

T.C  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ETANOL-BENZİN KARIŞIMLARININ BENZİNLİ  
MOTORLARDA MOTOR KARAKTERİSTİKLERİ VE  
HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİLERİ**

77659

HASAN BAYINDIR

DOKTORA TEZİ

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ

1998

T.C  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ETANOL-BENZİN KARIŞIMLARININ BENZİNLİ  
MOTORLARDA MOTOR KARAKTERİSTİKLERİ VE  
HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİLERİ**

HASAN BAYINDIR

DOKTORA TEZİ

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

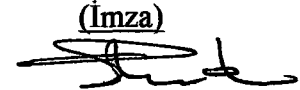
Bu Tez, 12/11/2018 Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından Oybirliği/..... İle  
Başarılı/..... Olarak Değerlendirilmiştir.

  
(İmza)  
Danışman

Yrd.Doç.Dr.H. Serdar YÜCESU

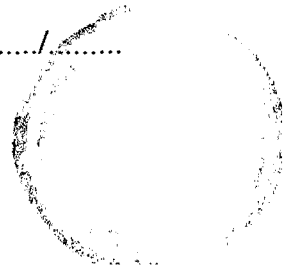
  
(İmza)

Prof. Dr. Veli ÇELİK

  
(İmza)

Doç. Dr. Selim ÇETİNKAYA

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun...../...../.....  
tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



**ÖZET****DOKTORA TEZİ****ETANOL-BENZİN KARIŞIMLARININ BENZİNLİ MOTORLARDA  
MOTOR KARAKTERİSTİKLERİ VE HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİLERİ****HASAN BAYINDIR**

Fırat Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı

1998, Sayfa: 145

Bu çalışmada tek silindirli dört zamanlı benzinli bir motor üzerinde benzin ve etanol-benzin karışımları yakıt olarak denenmiştir. Faz ayrışmasını önlemek için yakıt deposuna bir mikser monte edilmiştir. Etanolün yüksek gizli buharlaşma ısısı nedeniyle deneyler sırasında emme manifoldu kademeli olarak ısıtılmıştır. Motorun egzoz gazı ile olan ısı kaybını belirlemek ve manifoldun ısıtılmasında kullanılan sıcak suyu temin etmek üzere bir adet egzoz gaz kalorimetresi imal edilmiştir. Deney motoru emme manifoldu için bir ısı transferi modeli geliştirilmiştir. Deney motorunun sıkıştırma oranını arttırmak amacı ile yanma odası hacmi küçük tutularak, yeni bir motor silindir üst kapağı döküm metodu ve CNC tezgahında aslına uygun imal edilmiştir. Deneyler;  $\lambda$ 'nın değişik değerlerinde, değişik ateşleme avansında, değişik sıkıştırma oranlarında, değişik etanol-benzin karışım oranlarında ve yük altında gerçekleştirilmiştir. Deneylerle elde edilen bulgular alt gruplar halinde birbirleriyle karşılaştırılarak tablo ve grafikler halinde sunulmuştur. Etanol-benzin karışımları ile elde edilen egzoz emisyonları benzine göre daha temiz, ancak motor gücünde nispeten düşüş görülmüştür. Motorun sıkıştırma oranı artırıldığında, etanol-benzin karışımlarıyla genel anlamda daha iyi performans elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Alternatif Yakıtlar, Etanol, Benzin Motoru, Egzoz Emisyonları.

**ABSTRACT**

PhD Thesis

**THE EFFECTS OF ETHANOL-GASOLINE BLENDS ON THE ENGINE  
CHARACTERISTICS AND AIR POLLUTION IN GASOLINE ENGINES****HASAN BAYINDIR**

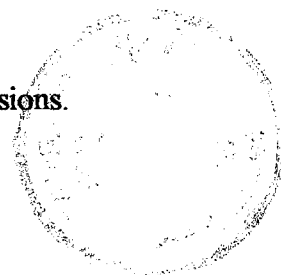
Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

1998, Page: 145

In this study, ethanol-gasoline blends were used as an alternative fuel in one cylinder four stroke gasoline engine. A mixer was mounted inside fuel tank in order to prevent phase-separation. Due to the high latent vaporising heat of ethanol the inlet manifold was gradually heated. An exhaust gas calorimeter was used to determine the heat loss through exhaust gas and to obtain the hot water used in heating of manifold. A heat transfer model was developed for the inlet manifold of the engine used in the experiments. In order to increase the compression ratio of the engine, the volume of the combustion chamber was kept small & the upper cylinder cover (head) of the engine was produced by casting and then shaping by a CNC machine tool. The experiments were carried out under different loads, with different compression ratios, ignition advances and air fuel ratios using different ethanol-gasoline blends. The experimental results were compared with each other in sub-groups & in tables and graphics. Exhaust emissions from ethanol-gasoline blends were cleaner than gasoline but this blends causes the engine power to decrease relatively.

**Key Words :** Alternative Fuels, Ethanol, Gasoline Engine, Exhaust Emissions.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı yöneten ve benden yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Serdar YÜCESU'ya içtenlikle teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Çalışmama değerli katkılarından ötürü Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Öğretim Üyelerinden Sayın Doç. Dr. Selim ÇETİNKAYA'ya, deney motoru için yeni bir silindir üst kapağının (yanma odası) dökümü ve CNC tezgahlarında işlenmesinde benden yardımlarını esirgemeyen sayın Doç.Dr. Halis ÇELİK ve Öğr.Gör. Vedat SAVAŞ'a ve ayrıca deney setinin kurulmasında emeği geçen herkese teşekkürü bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| <b>ÖZET</b> .....             | iii  |
| <b>ABSTRACT</b> .....         | iv   |
| <b>TEŞEKKÜR</b> .....         | v    |
| <b>İÇİNDEKİLER</b> .....      | vi   |
| <b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> ..... | vii  |
| <b>TABLolar LİSTESİ</b> ..... | viii |
| <b>SİMGELER LİSTESİ</b> ..... | ix   |

### BÖLÜM I

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>1. GİRİŞ</b> .....            | 1 |
| 1.1. Amaçlar .....               | 6 |
| 1.2. Tanımlar ve Kavramlar ..... | 7 |

### BÖLÜM II

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| <b>2. LİTERATÜR ÖZETİ</b> ..... | 9 |
|---------------------------------|---|

### BÖLÜM III

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| <b>3. MOTORLU TAŞITLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ VE EGZoz</b> |    |
| <b>EMİSYONLARI</b> .....                                 | 17 |
| 3.1. Dünya Petrol Kaynakları ve Türkiye'nin Durumu ..... | 19 |
| 3.2. Petrol Kökenli Hidrokarbonlar ve Yapıları .....     | 21 |
| 3.2.1. Parafinler .....                                  | 22 |
| 3.2.2. Olefinler .....                                   | 23 |
| 3.2.3. Naftenler .....                                   | 24 |
| 3.2.4. Aromatikler .....                                 | 24 |
| 3.3. Yanma Stokiyometrisi.....                           | 26 |
| 3.4. Benzin .....                                        | 28 |
| 3.4.1. Benzinin Üretimi .....                            | 28 |
| 3.4.1.1 Birinci damıtma .....                            | 29 |
| 3.4.1.2. Kraking .....                                   | 29 |

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.2. Benzinli motor yakıtında aranan özellikler .....                      | 30 |
| 3.4.2.1. Uçuculuk .....                                                      | 30 |
| 3.4.2.2. Vuruntu dayanımı .....                                              | 34 |
| 3.4.2.3. Oktan sayısı .....                                                  | 35 |
| 3.4.2.4. Zamk ve vernik seviyesi.....                                        | 37 |
| 3.4.2.5. Yakıt ve yanma ürünlerinde kükürt seviyesi .....                    | 37 |
| 3.5. Alkoller .....                                                          | 37 |
| 3.5.1. Etanol .....                                                          | 39 |
| 3.5.1.1. Etanolün üretimi .....                                              | 39 |
| 3.5.1.2. Etanolün özellikleri .....                                          | 41 |
| 3.6. Etanol Benzin Karışımlarının Teknik Özellikleri .....                   | 42 |
| 3.6.1. Etanol-benzin karışımlarında faz ayrışması sorunu .....               | 43 |
| 3.6.2. Etanol-benzin karışımlarının motor malzemelerine korozyon etkisi..... | 47 |
| 3.7. Motorlu taşıtların egzoz emisyonları .....                              | 48 |
| 3.7.1. Karbonmonoksit (CO).....                                              | 50 |
| 3.7.2. Hidrokarbon (HC) emisyonları .....                                    | 51 |
| 3.7.3. Azot oksitler (NO <sub>x</sub> ) .....                                | 52 |
| 3.7.4. Benzin motorlarında kurşun oksitler (P <sub>b</sub> O) .....          | 53 |
| 3.7.5. Benzin motorlarında kükürt oksitler (SO <sub>x</sub> ) .....          | 54 |

## BÖLÜM IV

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4. MATERYAL VE METOD .....</b>                                      | <b>55</b> |
| 4.1. Deney Yeri, Deneylerde Kullanılan Motorun Teknik Özellikleri..... | 55        |
| 4.2. Deneylerde Kullanılan Yakıtlara İlişkin Özellikler.....           | 56        |
| 4.3. Deney Motoru Üzerinde Yapılan Değişiklikler .....                 | 57        |
| 4.4. Deney Tesisatı .....                                              | 58        |
| 4.5. Deneylerde Kullanılan Ölçü Aletleri .....                         | 59        |
| 4.5.1. Egzoz gaz analiz cihazı .....                                   | 60        |
| 4.5.2. Yakıt tüketimi ölçme cihazı .....                               | 60        |
| 4.5.3. Ayarlanabilir avans tabancası .....                             | 61        |

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.5.4. Dinamometre ünitesi .....                                                     | 61 |
| 4.5.5. Egzoz gaz kalorimetresi .....                                                 | 62 |
| 4.5.5.1. Özgül ısıların belirlenmesi .....                                           | 63 |
| 4.5.5.2. Toplam egzoz ısının belirlenmesi .....                                      | 64 |
| 4.5.6. Isıtma ve karıştırma fonksiyonlu yakıt deposu .....                           | 65 |
| 4.5.7. Emme manifoldunda ısı transferi .....                                         | 67 |
| 4.5.7.1. Emme manifoldunun ısıtılması.....                                           | 70 |
| 4.6. Silindir üst kapağının imal edilmesi ve sıkıştırma oranının değiştirilmesi..... | 72 |
| 4.7. Deney Yöntemi .....                                                             | 73 |
| 4.7.1. Deney yakıtının oktan sayısı .....                                            | 73 |
| 4.7.2. Egzoz gazı analizi .....                                                      | 75 |
| 4.7.3. Yakıt tüketimi ölçümü .....                                                   | 75 |
| 4.7.4. Güç ölçümü .....                                                              | 75 |
| 4.7.5. Kontrol Değişkenleri .....                                                    | 76 |
| 4.8. Hesaplanan Büyüklükler.....                                                     | 77 |
| 4.8.1. Motor Gücü.....                                                               | 77 |
| 4.8.2. Yakıt ve Özgül Yakıt Tüketimi.....                                            | 78 |
| 4.8.2. Özgül Enerji Tüketimi.....                                                    | 78 |
| 4.8.2. Volümetrik Verim.....                                                         | 79 |
| 4.8.2. Termik Verim.....                                                             | 79 |

