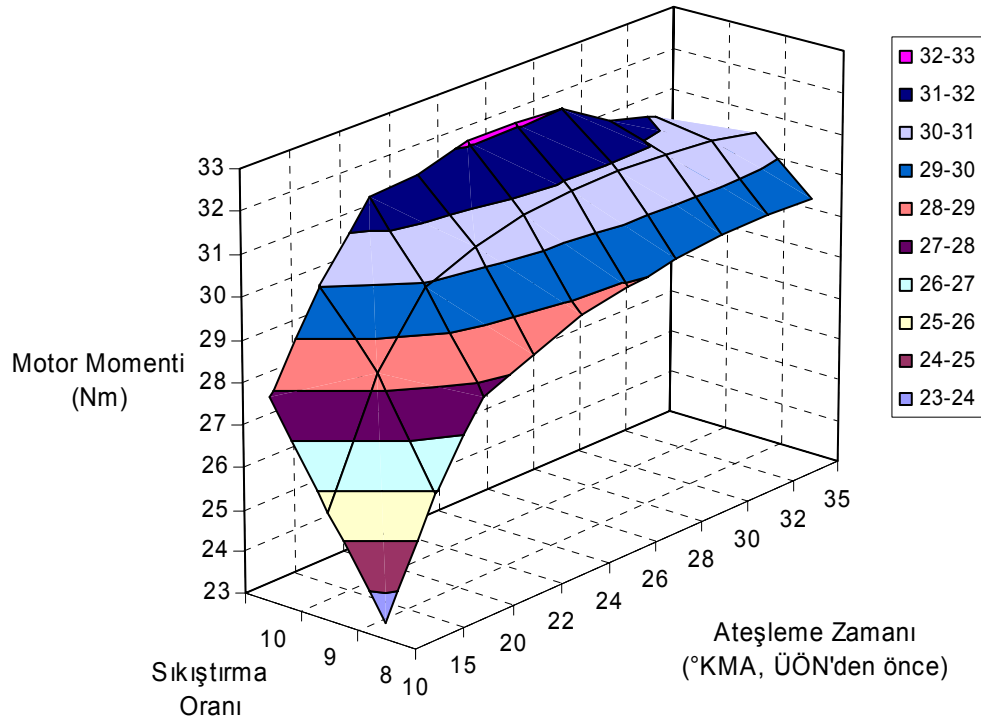
a)



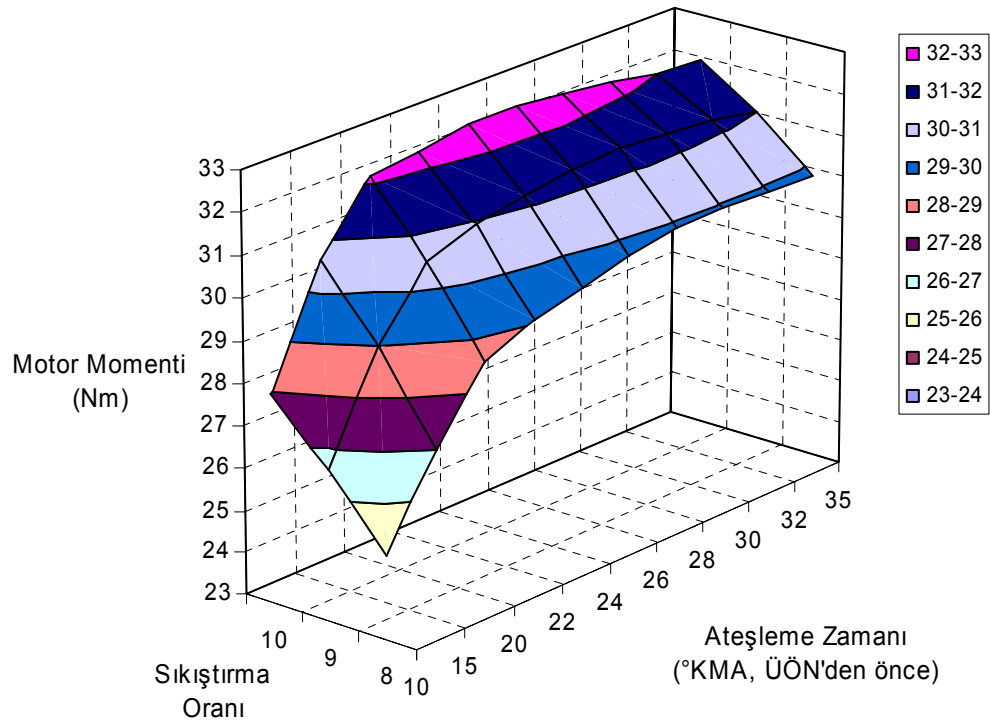
b)

Resim 4.19. E60 yakıtı kullanımında ve 36° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, İOEB: 1126,6 kPa, η_e : %31,52)

a) Basınç-krank mili açısı diyagramı b) Basınç-hacim diyagramı

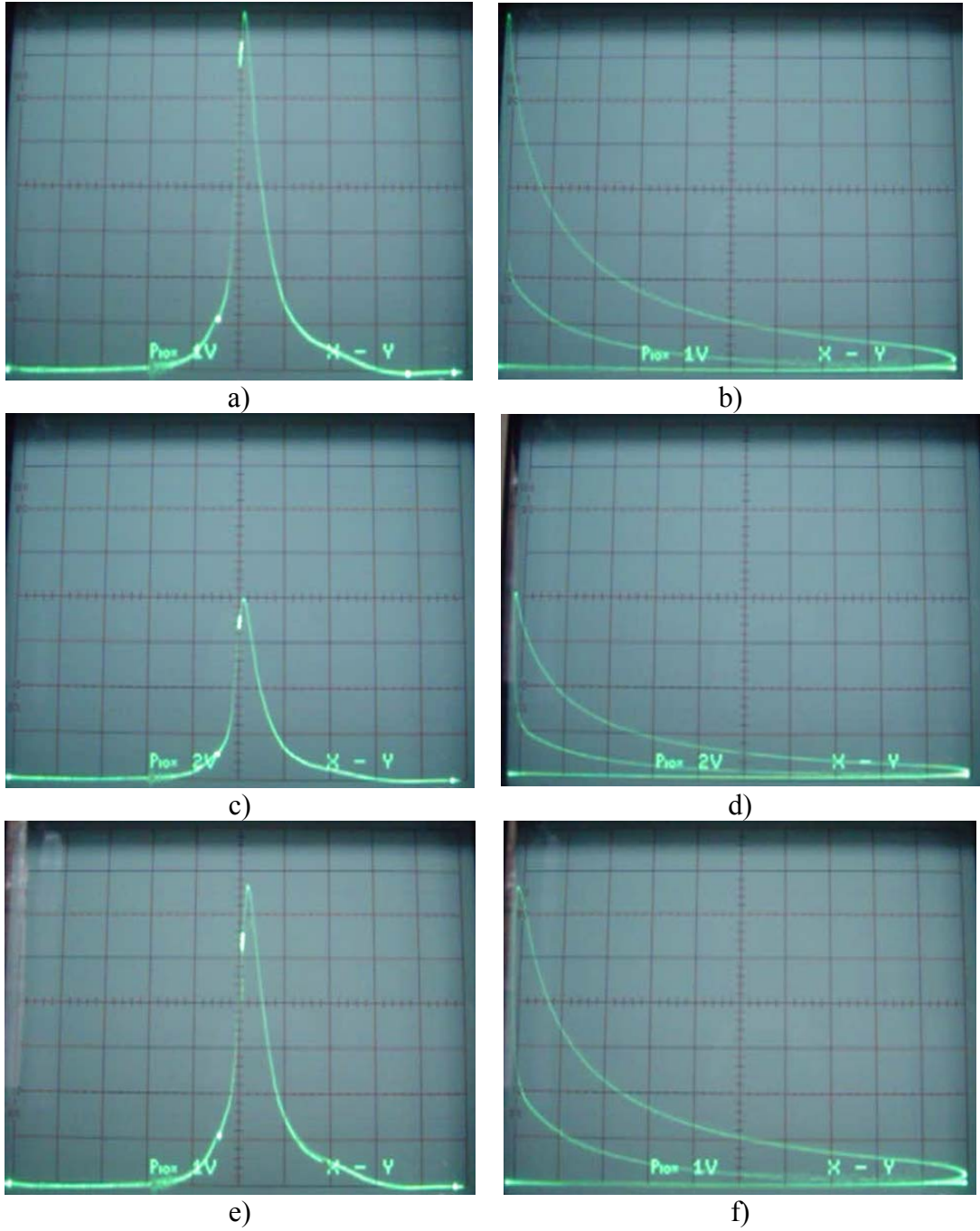


Şekil 4.69. Ateşleme zamanı ve sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinin değişimi (E0 yakıtı, Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük)



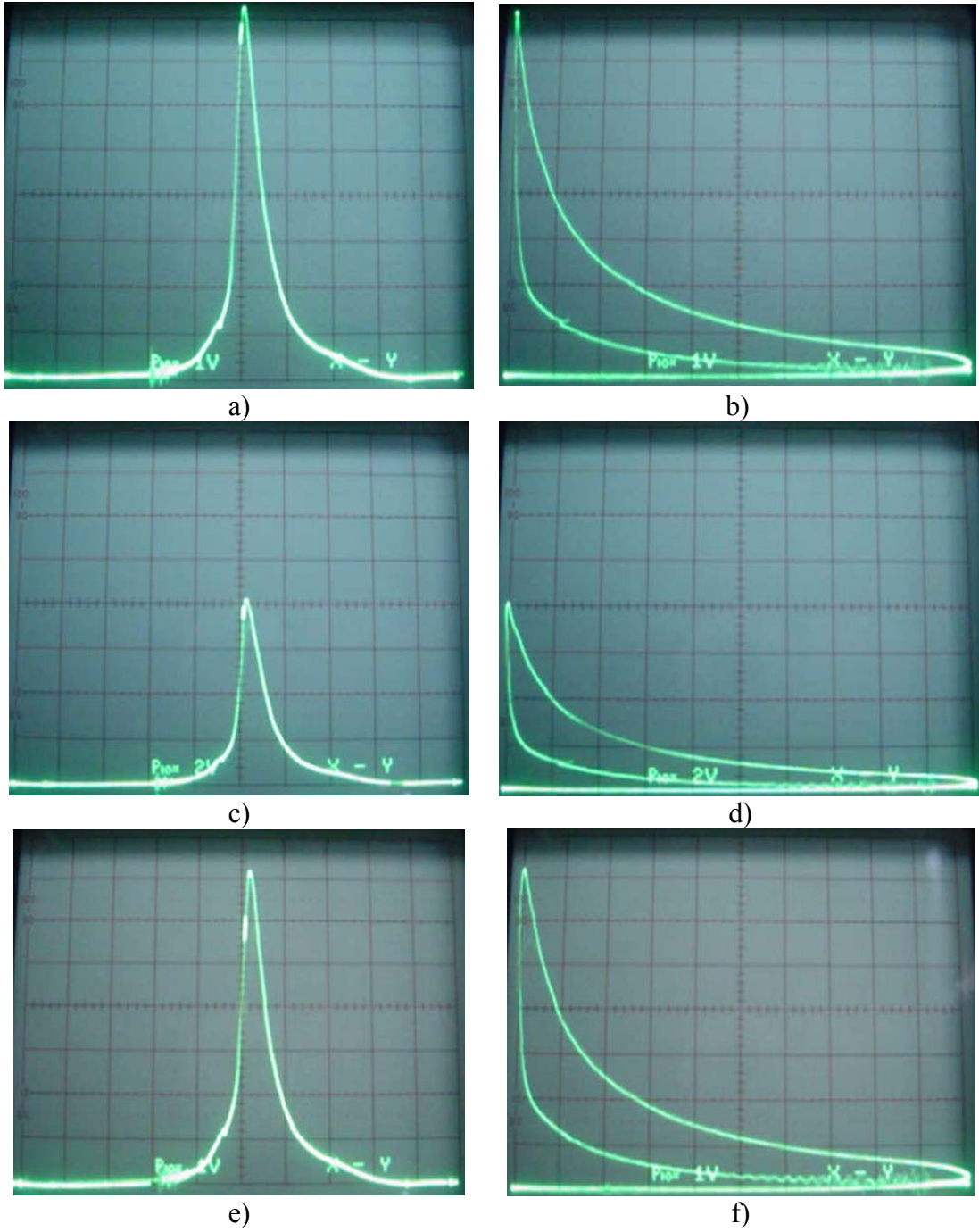
Şekil 4.70. Ateşleme zamanı ve sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinin değişimi (E60 yakıtı, Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük)

HFK'ye bağlı olarak basınç-krank mili açısı ve basınç-hacim diyagramlarının E0 ve E60 yakıtları için 8/1 sıkıştırma oranındaki değişimleri Resim 4.20 ve 4.21'de, 10/1 sıkıştırma oranlarındaki değişimleri ise, Resim 4.22 ve 4.23'te yer almaktadır. E0 ve E60 yakıtlarında sıkıştırma oranının arttırılması ve HFK'nin 1,1'den 0,9'a alınmasıyla silindir içerisinde oluşan basınç artmaktadır. Zengin hava/yakıt karışımı basınç artışıyla birlikte maksimum basıncın ÜÖN'ye daha yakın oluşmasını da sağlamaktadır. Zengin karışımda yanma hızının artması silindir içinde oluşan maksimum basıncın ÜÖN'ye yaklaşmasını sağlamaktadır. E60 yakıtı kullanımında silindir basınçları E0'a göre daha yüksek elde edilmiştir. şekil 4.71'de E0 yakıtı, şekil 4.72'de E60 yakıtı için HFK ve sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinin değişimi verilmiştir. şekil 4.71 ve şekil 4.72 karşılaştırıldığında E60 yakıtı kullanımında motor momentinin arttığı görülmektedir.



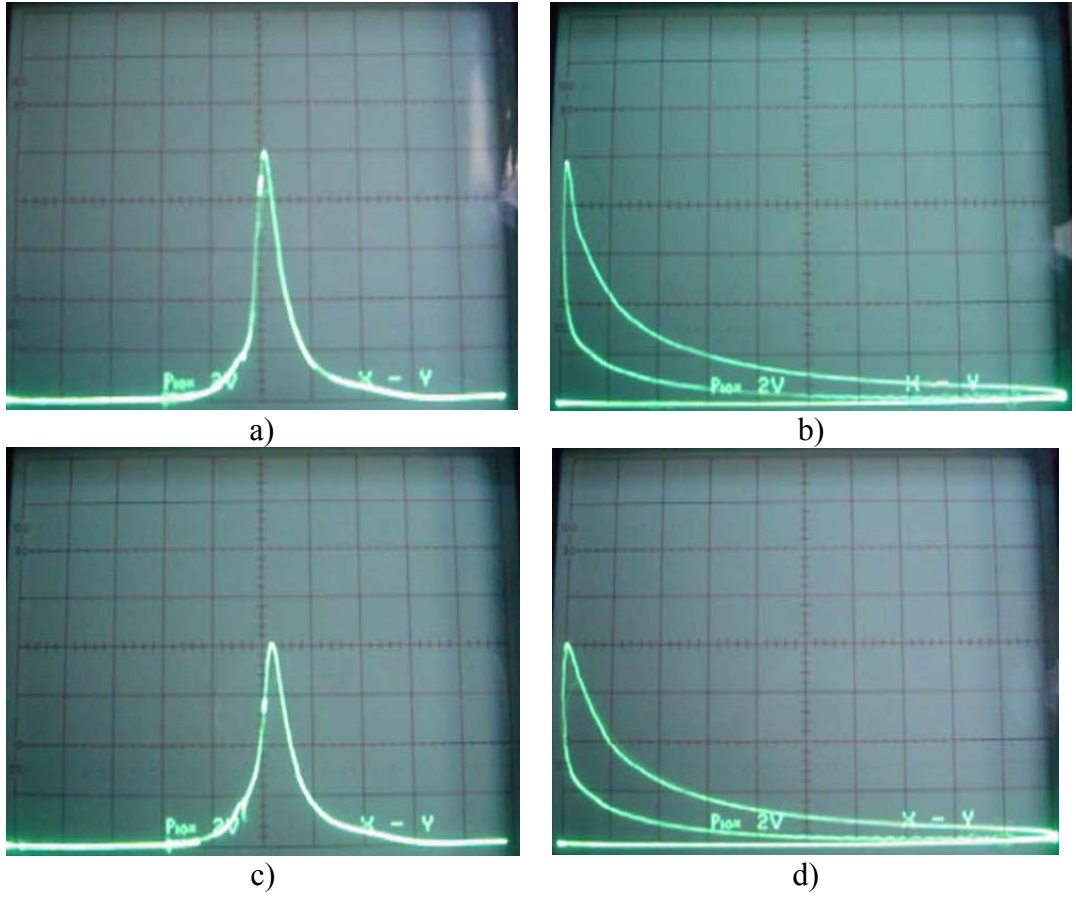
Resim 4.20. E0 yakıtı kullanımında ve 30° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, HFK=0,9 için; İOEB: 1080,8 kPa, η_e : %27 ve HFK=1,1 için; İOEB: 999,97 kPa, η_e : %29,75)

- a) Basınç-KMA diyagramı (1 V, HFK=0,9)
- b) Basınç-hacim diyagramı (1 V, HFK=0,9)
- c) Basınç-KMA diyagramı (2 V, HFK=0,9)
- d) Basınç-hacim diyagramı (2V, HFK=0,9)
- e) Basınç-KMA diyagramı (HFK=1,1)
- f) Basınç-hacim diyagramı (HFK=1,1)



Resim 4.21. E60 yakıtı kullanımında ve 30° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 8/1, HFK=0,9 için; İOEB: 1102,2 kPa, η_c : %27,72 ve HFK=1,1 için; İOEB: 1015,2 kPa, η_c : %30,4)

- a) Basınç-KMA diyagramı (1 V, HFK=0,9)
- b) Basınç-hacim diyagramı (1 V, HFK=0,9)
- c) Basınç-KMA diyagramı (2 V, HFK=0,9)
- d) Basınç-hacim diyagramı (2V, HFK=0,9)
- e) Basınç-KMA diyagramı (HFK=1,1)
- f) Basınç-hacim diyagramı (HFK=1,1)