## BÖLÜM V

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA.....</b>              | <b>80</b> |
| 5.1. Motor Momenti.....                                              | 80        |
| 5.1.1. Karışımdaki etanol miktarının motor momentine etkisi.....     | 80        |
| 5.1.2. Motor devri ve yakıt türünün motor momentine etkisi.....      | 85        |
| 5.1.3. Motorun sıkıştırma oranının motor momentine etkisi.....       | 88        |
| 5.1.4. Emme manifoldu dolgu sıcaklığının motor momentine etkisi..... | 90        |
| 5.1.5. Hava fazlalık katsayısının motor momentine etkisi.....        | 91        |
| 5.2. Motor gücü.....                                                 | 92        |
| 5.2.1. Karışımdaki etanol miktarının motor gücüne etkisi.....        | 92        |

|                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2.2. Motor devri ve yakıt türünün motor gücüne etkisi.....                       | 94  |
| 5.2.3. Motorun sıkıştırma oranının motor gücüne etkisi.....                        | 96  |
| 5.2.4. Emme manifoldu dolgu sıcaklığının motor gücüne etkisi.....                  | 97  |
| 5.2.5. Hava fazlalık katsayısının motor gücüne etkisi.....                         | 98  |
| 5.2.6. Ateşleme avansının motor gücüne etkisi.....                                 | 99  |
| 5.2.7. Kelebek açıklığının motor gücüne etkisi.....                                | 101 |
| 5.3. Yakıt Tüketimi.....                                                           | 103 |
| 5.4 Özgül Yakıt Tüketimi .....                                                     | 103 |
| 5.4.1 Karışımdaki etanol miktarının motor özgül yakıt tüketimine etkisi .....      | 103 |
| 5.4.2 Motor devrinin motorun özgül yakıt tüketimine etkisi.....                    | 104 |
| 5.4.3 Motorun sıkıştırma oranının motorun özgül yakıt tüketimine etkisi.....       | 107 |
| 5.4.4 Emme manifoldu dolgu sıcaklığının motorun özgül yakıt tüketimine etkisi..... | 108 |
| 5.4.5 Kelebek açıklığının motorun özgül yakıt tüketimine etkisi.....               | 109 |
| 5.5 Termik Verim.....                                                              | 111 |
| 5.5.1 Karışımdaki etanol miktarının termik verime etkisi.....                      | 111 |
| 5.5.2 Motor devri ve yakıt türünün termik verime etkisi .....                      | 112 |
| 5.5.3 Motorun sıkıştırma oranının termik verime etkisi.....                        | 115 |
| 5.5.4 Hava fazlalık katsayısının termik verime etkisi.....                         | 116 |
| 5.6. Karbonmonoksit (CO) emisyonları.....                                          | 116 |
| 5.6.1. Karışımdaki etanol miktarının CO emisyonlarına etkisi.....                  | 117 |
| 5.6.2. Motor devrinin CO emisyonlarına etkisi.....                                 | 117 |
| 5.6.3. Emme manifoldu dolgu sıcaklığının CO emisyonlarına etkisi .....             | 119 |
| 5.6.4. Hava fazlalık katsayısının CO emisyonlarına etkisi .....                    | 119 |
| 5.7. Hidrokarbon Emisyonları (HC).....                                             | 121 |
| 5.7.1. Karışımdaki etanol miktarının HC emisyonlarına etkisi.....                  | 121 |
| 5.7.2. Motor devrinin HC emisyonlarına etkisi.....                                 | 122 |

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.7.3. Emme manifoldu dolgu sıcaklığının HC emisyonlarına etkisi ..... | 123 |
| 5.7.4. Hava fazlalık katsayısının HC emisyonlarına etkisi .....        | 123 |
| 5.8. Volümetrik Verim.....                                             | 124 |
| 5.8.1. Karışımındaki etanol miktarının volümetrik verime etkisi.....   | 124 |
| 5.8.2. Motor devrinin volümetrik verime etkisi.....                    | 126 |
| 5.8.3. Emme manifoldu dolgu sıcaklığının volümetrik verime etkisi..... | 127 |

## BÖLÜM VI

### 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 6.1. Sonuçlar..... | 128 |
| 6.2. Öneriler..... | 133 |

|                 |     |
|-----------------|-----|
| KAYNAKLAR ..... | 134 |
|-----------------|-----|

### EKLER

Ek-1: Deneysel veri tabloları

Ek-2: Emme manifoldunun egzoz kalorimetresi suyu ile ısıtılması

Ek-3: İmal edilen silindir üst kapağı (yanma odası)

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|             |                                                                                                                                 |    |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1.  | Alternatif Yakıtların Enerji Tüketimindeki Payı .....                                                                           | 18 |
| Şekil 3.2.  | Biyokütleden Yakıtlara Geçiş Stratejisi .....                                                                                   | 19 |
| Şekil 3.3.  | Metan ( $\text{CH}_4$ ) ve Etan ( $\text{C}_2\text{H}_6$ )'in Molekül Yapısı.....                                               | 22 |
| Şekil 3.4.  | İzooktan ( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ )'in Molekül Yapısı.....                                                                   | 23 |
| Şekil 3.5.  | Hekzen'in Molekül Yapısı.....                                                                                                   | 23 |
| Şekil 3.6.  | Siklopropan ve Siklobütan'ın Molekül Yapıları. ....                                                                             | 24 |
| Şekil 3.7.  | a) Benzen ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) ve b) Toluen ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ )'in Molekül Yapısı.....                  | 25 |
| Şekil 3.8.  | Çeşitli Hidrokarbonların Karbon Sayısı ve Isıl Değeri İlişkisi.....                                                             | 26 |
| Şekil 3.9.  | Yakıtın (H/C) Molar Oranının Bir Fonksiyonu Olarak Hava-<br>Hidrokarbon Yakıt Karışımları İçin Stokiyometrik H/Y Oranı.....     | 27 |
| Şekil 3.10. | Bazı Ürünlerin Tipik ASTM Damıtma Eğrileri .....                                                                                | 32 |
| Şekil 3.11. | Normal ve Vuruntulu Yanma Basınç Grafiği.....                                                                                   | 35 |
| Şekil 3.12. | Metanol-Benzin Karışımının Oktan Sayısı.....                                                                                    | 42 |
| Şekil 3.13. | Etanol-Benzin Karışımının Oktan Sayısı.....                                                                                     | 43 |
| Şekil 3.14. | Metanol-Benzin-Su ve Denatüre İspirto-Benzin-Su Sist. Faz<br>Diyagramı.....                                                     | 44 |
| Şekil 3.15. | Benzin-Etanol Karışımının Suyu Dayanımı .....                                                                                   | 45 |
| Şekil 3.16. | Karbüratörlü Benzin Motoru Egzozundaki Kirlleticilerin- $\lambda$ 'ya bağlılığı ...                                             | 49 |
| Şekil 3.17. | Bir Motorun Silindir Cidarına Yaklaştıkça HC Konsantrasyonu<br>Artmaktadır.....                                                 | 51 |
| Şekil 4.1.  | Deney Tesisatının Şematik Olarak Görünüşü.....                                                                                  | 58 |
| Şekil 4.2.  | İmal Edilen Egzoz Gaz Kalorimetresinin Şematik Şekli.....                                                                       | 70 |
| Şekil 4.3.  | Isıtma ve Karıştırma Fonksiyonlu Yakıt Deposunun Şematik Görünümü...66                                                          |    |
| Şekil 4.4.  | Karbüratöre Ait Basit Bir Isı Transferi Modeli.....                                                                             | 67 |
| Şekil 4.5.  | Deney Motoru Emme Manifoldu Şematik Şekli.....                                                                                  | 69 |
| Şekil 4.7.  | Deney Yakıtının Belirlenen Araştırma Oktan Sayısı .....                                                                         | 74 |
| Şekil 5.1.  | Motor Devri ve Ateşleme Avansının Motor Momentine Etkisinin<br>Karışımındaki Etanol Miktarı İle Değişimi ( $\epsilon=6$ ) ..... | 82 |
| Şekil 5.2.  | Motor Momentinin Karışımındaki Etanol Miktarı İle Değişimi.....                                                                 | 83 |

|                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5.3. Ateşleme Avansı ve Sıkıştırma Oranının Motor Momentinin Etkisinin Karışımındaki Etanol Miktarı İle Değişimi .....               | 84  |
| Şekil 5.4. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $\lambda$ 'nın $M_d$ 'ye Etkisinin $n$ İle Değişimi.....                                 | 86  |
| Şekil 5.5. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $\varepsilon$ 'nın $M_d$ 'ye Etkisinin $n$ İle Değişimi.....                             | 87  |
| Şekil 5.6. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve AA'nın $M_d$ 'ye Etkisinin $n$ İle Değişimi.....                                         | 88  |
| Şekil 5.7. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $\lambda$ 'nın $M_d$ 'ye Etkisinin $\varepsilon$ İle Değişimi.....                       | 89  |
| Şekil 5.8. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $\lambda$ 'nın $M_d$ 'ye Etkisinin $\varepsilon$ İle Değişimi (AA=5).....                | 90  |
| Şekil 5.9. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $\varepsilon$ 'nın $M_d$ 'ye Etkisinin Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığı İle Değişimi.....  | 91  |
| Şekil 5.10. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve AA'nın $M_d$ 'ye Etkisinin $\lambda$ İle Değişimi.....                                  | 92  |
| Şekil 5.11. Sıkıştırma Oranı ve Motor Devrinin $N_e$ 'ye Etkisinin Karışımındaki Etanol Miktarı İle Değişimi.....                          | 93  |
| Şekil 5.12 Benzin ve Etanol-Benzin Karışımlarının ve Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığının $N_e$ 'ye Etkisinin $n$ İle Değişimi .....          | 95  |
| Şekil 5.13. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $\varepsilon$ 'nın $N_e$ 'ye Etkisinin $n$ İle Değişimi....                             | 95  |
| Şekil 5.14. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $\lambda$ 'nın $N_e$ 'ye Etkisinin $\varepsilon$ İle Değişimi.....                      | 96  |
| Şekil 5.15. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $\lambda$ 'nın $N_e$ 'ye Etkisinin $\varepsilon$ İle Değişimi.....                      | 97  |
| Şekil 5.16. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $\varepsilon$ 'nın $N_e$ 'ye Etkisinin Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığı İle Değişimi..... | 98  |
| Şekil 5.17. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve AA'nın $N_e$ 'ye Etkisinin $\lambda$ İle Değişimi.....                                  | 99  |
| Şekil 5.18. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $\varepsilon$ 'nın $N_e$ 'ye Etkisinin AA İle Değişimi .....                            | 100 |