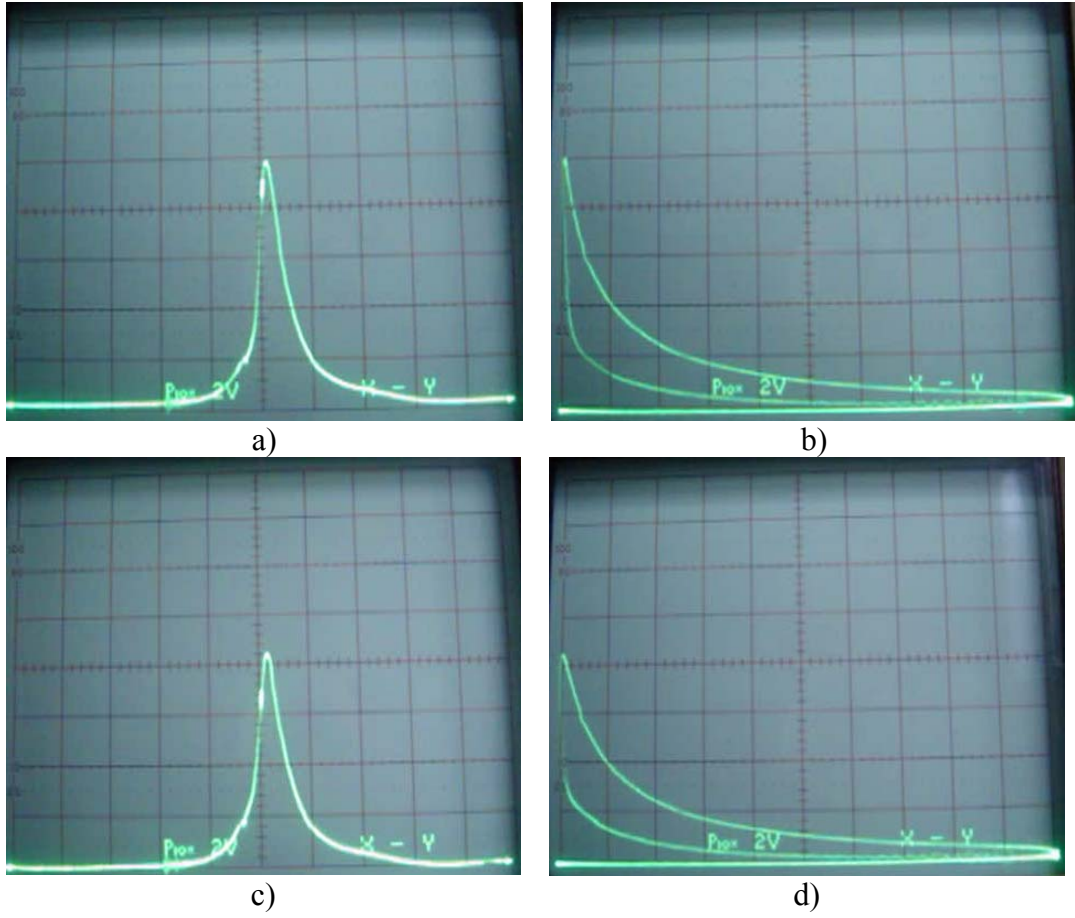
Resim 4.22. E0 yakıtı kullanımında ve 24° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, HFK=0,9 için; İOEB: 1176,2 kPa, η_e : %29,76 ve HFK=1,1 için; İOEB: 1070,1 kPa, η_e : %32,05)

a) Basınç-krank mili açısı diyagramı (HFK=0,9)

b) Basınç-hacim diyagramı (HFK=0,9)

c) Basınç- krank mili açısı diyagramı (HFK=1,1)

d) Basınç-hacim diyagramı (HFK=1,1)



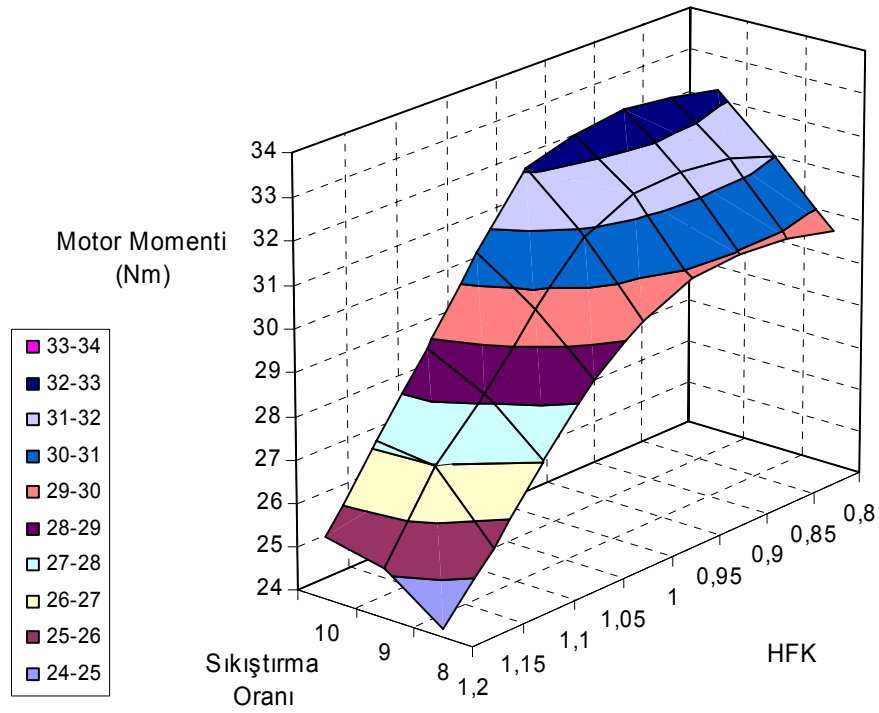
Resim 4.23. E60 yakıtı kullanımında ve 24° KMA ateşleme zamanında silindir basıncının değişimi (SO: 10/1, HFK=0,9 için; İOEB: 1192,2 kPa, η_e : %30,83 ve HFK=1,1 için; İOEB: 1078,5 kPa, η_e : %32,12)

a) Basınç-krank mili açısı diyagramı (HFK=0,9)

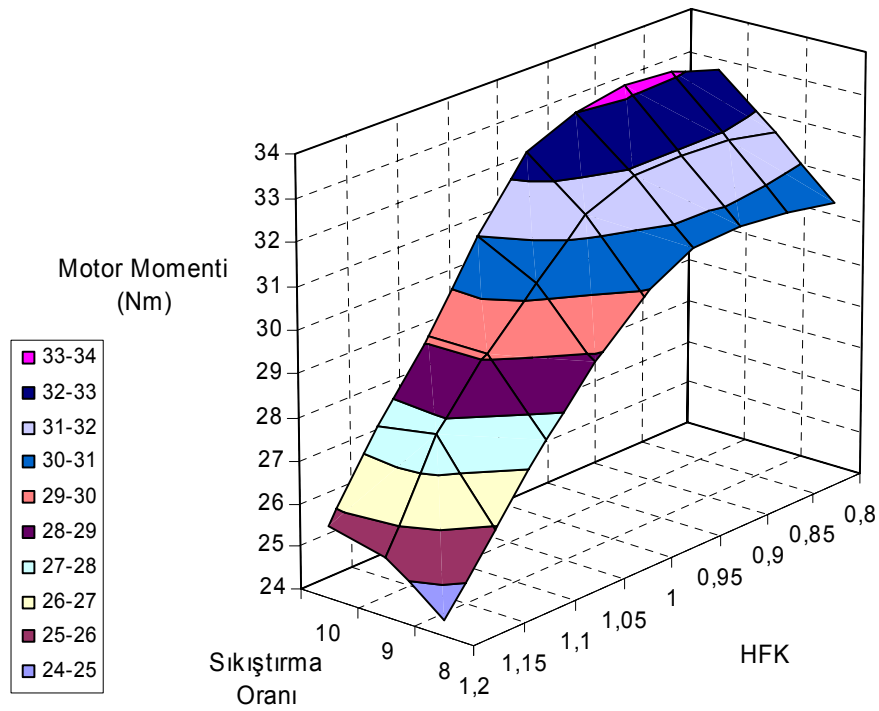
b) Basınç-hacim diyagramı (HFK=0,9)

c) Basınç- krank mili açısı diyagramı (HFK=1,1)

d) Basınç-hacim diyagramı (HFK=1,1)



Şekil 4.71. HFK ve sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinin değişimi (E0 yakıtı, Motor devri: 3500 d/d, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı, Tam yük)



Şekil 4.72. HFK ve sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentinin değişimi (E60 yakıtı, Motor devri: 3500 d/d, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı, Tam yük)

4.11. Yapay Sinir Ağı Çalışması

YSA uygulamalarında uygulamanın başarısı uygun metodolojinin belirlenmesiyle sağlanabilmektedir. Başarılı bir uygulama için uygun ağ yapısının seçilmesi, seçilen yapıdaki giriş, ara katman ve çıkış sayılarının belirlenmesi, ara katmandaki nöron sayısının yeterince kullanılması, transfer fonksiyonunun, öğrenme algoritmasının ve performans fonksiyonunun uygun bir şekilde belirlenmesi gerekir [83].

Bu çalışmada sıkıştırma oranı, ateşleme zamanı, hava fazlalık katsayısı ve yakıt tipi dikkate alınarak, 3500 d/d motor devrinde elde edilen deneysel verilere yapay sinir ağları uygulanmıştır. İleri beslemeli geri yayımlı ağ yapısında performans fonksiyonu olarak karesel ortalama hata fonksiyonu (Eş. 4.2) kullanılmıştır. Gizli katmandaki nöron sayısı, transfer fonksiyonu, öğrenme algoritmaları, ağın hedef değerlere en iyi yaklaşımı sağlanması amacıyla değiştirilmiştir. Giriş ve çıkış katmanları (0,1) oranında normalize edilerek, lojistik sigmoid transfer fonksiyonu ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması kullanıldığında hata fonksiyonu azalmıştır. Elde edilen ağ yapısı Şekil 4.73'te görülmektedir.

Lojistik sigmoid transfer fonksiyonu;

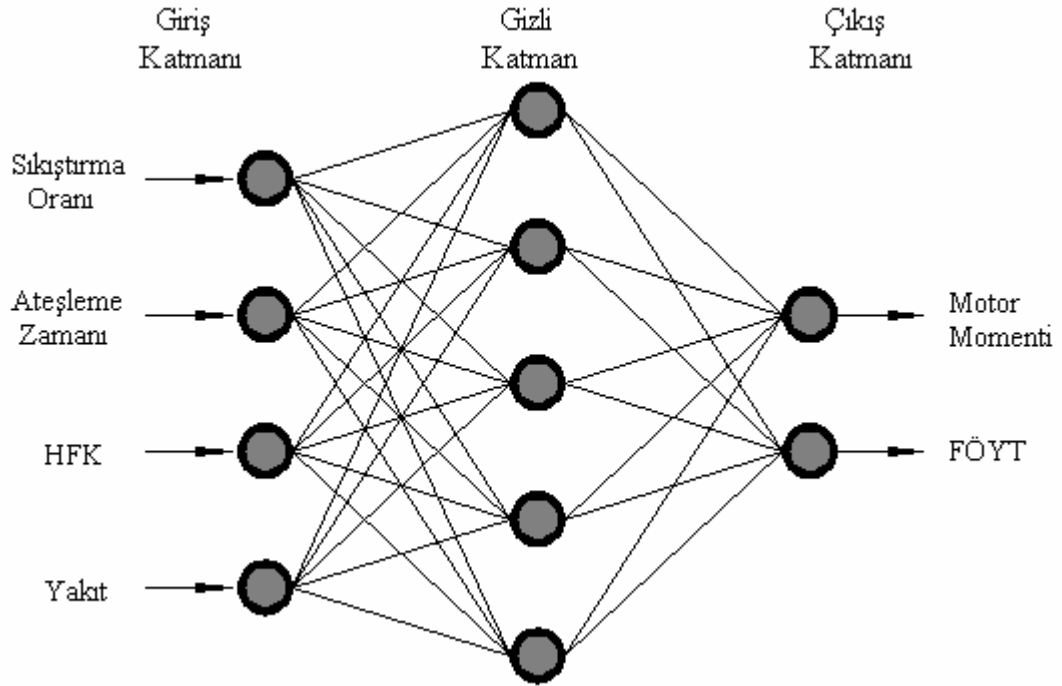
$$y = F(v) = \frac{1}{1 + e^{-v}} \quad (4.1)$$

ile ifade edilmektedir [83].

Karesel ortalama hata (KOH) fonksiyonu;

$$KOH = \left((1/n) \sum_{i=1}^n (h_i - \zeta_i)^2 \right) \quad (4.2)$$

eşitliği ile belirlenebilir [83]. Burada n veri sayısını, h hedef değeri ve ζ çıkış değerini ifade etmektedir.



Şekil 4.73. Kullanılan yapay sinir ağ yapısı

YSA'nın kullanılmasıyla sıkıştırma oranı (SO), ateşleme zamanı (AZ), hava fazlalık katsayısı (HFK) ve yakıt tipine (ρ_y) bağlı olarak elde edilen motor momenti ve FÖYT denklemleri Eş. 4.3 ve Eş. 4.4'te verilmiştir.

$$MotorMomenti = \frac{1}{1 + e^{-(0,15655 \cdot F_1 - 0,95493 \cdot F_2 - 0,018378 \cdot F_3 + 0,5445 \cdot F_4 + 1,3783 \cdot F_5 - 1,1089)}} \quad (4.3)$$

$$FÖYT = \frac{1}{1 + e^{-(1,8998 \cdot F_1 + 27,6789 \cdot F_2 + 2,1942 \cdot F_3 - 0,82726 \cdot F_4 - 1,0663 \cdot F_5 - 1,7149)}} \quad (4.4)$$

Denklemlerdeki F_i değerleri;

$$F_i = \frac{1}{1 + e^{-E_i}} \quad (4.5)$$

$$E_i = C_{1i} \cdot SO + C_{2i} \cdot AZ + C_{3i} \cdot HFK + C_{4i} \cdot \rho_y + C_{5i} \quad (4.6)$$

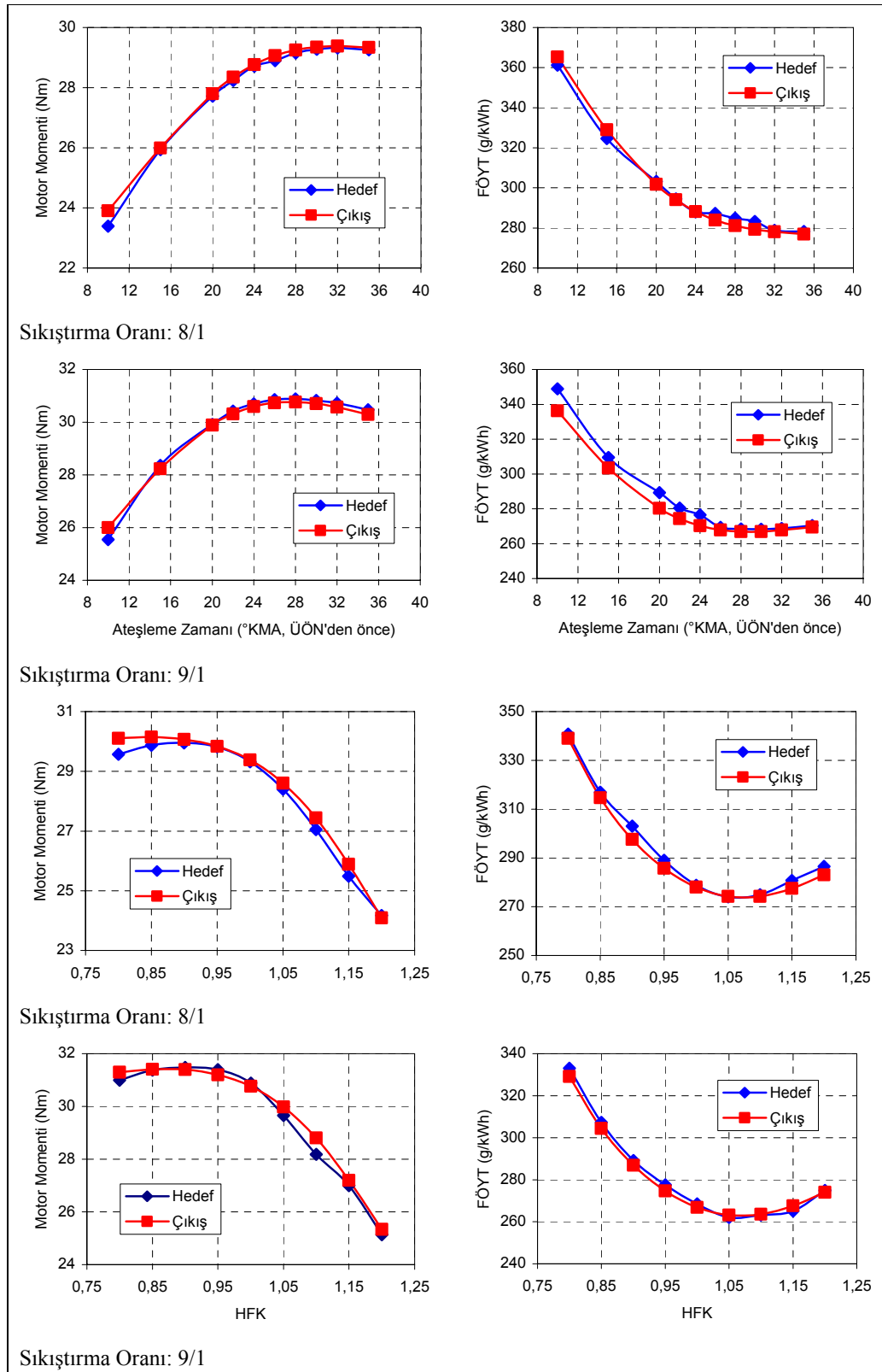
eşitlikleri ile elde edilmektedir.

Eş. 4.3 ve Eş. 4.4 denklemleri için giriş ve gizli katmanlar arasındaki ağırlıklar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

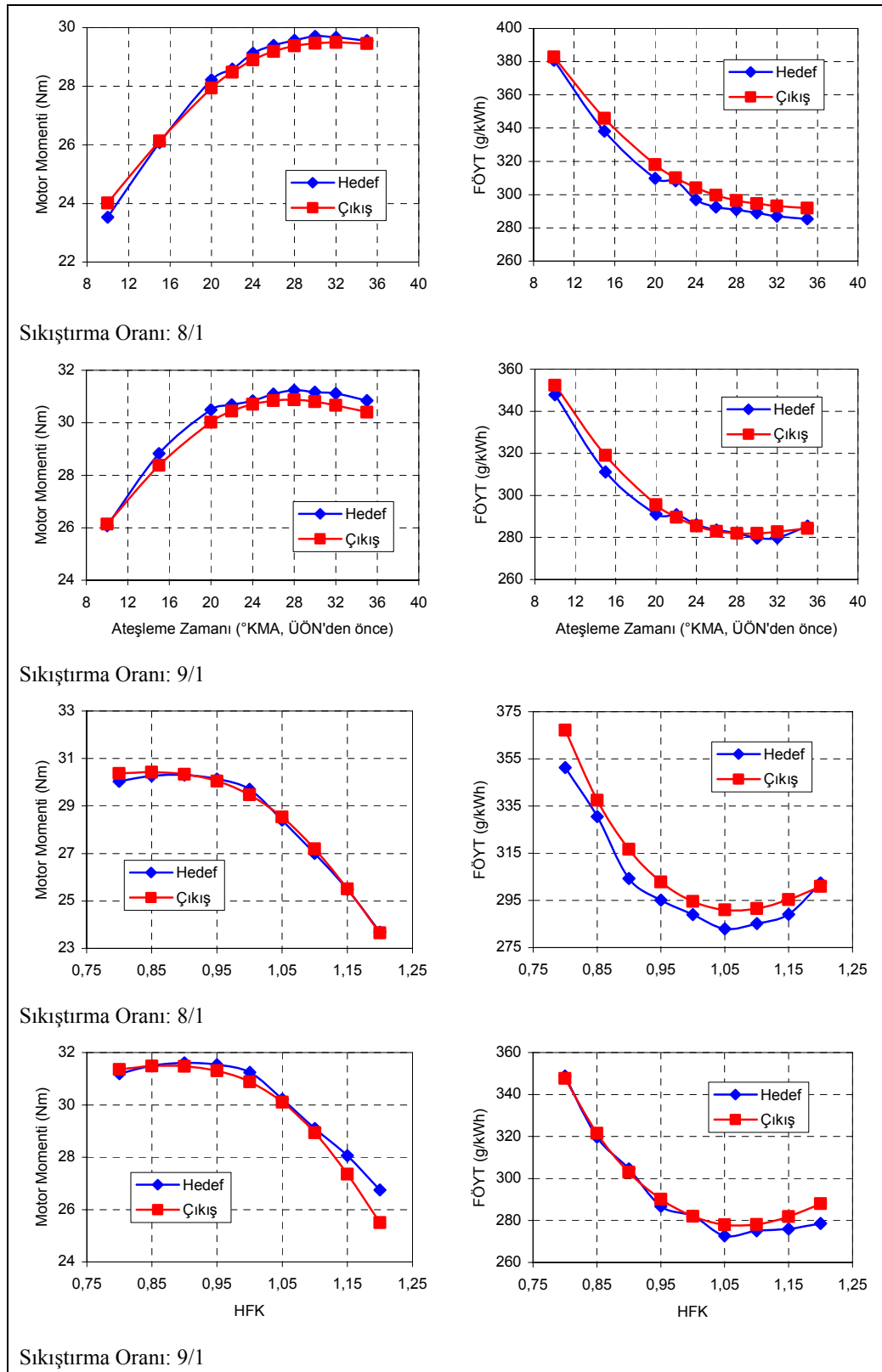
Çizelge 4.1. Motor momenti ve FÖYT denklemleri için giriş ve gizli katmanlar arasındaki ağırlıklar

i	C_{1i}	C_{2i}	C_{3i}	C_{4i}	C_{5i}
1	1,0468	-0,93195	-2,1932	60,9064	-44,6408
2	-6,6583	-4,4169	-13,3339	41,8956	-19,7783
3	7,2292	-0,71391	7,6961	2,1913	0,63706
4	4,2565	-5,4041	4,3977	-3,0526	-0,27833
5	5,8364	4,9458	-11,8869	3,5462	1,6846