|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5.19 Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve Kelebek Açıklığının Motor Gücüne Etkisinin Motor Devri İle Değişimi.....     | 102 |
| Şekil 5. 20. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımlarının Motor Devrine Bağlı Olarak Yakıt Tüketimi.....                             | 103 |
| Şekil 5.21. Motorun Özgül Yakıt Tüketiminin Karışımdaki Etanol Miktarı İle Değişimi.....                                       | 104 |
| Şekil 5.22. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $\lambda$ 'nın ÖET'ye Etkisinin $n$ İle Değişimi ( $\epsilon=6$ ).....      | 105 |
| Şekil 5.23. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $\lambda$ 'nın ÖET'ye Etkisinin $n$ İle Değişimi ( $\epsilon=7$ ).....      | 106 |
| Şekil 5.24. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $\lambda$ 'nın ÖET'ye Etkisinin $n$ İle Değişimi ( $\epsilon=8$ ).....      | 106 |
| Şekil 5.25. Etanol-Benzin Karışımları ve AA'nın ÖYT'ye Etkisinin $\epsilon$ İle Değişimi....                                   | 108 |
| Şekil 5.26. Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığının Motorun Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi.....                                       | 109 |
| Şekil 5.27. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve Kelebek Açıklığının ÖYT'ye Etkisinin $n$ İle Değişimi.....                  | 110 |
| Şekil 5.28. Karışımdaki Etanol Miktarının Termik Verime Etkisi. ( $\epsilon=6$ ).....                                          | 112 |
| Şekil 5.29. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $T_{in}$ 'nin $\eta_t$ 'ye Etkisinin $n$ İle Değişimi ( $\epsilon=6$ )..... | 113 |
| Şekil 5.30. Etanol-Benzin Karışımları ve Manifold Sıcaklığının $\eta_t$ 'ye Etkisinin $n$ İle Değişimi.....                    | 114 |
| Şekil 5.31. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $\epsilon$ 'nin $\eta_t$ 'ye Etkisinin $n$ İle Değişimi.....                | 114 |
| Şekil 5.32. Motorun Sıkıştırma Oranının Termik Verim Etkisi.....                                                               | 115 |
| Şekil 5.33. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımlarının $\eta_t$ 'ye Etkisinin $\lambda$ İle Değişimi.....                          | 116 |
| Şekil 5.34. Ateşleme Avansı ve $\lambda$ 'nın CO Emisyonlarına Etkisinin Karışımdaki Etanol Miktarı ile Değişimi.....          | 117 |
| Şekil 5.35. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $\lambda$ 'nın CO Emisyonlarına                                             |     |

|                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Etkisinin $n$ İle Değişimi.....                                                                                                             | 118 |
| Şekil 5.36. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve AA'nın CO Emisyonlarına Etkisinin Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığı İle Değişimi.....       | 119 |
| Şekil 5.37. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığının CO Emisyonlarına Etkisinin $\lambda$ İle Değişimi..... | 120 |
| Şekil 5.38. Ateşleme Avansı ve $\lambda$ 'nın HC Emisyonlarına Etkisinin Karışımdaki Etanol Miktarı İle Değişimi.....                       | 121 |
| Şekil 5.39. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve $\lambda$ 'nın HC Emisyonlarına Etkisinin $n$ İle Değişimi.....                          | 122 |
| Şekil 5.40. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve AA'nın HC Emisyonlarına Etkisinin Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığı İle Değişimi.....       | 123 |
| Şekil 5.41. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve AA'nın HC Emisyonlarına Etkisinin $\lambda$ ile Değişimi.....                            | 124 |
| Şekil 5.42. Motor Devrinin $\eta_v$ 'ye Etkisinin Karışımdaki Etanol Miktarı İle Değişimi .....                                             | 125 |
| Şekil 5.43. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımlarının ve Manifold Sıcaklığının $\eta_v$ 'ye Etkisinin $n$ İle Değişimi.....                    | 126 |
| Şekil 5.44. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımlarının $\eta_v$ 'ye Etkisinin Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığı İle Değişimi.....                  | 127 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 1.1. Etanol-Benzin Karışımları ile Çalışan Motorların Egzoz Gazlarındaki Kirletici Miktarlarının Benzinle Çalışan Motor Kirletici Miktarları ile Karşılaştırılması..... | 4  |
| Tablo 3.1. Dünya Petrol Rezervleri.....                                                                                                                                       | 20 |
| Tablo 3.2. Enerji Üretim Kaynakları Dağılımı.....                                                                                                                             | 21 |
| Tablo 3.3. Çeşitli Benzin ve Hidrokarbonların Oktan Sayıları ve Kompozisyon Durumları .....                                                                                   | 36 |
| Tablo 3.4. Etanol Üretiminde Kurulu Kapasite (1984 yılından itibaren).....                                                                                                    | 41 |
| Tablo 3.5. Benzin-Alkol-Su Azeotropu Sistemi İçin Katkı Maddesi Miktarının (% hacim) Sıcaklık ile Değişimi.....                                                               | 46 |
| Tablo 3.6. Benzin ve Dizel Motorları Emisyon Faktörleri.....                                                                                                                  | 48 |
| Tablo 3.7. Benzin Motorlarında İşletme Şartlarına Göre Egzoz Terkibi.....                                                                                                     | 49 |
| Tablo 3.8. Türkiye'deki Benzinin Oktan Sayısı Kurşun Tetra Etil Miktarları.....                                                                                               | 53 |
| Tablo 4.1. Deney Motorunun Teknik Özellikleri.....                                                                                                                            | 65 |
| Tablo 4.2. Deneylerde Kullanılan Benzinin Teknik Özellikleri.....                                                                                                             | 65 |
| Tablo 4.3. Deneylerde Kullanılan Etanolün Teknik Özellikleri.....                                                                                                             | 66 |

## RESİMLERİN LİSTESİ

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Resim 4.1. Deney Tesisatının Görünüşü .....                            | 59 |
| Resim 4.2. Deney Tesisatına monte edilen egzoz gaz kalorimetresi ..... | 63 |

## SİMGELER LİSTESİ

|            |                                                     |
|------------|-----------------------------------------------------|
| AA         | : Ateşleme avansı [ KMA]                            |
| $A_d$      | : Ventüri boğazının en dar kesiti [ $\text{mm}^2$ ] |
| B          | : Buhar                                             |
| $B_e$      | : Yakıt tüketimi [kg/h]                             |
| $b_e$      | : Özgül yakıt tüketimi [g/kW h]                     |
| C          | : Orifis alan oranının temel katsayısı              |
| C          | : Karbon                                            |
| CHO        | : Aldehitler [ppm]                                  |
| CO         | : Karbonmonoksit [%]                                |
| $C_p$      | : Sabit basınçta özgül ısı [kJ/kg K]                |
| $C_{pr}$   | : Sabit basınçta egzoz gazı özgül ısı [kJ/kg K]     |
| $C_{pw}$   | : Sabit basınçta suyun özgül ısı [kJ/kg K]          |
| $C_v$      | : Sabit hacimde özgül ısı [kJ/kg K]                 |
| D          | : Silindir çapı [mm]                                |
| $D_o$      | : Dış ortam çapı [mm]                               |
| d          | : Emme havası dinlendirme tankı orifis çapı [mm]    |
| E          | : Başlangıç (yaklaşma) hız faktörü                  |
| E0         | : Normal benzin (%0 Etanol + % 100 normal benzin)   |
| E10        | : % 10 Etanol + % 90 normal benzin                  |
| E20        | : % 20 Etanol + % 80 normal benzin                  |
| E30        | : % 30 Etanol + % 70 normal benzin                  |
| $\epsilon$ | : Sıkıştırma oranı                                  |
| H          | : Hava                                              |
| H          | : Strok uzunluğu [mm]                               |
| HC         | : Hidrokarbonlar [ppm]                              |
| $H_o$      | : Yakıtın üst ısı değeri [MJ/kg]                    |
| $H_{re}$   | : Bileşenlerin formasyon ısı [MJ/kg]                |

|              |                                                                  |
|--------------|------------------------------------------------------------------|
| $H_{ub}$     | : Benzinin alt ısı değeri [MJ/kg]                                |
| $H_{u d}$    | : Düzeltilmiş (ısı kaybı dikkate alınmış) alt ısı değeri [MJ/kg] |
| $H_{ue}$     | : Etanolün alt ısı değeri [MJ/kg]                                |
| $H_{uk1}$    | : E10 yakıtının alt ısı değeri [MJ/kg]                           |
| $H_{uk2}$    | : E20 yakıtının alt ısı değeri [MJ/kg]                           |
| $H_{uk3}$    | : E30 yakıtının alt ısı değeri [MJ/kg]                           |
| $h$          | : Eğik manometredeki sıvı yüksekliği [mm]                        |
| $\Delta H_u$ | : Isı kaybı (yakıtın alt ısı değeri değişimi) [MJ/kg]            |
| $\eta_m$     | : Mekanik verim [%]                                              |
| $\eta_t$     | : Termik verim [%]                                               |
| $\eta_v$     | : Volümetrik verim [%]                                           |
| $K$          | : Sabit katsayı                                                  |
| $k$          | : 4 zamanlı motor sabit katsayısı                                |
| $\lambda$    | : Hava fazlalık katsayısı                                        |
| $\lambda_b$  | : Benzin kullanımında hava fazlalık katsayısı                    |
| $\lambda_k$  | : Etanol-benzin karışımı için hava fazlalık katsayısı            |
| $M_d$        | : Motor momenti [Nm]                                             |
| $N$          | : Azot gazı                                                      |
| $N_e$        | : Effektif güç [kW]                                              |
| $N_i$        | : İndike güç [kW]                                                |
| $n$          | : Motor devri [d/dak.]                                           |
| $n_N$        | : Motorun nominal devri [d/dak.]                                 |
| $n_1$        | : Sıkıştırma işleminde politropik üs                             |
| $O$          | : Oksijen                                                        |
| $P_a$        | : Emme sonu basıncı [MPa]                                        |
| $P_b$        | : Genişleme sonu basıncı [MPa]                                   |
| $P_c$        | : Sıkıştırma sonu basıncı [MPa]                                  |
| $P_{me}$     | : Ortalama efektif basınç [MPa]                                  |
| $P_{mi}$     | : Ortalama indike basınç [MPa]                                   |
| $P_{m,m}$    | : Mekanik kayıplar                                               |
| $P_0$        | : Ortam basıncı [MPa]                                            |