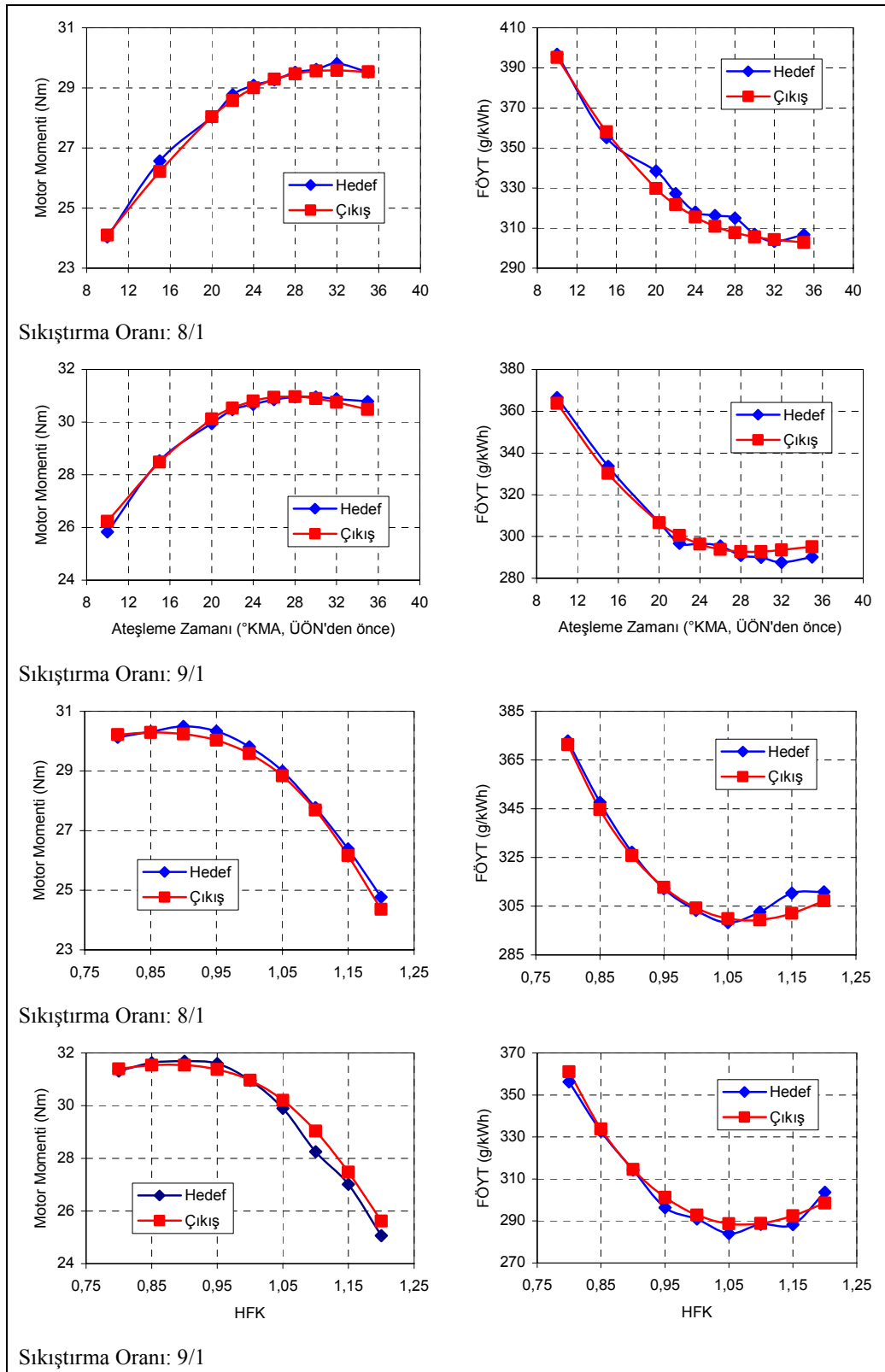
Deneyssel verilerle YSA sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.74, 4.75, 4.76, 4.77 ve 4.78’de verilmiştir. Hata analizleri sonuçları Çizelge 4.2’de görülmektedir.



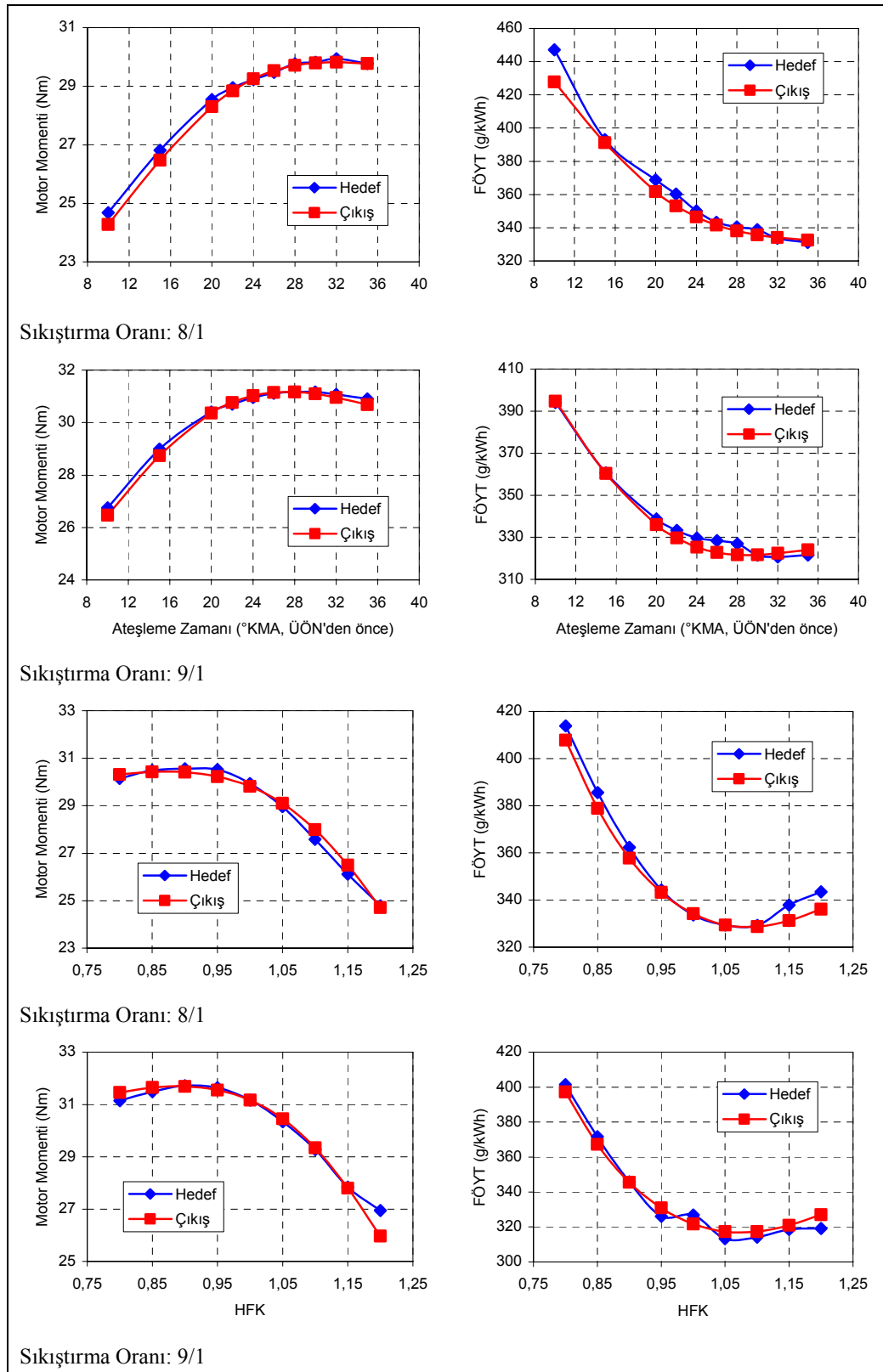
Şekil 4.74. E0 yakıtının deneysel verileri ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



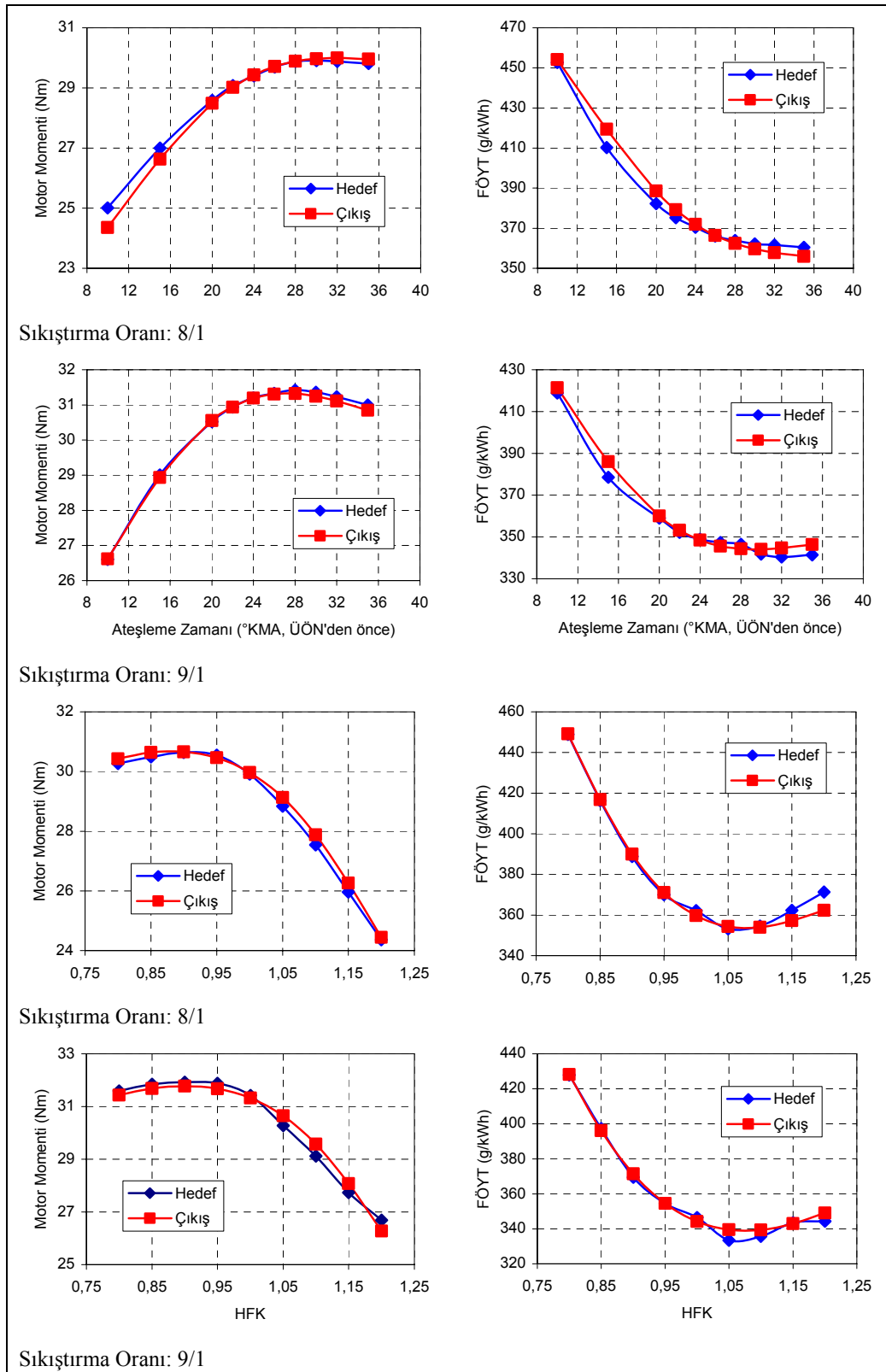
Şekil 4.75. E10 yakıtının deneysel verileri ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.76. E20 yakıtının deneysel verileri ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.77. E40 yakıtının deneysel verileri ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.78. E60 yakıtının deneysel verileri ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 4.2. Hata analizleri sonuçları

	Motor Momenti		FÖYT	
	R ²	OMHY	R ²	OMHY
Sıkıştırma Oranı: 8/1				
Ateşleme Zamanı Verileri				
E0	0,999957	0,485266	0,999909	0,781104
E10	0,99993	0,74778	0,999618	1,876498
E20	0,999971	0,38811	0,999792	1,24456
E40	0,999954	0,51758	0,999598	1,28188
E60	0,999926	0,588539	0,999872	0,90319
HFK Verileri				
E0	0,999899	0,817497	0,999907	0,79621
E10	0,999966	0,464824	0,999207	0,508491
E20	0,999937	0,70757	0,999881	0,85994
E40	0,999935	0,69818	0,999819	1,03368
E60	0,999953	0,584562	0,999909	0,655774
Sıkıştırma Oranı: 9/1				
Ateşleme Zamanı Verileri				
E0	0,999962	0,52379	0,999544	1,58138
E10	0,999863	1,07175	0,999862	0,842029
E20	0,999959	0,480799	0,999887	0,90064
E40	0,999976	0,39058	0,999904	0,82606
E60	0,999993	0,2089	0,999906	0,773623
HFK Verileri				
E0	0,999909	0,791264	0,999934	0,70905
E10	0,999686	1,25534	0,999772	1,22609
E20	0,999838	1,031507	0,999861	0,99995
E40	0,999867	0,705514	0,999827	1,200202
E60	0,999908	0,88935	0,999931	0,655071
Sıkıştırma Oranı: 10/1				
Ateşleme Zamanı Verileri				
E0	0,999913	0,679722	0,99976	1,28808
E10	0,999935	0,613674	0,999825	0,798792
E20	0,999929	0,78389	0,999778	1,09196
E40	0,999984	0,321907	0,999956	0,592381
E60	0,999912	0,544733	0,999831	1,266913
HFK Verileri				
E0	0,99962	1,685928	0,999909	0,84314
E10	0,999685	1,47756	0,999803	2,792768
E20	0,999699	1,3673	0,999614	1,41604
E40	0,999532	1,686987	0,999934	0,594497
E60	0,999098	2,183393	0,999674	1,568975

Mutlak değişim kesri (R^2);

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \varsigma_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\varsigma_i)^2} \right) \quad (4.7)$$

Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (OMHY);

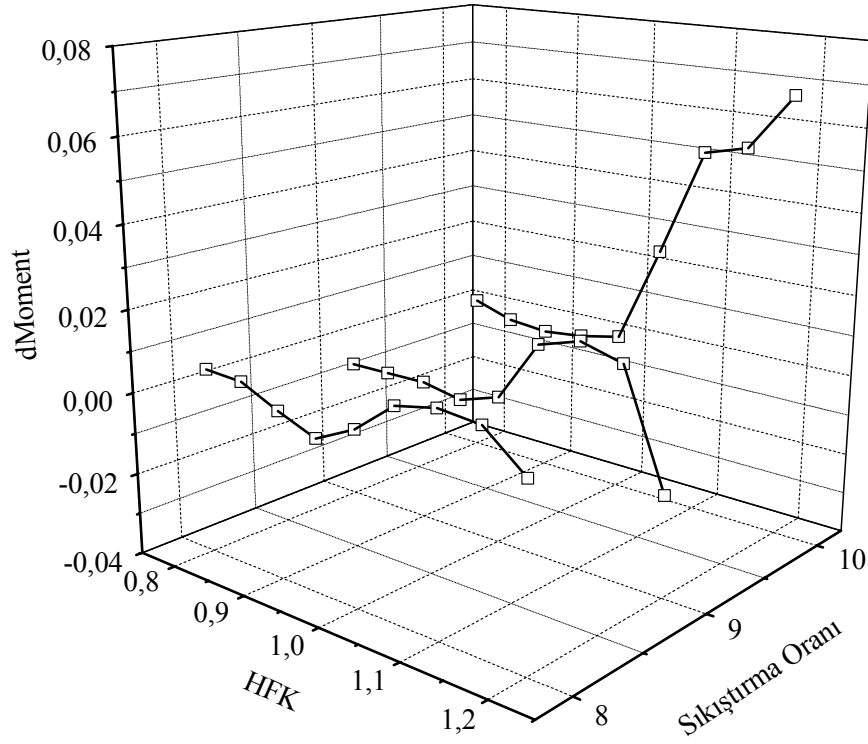
$$OMHY = \frac{(h_i - \varsigma_i)}{\varsigma_i} \cdot 100 \quad (4.8)$$

eşitliği ile belirlenebilir. Burada n veri sayısını, h hedef değeri ve ç çıkış değerini ifade etmektedir [84, 98, 99].

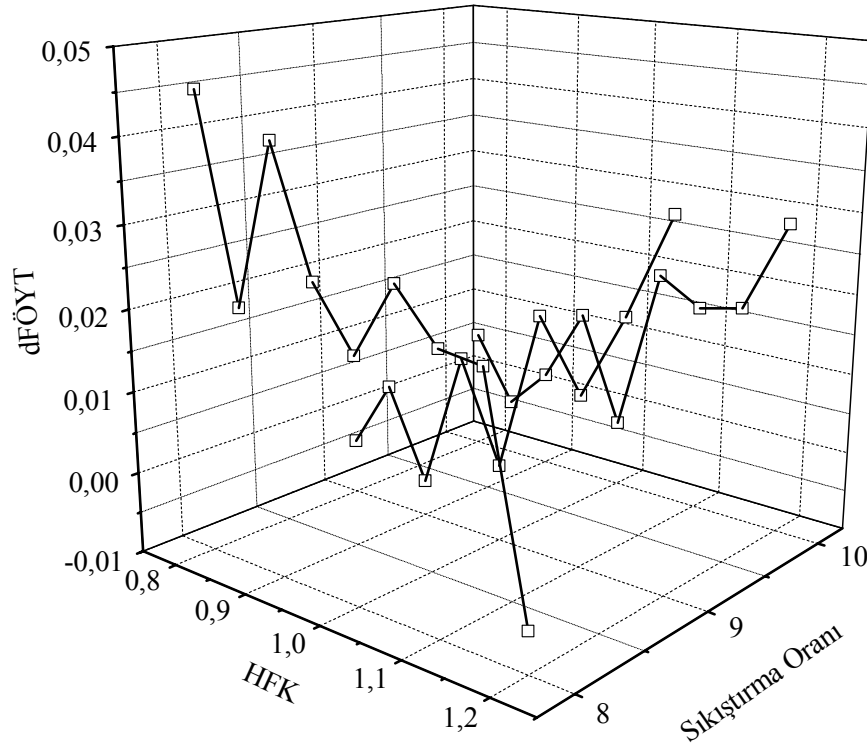
Hata analiz sonuçları incelendiğinde en yüksek R^2 'nin 9/1 sıkıştırma oranında E60 yakıtının ateşleme zamanı verilerinde (motor momenti) 0,999993, en düşük R^2 'nin 10/1 sıkıştırma oranında E60 yakıtının HFK verilerinde (motor momenti) 0,999098 olduğu anlaşılmaktadır. Verilerin ortalama mutlak hata yüzdeleri (OMHY) incelendiğinde; en düşük OMHY'nin 9/1 sıkıştırma oranında E60 yakıtının ateşleme zamanı verilerinde (motor momenti) 0,2089, en yüksek OMHY'nin 10/1 sıkıştırma oranında E10 yakıtının HFK verilerinde (FÖYT) 2,792768 olduğu görülmüştür.