|             |                                                                    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------|
| $P_r$       | : Art gazlar basıncı [MPa]                                         |
| $P_z$       | : Yanma sonu basıncı [MPa]                                         |
| $q_{hm}$    | : Havanın kütleli debisi [kg/dak.]                                 |
| $q_{hv}$    | : Havanın hacimsel debisi [lt/dak.]                                |
| $q_{ym}$    | : Yakıtın kütleli debisi [kg/dak.]                                 |
| $q_{yv}$    | : Yakıtın hacimsel debisi [lt/dak.]                                |
| $q_{rm}$    | : Egzoz gazı kütleli debisi [kg/s]                                 |
| $Q_{rt}$    | : Toplam egzoz ısısı [kW]                                          |
| $R$         | : Gaz sabiti [J/kg K]                                              |
| $R$         | : Üniversal gaz sabitesi [kJ/kmol K]                               |
| $Re_d$      | : Reynolds sayısı                                                  |
| $\rho_a$    | : Karışımındaki yakıtlardan birinin yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ] |
| $\rho_b$    | : Benzinin yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]                          |
| $\rho_e$    | : Etanolün yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]                          |
| $\rho_h$    | : Havanın yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]                           |
| $\rho_{k1}$ | : E10 karışımı yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]                      |
| $\rho_{k2}$ | : E20 karışımı yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]                      |
| $\rho_{k3}$ | : E30 karışımı yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]                      |
| $S$         | : Kükürt                                                           |
| $\sigma$    | : Mutlak viskozite, denge [g/cm s]                                 |
| $t$         | : Zaman [s]                                                        |
| $T_a$       | : Emme sonu sıcaklığı [°C]                                         |
| $T_b$       | : Genişleme sonu sıcaklığı [°C]                                    |
| $T_{mr}$    | : Motor egzoz gazı sıcaklığı [°C]                                  |
| $T_0$       | : Ortam havası sıcaklığı [°C]                                      |
| $T_r$       | : Art gazlar sıcaklığı [K]                                         |
| $T_{r1}$    | : Egzoz gazı kalorimetreye giriş sıcaklığı [°C]                    |
| $T_{r2}$    | : Egzoz gazı kalorimetreden çıkış sıcaklığı [°C]                   |
| $T_{w1}$    | : Suyun kalorimetreye giriş sıcaklığı [°C]                         |
| $T_{w2}$    | : Suyun kalorimetreden çıkış sıcaklığı [°C]                        |
| $T_{w2}$    | : Suyun manifold ısıtma borusuna giriş sıcaklığı [°C]              |

|              |                                                                           |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------|
| $T_{w3}$     | : Suyun manifold ısıtma borusundan çıkış sıcaklığı [ $^{\circ}\text{C}$ ] |
| $\Delta T$   | : Dolgunun içeri girmesi sırasında ön ısınması [ $^{\circ}\text{C}$ ]     |
| $\Delta T_a$ | : Emme sırasında sıcaklık değişimi                                        |
| $\tau$       | : Yayılma faktörü                                                         |
| $V_h$        | : Toplam strok hacmi [ $\text{m}^3$ ]                                     |
| $V_m$        | : En dar kesitteki(ventürideki) hız [ $\text{m/s}$ ]                      |
| $V_{p,m}$    | : Ortalama piston hızı [ $\text{m/s}$ ]                                   |
| $w$          | : Açısal hız [ $1/\text{s}$ ]                                             |
| $\omega$     | : Ön genişleme oranı                                                      |
| $X_a$        | : 1 kg karışımdaki herhangi bir elementin ağırlığı                        |
| $X_b$        | : Karışımdaki herhangi bir yakıtın hacimsel oranı                         |
| $Z$          | : Silindir sayısı                                                         |
| $Z_D$        | : Boru ebadı düzeltme faktörü                                             |

## KISALTMALAR LİSTESİ

|      |                                             |
|------|---------------------------------------------|
| AA   | : Ateşleme Avansı                           |
| İYM  | : İçten Yanmalı Motor                       |
| max. | : Maksimum                                  |
| min. | : Minimum                                   |
| ÖET  | : Özgül Enerji Tüketimi [ $\text{kJ/kWh}$ ] |
| ÖYT  | : Özgül Yakıt Tüketimi                      |
| ppm  | : Milyonda bir parçacık                     |

## BÖLÜM I

### 1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler bir yandan insanların yaşamını olumlu yönde etkilerken, diğer yandan da dünyanın ekolojik dengesini bozmaktadır. Enerji kullanan sektör ve taşıtlar arttıkça, dünya akaryakıt kaynakları giderek azalmakta ve buna paralel olarak petrol fiyatları da artmaktadır. Bu durumlar karşısında, enerji sorunlarına eğilmek, gerekli önlemleri almak ve yeni yenilenebilir enerji kaynakları araştırma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Özer'e (1996) göre, günümüzde fosil yakıtların tükenmeye yüz tuttuğu, kullanımlarındaki artışa bağlı olarak çevre sorunlarının hızla arttığı, yeni ve yenilenebilir özellikte alternatif enerji kaynakları arayışı, biyokütle enerjisini daha çok gündeme getirmektedir. Biyokütleden enerji, birtakım süreçlerden sonra gaza, alkole ve yapay petrole dönüştürülerek elde edilebilir.

Günümüzde insanlığın ve dünyamızın en önemli sorunlarından biri enerji, bir diğeri de çevre kirliliğidir. Motorlu taşıtlar çevreye bıraktıkları kirletici gazlarla, çevreyi önemli ölçüde kirletmektedirler. Bugün dünyanın herbir köşesinde gelişen çevre bilinci, insanları bu konuya daha fazla duyarlı olmaya zorlamaktadır. Çevre kirliliğinin, başta insan olmak üzere tüm canlıların doğal yaşamı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için bilimsel araştırmalar yapmak ve bu araştırmalar doğrultusunda hareket etmek gerekir.

Alkollerin, motorlu taşıtlarda yakıt olarak denenmesi, petrol ürünlerine göre daha eski bir geçmişe sahiptir. Ancak, petrolün bulunması ve ürünlerinin motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılmaya başlanması ile çalışmalar petrol üzerine yoğunlaşmıştır. Yakıt amaçlı alkol üretim ve tüketimine yeteri kadar yatırım yapılmaması ve alkolün petrol ürünlerine nazaran daha pahalıya mal olması, bünyesinde bulundurduğu su miktarının, taşıt motorlarının yakıt sisteminde az da olsa korozyon bir etki yapması ve ayrıca faz ayrışması gibi nedenlerle yakıt amaçlı olarak alkoller yakın döneme kadar pek bir gelişme gösterememiştir. Ancak, yakıt amaçlı alkoller üzerindeki araştırmaların bir çoğu enerji

krizleri dönemlerinde yapılmış, kriz atlatıldıktan sonra çalışmalar yavaşlamıştır (Reed, 1981).

Demirsoy'a (1989) göre, birçok ülke petrol ithalatının ekonomik baskısından kurtulabilmek için alkollerin kullanımını düşündürmektedir. Daha az petrole bağlı yakıt kullanabilmek için alkol, yakıt olarak tamamen saf veya benzin ile karıştırılarak kullanılabilir. Bir çok otomobil firması, araçların geliştirilmesinde her iki durumu incelemektedir. Bunun için geniş çapta araştırmalar yapılmaktadır (Hardenberg vd., 1981; Harrison, 1981).

"Etanol-benzin karışımlarının Türkiye'de alternatif yakıt olarak kullanımının uygulama aşamasına geçebilmesi için bilimsel çalışmaların yapılması, konunun ülkemiz için değerlendirilebilirliğinin ortaya konması gerekmektedir" (Karaosmanoğlu, vd., 1986).

19. Yüzyıl sonlarında petrol ürünlerinin motor yakıtı olarak kullanılmaya başlanması ile, önemli petrol kaynaklarının bulunduğu bölgeler ayrı bir önem kazanmıştır. Siyasi ve ekonomik nedenlerden dolayı zaman zaman petrol krizleri yaşanmıştır, 1973 petrol krizi ve 1991 Körfez Savaşı, dünya petrol fiyatlarının artmasına neden olmuş ve ekonomisi iyi olmayan ülkeler bu durumdan çok etkilenmişlerdir. Ülkemiz de petrol fiyatlarının istikrarsızlığından olumsuz yönden etkilenmiştir. Petrolün belirli bir rezerve dayalı sonlu bir kaynak olması, mevcut taşıt motorları teknolojisinde büyük ölçüde değişiklik yapmadan, petrole alternatif olarak yenilenebilir yakıtların araştırılmasını zorunlu kılmıştır (Sidhu, 1988).

Demirsoy'a (1989) göre, son yılların ekonomik ve politik değişiklikleri, gelişmiş teknolojilere göre imal edilmiş olan motorların değişik yakıtlarla çalıştırılmalarını mümkün kılmamasına rağmen, alternatif yakıtların araştırılmalarını hızlandırmıştır. Mevcut motorların konstrüksiyonunda değişiklik yapılması ve ilk hareket sistemlerinin geliştirilmesiyle petrole eşdeğer bir yakıt bulununcaya kadar alternatif yakıtların kullanılması mümkün olabilir. Burada alkoller metanol ve etanol (metanol ve etanol), gaz (doğal gaz ve petrol gazı) bitkisel yağlar ve son olarak ta hidrojen uzun vadede alternatif yakıt olarak düşünülebilir.

Enerji sorunun yanısıra, motorlu taşıtların atmosfere bıraktıkları egzoz gazı emisyonları ve yakıt-yağ buharı ile 100'ü aşkın kirletici maddenin havaya bırakılması ile hava önemli ölçüde kirletilmektedir. Bu kirleticilerin en zararlı ve yoğun olanları, egzoz gazları ile çevreye atılan karbonmonoksit (CO), hidrokarbonlar (HC), azot bileşikleri (NOx) ve benzinin oktan sayısını yükseltmek için benzine katılan kurşun tetra etil'den kaynaklanan zehirleyici etkiye sahip kurşun oksitleridir (PbO). Bu kirletici bileşenlerden CO, renksiz, kokusuz ve zehirleyicidir. Kan'ın oksijen taşıma yeteneğini büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır. Havaya karışan yanmamış HC'lar, üst solunum yollarına zarar vermekte ve kanserojen etki yapmaktadır. NOx'ler de güneşli bir ortamda güneş ışınları ile ozon oluşumuna neden olmakta ve belirli bir yoğunluğa ulaştıktan sonra sis oluşturmaktadır. Kurşun oksitler ise, canlıları zehirleme etkisine sahiptir. Kurşun iskelet yapısında toplanmakta, merkezi sinir sistemine zarar vermekte ve ciğerlerin savunma gücünü azaltmaktadır. Ayrıca kurşunun kromozomlar üzerinde olumsuz etkisi olduğu belirtilmektedir. Bu ve benzeri yollarla kirlenen hava, dünyanın ekolojik dengesini bozmaktadır. Yukarıda adı geçen zararlı egzoz gazları, büyük ölçüde motor çevrimine ve kullanılan yakıtın özelliklerine bağlıdır. Bu zararlı maddeler, dizel motorlarına oranla daha çok benzinli motorlardan havaya atılmaktadır. Benzinli motorlarda egzoz gazındaki zararlı maddeleri azaltmak için, çalışmalar, motor konstrüksiyonunun yanısıra daha çok katalizör kullanımı ve alternatif yakıtlar üzerinde yapılmaktadır (Lang vd., 1981; Lavoie, 1980; LoRusso vd., 1976).