Şekil 4.79'da en düşük R^2 'nin elde edildiği verileri de kapsayan motor momenti değerlerindeki sapmalar verilmiştir. En düşük R^2 'nin elde edildiği 10/1 sıkıştırma oranında E60 yakıtının HFK'ye bağlı motor momenti verilerinde %-0,271-%6,7717 aralığında sapmalar görülmüştür. Şekil 4.80'de en yüksek OMHY sonuçlarını içeren FÖYT değerlerindeki sapmalar görülmektedir. En yüksek OMHY'nin görüldüğü 10/1 sıkıştırma oranında E10 yakıtının HFK'ye bağlı FÖYT değerlerinde elde edilen sapmalar %-0,272-%2,873 aralığında değişmektedir. Şekil 4.81'de en iyi sonuçların elde edildiği noktayı içeren motor momenti değerlerindeki sapmalar verilmiştir. En yüksek R^2 ve en düşük OMHY'nin görüldüğü 9/1 sıkıştırma oranında E60 yakıtının

ateşleme zamanına bağlı motor momentleri verilerinde $\% -0,484$ - $\% 0,0983$ aralığında sapmalar elde edilmiştir.



Şekil 4.79. Farklı sıkıştırma oranlarında dMoment'in HFK'ye bağlı değişimi (E60)



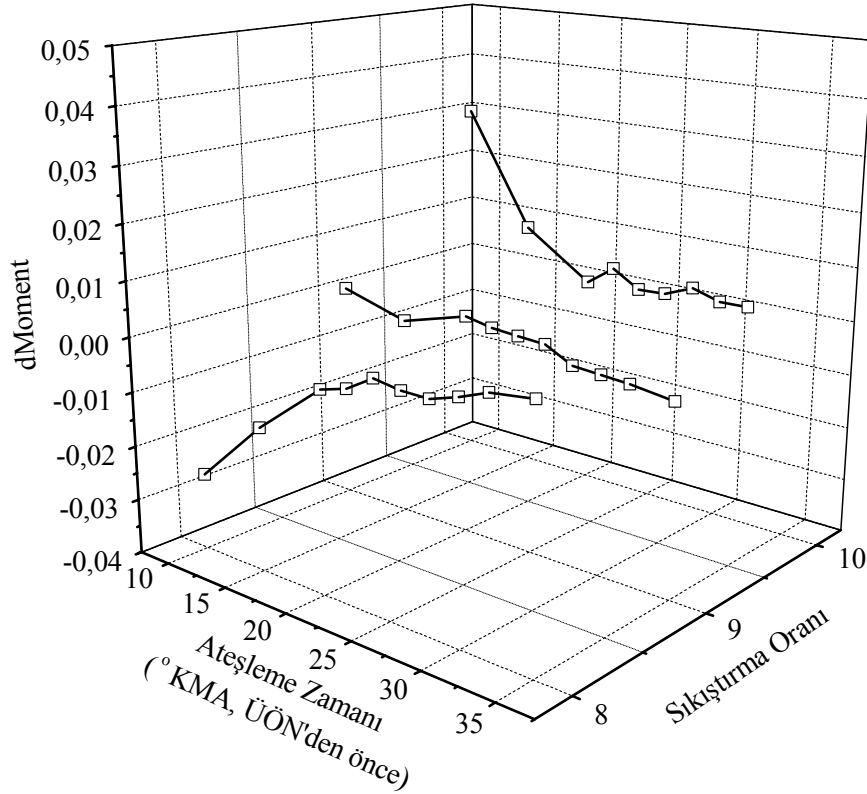
Şekil 4.80. Farklı sıkıştırma oranlarında dFÖYT'nin HFK'ye bağlı değişimi (E10)

Sapma değerleri;

$$dMoment = \left(\frac{Moment_{YSA} - Moment_{Deneysel}}{Moment_{Deneysel}} \right) \quad (4.9)$$

$$dFÖYT = \left(\frac{FÖYT_{YSA} - FÖYT_{Deneysel}}{FÖYT_{Deneysel}} \right) \quad (4.10)$$

eşitlikleri ile belirlenmiştir [84, 100-102].



Şekil 4.81. Farklı sıkıştırma oranlarında dMoment'in ateşleme zamanına bağlı değişimi (E60)

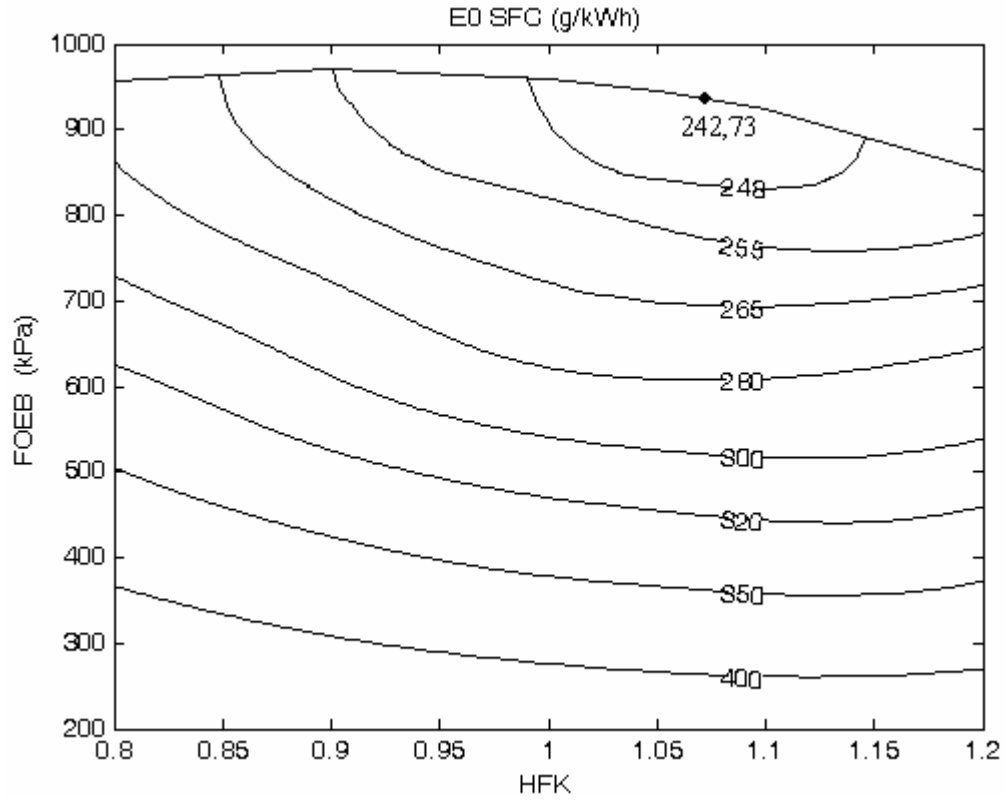
YSA ile elde edilen moment ve fren özgül yakıt tüketimi denklemleri Simplex metodunun kullanıldığı Q-Basic programında sınır şartlarına dıştan penaltı yöntemi uygulanarak en yüksek motor momenti ve en düşük fren özgül yakıt tüketiminin elde edilebileceği noktalar incelenmiştir. En yüksek motor momenti 13:1 sıkıştırma oranında, 19 °KMA ateşleme zamanında ve 0,9 HFK'de E60 yakıtının, en düşük FÖYT 13:1 sıkıştırma oranında, 20 °KMA ateşleme zamanında ve 1,07 HFK'de E0 yakıtının kullanılmasıyla elde edilebileceği görülmüştür. Bu noktalarda tüm test yakıtlarıyla elde edilebilecek motor momenti ve FÖYT değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. En yüksek motor momenti ve en düşük FÖYT'nin elde edilebileceği noktalar

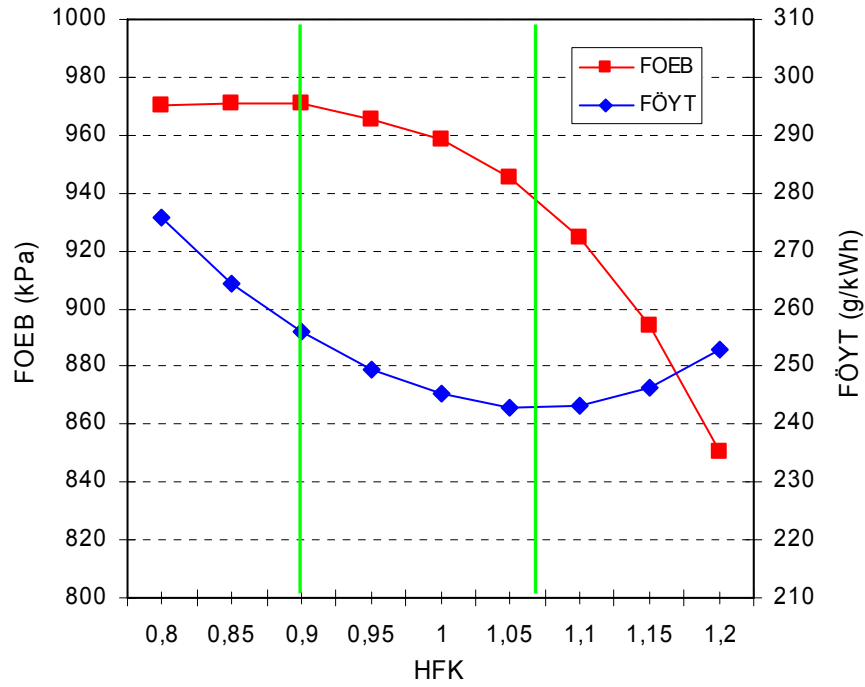
	En Yüksek Motor Momenti	E0	E10	E20	E40
Sıkıştırma Oranı 13/1 Ateşleme Zamanı 19 °KMA HFK 0,9	E60 35,07 Nm 315,72 g/kWh	34,75 256,8	34,82 269,25	34,87 277,78	34,99 Nm 299,28 g/kWh
	En Düşük FÖYT	E10	E20	E40	E60
Sıkıştırma Oranı 13/1 Ateşleme Zamanı 20 °KMA HFK 1,07	E0 33,57 Nm 242,73 g/kWh	33,68 255,8	33,76 264,9	33,96 287,73	34,11 Nm 303,83 g/kWh

Şekil 4.82'de E0 yakıtı kullanımında HFK ve motor yüküne bağlı olarak FÖYT'nin değişimi görülmektedir. FÖYT, motor yükü arttıkça ve HFK'nin 1-1,15 olduğu bölgede azalmaktadır. Şekil 4.83'te tam yükte HFK'ye bağlı olarak FOEB'nin en yüksek ve FÖYT'nin en düşük olduğu noktalar görülmektedir. Stokiyometrik hava/yakıt oranında FOEB, en yüksek FOEB'nin elde edildiği 0,9 HFK'ye göre %1,27 azalmıştır. FÖYT ise; en düşük FÖYT'nin elde edildiği 1,07 HFK'ye göre %1,02 artmaktadır.

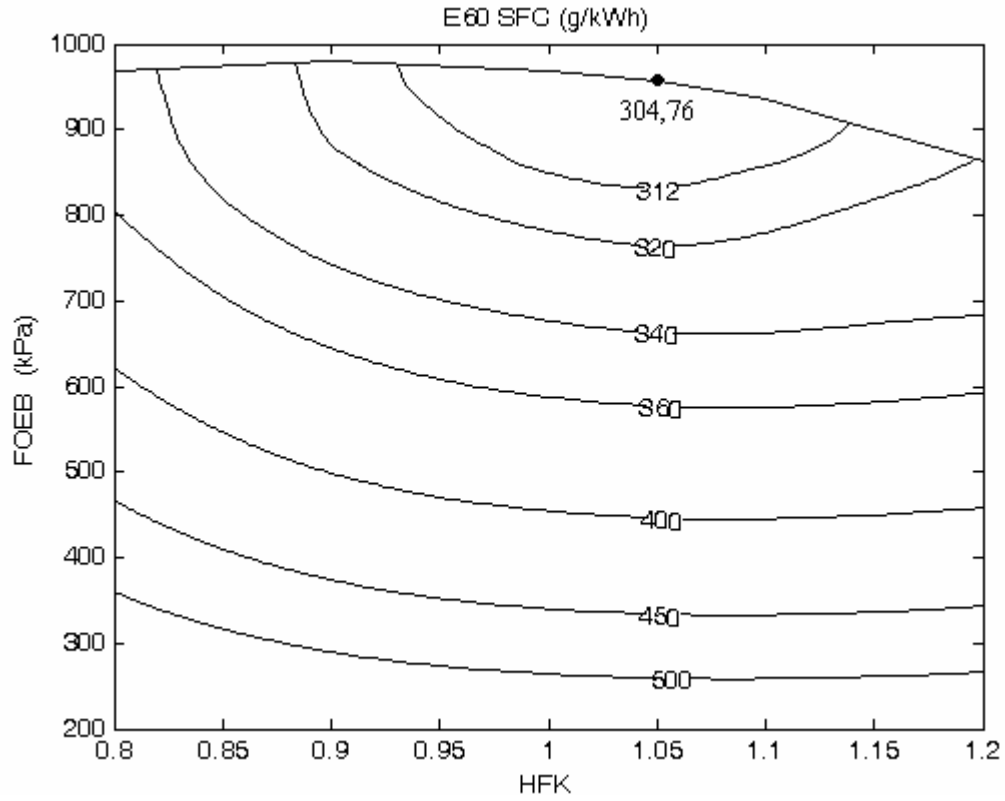
E60 yakıtı kullanımında HFK'nin ve motor yükünün FÖYT'ye etkisi Şekil 4.84'te görülmektedir. FÖYT eğrileri, E0 yakıtı kullanımındakine benzer bir değişim göstermektedir. Ancak FÖYT, E60 yakıtı kullanımında artmaktadır. Şekil 4.85'te E60 yakıtı için tam yükte FOEB ve FÖYT'nin değişimi yer almaktadır. FOEB'nin en yüksek ve FÖYT'nin en düşük olduğu noktalar grafikte görülmektedir. En yüksek FOEB 0,9 HFK'de 980,14 kPa, en düşük FÖYT ise; 1,05 HFK'de 304,76 g/kWh olarak elde edilmiştir.



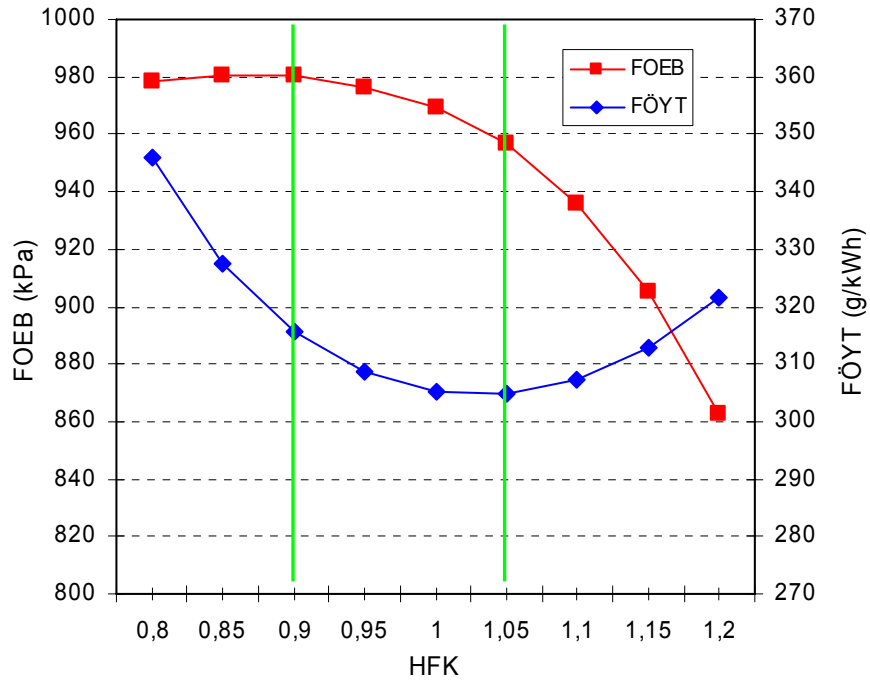
Şekil 4.82. HFK'nin ve motor yükünün FÖYT'ye etkisi (E0 yakıtı, Sıkıştırma Oranı: 13/1, Ateşleme Zamanı: 20 °KMA ÜÖN'den önce)



Şekil 4.83. HFK'ye bağlı olarak FOEB ve FÖYT'nin değişimi (E0 Yakıtı, Sıkıştırma Oranı: 13/1, Ateşleme Zamanı: 20 °KMA ÜÖN'den önce)



Şekil 4.84. HFK'nin ve motor yükünün FÖYT'ye etkisi (E60 yakıtı, Sıkıştırma Oranı: 13/1, Ateşleme Zamanı: 19 °KMA ÜÖN'den önce)



Şekil 4.85. HFK'ye bağlı olarak FOEB ve FÖYT'nin değişimi (E60 Yakıtı, Sıkıştırma Oranı: 13/1, Ateşleme Zamanı: 19 °KMA ÜÖN'den önce)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan ve biyokütleden elde edilen etanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri buji ile ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak değerlendirilmesine olanak sağlar. Benzine göre daha düşük alev sıcaklığına sahip olması NO_x emisyonlarının ve ısı kaybının azalmasını sağlar. Yüksek vuruşu dayanımı sıkıştırma oranını arttırmaya imkan verir. Ancak buharlaşma ısısının benzinden daha yüksek olması soğuk iklim koşullarında buharlaşmayı zorlaştırdığından motorun ilk harekete geçişini güçleştirmektedir. Bu nedenle genellikle saf etanol yerine etanol-benzin karışımları tercih edilmektedir. Özellikle saflık derecesine, ortam sıcaklığına ve neme bağlı olarak etanol benzinle homojen bir karışım oluşturabilmektedir. Yapılan çalışmada %99,5 saflıkta etanol kullanılmıştır. Hacimsel olarak %10, 20, 40 ve 60 etanol içeren etanol-kurşunsuz benzin karışımları hazırlanmıştır. Buji ile ateşlemeli motorlarda motor performansı ve egzoz emisyonları üzerinde önemli etkileri olan çalışma parametreleri dikkate alınmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar:

Deneyleerin gerçekleştirildiği motorda motor devrine bağlı olarak motor momenti ve efektif gücün değişimi tam yükte, 9/1 sıkıştırma oranında, stokiyometrik hava/yakıt oranında ve maksimum motor momentini veren ateşleme zamanında incelenmiştir. En yüksek motor momenti tüm test yakıtlarında 2000 d/d motor devrinde elde edilirken, 2500-3500 d/d motor devri aralığında da maksimum motor momentine yakın bir değerler elde edilmiştir. En yüksek motor momenti E60 yakıtı (31,48 Nm) kullanımında görülmüştür. Yüksek motor devirlerinde artış eğilimi azalsa da efektif güç, tüm yakıtlarda 5000 d/d motor devrine kadar artış göstermektedir. En yüksek efektif güç E60 yakıtıyla 5000 d/d'de 13,82 kW olarak elde edilirken, E0 yakıtına göre efektif güç %1,6 artmıştır.