Halen etanol üretim maliyeti petrol kökenli yakıtlara göre daha yüksektir. Petrol, kömür ve doğal gazın daha derinlere inilerek çıkarılmak zorunda kalınacağı ileriki yıllarda bu maliyetin petrol türevi olan yakıtlara oranla daha ucuz olabileceği düşünülmektedir.

Özellikle son yıllarda dünyanın büyük bir problemi haline gelen hava kirliliği artışının önlenmesi, istenilmeyen dizel ve benzinli motorların emisyonlarının azaltılması için çalışmalar alkol yakıtlar üzerinde yoğunlaşmıştır. İçten yanmalı motorlar için birinci sırada aday olarak görülen alkol yakıtlar etanol ve metanol'dur. Ayrıca bütanol ve propanol da motorlarda denenebilir. Etanol, Brezilya'da, metanol da Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde benzin ve dizel yakıtına karıştırılarak belli miktarlarda kullanılmaktadır. Karışımdaki alkol oranını arttırmak için çalışmalar sürdürülmektedir. Etanol-benzin ya da metanol-benzin karışımı içten yanmalı motorlarda kullanıldığında,

alkolün sahip olduğu yüksek oktan sayısı ve sağlayabileceği yüksek sıkıştırma oranı nedeniyle termik verimde artış sağlanabilir. Alkol-benzin karışımları benzine göre bazı avantaj ve dezavantajlar arz etmektedir. Karışımın en önemli yararlarından bazıları vuruntu dayanımını yükseltmesi ve egzoz emisyonlarını (CO, NO<sub>x</sub>, HC) azaltma eğilimidir. Ancak bu konuda araştırmalar bazı çelişkili sonuçlar vermektedir. Tablo 1.1'de bu durum görülmektedir.

**Tablo 1.1. Etanol-Benzin Karışımları ile Çalışan Motorların Egzoz Gazlarındaki Kirletici Miktarlarının Benzinle Çalışan Motor Kirletici Miktarları ile Karşılaştırılması**  
(Gülde ve Bayka, 1981).

| Kaynak | Etanol miktarı | Yanmamış Hidrokarbonlar | CO         | NO <sub>x</sub> | Aldehidler |
|--------|----------------|-------------------------|------------|-----------------|------------|
| [26]   | % 10           | % 10 düşüş              | % 35 düşüş | % 7 artış       | --         |
| [27]   | %10 ve %20     | artış                   | aynı       | düşüş           | --         |
| [28]   | değişik        | çok az düşüş            | aynı       | düşüş           | artış      |
| [29]   | % 10           | düşüş                   | düşüş      | düşüş           | artış      |
| [30]   | % 15           | düşüş                   | düşüş      | düşüş           | --         |
|        | % 20           |                         |            | artış           |            |
| [31]   | % 0-30         | düşüş                   | düşüş      | artış           | --         |
| [32]   | % 20           | düşüş                   | düşüş      | artış           | artış      |

"Etanol-benzin karışımlarının yakıt olarak kullanıldığı motorların egzoz gazlarındaki kirletici miktarlarının benzine göre durumu çeşitli araştırmacılarca araştırılmıştır. Fakat sonuçlar arasında tutarsızlıklar vardır" (Gülde ve Bayka, 1981).

Ahmed'e (1988) göre, egzoz emisyonlarındaki CO miktarı, alkol-benzin karışım oranından bağımsızdır. Ancak, bir çok araştırmacı tarafından alkol-benzin karışımlarının, alkolün karışımdaki miktarına bağlı olarak egzoz emisyonundaki CO miktarını azalttığını belirtirken, bazılarının göre de bu değer değişmemektedir. Bununla beraber, yapılan bazı araştırmalarda alkol-benzin karışımı kullanıldığında, benzine göre özgül yakıt tüketiminde artış olduğu, bazılarında ise özgül yakıt tüketiminde azalma tespit edildiği belirtilmektedir. Yine bazı araştırmacılar tarafından zengin karışım kullanılması

durumunda etanolün benzine göre daha yüksek çıkış gücü verdiği de açıklanmıştır (Annand ve Gülder, 1980; Clancy vd., 1988).

Benzin motorlarında egzoz gazlarındaki zararlı bileşenleri azaltmak için, motorun tasarım ve üretiminde, yanma aşaması ve yanma sonrasında olmak üzere aşağıda özetlenen önlemler alınmaktadır (Benson vd., 1979; Hamrin ve Heywood, 1995).

1. Yanma öncesi karışım hazırlama aşamasında egzoz emisyonunu azaltmak için alınan önlemlerin esası, karışımı mümkün olduğunca teorik (ideal, stokiometrik, kimyasal) yanma koşullarına uygun şekilde hazırlamaya dayanmaktadır. Bunun için karbüratör, yakıt püskürtme, elektronik ateşleme sistemleri geliştirilmiştir.

2. Egzoz gazlarının zararlı etkisini azaltmak için, yanma sırasında alınabilecek önlemler ise, motorun yapısal özellikleri ile ilgilidir. Bu konuda önlem alma olanağı çok sınırlıdır.

3. Yanma sonrasında egzoz emisyonunu azaltmak için, egzoz sistemi üzerinde değişik önlemler alınabilmektedir. Bunların en önemlileri, egzoz gazının belli bir miktarının emme sistemine geri verilmesi, değişik özellikte katalizör ve reaktör kullanılmasıdır. Bu önlemlerin bir kısmı da, motorun tasarım ve yapısıyla ilgili olduğundan sonradan düzenleme olanağı bulunmamaktadır. Yaygın olarak kullanılan katalizörler oldukça pahalıdır, kurşunsuz benzin kullanmayı gerektirmektedir ve her tür benzin motoruna kolayca takılamamaktadır.

Bu nedenlerle, önlemler yaygın olarak uygulanamamakta ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde üretilen motorlarda, katalizör ve reaktör kullanımları sınırlı kalmaktadır. Ayrıca TS 4236 Sayılı Motorlu Karayolu Taşıtlarının Gaz Kirleticileri için Emisyon Sınır Değerleri Standardı ile ülkemizde üretilecek içten yanmalı taşıt motorlarının egzoz emisyonları sınırlandırılmış ise de pratikte uygulanmamaktadır (Işıksoluğu, 1993).

Değişik araştırmacılar tarafından araştırılan alkol-benzin karışımli yakıtlara ait egzoz emisyonları üzerinde çok çelişkili değerler verilmektedir. Bu çelişkili sonuçlar, büyük ölçüde motor performansını ve egzoz emisyonlarını etkileyen işletme



parametrelerinin bir bütün olarak aynı anda kontrol altına alınmamasından kaynaklanmaktadır.

### 1.1. Amaçlar

Bu çalışmanın amacı, buji ile ateşlemeli motorlarda değişik oranlardaki etanol-benzin karışımlarının egzoz emisyonları, motor gücü, ısı (termik) verim, hacimsel verim, özgül yakıt tüketimi ve özgül enerji tüketimi üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmak ve değişken parametrelerin herbirinin sonuçlar üzerindeki etkisini belirlemektir. Bu amaçla aşağıda yeralan sorulara cevap aranmıştır.

Değişik çalışma koşullarında, benzin ve değişik oranlardaki etanol-benzin karışımları ile yapılan çalışmada;

1. Etanol-benzin karışımının egzoz emisyonlarına etkisi nedir? Hangi etanol-benzin karışım oranında ve çalışma koşullarında egzoz emisyonları minimum olmaktadır?

2. Etanol-benzin karışımının motor momenti ve gücüne etkisi nedir? Hangi etanol-benzin karışım oranında ve çalışma koşullarında maksimum momente ve güce ulaşılmaktadır? Benzin ile kıyaslandığında sonuç ne olmaktadır?

3. Etanol-benzin karışımları kullanıldığında yakıt tüketimi ne şekilde etkilenir? Hangi etanol-benzin karışım oranı ve hangi çalışma koşulu yakıt tüketimini azaltır veya arttırır?

4. Katık kullanmaksızın, etanol-benzin karışımlarında karşılaşılan faz ayrışması sorununu, yakıt deposu ısıtılarak, belli bir sıcaklık değerinde tutularak ve bir karıştırıcı (mikser) ile karıştırarak çözülebilir mi?

5. Karışımların gizli buharlaşma ısılarının farklı olması nedeniyle motora giriş şartları da aynı değildir. Bu nedenle emme manifoldunu, imal edilen egzoz gaz kalorimetresi sıcak suyu yardımı ile kademeli olarak ısıtmak ve bu ısıtmanın, motor gücü, termik verim, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini belirlemek.

Emme manifoldunun ısıtılması, özellikle soğuk havalarda karşılaşılan ilk hareket zorluklarını ortadan kaldırır mı?

6. Daha önce yapılan benzer çalışmalar, alkollerin yüksek oktan sayısına sahip olmaları nedeniyle daha yüksek sıkıştırma oranlı motorlarda daha iyi sonuç vereceği belirtilmektedir. Deney motorunun sıkıştırma oranı kademeli olarak arttırıldığı takdirde motor performansı nasıl etkilenecektir?

Yukarıda belirtilen parametrelerin motor performansına etkilerini araştırarak, en uygun etanol-benzin karışım oranı ve en iyi çalışma koşulunun tespiti amaçlanmıştır.

## 1.2. Tanımlar ve Kavramlar

Araştırmada kullanılan başlıca temel kavramlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

İçten yanmalı motorların çalıştırılabilmesi için gerekli olan enerji kimyasal reaksiyonlarla sağlanır. Kimyasal reaksiyon atomların ve elektronların yeniden düzenlenmesine neden olur. Reaksiyon sonucunda kimyasal yapıları farklı olan maddeler meydana gelir. Bunlara **ürün**, reaksiyon öncesi maddelere de **bileşen** (reaktant) denir. **Yanma**: Genellikle alevlenme ve/veya ısınma ve/veya duman çıkarak bir maddenin ısı vererek  $O_2$  ile reaksiyonudur. İki çeşit yanma vardır; **tam yanma**: Yakıtın oksitlenebilir bileşenlerinin tamamının kimyasal reaksiyonda kullanılmasıdır. **Eksik yanma**: Yakıtın oksitlenmesi sırasında CO'nun meydana gelmesi eksik yanmayı tanımlar. **Karışım oranı**: Bileşenleri yakıt ve oksidant olarak iki kısma ayırmak mümkündür. Reaktif bir karışımın oksidant/yakıt veya yakıt/oksidant oranıdır. Eğer oksidant olarak hava kullanılıyorsa, saf oksijen miktarı yerine hava miktarı tercih edilmektedir. Böylece bu oranlar,  $(Y/H)_m$ ,  $(H/Y)_m$  veya  $(Y/H)_n$ ,  $(H/Y)_n$  şeklinde olur. Bu oranlarda (m) indisi kütle oranı, (n) indisi de molar oranı göstermektedir. **Stokiyometrik oran**: Yanma olaylarında

stokiyometrik oran denilince teorik yanma anlaşılmaktadır. Başka bir deyişle, C,O,N sistemlerinde CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve N'i ürün olarak verecek tam bir bileşen karışımına stokiyometrik karışım denilmektedir. İçten yanmalı motorlardan çevreye atılan zararlı maddelere **atık** ya da bileşenlerin her birine **kirletici** veya **kirletici emisyon**, motorlardan çıkan egzoz kaynaklı kirleticilere **egzoz emisyonu** veya **emisyon**, meydana gelen olaya da **kirlenme** denir. **İmisyon**: Kirletici maddelerin etkili oldukları yerlerin yakınındaki konsantrasyonlarıdır. **Emisyon**: Bir kaynağın çıkış şartlarında havaya atılan katı, sıvı ve gaz kirleticilerin toplamıdır. Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO)'na göre **hava kirliliği**; insan, hayvan, bitki veya madde üzerine zarar verebilen, veyahut rahat yaşam şeklini ve maddeyi aşırı derecede etkileyen kum, toz, uçan kül, kurum, is, duman, buğu, tütsü, sis, pus, buhar gaz veya koku gibi bileşenlerin miktar, karakteristik ve süre olarak çevre atmosferindeki mevcudiyeti olarak tanımlanabilir (Borat, 1983; Büyüktür, 1986; McCallum, 1973; Sperling, 1993).

## BÖLÜM II

### 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu çalışmanın amacı doğrultusunda, literatür aşamasında, benzin motorlarında benzin ve etanol-benzin karışımları ile yapılan çalışmalarda bu yakıtların motor karakteristikleri, egzoz emisyonları ve yakıt tüketimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Lucke'e (1907) göre, alkol ilk olarak endüstride ısıtma ve aydınlatmada (ütü'nün ısıtılması, soba'da, kahve pişirme, lamba v.b.) daha sonra da tarım motorlarında yakıt olarak kullanılmıştır.

1876 Yılında George Brayton icat ettiği motorda damıtılmış petrolün içten yanmalı motorlarda kullanımını başardığını Amerika'da açıklamıştır. Brayton'un daha sonraki çalışmaları damıtılmış petrol kullanımı üzerine artmış ve bu motorun değişik serileri geliştirilmiştir. Süren yaklaşık 20 yıllık çalışma ile gazyağı çeşitleri, benzin ve ham petrol motorları geliştirilmiştir. Alkol, içten yanmalı motorlarda Alman profesör Hartman tarafından 1894 yılında kullanılmıştır. Grobb tarafından yapılan motorda gazyağı ve alkol kullanılmıştır. Gazyağının termik verimi % 13.6 iken, alkolün termik verimi % 12.2 olmuştur. Yine gazyağının beygir gücü başına saatteki yakıt tüketimi 425 gram iken, alkolün tüketimi 839 gram olmuştur. Bu durum motorların alkol kullanımına göre yeniden tasarımlarının yapılması gerektiğini göstermektedir (Gallopulus, 1977; Goldstein, 1980; Naegeli vd., 1989).

Lucke'e (1907) göre, geliştirme çalışmaları ile benzin kullanımının yanısıra, yapılan altı yıllık çalışma ile alkolün termik verimi % 12.2 den daha yukarıya çıkarılmıştır. Bu dönemde bu başarı, motorun mekanizması, yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri ve yanma teorisinin anlaşılması ile açıklanabilir.

Alkol, motor yakıtı olarak içten yanmalı motorlarda uzun bir kullanım süresine sahiptir. Scheller'e (1977) göre, Otto ilk motorunda alkol kullanmıştır. Birleşik



Devletlerde, alkol kullanımı konusu üzerinde 1920-1930 (ekonomik kriz döneminde) yılları arasında önemle durulmuştur.

Benzinin tükenmesi ya da yokluğu durumunda, etanolün yenilenebilir olması nedeniyle önemi artmaktadır. ABD'de 1930'lu yıllardaki kriz nedeniyle etanol üretilmeye başlanmış ve yakıt olarak kullanılmak üzere pazarlanmıştır. Bu tarihlerde etanol % 10 oranında benzine katılıp motor yakıtı olarak kullanılmıştır. Bu karışım o günün otomobil motorlarında hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılmıştır. Hedstrom'a (1979) göre, gasohol (% 10 etanol ve % 90 kurşunsuz benzin) olarak adlandırılan yakıt, Birleşik devletlerde geniş kullanım alanı bulamamıştır. 1970'li yıllara kadar etanol motor yakıtı olarak pek önemsenmemiştir. 1973 yılında, OPEC ülkelerinin, ham petrolün fiyatını ani olarak arttırmalarına paralel olarak bir çok ülkede benzin fiyatında artış olmuştur. Bu dönemde etanol ile benzin arasındaki fiyat farkı azalmıştır.

Alkol, oldukça çok üretilir, kolay kullanım ve iyi yanma özelliklerine sahiptir. Alkol hemen hemen içten yanmalı motorun tarihi boyunca yakıt olarak zaman zaman kullanılmıştır. Ancak, son zamanlarda alternatif yakıt arayışı ve çevre kirliliği sorunları, alkolün alternatif motor yakıtı olarak kullanılabilirliğini gündeme getirmiştir.

Benzin için tasarlanan herhangi bir motor, etanol ya da gasohol ile çalışabilir. Ancak daha iyi bir verim elde etmek için motor üzerinde bazı konstrüksiyon değişikliği yapmak gerekir. Etanolün ısı değeri benzine göre daha düşük olduğundan, yakıt olarak kullanılacağı motor üzerinde bir değişiklik yapılmazsa, vereceği motor çıkış gücü benzininkine göre daha az olur. Bununla birlikte etanolün daha yüksek alev hızına sahip olması, daha eksiksiz yanma ve etanolün benzin içerisinde çözünmesi sonucu, etanol-benzin karışımı kullanımı ile motor çıkış gücünde artış olabileceği düşünülmektedir.

"Etanolün benzine göre daha düşük buharlaşma sıcaklığına sahip olması nedeniyle sıcak havalarda buhar tıkaçı problemi ile karşılaşmıştır. Yine etanolün yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olması ile soğuk havalarda ilk çalışma zorlukları görülmüştür. Deneyler Nebraska'nın Lincoln kentinde deniz seviyesinden 354 m yükseklikte, 20-27 °C sıcaklıkta yapılmış, 7.2 °C'lik sıcaklık artışına bağlı olarak, 1.6 km başına yakıt tüketiminde % 1'lik bir azalma görülmüştür. Nebraska yol testi sırasında normal kurşunsuz benzin içerisinde % 10'a varan etanol artışına paralel olarak çıkış gücü ölçülmemesine rağmen, yakıt tüketimindeki düşme, normal sürüş şartlarına göre düşünüldüğünde çıkış gücünde de artış olduğu belirtilmiştir " (Scheller, 1977).

Yakıt ekonomisi bakımından benzin ve etanol-benzin karışımları karşılaştırıldığında motor tipine ve karışım oranına göre değişik sonuçlar elde edilmiştir. Bazı çalışmalarda etanol-benzin karışımlarında yakıt tüketiminde azalma görülürken, bazı çalışmalarda ise artışa rastlanmıştır.

Bridgeman (1936), yaptığı çalışmalarda benzine, % 10 etanol katarak normal benzin çevrimine göre yakıt tüketiminde yaklaşık % 3.5'luk bir artış olduğunu tespit etmiştir. Brinkman (1975), sabit hızlı yol testi sırasında, düşük hızda benzin ve % 10 katkılı benzindeki yakıt tüketimi aynı çıkmıştır. Fakat yüksek hızlarda benzinin tüketimi azalmıştır. Düşük hızlarda katkılı yakıt, benzine göre daha yüksek termik verim sağlamış ancak yüksek hızlarda verimi düşmüştür. Tosh (1985), benzin - % 10 etanol karışımı ile yaptığı beş gruplu yol testlerinde, 29 adet motorlu taşıt ortalama % 3,8'lik yakıt ekonomisi sağlarken sadece bir tanesi farklı sonuç vermiştir. Mueller'e (1982) göre, gasohol ile yapılan 26 adet ayrı çalışmada 565 motorlu taşıtın yol testleri sonucunda ortalama olarak % 2,3'lük bir yakıt ekonomisi sağlanırken, 265 taşıt ortalama olarak % 1,7'lik düzeyde yakıt ekonomisi sağlamıştır. Ferfecki ve Sorenson (1983), 85 oktanlı benzine (%10-25) etanol katarak yaptıkları çalışmada, alkol oranının artmasına bağlı olarak vurununun başladığını ve yakıt tüketiminde de azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Ferfecki ve Sorenson aynı çalışmada alkol oranının artmasına bağlı olarak, sıkıştırma oranının artması durumunda, yakıt tüketiminde önemli miktarlarda artış gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Bata'ya (1989) göre, % 5'in üzerindeki alkol-benzin karışımları yakıt tüketiminde artışa neden olmuştur. Wilkie ve Kalachov'a (1942) göre, etanol karışımları kullanıldığında benzine göre daha az özgül yakıt tüketimi ile aynı güç elde edilebilmektedir. Bayraktar'a (1991) göre, etil alkol-benzin ya da etil alkol-benzin-izopropanol karışımları kullanıldığında, özgül yakıt tüketiminde düşüş görülmektedir. Çıtıroğlu'na (1990) göre, %17.0, 20.5, 26.5, 31.0, 50.0 oranlarındaki etanol-benzin karışımları ile yapılan çalışmada %100 benzine göre özgül yakıt tüketiminde artış görülmüştür.

Egzoz emisyonları bakımından benzin ve etanol-benzin karışımları karşılaştırıldığında, etanolün benzin içindeki miktarının artış oranına paralel olarak değişik sonuçlar elde edildiği belirtilmektedir. Bazı çalışmalarda, etanol-benzin karışımlarının

egzoz emisyonlarında azalma olduğu belirtilirken, bazı çalışmalarda ise emisyonların etanol oranından bağımsız olduğu belirtilmiştir.