Aynı deney şartlarında fren özgül yakıt tüketimi, karışımdaki etanol miktarlarına bağlı olarak artış göstermektedir. Etanolün alt ısı değeri kurşunsuz benzinden yaklaşık %40 daha düşüktür. Oluşturulan karışımlarda hacimsel olarak etanol miktarı arttıkça karışımın ısı değeri azalmakta ve yakıt tüketimi artış göstermektedir.

Motordan aynı miktar güç elde edebilmek için daha fazla etanol-kurşunsuz benzin karışımına ihtiyaç duyulmaktadır. E60 yakıtıyla maksimum motor momentinin elde edildiği 2000 d/d'de benzine (E0) göre FÖYT %25,5 artmıştır.

Efektif verim, yalnızca kurşunsuz benzin kullanımına göre etanol içeren yakıtlarda daha yüksek sonuçlar vermiştir. Bu artış özellikle düşük motor devirlerinde daha belirgindir. E0 yakıtıyla karşılaştırıldığında ortalama olarak efektif verimde en yüksek artış %2,38 ile E60 yakıtında görülmüştür. Kurşunsuz benzine (E0) kıyasla daha yüksek motor momenti ve efektif güç sağlaması efektif verimin artmasına katkıda bulunmaktadır. 1500-3000 d/d aralığında bu artış ortalama %4,95 olarak gerçekleşmiştir.

CO emisyonu, genel olarak deney esnasında hava/yakıt oranında meydana gelen küçük değişimlerden etkilenmektedir. Etanol içeren karışımlarda artan motor devrine bağlı olarak küçük bir artış göstermektedir. E0 yakıtına göre etanol içeren karışımlarda özellikle düşük motor devirlerinde CO emisyonunda azalma görülmüştür. HC emisyonu, bütün test yakıtlarında artan motor devrine bağlı olarak azalmaktadır. Ayrıca etanol içeren karışımlarda HC emisyonu daha düşük elde edilmiştir.

Buji ile ateşlemeli motorda buji kıvılcımının oluşturulduğu an, motor performansı ve egzoz emisyonları için büyük önem taşımaktadır. 8/1, 9/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarında 2000 d/d ve 3500 d/d motor devirlerinde farklı ateşleme zamanlarında gerçekleştirilen deneylerde en yüksek motor momentini veren ateşleme zamanı, E0 yakıtı ve etanol içeren karışımlarda küçük bir değişim göstermektedir. Yakıtlar arasındaki önemli farklılık özellikle 8/1 ve 9/1 sıkıştırma oranlarında maksimum motor momentini veren ateşleme zamanına göre daha düşük ateşleme avanslarında görülmektedir. Her iki motor devrinde rötarlı ateşlemede motor momenti, karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak artış göstermiştir. Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanına göre daha yüksek ateşleme avanslarında, etanol içeren karışımlarla elde edilen motor momentindeki artış azalmakta veya benzine göre daha düşük motor momenti vermektedir. 10/1 sıkıştırma oranında 2000 ve 3500

d/d motor devirlerindeki tüm ateşleme zamanlarında etanol içeren karışımlar daha yüksek motor momenti vermiştir. 8/1 ve 9/1 sıkıştırma oranlarında etanol içeren karışımlar düşük ateşleme avanslarında motor momentinde daha yüksek artış sağlarken, 10/1 sıkıştırma oranlarında yüksek ateşleme avanslarında daha fazla artış göstermişlerdir. Sıkıştırma oranı artırıldıkça motorun avans ihtiyacı azalmakta ve yüksek ateşleme avanslarında yakıtın vuruntu dayanımı motor performansında etkili olmaktadır. 2000 d/d'de ve 10/1 sıkıştırma oranında E0 yakıtında 24° KMA ateşleme zamanından itibaren vuruntu kendisini göstermiştir. E40 ve E60 yakıtlarında 36° KMA'ya kadar ateşleme avansı artırılrsa da vuruntu oluşmamıştır. Kurşunsuz benzine kıyasla etanolün daha yüksek oktan sayısına sahip olması karışımlarının oktan sayısını ve vuruntu direncini artırmakta, yüksek sıkıştırma oranlarında motorun daha iyi çalışmasını sağlamaktadır. FÖYT karışımındaki etanol miktarına bağlı olarak artış gösterirken, test yakıtlarının tamamında maksimum momentini veren ateşleme zamanında veya biraz daha yüksek avanslarda en düşük değerini almaktadır.

Efektif verim, 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarında 10 °KMA ateşleme zamanından itibaren ateşleme noktası avansa alındıkça artış göstermektedir. Efektif verimin maksimum değerini aldığı ateşleme zamanı, sıkıştırma oranına bağlı olarak değişmektedir. En yüksek efektif verimin elde edildiği E60 yakıtında 8/1 sıkıştırma oranında 35 °KMA'da, 10/1 sıkıştırma oranında 26 °KMA'da efektif verim maksimum olmaktadır. Efektif verim, E0 yakıtına göre ortalama olarak 8/1 sıkıştırma oranında, E60 yakıtıyla %3,1, 10/1 sıkıştırma oranında %4,57 artış göstermektedir.

Ateşleme zamanına bağlı olarak CO emisyonu tüm test yakıtlarında 10° KMA'da diğer ateşleme zamanlarına göre biraz daha yüksek değer almaktadır. Ateşlemenin geciktirilmesiyle yanmanın tamamlanması için tanınan sürenin azalması, CO emisyonunun bir miktar artmasına neden olmaktadır. Ateşleme zamanına bağlı olarak HC emisyonu, artan ateşleme avansı ile artış göstermiştir. Bütün yakıtlarda en düşük HC emisyonu 10° KMA ateşleme zamanında görülmektedir. E0 yakıtına göre HC emisyonlarında ortalama olarak en fazla iyileşme 9/1 sıkıştırma oranında E60 yakıtının kullanımında görülmüştür (%16,2).

Deney yakıtlarının çeşitli hava/yakıt oranlarında motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri farklı sıkıştırma oranlarında ve motor devirlerinde incelenmiştir. Etanolün stokiyometrik hava/yakıt oranının benzinden az olması, etanol-benzin karışımlarının stokiyometrik hava/yakıt oranlarının da azalmasına neden olmaktadır. Genel olarak 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarında, 2000 ve 3500 d/d motor devirlerinde kullanılan tüm yakıtlarda en yüksek motor momenti 0,9 HFK'de, en düşük FÖYT 1,05-1,1 aralığında elde edilmiştir. Kurşunsuz benzin (E0) kullanıldığında motor momentinde HFK'ye bağlı olarak görülen değişim, etanol içeren karışımlarda da benzerdir. Yakıt tüketimi yakıtın ısı değerine ve HFK'ye bağlı bir değişim göstermektedir.

Yanmanın büyük ölçüde tamamlanabileceği, alev hızı ve sıcaklığının stokiyometrik hava/yakıt oranındakine yakın olduğu 1,05 HFK değerinde efektif verim en yüksek değerini almaktadır. E0 ile karşılaştırıldığında ortalama olarak efektif verimdeki en fazla artışı E60 yakıtı sağlamaktadır (8/1 sıkıştırma oranında %1,54, 10/1 sıkıştırma oranında %1,61).

Bütün test yakıtlarında stokiyometrik orana göre karışım zenginleştikçe CO oluşumu artmaktadır. Stokiyometrik orana göre karışım fakirleştirildikçe 1,1 HFK'ye kadar azalmakta daha sonra, önemli bir değişim göstermemektedir. HC emisyonu da, hava/yakıt oranı zengin bölgeden fakir bölgeye doğru ilerledikçe ortamda bulunan oksijenin artışıyla azalma eğilimi göstermektedir. Tüm test yakıtlarında benzer eğilim görülürken, kurşunsuz benzinle karşılaştırıldığında en düşük HC emisyonu 9/1 sıkıştırma oranında E60 yakıtının kullanımında (ortalama %11,1) görülmüştür.

Volumetrik verim üzerindeki etkisi nedeniyle giriş hava sıcaklığı, özellikle motor performansını belirleyen önemli bir parametredir. 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarında ve 2000 ile 3500 d/d motor devirlerinde giriş hava sıcaklığındaki artışa bağlı olarak volumetrik verim ve motor momenti azalmış ve FÖYT artmıştır. 2000 d/d motor devrinde ve 8/1 sıkıştırma oranında giriş hava sıcaklığının artmasıyla motor momentinde görülen en büyük azalma 70 °C'de E0 yakıtıyla %9,8, 10/1 sıkıştırma oranında %10,11'dir. Aynı sıcaklıkta 8/1 sıkıştırma oranında E40 ve E60

yakıtlarında %9'luk bir azalma olmuştur. 10/1 sıkıştırma oranında motor momentinde görülen en düşük azalma E60 yakıtında %9,42'dir. 3500 d/d motor devrinde de motor momentinde ve FÖYT'de benzer değişimler elde edilmiştir. Deney motorunda yakıt, enjektörden emme supabının hemen arkasına püskürtülmektedir. Etanolün benzinle karşılaştırıldığında yüksek buharlaşma ısısına sahip olması volumetrik verimde avantaj sağlamaktadır. Ancak emme supabı girişindeki yakıt, motora alınan havanın sıcaklığını etkili bir şekilde azaltmaya imkan bulamamaktadır.

Kurşunsuz benzine kıyasla etanolün yüksek oktan sayısına sahip olması, motor gücü ve verimi açısından motorun daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalıştırılabilmesine olanak sağlamaktadır. Etanol-kurşunsuz benzin karışımlarıyla özellikle yüksek sıkıştırma oranlarında motor performansının nasıl etkileneceğini görebilmek amacıyla sıkıştırma oranı 13/1'e kadar arttırılmıştır. E0 yakıtında 2000 d/d motor devrinde sıkıştırma oranının 11/1 oranına kadar arttırılması motor momentinin artmasını sağlamaktadır. 8/1 sıkıştırma oranına göre, bu noktaya kadar motor momenti %7,98 artmıştır. 11/1 sıkıştırma oranından 13/1 sıkıştırma oranına kadar moment sadece %0,95 artış göstermektedir. 8/1 sıkıştırma oranına göre 13/1 sıkıştırma oranında motor momentinde en yüksek artış E40 ve E60 yakıtlarıyla (yaklaşık %14) elde edilmiştir. Ateşleme zamanı, 8/1, 9/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarında E0 yakıtıyla motor momentinin maksimum değer alabilmesine olanak sağlayacak kadar arttırılabilmektedir. Ancak vuruntu oluşması nedeniyle daha yüksek sıkıştırma oranlarında ateşleme zamanı, maksimum motor momenti elde edilinceye kadar artırma imkanı olmamıştır. Bu nedenle deneylerin gerçekleştirildiği motor, yüksek sıkıştırma oranlarında vuruntu sınırındaki ateşleme zamanı değerinde çalıştırılmıştır. E40 ve E60 yakıtlarının yeterli oktan sayıları, yüksek sıkıştırma oranlarında daha iyi motor performansı için avantaj oluşturmaktadır. 8/1 sıkıştırma oranına göre FÖYT, E0 yakıtında 11/1 sıkıştırma oranında minimum değeri alarak, yaklaşık %10 azalmış, bu sıkıştırma oranından itibaren artış göstermiştir. FÖYT'de en iyi gelişme yaklaşık %15 ile E40 yakıtında görülmüştür.

3500 ve 5000 d/d motor devirlerinde sıkıştırma oranı arttıkça motor momentinde artış görülmektedir. 8/1 sıkıştırma oranına göre 13/1 sıkıştırma oranında E0 yakıtıyla motor momentinde elde edilen artış 3500 d/d'de %14,67, 5000 d/d'de ise; %18,43 olmuştur. 3500 ve 5000 d/d motor devirlerinde motor momentinde görülen en yüksek artış E60 yakıtıyla sırasıyla %19,22 ve %21,53 ile sağlanmıştır. 8/1 sıkıştırma oranına göre 13/1 sıkıştırma oranında FÖYT'de elde edilen iyileşme E0 yakıtıyla 3500 d/d'de %10,38, 5000 d/d'de ise; %13,61 olmuştur. 3500 ve 5000 d/d motor devirlerinde FÖYT'de elde edilen azalma E60 yakıtıyla sırasıyla %14,53 ve %17,04 olarak gerçekleşmiştir.

2000 d/d'deki değişime kıyasla 3500 ve 5000 d/d motor devirlerinde yüksek sıkıştırma oranlarında motor devri arttıkça maksimum motor momentinin elde edildiği ateşleme zamanı, kullanılan tüm yakıtlarda birbirlerine oldukça yakın değerler almaktadır. Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı, sıkıştırma oranı ve kullanılan yakıtların yanı sıra motor devriyle de ilişkilidir. Sıkıştırma oranı arttıkça vuruntuyu tetikleyen son gaz bölgesindeki basınç ve sıcaklık artmaktadır. Bu noktada son gaz bölgesindeki karışımın vuruntu dayanımı büyük önem taşımaktadır. Düşük motor devirlerinde kullanılan yakıtın oktan sayısı motor performansını belirleyen en önemli parametre olmaktadır. Devir arttıkça son gaz bölgesine buji kıvılcımıyla oluşturulan alev cephesinin ulaşması daha kısa sürede gerçekleşmekte ve vuruntu ihtimali azalmaktadır.

Efektif verim, 2000, 3500 ve 5000 d/d motor devirlerinde özellikle yüksek oranda etanol içeren (E40 ve E60) yakıtlarda tüm sıkıştırma oranlarında artış göstermektedir. 2000 d/d motor devrinde 11/1 sıkıştırma oranının üzerindeki sıkıştırma oranlarında E0 yakıtıyla elde edilen efektif verimde azalma görülmektedir. 2000 d/d motor devrinde E0 yakıtıyla karşılaştırıldığında verimde görülen en yüksek artış E40 yakıtıyla 13/1 sıkıştırma oranında %8,61 elde edilmiştir. Tüm sıkıştırma oranlarında ortalama olarak E0'a göre E60 yakıtında % 3,71, E40 yakıtında da %2,93 artış sağlanmıştır. 3500 d/d ve 5000 d/d motor devirlerinde E0 yakıtı kullanımında efektif verim, yüksek sıkıştırma oranlarında da artış sağlayabilmektedir. Bununla beraber yüksek oktan sayısına sahip E40 ve E60 yakıtlarıyla elde edilen efektif verim, yüksek

motor devirlerinde de E0 yakıtından daha yüksektir. Efektif verim, ortalama olarak 3500 d/d motor devrinde E40 yakıtında %1,27, E60 yakıtında %3,98; 5000 d/d motor devrinde E40 yakıtında %0,52, E60 yakıtında %2,27 yalnız kurşunsuz benzin kullanımından daha yüksek elde edilmiştir.

Yapılan deneylerde CO emisyonunun sıkıştırma oranından bağımsız olarak değiştiğini göstermektedir. Bununla birlikte düşük oktanlı (E0 ve E10) yakıtlarda 10/1 sıkıştırma oranından itibaren CO emisyonunda bir miktar artış görülmüştür. E20 yakıtındaki artış, özellikle 11/1 sıkıştırma oranından itibaren görülmektedir. Düşük sıkıştırma oranlarında (8/1, 9/1 ve 10/1) CO emisyonu, sıkıştırma oranından daha çok deney esnasında hava/yakıt oranında meydana gelen küçük değişimlerden etkilenmektedir. Tüm sıkıştırma oranlarında E0 yakıtına göre ortalama olarak CO emisyonu, E40 yakıtında %5,73, E60 yakıtında %5,12 azalmaktadır. Sıkıştırma oranının artırılmasıyla HC emisyonu bütün test yakıtlarında artmaktadır. Kurşunsuz benzinle (E0) karşılaştırıldığında etanol içeren karışımlarda HC emisyonu azalırken, en düşük HC emisyonu E60 yakıtıyla elde edilmiştir (E0'a göre ortalama %16,91 azalmıştır).

Kayıp bir enerji olan egzoz gazlarının taşıdığı ısı enerjisi, yüksek sıkıştırma oranlarında ve ateşleme avanslarında azalma eğilimi göstermektedir. Silindir içerisine sürülen ısı enerjisinin değişmemesine rağmen sıkıştırma oranının artırılması, bu enerjiden daha fazla yararlanılmasına imkan sağlamakta ve motor momenti artmaktadır. Ateşleme zamanının erkene alınması yanma sürecini daha önce başlatmakta ve azalan egzoz gaz sıcaklığıyla birlikte egzozla kaybedilen enerji de azalmaktadır. Etanol içeren karışımlarda karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığı ve kayıp enerji azalmaktadır. E0 yakıtı ile karşılaştırıldığında egzoz gazlarının neden olduğu kayıp enerji ortalama olarak E10'da %0,53, E20'de %1,2, E40'da %1,62 ve E60 yakıtında %2,16 azalmıştır. Genel olarak ısı kaybında görülen azalma, rötarlı ateşlemede daha yüksektir.

Hava/yakıt oranının egzoz gazları yoluyla kayıp olan ısı enerjisine etkisi incelendiğinde artan sıkıştırma oranıyla birlikte kayıp enerjinin azaldığı ve

stokiyometrik hava/yakıt oranında daha yüksek olduğu görülmüştür. Zengin karışımlarda yanma hızının artması yanmanın ÜÖN'ye daha yakın bir konumda tamamlanabilmesine olanak sağlamakta ve egzoz gaz sıcaklıkları azalmaktadır. Fakir karışımlarda yanma hızının düşmesine rağmen silindir içerisine sürülen ısı enerjisinin azalması egzoz kaybının daha düşük olmasını sağlamaktadır.

Sıkıştırma oranı ve ateşleme zamanına bağlı olarak soğutma suyuna geçen ısı enerjisinin değişimi incelendiğinde, sıkıştırma oranı arttıkça soğutma suyuna geçen kayıp enerji azalma eğilimi gösterirken, artan ateşleme avansına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Yanma sürecinin artan ateşleme avansı ile daha erkene alınması yanma odası cidarlarından soğutma suyuna olan ısı transferine daha fazla zaman vermekte ve ısı kaybı artmaktadır. Etanol benzin karışımlarında soğutma suyuna geçen ısı E0 yakıtından daha az gerçekleşmektedir. E0 ile karşılaştırıldığında soğutma suyuna geçen ısı enerjisi ortalama olarak E10 yakıtında %0,51, E60 yakıtında %5,57 azalmıştır.

Soğutma suyuna geçen ısı enerjisi genel olarak 0,9 HFK'den 1,1'e doğru karışım fakirleştikçe azalmaktadır. Bu değişimde silindir içerisine sürülen ısı enerjisinin karışımın fakirleşmesiyle azalmasının etkisi olmaktadır. Bununla birlikte 1,1 HFK değerinde stokiyometrik hava/yakıt oranına yakın bir ısı kaybı olduğu görülmektedir. Hatta 8/1 sıkıştırma oranında 1,1 HFK'de daha yüksektir. Karışımın fakirleştirilmesi yanma hızını azaltmakta ve yanmanın tamamlanması daha fazla KMA'da gerçekleşmekte ve kayıp enerji artmaktadır.

YSA ile ilgili olarak yapılan çalışmada sıkıştırma oranı, ateşleme zamanı, hava fazlalık katsayısı ve yakıt tipi dikkate alınarak, 3500 d/d motor devrinde elde edilen deneysel veriler kullanılmıştır. Deneysel verilerle YSA sonuçlarının karşılaştırıldığında en iyi sonucun 9/1 sıkıştırma oranında E60 yakıtının ateşleme zamanı verilerinde (motor momenti) olduğu görülmüştür. YSA ile elde edilen motor momenti ve fren özgül yakıt tüketimi denklemleri Simplex metodunun kullanıldığı Q-Basic programında sınır şartlarına dıştan penaltı yöntemi uygulanarak en yüksek motor momenti ve en düşük fren özgül yakıt tüketiminin elde edilebileceği noktalar

belirlenmiştir. En yüksek motor momenti 13/1 sıkıştırma oranında, 19 °KMA ateşleme zamanında ve 0,9 HFK'de E60 yakıtının (35,07 Nm), en düşük FÖYT 13/1 sıkıştırma oranında, 20 °KMA ateşleme zamanında ve 1,07 HFK'de E0 yakıtının (242,73 g/kWh) kullanılmasıyla elde edilebileceği görülmüştür.

Kurşunsuz benzinle çalışmaya uygun olarak tasarlanmış buji ile ateşlemeli bir motorun alternatif yakıtla iyi motor performansı sağlayacak şekilde çalışabilir hale dönüştürülmesinde çeşitli motor parametrelerinin dikkate alınması gereklidir. Buji ile ateşlemeli bir motorda motor performansı açısından etkili olan temel parametreler, sıkıştırma oranı, ateşleme zamanı ve hava/yakıt oranıdır. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmada yakıtların özellikleri dikkate alınarak, çeşitli sıkıştırma oranlarında ateşleme zamanı ve hava/yakıt oranı değiştirilerek motor momenti, fren özgül yakıt tüketimi, silindir basınçları, egzoz emisyonları, efektif verim ve ısı kayıplarının değişimleri incelenmiştir. Yüksek oranda etanol içeren karışımların vuruntu dayanımlarının daha iyi olması nedeniyle sıkıştırma oranı 13/1'e kadar arttırılmıştır. Elde edilen sonuçlar özetlenecek olursa;

Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanlarında etanol içeren karışımlar daha iyi motor performansı sağlamaktadırlar. Rötarlı ateşlemelerde de etanol içeren karışımlarla daha yüksek motor momenti elde edilmiştir. Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı, etanol içeren karışımlarda kurşunsuz benzine göre birkaç derece daha düşüktür. Yüksek sıkıştırma oranlarında (11/1 sıkıştırma oranından itibaren) özellikle düşük motor devirlerinde maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı, etanol içeren karışımlarda daha yüksektir. Yüksek sıkıştırma oranlarında test yakıtları içerisinde düşük oktanlı yakıtların kullanımında vuruntunun oluşması nedeniyle ateşleme avansının arttırılması mümkün olmamaktadır.

Hava/yakıt oranının motor performansına etkisinin incelendiği sıkıştırma oranlarında ve motor devirlerinde tüm test yakıtlarında en yüksek motor momentinin 0,9 HFK'de, en düşük FÖYT'nin 1,05-1,1 aralığında gerçekleştiği görülmüştür. Kurşunsuz benzin ve etanol içeren karışımlarda CO ve HC emisyonlarında 1,1 HFK'den itibaren karışım fakirleştirilse de dikkate değer bir azalma görülmemiştir.

Sıkıştırma oranının arttırılması özellikle yüksek oranda etanol içeren karışımlarda (E40 ve E60) motor performansının daha iyi gelişmesine olanak sağlamaktadır. Egzoz emisyonlarından HC emisyonu sıkıştırma oranına bağlı olarak artarken, yüksek sıkıştırma oranlarında motor performansında azalma eğiliminin görüldüğü yakıtlarda CO emisyonu artış göstermiştir. Artan sıkıştırma oranı sürtünme kaybını arttırsa da egzoz ve soğutma suyu yoluyla oluşan kayıplar azalmakta ve efektif verim artmaktadır.

Etanol-kurşunsuz benzin karışımlarının en önemli dezavantajı fren özgül yakıt tüketiminin karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak artmasıdır. Bu özellik buji ile ateşlemeli motorlarda etanol içeren karışımların kullanımında yakıt sisteminin motora daha fazla yakıt sağlayacak şekilde düzenlenmesini gerektirmektedir. Ayrıca yakıtın ekonomik olmasını da zorlaştırmaktadır. Ancak yenilenebilir ve biyokütle enerji kaynağı olarak değerlendirilen etanolün ülkemizin öz kaynaklarıyla yeterli miktarda üretilmesi petrol ihtiyacını azaltabilecek bir potansiyel olarak dikkate alınabilir.

Egzoz emisyonlarının çevreye olan zararlı etkilerinden korunmak için buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılan katalitik konvertörlerin dönüştürme verimleri benzin ve etanol-benzin karışımları için farklı sıkıştırma oranlarında, çeşitli motor devirlerinde ve hava/yakıt oranlarında incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, “2002 Türkiye Enerji Raporu”, **Poyraz Ofset**, Ankara, 6-8, 11, 15, 18, 19, 22, 24, 43, 45, 59 (2003).
2. TC Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, “Enerji Üretiminde Çevre Politikaları Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Yayın no: DPT 2314-ÖİK 417”, **Yayın ve Temsil Dairesi Başkanlığı Yayın ve Basım Şube Müdürlüğü Matbaa Birimi**, 21, 57 (1992).
3. Doğanay, H., “Enerji Kaynakları Ekonomik Coğrafya 2”, **Şafak Yayınevi**, Erzurum, 155, 369, 370, 482, 483 (1998).
4. Sher, E., “Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines Pollutant Formation and Control”, **Academic Press**, San Diego, 124, 603, 604, 607 (1998).
5. Genel Enerji Kaynakları Komisyonu, “Yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar, jeotermal, biokütle, biyogaz) çalışma grubu raporu”, Genel Enerji Kaynakları, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, **Poyraz Ofset**, Ankara, 1, 2, 7, 9, 10, 24-26, 31, 35, 36 (2004).
6. Niven, R. K., “Ethanol in gasoline: environmental impacts and sustainability review article”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 9 (6): 535-555 (2005).
7. Xing-cai, L., Jian-guang, Y., Wu-gao, Z. and Zhen, H., “Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol-diesel blend fuel”, **Fuel**, 83 (14-15): 2013-2020 (2004).
8. Hansen, A. C., Zhang, Q. and Lyne, P. W. L., “Ethanol-diesel fuel blends - a review” **Bioresource Technology**, 96, (3): 277-285 (2005).
9. Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen A., “İçten Yanmalı Motorlar”, **Teknik Eğitim Vakfı Yayınları**, Ankara, 69, 70, 77, 78, 152, 207, 235, 236, 240-250 (1995).
10. TC Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, “Türkiye İstatistik Yıllığı 2003”, **Devlet İstatistik Enstitüsü Matbaası**, Ankara, 165 (2004).
11. Tüpraş 1998 Yıllık Rapor, **TŞOF Plaka Matbaa**, Ankara, 14-15.
12. TC Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, “Türkiye İstatistik Yıllığı 2002”, **Devlet İstatistik Enstitüsü Matbaası**, Ankara, 318 (2003).
13. Thomas, V. and Kwong, A., “Ethanol as a lead replacement: phasing out leaded gasoline in Africa”, **Energy Policy**, 29 (13): 1133-1143 (2001).

14. Denniston, K. J., Topping, J. J. and Caret, R. L., "General, Organic and Biochemistry 4th Edition", **Mc-Graw Hill Companies Inc.**, New York, 366, 369 (2004).
15. Hart, H., Hart, D. J. and Craine, L. E., "Organik Kimya 9. Baskı", Çeviri Editörü: Tahsin Uyar, **Palme Yayıncılık**, Ankara, 208, 211, 225 (1998).
16. Wade, L. G., "Organic Chemistry 5th ed.", **Pearson Education Inc.**, New Jersey, 405, 412-415 (2003).
17. Bailey, P. S. and Bailey, C. A., "Organic Chemistry 4th Edition", **Prentice-Hall Inc.**, New Jersey, 231, 239-242 (1989).
18. Tüzün, C., "Organik Kimya 5. Baskı", **Palme Yayın-Dağıtım**, Ankara, 106-108 (1992).
19. Fessenden, R. J. and Fessenden, J. S., "Organik Kimya 4. Baskı", Çeviri Editörü: Prof. Dr. Tahsin Uyar, **Güneş Kitabevi Ltd. Şti.**, Ankara, 285-287, 293 (1992).
20. Hsieh, W., Chen, R., Wu, T. and Lin, T., "Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels", **Atmospheric Environment**, 36 (3): 403-410 (2002).
21. Caro, P. S., Mouloungui, Z., Vaitilingom, G. and Berge, J. C., "Interest of combining an additive with diesel-ethanol blends for use in diesel engines", **Fuel**, 80 (4): 565-574 (2001).
22. He, B., Shuai, S., Wang, J., and He, H., "The effect of ethanol blended diesel fuels on emissions from a diesel engine", **Atmospheric Environment**, 37 (35): 4965-4971 (2003).
23. Ajav, E. A., Singh, B. and Bhattacharya, T. K., "Experimental study of some performance parameters of a constant speed stationary diesel engine using ethanol-diesel blends as fuel", **Biomass and Bioenergy**, 17 (4): 357-365 (1999).
24. Das, L. M. and Reddy, Y. V. R., "Evaluation of alternative fuels for internal combustion engine", **First Trabzon International Energy and Environment Symposium**, Trabzon, 951-958 (1996).
25. Bechtold, R. L., "Alternative Fuels Guidebook", **Society of Automotive Engineers Inc.**, 47-56 (1997).
26. Al-Baghdadi, M. A. S., "The safe operation zone of the spark ignition engine working with dual renewable supplemented fuels (hydrogen+ethyl alcohol)", **Renewable Energy**, 22 (4): 579-583 (2001).

27. Al-Baghdadi, M. A. S., "A study on the hydrogen-ethyl alcohol dual fuel spark ignition engine", *Energy Conversion and Management*, 43 (2): 199-204 (2002).
28. Hüttebräucker, D., "The flexible fuel concept by mercedes-benz", *SAE Paper*, 921456: 1-25 (1992).
29. Sato, Y., Noda, A. and Sakamoto, T., "Combustion and NO_x emission characteristics in a DI methanol engine using supercharging with EGR", *SAE Paper*, 971647: 1810-1819 (1997).
30. Dodge, L. G., Naegeli, D. W., Crane, M. E., Maymar, M. J. and Likos, W. E., "Improved atomization of methanol for low-temperature starting in spark-ignition engines", *SAE Paper*, 920592: 700-708 (1992).
31. Gardiner, D. P., Rao, V. K., Bardon, M. F., Dale, J. D., Smy, P. R. and Haley, R. F., "Improving the operation of gasoline and methanol fuelled spark ignition engines under Canadian winter conditions", *SAE Paper*, 920011: 1-10 (1992).
32. Gardiner, D. P., Rao, V. K., Bardon, M. F., Dale, J. D., Smy, P. R., Haley, R. F., Dawe, J. R. and Battista, V., "Sub-zero cold starting of a port-injected M100 engine using plasma jet ignition and prompt EGR", *SAE Paper*, 930331: 99-115 (1993).
33. Isherwood, K. D., Linna, J. R. and Loftus, P. J., "Using on-board fuel reforming by partial oxidation to improve SI engine cold-start performance and emissions", *SAE Paper*, 980939: 1-9 (1998).
34. Jehlik, F., Jones, M., Shepherd, P., Norbeck, J. M., Johnson, K. and McClanahan, M., "Development of a low-emission, dedicated ethanol-fuel vehicle with cold-start distillation system", *SAE*, 1999-01-0611: 1-14 (1999).
35. Taylor, C. F., "The Internal Combustion Engine in Theory and Practice Vol.: 2 Combustion, Fuels, Materials, Design", *The MIT Press*, London, 153, 157, 158, 160 (1985).
36. Wicker, R. B., Hutchison, P. A., Acosta, O. A. and Matthews, R. D., "Practical considerations for an E85-fueled vehicle conversion", *SAE*, 1999-01-3517 (1999).
37. Cowart, J. S., Boruta, W. E., Dalton, J. D., Dona, R. F., Rivard II, F. L., Furby, R. S., Piontkowski, J. A., Seiter, R. E. and Takai, R. M., "Powertrain development of the 1996 ford flexible fuel taurus", *SAE Paper*, 952751: 115-128 (1995).
38. Gardiner, D. P., Mallory, R. W., Pucher, G. R., Todesco, M. K., Bardon, M. F., Markel, T. J. and Ohi, J. M., "Improving the fuel efficiency of light-duty ethanol vehicles-an engine dynamometer study of dedicated engine strategies", *SAE*, 1999-01-3568 (1999).

39. Al-Baghdadi, M. A. S., "Hydrogen-ethanol blending as an alternative fuel of spark ignition engines", *Renewable Energy*, 28 (9): 1471-1478 (2003).
40. Burns, V. R., Koehl, W. J., Benson, J. D., Gorse, R. A. and Rutherford, J. A., "Emissions with reformulated gasoline and methanol blends in 1992 and 1993 model year vehicles", *SAE Paper*, 941969: 1-29 (1994).
41. Dai, W., Cheemalamarri, S., Curtis, E. W., Boussarsar, R. and Morton, R., K., "Engine cycle simulation of ethanol and gasoline blends", *SAE*, 2003-01-3093 2110-2117 (2003).
42. Taylor, A. B., Moran, D. P., Bell, A. J., Hodgson, N. G., Myburgh, I. S. and Botha, J. J., "Gasoline/alcohol blends: exhaust emissions, performance and burn-rate in a multi-valve production engine", *SAE Paper*, 961988: 143-160 (1996).
43. Yelne, A., Bechtold, R. L., Moog, C. G., Laughlin, M., Wagner, J. R. and Hudson, L. R., "NYSERDA AFV-FDP M85 flexible fuel vehicle fleet operating experience", *SAE Paper*, 962068: 283-291 (1996).
44. Heywood, J. B., "Internal Combustion Engine Fundamentals", *McGraw-Hill Inc.*, New York, 372, 374, 403, 450-452 (1998).
45. Al-Dawood, A. M., "Effects of blending MTBE, methanol, or ethanol with gasoline on performance and exhaust emissions of SI engines", MSc. Thesis, *King Fahd University of Petroleum & Minerals*, Dhahran, 39 (1998).
46. Safgönül, B., Arslan, E., Ergeneman, M. ve Soruşbay, C., "İçten Yanmalı Motorlar", *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 30, 31, 38, 53, 107-109, 114, 118, 120 (1999).
47. Schäfer F. and Basshuysen, R.v., "Reduced Emissions and Fuel Consumption in Automobile Engines", *Springer-Verlag Wien and Society of Automotive Engineers Inc.*, Altenburg, 8, 21, 22, 26, 27 (1995).
48. Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen A., "Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği", *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, Ankara, 24, 27, 28, 32, 33, 37, 43 (1992).
49. Ergeneman, M., Mutlu, M., Kutlar, O. A. ve Arslan, H., "Taşıtlardan Kaynaklanan Egzoz Kirleticileri", *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 6-8, 13, 14, 16-20, 28 (1998).
50. Soruşbay, C. ve Göktan, A. G., "Motorlu taşıtlardan kaynaklanan çevre kirliliği ve kontrolü", *İTÜ 1. Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Sempozyumu*, İstanbul, 157-166 (1993).

51. Alasfour, F. N., "NO_x Emission from a spark ignition engine using 30% iso-butanol-gasoline blend: part 1-preheating inlet air", *Applied Thermal Engineering*, 18 (5): 245-256 (1998).
52. Abdel-Rahman, A. A., "On the emissions from internal-combustion engines: a review", *International Journal of Energy Research*, 22 (6): 483-513 (1998).
53. Soruşbay, C., "Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolunda kullanılan yöntemler", **2. Motor ve Taşıt Tekniği Sempozyumu**, İzmir, (1993).
54. Takagaki, S. S. and Raine, R. R., "The effects of compression ratio on nitric oxide and hydrocarbon emissions from a spark ignition natural gas fuelled engine", *Spark Ignition Engine Combustion and Emissions SP-1267 SAE Paper*, 970506: 55-61 (1997).
55. Ergün, Ö. ve Mengi, A., "Egzoz gazlarının hayvansal gıdalardaki kalıntıları ve sağlığa zararları", *Egzoz Gazlarının Çevreye Etkileri Semineri*, İstanbul, 69-79 (1996).
56. Cenani, A., "Egzoz gazlarının insan sağlığına etkileri", *Egzoz Gazlarının Çevreye Etkileri Semineri*, İstanbul, 64-67 (1996).
57. Karaosmanoğlu, F., "Alkollü benzinlerin alternatif motor yakıtı olarak değerlendirilmesi", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 16, 45-47, 50-55 (1990).
58. Bayındır, H., "Etanol-benzin karışımlarının benzinli motorlarda motor karakteristikleri ve hava kirliliğine etkileri" Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 55, 56, 76, 128, 130 (1998).
59. Kelly, K. J., Bailey, B. K., Coburn, T., Clark, W. and Lissiuk, P., "Federal test procedure emissions test results from ethanol variable-fuel vehicle chevrolet lumina", *SAE Paper*, 961092: 698-717 (1996).
60. Yüksel, F. ve Yüksel, B., "The use of ethanol-gasoline blend as a fuel in a SI engine", *Renewable Energy*, 29 (7): 1181-1191 (2004).
61. Al-Baghdadi, M. A. S., "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 (2000).
62. He, B., Wang, J., Hao, J., Yan, X. and Xiao, J., "A study on emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels", *Atmospheric Environment*, 37 (7): 949-957 (2003).

63. Çetinkaya, S. ve Çelik, M. B., “Buji ile ateşlemeli motorlarda yakıt olarak metanol-benzin karışımlarının kullanılması”, **5. Yanma Sempozyumu**, Bursa, 255-266 (1997).
64. Alasfour, F. N., “NO_x Emission from a spark ignition engine using 30% iso-butanol-gasoline blend: part 2-ignition timing”, **Applied Thermal Engineering**, 18 (8): 609-618 (1998).
65. Myung, C., Lee, S., Shin, Y., Park, K., Park, S. and Lee, H., “Research and development of hyundai flexible fuel vehicles (FFVs)”, **SAE Paper**, 930330: 279-285 (1993).
66. Al-Hasan, M., “Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission”, **Energy Conversion and Management**, 44 (9): 1547-1561 (2003).
67. Guerrieri, D. A., Caffrey, P. J. and Rao, V., “Investigation into the vehicle exhaust emissions of high percentage ethanol blends”, **SAE Paper**, 950777: 85-95 (1995).
68. Abdel-Rahman, A. A. and Osman, M. M., “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 (1997).
69. Benson, J. D., Koehl, W. J., Burns, V. R., Hochhauser, A. M., Knepper, J. C., Leppard, W. R., Painter, L. J., Rapp, L. A., Reuter, R. M., Rippon, B. and Rutherford, J. A., “Emissions with E85 and gasolines in flexible/variable fuel vehicles-the auto/oil air quality improvement research program”, **SAE Paper**, 952508: 125-142 (1995).
70. Al-Farayedhi, A. A., “Effects of octane number on exhaust emissions of a spark ignition engine”, **International Journal of Energy Research**, 26 (4): 279-289 (2002).
71. Alasfour, F. N., “Butanol-a single cylinder engine study: engine performance”, **International Journal of Energy Research**, 21 (1): 21-30 (1997).
72. Fanick, E. R., Whitney, K. A. and Bailey, B. K., “Particulate characterization using five fuels”, **SAE Paper**, 961089: 1-9 (1996).
73. Ajav, E. A., Singh, B. and Bhattacharya, T. K., “Thermal balance of a single cylinder diesel engine operating on alternative fuels”, **Energy Conversion and Management**, 41 (14): 1533-1541 (2000).