Brinkman'a (1975) göre, sabit hız yol testlerinde, % 10 etanol katkılı benzin kullanımı sonucu egzoz emisyonlarındaki CO oranında yaklaşık olarak % 50'lik bir düşüş olmuştur. Furey ve Jakson'a (1977) göre, Kurşunsuz benzine % 10 oranında metanol katılması ile CO miktarında % 46'lık bir azalma tespit edilmiştir. Bayraktar'a (1991) göre, motorlarda benzin-etanol ya da benzin-etanol-izopropanol karışımları motor yakıtı olarak kullanıldığında, egzoz gazları içindeki CO oranında yaklaşık olarak % 35'lik bir düşüş olmaktadır. White'e (1987) göre, % 3.7 oranında oksijen içeren yakıt, 1987 model otomobillerde yol şartlarında kullanılarak CO düzeyini % 21.7-25.1 oranlarında düşürmüştür. Furey ve King'e (1980) göre, kurşunsuz benzine % 10 etanol katıldığında CO seviyesinde % 22'lik bir düşüş olmuştur. Furey ve King'e (1982) göre, benzin-% 10 etanol karışımı ile 4 değişik marka otomobil ile yapılan yol testleri (normal benzine göre) CO düzeyini ortalama olarak % 14.9, 20.2, 19.4 ve 30.7 oranlarında düşürmüştür. Yine aynı otomobillerle benzine % 18 oranında etanol katılarak yapılan çalışma sonucunda normal benzine göre CO miktarında ortalama olarak sırası ile % 22.8, 23.2, 33.2 ve 38.5 oranlarında düşüş tespit edilmiştir. Ahmed'e (1988) göre, etanol-benzin karışımları ile yapılan çalışmanın sonucuna göre egzoz emisyonlarında çıkan CO, karışımdaki etanol miktarından bağımsız olup, karışımdaki etanol miktarının artışına bağlı olarak değişim göstermemektedir. Ferfecki ve Sorenson (1983), 85 oktanlı benzine (%10-25) etanol katarak yaptıkları çalışmada, alkol oranının artmasına bağlı olarak, CO miktarında hiçbir değişikliğin olmadığını gözlemişlerdir. Ferfecki ve Sorenson aynı çalışmada, alkol oranının artmasına bağlı olarak, sıkıştırma oranının artması durumunda CO emisyonlarında azalma olabileceğini belirtmişlerdir. Özer'e (1996) göre, biyokütleden ileri gelen kirlenme oranları fosil yakıtlarınkiyle kıyaslandığında, CO miktarı benzinle çalışan taşıtlardan çıkan miktarın % 15'i kadar olmuştur.

Bata'ya (1989) göre, alkol-benzin karışımı, benzin ile karşılaştırıldığında, % 40-50 oranında egzoz emisyonundaki CO miktarını düşürmektedir. Minimum CO emisyonları, fakir karışım alanındaki (H/Y oranları 1-1.2) eşdeğer oranlarla birlikte elde edilmiştir. Metanol-benzin karışımları, etanol-benzin karışımlarına nazaran daha fazla CO emisyonunu düşürmektedir.

Bata'ya (1989) göre, % 5'in üzerindeki alkol-benzin karışımlarında minimum HC'lar, % 10 alkol karışımı ile stokiyometrik H/Y oranlarına yakın noktada gerçekleşmiş ve % 10 alkol-benzin karışımı, egzoz emisyonunda benzine göre aldehit oluşumunu bir buçuk kat daha fazla arttırmıştır. Özer'e (1996) göre, biyokütleden ileri gelen kirlenme oranları fosil yakıtlarınkiyle kıyaslandığında, HC'ların benzinle çalışan taşıtlardan çıkanın % 10'u kadar olmuştur. Brinkman (1975), sabit hızlı yol testlerinde, % 10 etanol katkılı benzin kullanımı sonucu egzoz emisyonlarındaki yanmamış HC'larda yaklaşık olarak % 3'lük bir düşüş olduğunu tespit etmiştir. Furey ve Jakson'a (1977) göre, Kurşunsuz benzine % 10 oranında metanol katılması ile HC miktarında % 3 oranında azalma görülmüştür. Furey ve King'e (1980) göre, kurşunsuz benzine % 10 etanol katıldığında HC'lar seviyesinde ortalama olarak, % 9.3 oranında artış olmuştur. Furey ve King'e (1982) göre, kurşunsuz benzine % 10 etanol katıldığında HC'lar seviyesinde ortalama olarak, % 4,6 oranında azalma olmuştur. Furey ve King'e (1982) göre, kurşunsuz benzine % 18 etanol katıldığında HC'lar seviyesinde ortalama olarak, % 6.9 oranında artış, yine kurşunsuz benzine % 18 etanol katılarak, Pontiac (1980 model) marka araçtaki yol testi deneyinde HC'lar seviyesinde ortalama olarak, % 41.1 oranında azalma olduğu belirtilmiştir.

Özer'e (1996) göre, biyokütleden ileri gelen kirlenme oranları fosil yakıtlarınkiyle kıyaslandığında, azot oksitlerin (NO<sub>x</sub>) benzinle çalışan taşıtların % 5'i kadar olduğu ve kükürt oksitlerin hemen hemen hiç çıkmadığı belirlenmiştir. Brinkman (1975) tarihinde sabit hızlı yol testlerinde, % 10 etanol katkılı benzin kullanımı sonucu NO<sub>x</sub>'te % 22 düşüş olduğunu tespit etmiştir. Furey ve Jakson'a (1977) göre, kurşunsuz benzine % 10 oranında metanol katılması ile NO<sub>x</sub> miktarlarında yaklaşık olarak %12'lik bir azalma tespit edilmiştir. Furey ve arkadaşları'na (1980) göre, kurşunsuz benzine % 10 etanol katıldığında NO<sub>x</sub> seviyesinde % 25.9 oranında düşme görülmüştür. Furey ve King'e (1982) göre, kurşunsuz benzine % 18 oranında etanol katılarak, Pontiac (1980 model) marka araçtaki yol testi deneyinde NO<sub>x</sub> seviyesinde ortalama olarak, % 33.8 oranında azalma olmuş, kurşunsuz benzine % 10 etanol katılarak, Buick (1981 model) marka araçtaki yol testi deneyinde NO<sub>x</sub> seviyesinde ortalama olarak, % 2.2 oranında artış olmuş, yine kurşunsuz benzine % 10 oranında etanol katılarak, Pontiac (1981 model) marka

araçtaki yol testi deneyinde ise,  $\text{NO}_x$  seviyesinde herhangi bir değişme görülmediği belirtilmiştir.

1930'lu yıllara kadar çalışmalar daha çok düşük oktanlı benzin ve düşük sıkıştırma oranlı motorlar üzerinde yapılmıştır. Ragowsky ve Taylor (1941), benzine kurşun tetra etil katarak yüksek oktanlı benzini araştırmışlardır. Kullandıkları bu yakıtı, gasohol ile karşılaştırdıklarında, güçte artış, yakıt tüketiminde ise değişme olmadığını tespit etmişlerdir. Yine aynı araştırmacılara göre motor üzerinde herhangi bir değişiklik yapmadan % 10-25 oranında etanol benzine katıldığı takdirde güç artışı sağlanabileceği belirtilmiştir. Bridgeman'a (1936) göre, benzin için belirlenmiş olan normal hava-yakıt karışım oranında etanol-benzin karışımı kullanıldığında, benzine göre daha düşük güç elde edilmiştir. Karışım oranı zenginleştirildiği zaman karışımın yanması sonucu, çıkış gücünde artış olmuştur. Çıtıroğlu'na (1990) göre, %17.0, 20.5, 26.5, 31.0, 50.0 oranlarındaki etanol-benzin karışımları ile yapılan çalışmada %100 benzine göre moment ve güçte azalma görülmüştür. Bayraktar'a (1991) göre, motorlarda benzin-etanol ya da benzin-etanol-izopropanol karışımları motor yakıtı olarak kullanıldığında, termik verimde ve efektif güçte artış olduğu belirtilmektedir. Yine, benzin - etanol ya da benzin - etanol - izopropanol şeklinde hazırlanan çeşitli karışımlar yakıt olarak kullanıldığında elde edilen güç, daima, yüzde yüz benzin kullanımı ile elde edilen gücün üzerinde değerler verdiği vurgulanmaktadır. Bu güç artışı, benzin - % (2,4,6,8) etanol - % (0.0, 0.5,1.0) izopropanol karışımları kullanılarak ortalama % (1-14) oranlarında güç artışı, motorda hiç bir değişiklik yapmadan ya da herhangi bir donanım kullanmadan sağlanabildiği belirtilmektedir.

Scheller'e (1977) göre, Nebraska yol testi sırasında normal kurşunsuz benzin içerisinde % 10'a varan etanol artışına paralel olarak termik verimde % 8.7'lik bir artış sağlanmıştır. Çıtıroğlu'na (1990) göre, değişik oranlarındaki etanol-benzin karışımları ile yapılan çalışmada, benzine göre ısı verimde artış tespit edilmiştir.

Demirsoy'a (1989) göre, alkolün benzine pratik ve stratejik yönden % 5 ten daha fazla katılmasının uygun olmayacağı belirtilmektedir. Alkolün % 15 miktarında benzine katılması halinde alkol çeşidine bağlı olarak % 6.8 ile 9.4 arasında bir yakıt tasarrufu sağlanabileceği belirtilmektedir. % 5 miktarında alkol karışımının bugünkü araçlarda

kullanılması halinde benzin pompalarında ve depolama tesislerinde herhangi bir değişikliğe gerek olmadığı belirtilmektedir.

Durgun ve Kızıltan'a (1989) göre, benzin motorlarında benzine alkol ilavesiyle yanma iyileşmekte, efektif güçte biraz düşme ve egzoz emisyonlarında da azalma olduğu belirtilmektedir.

"Karışımда artan etanol yüzdesi ile HC miktarının azaldığını, CO miktarının karışım oranından bağımsız olduğu, NO<sub>x</sub>'in ise artan etanol yüzdesi ile azalma gösterdiği ve saf etanol ile en düşük düzeye eriştiği gözlenmiştir. Motor güç üretiminin, aynı sıkıştırma oranında benzinle karşılaştırıldığında daha düşük güç veren saf etanol dışında, karışımдаki etanol yüzdesinin yükselmesi ile arttığı görülmektedir" [Ahmed, 1988].

Ahmed'e (1988) göre, deneysel sonuçlar, motorda fazla değişiklik gerektirmeden etanol karışımının benzinli araçlarda kullanılabileceğini göstermiştir. Ancak daha iyi performans için, saf alkol uygulaması, emme manifoldunun ısıtılması yanısıra yüksek sıkıştırma oranlarının da araştırılması gerektirmektedir.