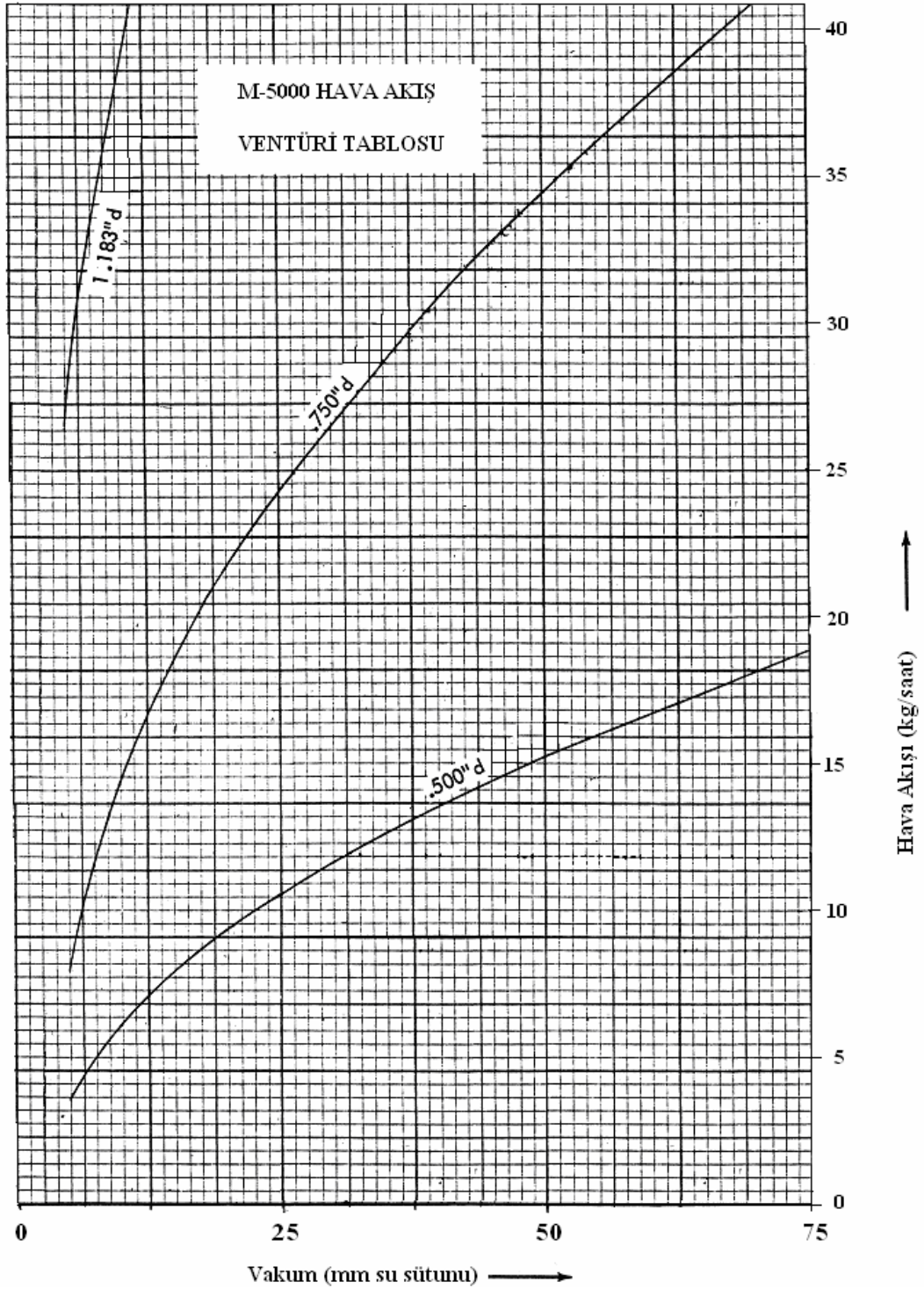
74. Yamin, J. A. and Badran, O. O., “Analytical study to minimise the heat losses from a propane powered 4-stroke spark ignition engine”, *Renewable Energy*, 27 (3): 463-478 (2002).
75. Türk Standardları Enstitüsü, “TS 1231 İçten Yanmalı Motorlar-Muayene ve Deney Esasları, Ankara, 10-11, (1991).
76. Varrall, P., “Hydra No. 110 Running In and Pass-off Tests”, A Member of Ricardo Group Plc, 6-7 (1996).
77. Cussons Technology, “The Ricardo/Cussons Standard Hydra Engine and Test Bed Instruction Manual”, *G. Cussons Ltd.*, Manchester, 12, 16 (1996).
78. Ricardo Consulting Engineers Ltd., “Hydra Single Cylinder Research Engine 2 Valve Gasoline Variable Compression with 2 Valve DI Diesel Conversion Engine No. 110 Parts List”, *Ricardo Consulting Engineers Ltd.*, 1 (1996).
79. Go-Power Systems, “Operation and Installation of the M-5000 Air-Fuel Meter”, *Subsidiary of Buck Engineering Co., Inc.*, California, 3, 10, 11.
80. Cussons Technology, “Cussons Single Cylinder Engine Test Bed Instruction Manual-Appendix 7 Cussons Exhaust Gas Calorimeter P8260”, *G. Cussons Ltd.*, Manchester, 3-6 (1994).
81. Cussons Technology, “Cussons Single Cylinder Engine Test Bed Instruction Manual-Appendix 5 Cussons Coolant Flow Meter P8168”, *G. Cussons Ltd.*, Manchester, 9-11 (1990).
82. Öztemel, E., “Yapay Sinir Ağları”, *Papatya Yayıncılık*, İstanbul, 41, 45, 47-53, 56, 207 (2003).
83. Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M., “Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I: Yapay Sinir Ağları”, *Ufuk Kitap Kirtasiye Yayıncılık Tic. Ltd.*, Kayseri, 23-26, 28-35, 40, 105, 115 (2003).
84. Özalp, M., Sözen, A. ve Arcaklıoğlu, E., “Ejektörlü ısı pompasının termodinamik analizinin yapay sinir ağları ile modellenmesi”, *3. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Enerji, İnşaat, Mobilya ve Tekstil Teknolojileri 4. Cilt, Ankara, 522-539 (2003).
85. Elmas, Ç., “Yapay Sinir Ağları”, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 33, 95 (2003).
86. Sözen, A., Özalp, M. and Arcaklıoğlu, E., “Investigation of thermodynamic properties of refrigerant/absorbent couples using artificial neural networks”, *Chemical Engineering and Processing*, 43 (10): 1253-1264 (2004).

87. Kalogirou, S. A., "Applications of artificial neural networks in energy systems: a review", *Energy Conversion and Management*, 40 (10): 1073-1087 (1999).
88. Sözen, A., Arcaklioğlu, E. and Özalp, M., "A new approach to thermodynamic analysis of ejector-absorption cycle: artificial neural networks", *Applied Thermal Engineering*, 23 (8): 937-952 (2003).
89. Kalogirou, S. A., "Artificial intelligence for the modeling and control of combustion processes: a review", *Progress in Energy and Combustion Science*, 29 (6): 515-566 (2003).
90. Çelik, B. ve Balcı, M., "Buji ile ateşlemeli bir motorun sıkıştırma oranının değişken hale dönüştürülmesi ve kısmi yüklerde performansa etkisinin araştırılması", *6. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, İstanbul, 323-348 (1999).
91. Taylor, C. F., "The Internal Combustion Engine in Theory and Practice Vol.: 1 Thermodynamics, Fluid flow, Performance 2nd ed.", *The MIT Press*, London, 441-443 (1986).
92. Denton, T., "Automotive Electrical and Electronic Systems 2nd ed.", *Arnold Publishers*, London, 181-182 (2000).
93. Eriksson, L. and Nielsen, L., "Ionization current interpretation for ignition control internal combustion engines", *Control Engineering Practice*, 5 (8): 1107-1113 (1997).
94. Russ, S. G., Kaiser, E. W. Siegi, W. O., Podsiadlik, D. H. and Barrett, K. M., "Compression ratio and coolant temperature effects on HC emissions from a spark-ignition engine", *SAE Paper*, 950163: 63-75 (1995).
95. Blair, G. P., "Design and Simulation Four-Stroke Engines", *Society of Automotive Engineers, Inc.*, Warrendale, 95-97 (1999).
96. Kruse, D. C. and Yano, R. A., "Limited-temperature cycle", *SAE Paper*, No: 951963: 1-24 (1995).
97. Diana, S., Giglio, V., Iorio, B. and Police, G., "A strategy to improve the efficiency of stoichiometric spark ignition engines", *SAE Paper*, 961953: 27-37 (1996).
98. Bechtler, H., Browne, M. W., Bansal, P. K. and Kecman, V., "New approach to dynamic modelling of vapour-compression liquid chillers: artificial neural networks", *Applied Thermal Engineering*, 21 (9): 941-953 (2001).
99. Sözen, A. and Arcaklioğlu, E., "Solar potential in Turkey", *Applied Energy*, 80 (1): 35-45 (2005).

100. Akcayol, M. A., Cinar, C., Bulbul, H. I. and Kilicarslan, A., “Artificial neural network based modeling of injection pressure in diesel engines”, ***World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS) Transactions on Computers***, ISSN 1109-2750, 5 (3), 1538-1544 (2004).
101. Akcayol, M. A. and Cinar, C., “Artificial neural network based modeling of heated catalytic converter performance”, ***Applied Thermal Engineering***, 25 (14-15) 2341-2350 (2005).
102. Cinar, C., Akcayol, M. A., “Artificial neural network based modeling of stirling engine”, ***International Conference on Computational Intelligence***, Near East University, Nicosia, North Cyprus, 39-43 (2004).

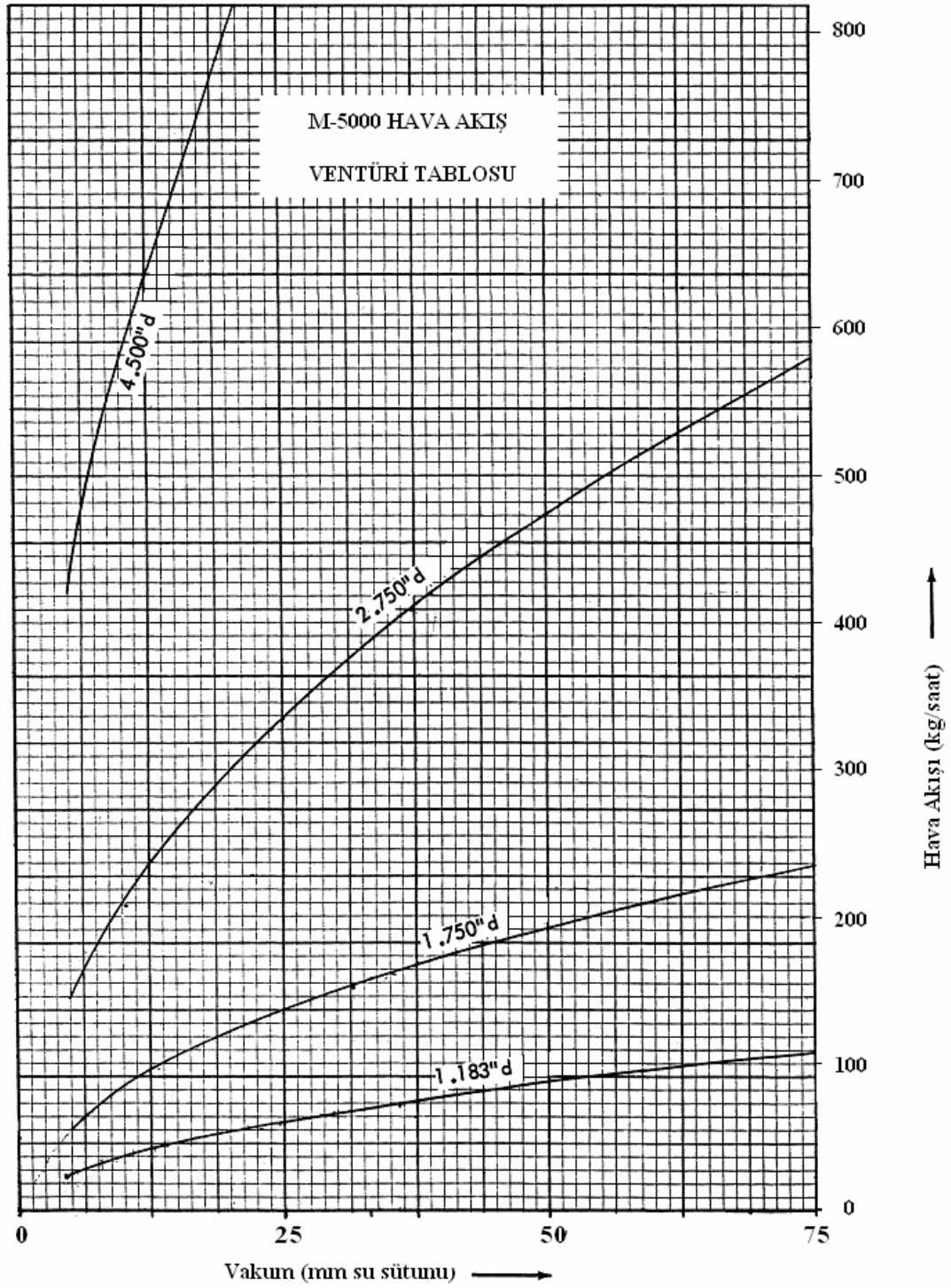
EKLER

EK-1 M-5000 hava akış ventürü tabloları



Şekil 1.1. 0,5" , 0,75" ve 1,183" Ventüriler için hava akış tablosu [79]

EK-1 (Devam) M-5000 hava akış ventürü tabloları



Şekil 1.2. 1,183", 1,75", 2,75" ve 4,5" Ventüriler için hava akış tablosu [79]

EK-2 Motor soğutma suyu akışmetresinde debinin belirlenmesi

Motor soğutma suyu debisinin belirlenmesi için kullanılan akışmetrede (Bkz. Resim 3.8) soğutma suyunun debisi basınç farkı (mmCiva sütunu yüksekliği) olarak ifade edilmektedir. Basınç farkının debiye dönüştürülebilmesi için kullanılan Eş 4.11'in elde edilmesi;

$$\dot{m}_{ms} = 0,2087 \cdot C \cdot Z_D \cdot Z_R \cdot E \cdot d^2 \cdot \left(\frac{h_s}{\rho_s} \right)^{0,5} \text{ (L/dakika) [81]}$$

$\dot{m}_{ms}$: Su debisi (Litre/dakika)

C: Temel katsayı

Z_D : Boru ölçüsü düzeltme faktörü

Z_R : Reynold sayısı düzeltme faktörü

E: Hız yaklaşım faktörü

d: Orifis çapı (mm)

D: Orifisin bağlı olduğu boru iç çapı (mm)

h_s : Basınç farkı (mm Su)

ρ_s : Suyun yoğunluğu (kg/m^3)

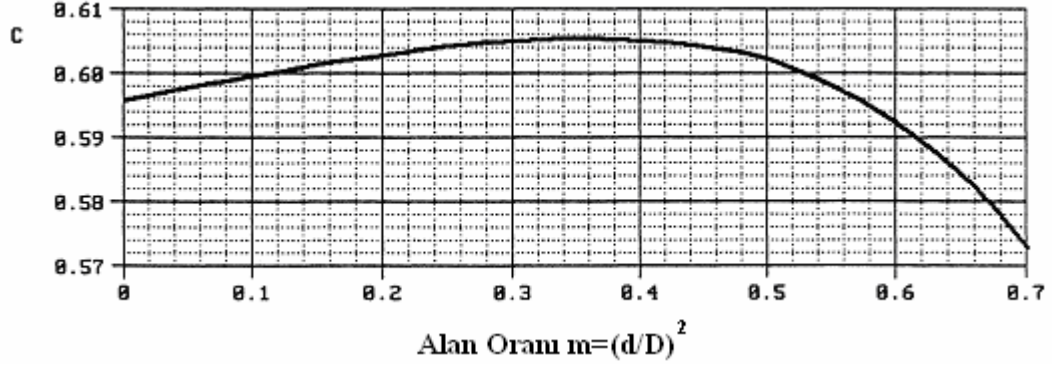
Orifis boyutları: $d=13,4$ mm, $D=25$ mm olduğundan alan oranı ve hız yaklaşım faktörü;

$$m=(d/D)^2=(13,4/25)^2=0,287296 \text{ ve}$$

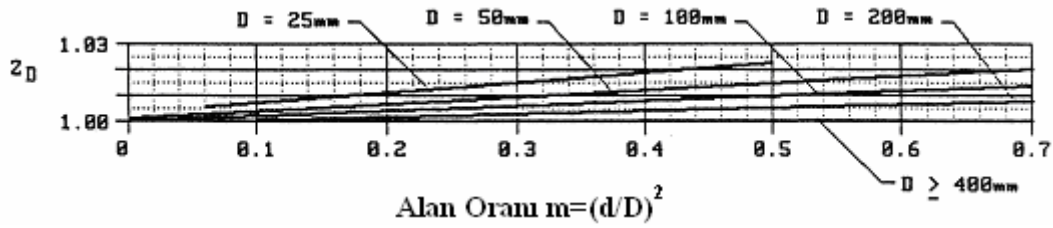
$$E = \frac{1}{(1 - m^2)^{0,5}} = \frac{1}{(1 - 0,287296^2)^{0,5}} = 1,044013686 \text{ olarak bulunur.}$$

Akışmetrede kullanılan orifis boyutlarına ve hesaplanan m değerine göre Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de yer alan grafiklerden $C=0,605$, $Z_D=1,015$ olarak bulunur. $Z_R=1$ ve $\rho_s=998,21 \text{ kg/m}^3$ olarak alınabilir [81].

EK-2 (Devam) Motor soğutma suyu akışmetresinde debinin belirlenmesi



Şekil 2.1. Alan oranına bağlı olarak temel katsayının değişimi [81]



Şekil 2.2. Alan oranına bağlı olarak boru ölçüsü düzeltme faktörünün değişimi [81]

$$\dot{m}_{ms} = 0,2087 \cdot 0,605 \cdot 1,015 \cdot 1,044013686 \cdot 13,4^2 \cdot \left(\frac{h_s}{998,21} \right)^{0,5}$$

$$\dot{m}_{ms} = 0,760411535 \cdot (h_s)^{0,5} \text{ (L/dakika) elde edilir.}$$

Akışmetrede basınç farkı mmCiva yüksekliği olarak ölçüldüğünden eşitlik buna göre düzenlenirse;

$$h_s = \frac{\rho_c \cdot h_c}{\rho_s} \text{ ise; } h_s = \frac{13546 \cdot h_c}{998,21} = 13,57. h_c$$

$\dot{m}_{ms} = 2,801164541 \cdot (h_c)^{0,5}$ (L/dakika) elde edilir. Suyun debi birimini kg/s'ye dönüştürüldüğünde;

EK-2 (Devam) Motor soğutma suyu akışmetresinde debinin belirlenmesi

$$\dot{m}_{ms} = 0,046603 \cdot (h_c)^{0,5} \text{ (kg/s) elde edilir.}$$

EK-3 Deneysel veriler

Çizelge 3.1. Motor devrine bağlı olarak motor momenti, efektif güç, FÖYT ve efektif verimin değişimi (Sıkıştırma oranı: 9/1, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

		Motor Devri (d/d)							
		1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
Motor Momenti (Nm)	E0	28,79	31,44	30,92	30,8	30,88	30,51	28,32	25,99
	E10	28,6	31,34	31,19	31,05	31,24	30,51	28,3	26,07
	E20	28,5	31,45	31,35	30,8	30,95	30,42	28,31	26,21
	E40	28,55	31,31	31,24	31,01	31,17	30,51	28,17	26,35
	E60	28,48	31,48	31,37	31,16	31,42	30,28	27,82	26,4
Efektif Güç (kW)	E0	4,52	6,58	8,09	9,67	11,31	12,77	13,34	13,6
	E10	4,49	6,56	8,16	9,75	11,44	12,77	13,33	13,64
	E20	4,47	6,58	8,2	9,67	11,34	12,74	13,33	13,72
	E40	4,48	6,55	8,17	9,74	11,42	12,77	13,27	13,79
	E60	4,47	6,59	8,21	9,78	11,51	12,68	13,1	13,82
FÖYT (g/kWh)	E0	281,42	266,99	269,22	270,53	268,44	270,16	274,36	297,44
	E10	287,31	276,59	275,74	284,92	282,06	285,2	286,72	302,2
	E20	299,33	294,26	286,83	294,11	290,9	293,12	308,78	328,29
	E40	328,13	310,53	312,85	314,78	318,76	325,61	336,85	353,3
	E60	348,99	335,05	336,18	343,56	346,45	354,42	375,57	387,44
Efektif Verim (%)	E0	29,12	30,69	30,44	30,29	30,53	30,33	29,87	27,55
	E10	29,7	30,86	30,94	29,95	30,26	29,92	29,76	28,24
	E20	29,74	30,27	30,57	30,28	30,61	30,38	28,84	27,13
	E40	29,75	31,45	31,21	31,02	30,63	29,99	28,99	27,64
	E60	30,89	32,16	32,06	31,38	31,11	30,42	28,7	27,82

EK-3 (Devam) Deneysel veriler

Çizelge 3.2. Motor devrine bağlı olarak volumetrik verim, egzoz gaz sıcaklığı, CO ve HC emisyonlarının değişimi (Sıkıştırma oranı: 9/1, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

		Motor Devri (d/d)							
		1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
Volumetrik Verim (%)	E0	75,37	78,75	77,82	77,13	78,4	78,03	75,31	73,26
	E10	75,37	78,75	75,84	77,13	80,36	78,89	75,31	75,05
	E20	75,37	78,75	76,83	77,13	80,36	78,03	75,31	74,09
	E40	75,37	78,75	76,83	77,13	80,36	78,03	74,24	74,09
	E60	75,37	78,07	75,51	77,13	80,36	78,03	74,28	73,26
Egzoz Gaz Sıcaklığı (°C)	E0	554,5	615,4	653,7	680,9	724,6	737,6	754,3	782,7
	E10	557,5	620,8	655,9	677,1	722,6	733,2	755,2	776,5
	E20	559,6	612,1	648	676	722,3	727,3	748,6	772,5
	E40	549,6	608,9	638,8	672,4	716,3	718,8	738,7	770,1
	E60	547,6	605,1	637	659,2	711,4	712,2	731,3	765,5
CO Emisyonu (% Hacimsel)	E0	0,87	0,82	0,97	0,55	0,63	0,53	0,58	0,83
	E10	0,57	0,63	0,48	0,45	0,86	0,59	0,61	0,73
	E20	0,47	0,81	0,44	0,66	0,62	0,51	0,74	0,78
	E40	0,55	0,61	0,5	0,5	0,87	0,68	0,66	0,81
	E60	0,43	0,69	0,33	0,55	0,68	0,49	0,43	0,89
HC Emisyonu (ppm)	E0	129	165	69	92	90	67	67	59
	E10	126	163	95	37	81	55	42	51
	E20	133	179	50	53	77	50	36	60
	E40	122	176	46	60	85	46	56	56
	E60	119	174	48	53	80	39	35	56

EK-3 (Devam) Deneysel veriler

Çizelge 3.3. Ateşleme zamanına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 8/1, Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük)

Ateşleme Zamanı (°KMA ÜÖNÖ)	Motor Momenti (Nm)				
	E0	E10	E20	E40	E60
10	26,76	27,02	27,01	27,12	27,9
15	28,63	28,54	28,82	28,82	29,38
20	29,74	29,67	29,68	29,66	29,88
22	30,01	29,92	29,93	29,9	30,02
24	30,09	29,96	30,15	30,13	30,14
26	30,19	29,98	30,23	30,11	30,11
28	30,15	29,99	30,15	30,06	30,04
30	30,01	29,93	30,13	30,04	29,74
36	29,62	29,46	29,77	29,53	29,09
Ateşleme Zamanı (°KMA ÜÖNÖ)	FÖYT (g/kWh)				
	E0	E10	E20	E40	E60
10	307,5	324,38	337,7	369,55	387,33
15	287,48	310,25	317,61	345,07	367,61
20	276,4	297,68	307,25	333,91	359,42
22	275,06	295,02	304,31	332,49	357,9
24	274,67	294,35	301,71	330,9	353,72
26	274,46	293,89	298,01	330,48	357,14
28	275,47	293,89	299,24	329,38	357,33
30	276,11	294,07	302,38	328,81	358,27
36	277,26	295,62	303,66	332,04	367,49

EK-3 (Devam) Deneysel veriler

Çizelge 3.4. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 8/1, Motor devri: 2000 d/d, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

HFK	Motor Momenti (Nm)				
	E0	E10	E20	E40	E60
0,8	30,38	30,14	30,48	30,4	30,42
0,85	30,41	30,28	30,61	30,49	30,49
0,9	30,48	30,36	30,73	30,62	30,56
0,95	30,41	30,34	30,52	30,53	30,14
1	30,19	29,99	30,23	30,13	30,14
1,05	29,08	29,22	29,16	29,03	28,44
1,1	27,64	28,11	27,7	27,49	27,22
1,15	26,16	27,18	26,17	26,33	25,61
1,2	24,21	25,89	24,57	24,55	24,24
HFK	FÖYT (g/kWh)				
	E0	E10	E20	E40	E60
0,8	339,62	357,81	367,24	406,42	442,89
0,85	315,54	339,65	345,96	384,92	417,55
0,9	297,18	315,09	329,21	361,68	393,75
0,95	284	304,06	310,99	343	374,26
1	274,46	293,89	298,01	330,9	353,72
1,05	267,98	289,8	297,44	325,66	352,34
1,1	270,16	287,24	304,14	329,74	363,79
1,15	276,79	291,04	306,79	334,52	363,58
1,2	286,39	294,02	314,36	350,19	375,74

Çizelge 3.5. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 8/1, Motor devri: 2000 d/d, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

Giriş Hava Sıcaklığı (°C)	Motor Momenti (Nm)				
	E0	E10	E20	E40	E60
25	30,19	29,99	30,23	30,13	30,14
50	28,2	28,4	28,32	28,29	28,19
60	27,89	27,81	27,92	28,08	27,93
70	27,23	27,28	27,27	27,4	27,42
Giriş Hava Sıcaklığı (°C)	FÖYT (g/kWh)				
	E0	E10	E20	E40	E60
25	274,46	293,89	298,01	330,9	353,72
50	286,78	303,63	313,66	344,29	373,33
60	289,73	304,54	315,92	345,1	374,05
70	291,47	306,62	316,29	350,17	375,41

EK-3 (Devam) Deneysel veriler

Çizelge 3.6. Ateşleme zamanına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 8/1, Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük)

Ateşleme Zamanı (°KMA ÜÖNÖ)	Motor Momenti (Nm)				
	E0	E10	E20	E40	E60
10	23,39	23,53	24,04	24,68	25,01
15	25,94	26,08	26,57	26,82	27
20	27,72	28,22	28,03	28,54	28,59
22	28,24	28,59	28,77	28,95	29,08
24	28,71	29,13	29,09	29,23	29,4
26	28,9	29,4	29,26	29,47	29,7
28	29,15	29,57	29,52	29,77	29,88
30	29,28	29,7	29,62	29,82	29,91
32	29,32	29,67	29,81	29,94	29,88
35	29,26	29,56	29,53	29,78	29,81
Ateşleme Zamanı (°KMA ÜÖNÖ)	FÖYT (g/kWh)				
	E0	E10	E20	E40	E60
10	361,26	380,74	396,74	447,15	452,75
15	324,63	338,14	355,19	393,08	410,23
20	303,25	309,86	338,44	368,83	382,23
22	294,49	308,31	327,27	360,23	375,21
24	288,02	296,91	318,01	350,08	370,55
26	287,25	292,48	316,29	343,33	366,18
28	284,83	290,86	314,99	340,42	363,84
30	283,28	288,97	306,91	338,79	362,19
32	278,77	287,03	303,3	333,64	361,64
35	278,25	285,43	306,6	331,07	360,44

EK-3 (Devam) Deneysel veriler

Çizelge 3.7. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 8/1, Motor devri: 3500 d/d, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

HFK	Motor Momenti (Nm)				
	E0	E10	E20	E40	E60
0,8	29,57	30,04	30,13	30,15	30,27
0,85	29,87	30,27	30,32	30,49	30,49
0,9	29,95	30,3	30,49	30,56	30,64
0,95	29,82	30,14	30,33	30,52	30,55
1	29,32	29,7	29,81	29,94	29,91
1,05	28,4	28,41	28,99	28,96	28,84
1,1	27,05	27,01	27,77	27,58	27,54
1,15	25,49	25,49	26,38	26,12	25,96
1,2	24,17	23,69	24,77	24,79	24,36
HFK	FÖYT (g/kWh)				
	E0	E10	E20	E40	E60
0,8	340,72	351,27	372,83	413,86	448,89
0,85	317	330,51	347,58	385,57	416,29
0,9	303,01	304,27	327,13	362,36	388,77
0,95	289,01	295,11	312,15	344,28	369,97
1	278,77	288,97	303,3	333,64	362,19
1,05	274,04	282,94	298,31	329,41	353,19
1,1	274,87	285,14	302,65	329,23	354,59
1,15	280,73	289,08	310,31	337,87	362,33
1,2	286,51	302,42	310,92	343,41	371,3

Çizelge 3.8. Giriş hava sıcaklığına bağlı olarak motor momentinin ve FÖYT'nin değişimi (Sıkıştırma oranı: 8/1, Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

Giriş Hava Sıcaklığı (°C)	Motor Momenti (Nm)				
	E0	E10	E20	E40	E60
25	29,32	29,7	29,81	29,94	29,91
50	28,04	28,45	28,63	28,74	28,69
60	27,75	27,97	28,06	28,18	28,11
70	27,17	27,26	27,47	27,7	27,73
Giriş Hava Sıcaklığı (°C)	FÖYT (g/kWh)				
	E0	E10	E20	E40	E60
25	278,77	288,97	303,3	333,64	362,19
50	285,69	295,97	310,18	342,28	369,13
60	286,73	297,19	311,38	343,02	370,49
70	288,24	300,54	313,06	344,04	371,46

EK-3 (Devam) Deneysel veriler

Çizelge 3.9. Ateşleme zamanına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının değişimi
(Sıkıştırma oranı: 8/1, Motor devri: 3500 d/d, λ : 1, Tam yük)

Ateşleme Zamanı (°KMA ÜÖNÖ)	Egzoz Gaz Sıcaklığı (°C)				
	E0	E10	E20	E40	E60
10	839,3	828,7	817,5	812,8	808,6
15	806,9	812,8	799,7	788,4	788,7
20	786,8	784	779,3	765,8	765,2
22	777,7	775,3	765,5	759,2	755,9
24	766,1	766,4	758,7	751,5	751,5
26	761,4	759,4	753,5	747,4	742,2
28	752,7	752,4	747,7	739,7	739,5
30	746,7	746,6	742,5	732	732,8
32	741,2	742,4	737,3	728,2	726,1
35	734,9	736	732	722,2	722,3

Çizelge 3.10. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının değişimi
(Sıkıştırma oranı: 8/1, Motor devri: 3500 d/d, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

HFK	Egzoz Gaz Sıcaklığı (°C)				
	E0	E10	E20	E40	E60
0,8	664,7	666,5	658	651,8	652,8
0,85	688,1	686,4	681,4	672,1	667,3
0,9	708	707,2	704,5	692,9	691,4
0,95	727,2	726,8	722,2	713,3	711,2
1	741,2	746,6	737,3	728,2	732,8
1,05	732,6	733,1	732,1	718,2	719,5
1,1	717,6	718,2	718,6	706,1	708,1
1,15	707	706,7	707,6	695,1	695,4
1,2	696,4	702,9	704,9	689,5	688,4

EK-3 (Devam) Deneysel veriler

Çizelge 3.11. Ateşleme zamanına bağlı olarak efektif verimin değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 8/1, λ : 1, Tam yük)

Ateşleme Zamanı (°KMA ÜÖNÖ)	Efektif Verim (%)				
	E0	E10	E20	E40	E60
10	22,68	22,41	22,45	21,84	23,81
15	25,24	25,24	25,07	24,84	26,28
20	27,02	27,54	26,31	26,47	28,2
22	27,82	27,68	27,21	27,11	28,73
24	28,45	28,74	28	27,89	29,09
26	28,53	29,18	28,15	28,44	29,44
28	28,77	29,34	28,27	28,68	29,63
30	28,93	29,53	29,01	28,82	29,76
32	29,39	29,73	29,36	29,27	29,8
35	29,45	29,9	29,04	29,49	29,9

Çizelge 3.12. HFK'ye bağlı olarak efektif verimin değişimi (Motor devri: 3500 d/d, Sıkıştırma oranı: 8/1, Tam yük, Maksimum motor momentini veren ateşleme zamanı)

HFK	Efektif Verim (%)				
	E0	E10	E20	E40	E60
0,8	24,05	24,29	23,89	23,6	24,01
0,85	25,85	25,82	25,62	25,32	25,89
0,9	27,05	28,04	27,22	26,95	27,72
0,95	28,36	28,92	28,52	28,36	29,13
1	29,39	29,53	29,36	29,27	29,76
1,05	29,9	30,17	29,85	29,65	30,51
1,1	29,81	29,93	29,42	29,65	30,4
1,15	29,19	29,52	28,7	28,9	29,75
1,2	28,6	28,22	28,64	28,43	29,03

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TOPGÜL, Tolga
 Uyuğu : TC
 Doğum tarihi ve yeri : 1975 Eskişehir
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 212 68 20/1856
 Faks : 0 (312) 212 00 59
 e-mail : topgul@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Makine Eğit. Anabilim Dalı	2000
Lisans	Gazi Üniversitesi/Otomotiv Anabilim Dalı	1997
Lise	Eskişehir Motor Teknik Lisesi	1993

İş Deneyimi

Yer	Görev
1998-2006 Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Science Citation Index (SCI) Kapsamındaki Dergilerde Yayımlanmış Makaleler

1. Çınar, C., Yücesu, H. S., Topgül, T., Okur, M., “Beta-Type Stirling Engine Operating at Atmospheric Pressure”, Applied Energy, 81 (4): 351-357, (2005).
2. Çınar, C., Topgül, T., Ciniviz, M., Haşımoğlu, C., “Effects of Injection Pressure and Intake CO₂ Concentration on Performance and Emission Parameters on an IDI Turbocharged Diesel Engine”, Applied Thermal Engineering, 25 (11-12): 1854-1862, (2005).

Ulusal Hakemli Dergilerde Yayımlanmış Makaleler

3. Topgöl, T., Yücesu, H. S. ve Okur M., “Buji İle Ateşlemeli Bir Motorda Çalışma Parametrelerinin Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Politeknik Dergisi, 8 (1): 43-47 (2005).
4. Salman, S., Çınar, C., Haşimoğlu, C., Topgöl, T., Ciniviz, M., “The Effects of Dual Fuel Operation on Exhaust Emissions in Diesel Engines”, ZKU, Karabuk Technical Education Faculty, Journal of Technology, 7 (3): 455-460 (2004).
5. Salman, S., Çınar, C., Topgöl, T. ve Haşimoğlu, C., “Bir Dizel Motorunda Egzoz Gazları, Soğutma Suyu ve Sürtünmeler Yoluyla Kaybedilen Isı Enerjisinin Belirlenmesi”, Politeknik Dergisi, 5 (3): 233-236 (2002).
6. Topgöl, T. ve Çınar, C., “İçten Yanmalı Motorlarda Soğutma Suyu Sıcaklığının Motor Performansına Etkileri Üzerine Deneysel Bir Araştırma”, Selçuk-Teknik Online Dergisi, ISSN 1302-6178, Cilt: 2, Sayı:1, (2001).
7. Topgöl, T. ve Salman, S., “Bir Dizel Motorunda Püskürtme Avansının Motor Performansına, Soğutma Suyu ve Egzoz Gazı Yoluyla Kaybedilen Isı Enerjisine Etkisi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14 (3): 987-997 (2001).
8. Salman, S. ve Topgöl, T., “Bir Dizel Motorunda Enjeksiyon Basıncının Motor Performansına, Soğutma Suyu ve Egzoz Gazı Yoluyla Kaybedilen Isı Enerjisine Etkisi”, Politeknik Dergisi, 4 (2): 27-30 (2001).

Uluslararası Kongre veya Sempozyumlarda Sunulmuş ve Tam Metni Basılmış Bildiriler

9. Okur, M., Çetinkaya, S., Topgöl, T., Çınar, C., “Tek Silindirli Dört Zamanlı Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Krank Milinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Boyut Analizi”, 4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Cilt II, 28-30 Eylül 2005, Konya.
10. Okur, M., Çetinkaya, S., Çınar, C., Topgöl, T., “Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Piston Piminin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Boyut Analizi”, 1. Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi (MTET 2005), 5-7 Eylül 2005, İstanbul.

11. Topgöl, T., Yücesu, H. S., Çınar, C., “Etanol-Benzın Karışımının Buji İle Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Motor Performansına Etkisinin Deneyisel Olarak Belirlenmesi”, 8. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 345-355, 8-9 Eylül 2004, Gölbaşı, Ankara.
12. Topgöl, T., Okur, M., Batmaz, İ., Yücesu, H. S., “LPG ve Kurşunsuz Benzin Kullanılabilen Bir Taşıtta Katalitik Konvertör Verimlerinin Deneyisel Olarak Karşılaştırılması”, 8. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 406-417, 8-9 Eylül 2004, Ankara.
13. Okur, M., Çetinkaya, S., Topgöl, T., “ Buji İle Ateşlemeli Bir Motor Biyelinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Tasarımı”, 8. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 528-538, 8-9 Eylül 2004, Ankara.
14. Ciniviz, M., Haşımoğlu, C., Çınar, C. ve Topgöl, T., 2002, “Dizel Motorlarında Emme Manifoldundaki Karbondioksit (CO_2) Konsantrasyonu Değişiminin Egzoz Emisyonlarına Etkileri”, 7. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 217-224, 17-18 Temmuz 2002, Ankara.
15. Çınar, C. ve Topgöl, T., 2002, “Yakıt Enjeksiyonlu Benzin Motorlarında Isınma Peryodunda Katalitik Konvertörün Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi”, 7. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 236-241, 17-18 Temmuz 2002, Ankara.

Ulusal Kongre veya Sempozyumlarda Sunulmuş ve Tam Metni Basılmış Bildiriler

16. Topgöl, T., Yücesu, H. S. ve Koca A., 2004, “Etanol-Benzın Karışımının Buji İle Ateşlemeli Bir Motorda Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneyisel Analizi”, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Dumlupınar Üniversitesi, 558-563, 26-28 Mayıs 2004, Kütahya.