Yüksel (1997), yaptığı çalışmada, karbüratör sistemleri üzerinde düzenleme yaparak etanol-benzin karışımlarını yakıt olarak kullanmıştır. Çift sabit seviye kabına sahip bir karbüratör ile yapılan deneyler sırasında bağlantı borusunun geometrisi nedeniyle karışım noktasında yakıtların birbirlerinin geçişine frenleme etkisi yaptığı belirtilmiştir.

Furey'e (1991) göre, alkolün karbüratör üstünden buhar fazında hava ile birlikte ya da emme manifoldunun uygun bir noktasından motora gönderilmesi yönteminde alkol miktarı (yaklaşık olarak % 10) düşük tutulmaktadır. Karışımдаki alkol miktarını artırmak için değişik yöntemler denenmesi gerektiği belirtilmektedir.

Literatür çalışmaları değerlendirildiğinde, hemen tüm araştırmacılar, alkol-benzin karışımlarını yakıt olarak kullanırken, motor karakteristik çalışmasına aynı anda etki eden faktörleri bir arada ele almadıkları görülmektedir. Bu nedenle, yukarıda da açıkça

görüldüğü gibi, literatürde çok farklı sonuçlara ulaşılmış ve bir birliktelik bulunamamıştır. Bunun yanı sıra, alkollerin henüz yakıt olarak içten yanmalı motorlarda benzinin yerini alamadıkları görülmektedir. Bunun başlıca iki nedeni vardır: Bunlardan birincisi, alkolün benzine göre teknik açıdan bazı dezavantajlara sahip olması ve ikincisi ise alkolün şu anda birim fiyatının benzine göre daha yüksek olmasıdır. Alkollerin sahip olduğu dezavantajlar giderildiğinde ve üretim teknolojisinin gelişmesine bağlı olarak fiyatta da meydana gelecek düşüşler ile alternatif yakıt olarak petrole rekabet edecek konuma gelebileceklerdir. Fakat dünya petrol koşulları, durumu yavaş yavaş değiştirmektedir. Gün geçtikçe alkoller uygun yakıt olma yarışında önemli bir yere gelmektedir. 1970'li yılların alkoller ile ilgili çalışmaları, alkol yakıtların kullanımı ve taşıt verimini yükseltmenin motor tasarımı değişikliğiyle mümkün olabileceği yönünde idi. Günümüzde kullanılan benzin motorlarında, alkollerin yakıt olarak daha iyi bir yer edinmeleri için aşağıda sıralanan maddelerin gerçekleşmesi beklenmektedir.

1. Daha temiz egzoz emisyonları, 2. Daha yüksek termik verim, 3. Daha yüksek çıkış gücü, 4. Birim güç başına daha az yakıt tüketimi.

Bunların sağlanabilmesi için alkol-benzin karışımları üzerinde çalışmalar sürmektedir.

### BÖLÜM III

#### 3. MOTORLU TAŞITLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ VE EGZOZ EMİSYONLARI

Bilimsel çalışmalar, alkollerin motor yakıtı olarak kullanılabileceğini ve gelecek için umit verici olduğunu göstermektedir.

Borat'a (1979) göre, petrolün taşıt yönünden değeri hacimsel enerjinin büyüklüğünden gelmektedir. Ayrıca üretim masrafları da henüz diğer alternatif yakıtlara göre daha düşüktür. Bilhassa OPEC'in petrol fiyatlarını tedricen arttırması alternatif yakıtları ekonomik hale getirecektir. Böylece petrole bağımlı ülkeler diğer yakıtları kullanmaya başlayabilecektir. Eğer araştırma ve geliştirme çalışmalarıyla söz konusu alternatif yakıtların üretim, depolama v.s. özelliklerinin iyileştirilebileceği gözönüne alınırsa, bilhassa petrol ithal eden ülkeler için;

-Kısa vadede : Benzin-alkol karışımı, sentetik benzin

-Orta vadede : Metanol, sentetik benzin

-Uzun vadede : Hidrojen

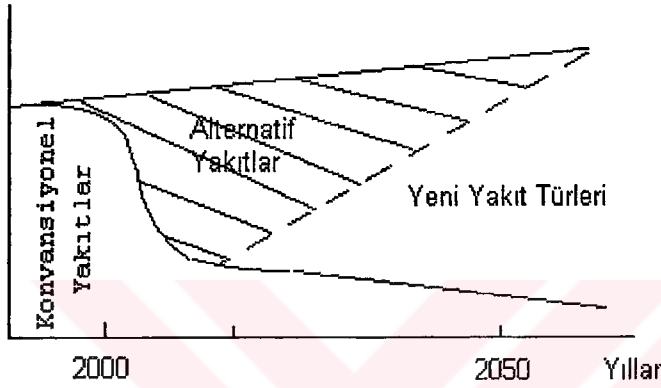
Yakıtının seçilebileceği tahmin edilmektedir.

Gülder ve Bayka'ya (1981) göre, etanol ve metanol kısa vadede motor yakıtı olarak en iyi alternatifler olarak görülmekte ve araştırmalar bu iki alkol üzerinde yoğunlaşmaktadır.

1973 Yılında petrol arzındaki ani azalma ve fiyatlardaki hızlı artış, 1991 yılı körfez krizi ve benzer durumlar enerji konusunu gündeme getirmiştir. Böylece her platformda "ucuz enerji" devrinin sona erdiğine işaretle gelecekteki enerji temin yolları ve politikaları tartışılmaya başlanmıştır. Çağımızın sonuna doğru mevcut konvansiyonel (günümüz fosil)yakıt rezervlerinin tükenecek olması bu arayışta alternatif yakıtların rolünü önemli kılmaktadır. Şekil 3.1 de bu yüzyılın sonlarından başlayarak dünya enerji

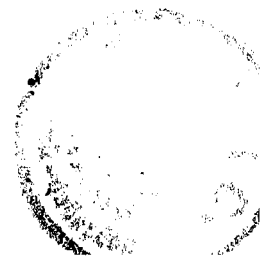
tüketimi ve bu tüketimde alternatif yakıtların payını ifade eden tahmini değerler verilmiştir (Borat vd., 1995).

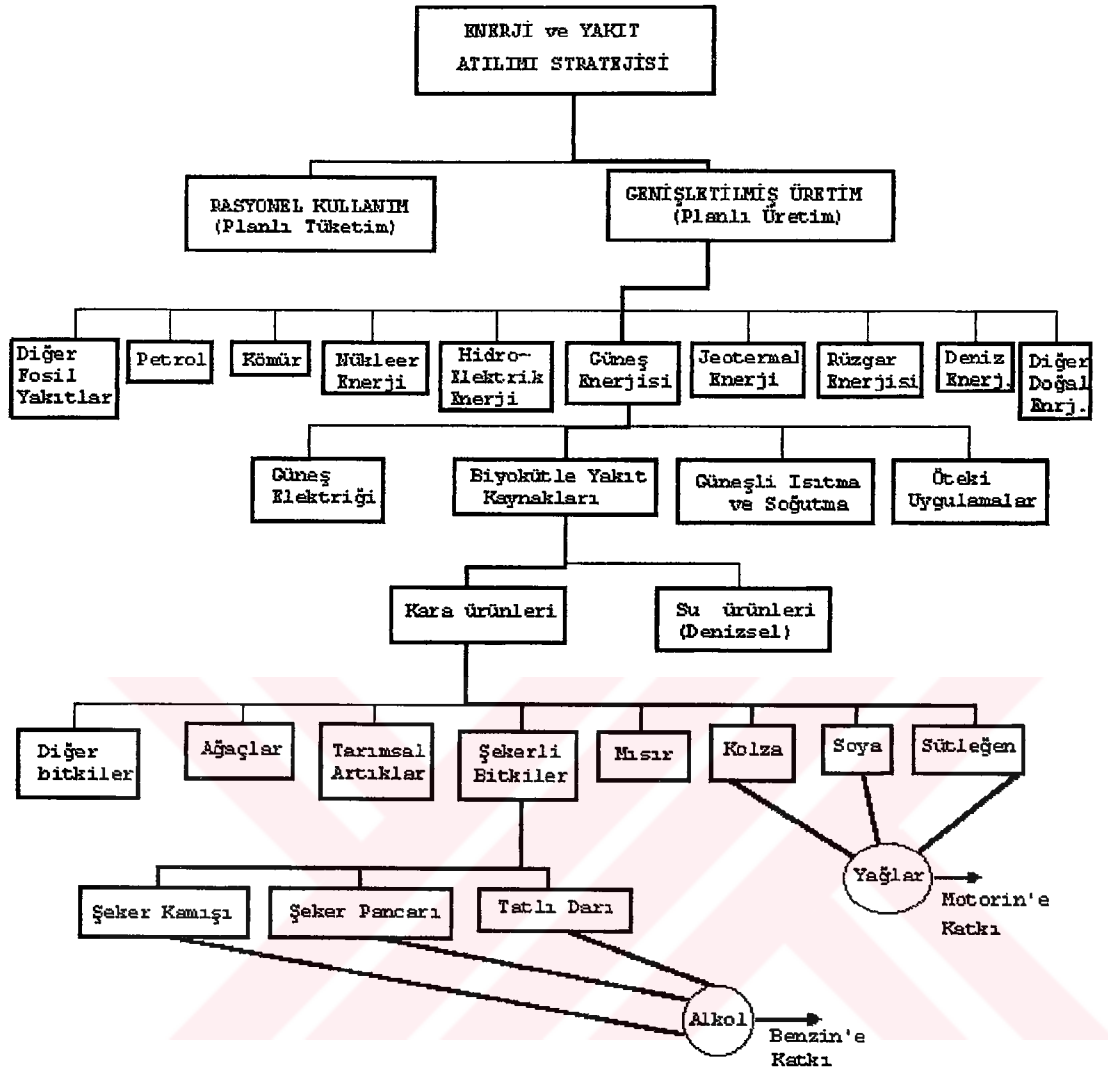
Son zamanlarda yapılmakta olan bilimsel çalışmalar, daha çok konvansiyonel yakıtların dışındaki alternatif yakıtların geliştirilmesi ile ilgilidir.



Şekil 3.1. Alternatif Yakıtların Enerji Tüketimindeki Payı (Borat vd., 1995).

Günümüzde fosil yakıt olarak sınıflandırılan kömür, ham petrol ve doğal gaz'ın yanısıra biyoteknolojiye dayanarak elde edilen yapay yakıtların dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 3.2'de biyokütleden yakıtlara geçiş stratejisi verilmiştir. Şekil 3.2'de de görüldüğü gibi, dizel motorları için bitkisel yağlar, buji ile ateşlemeli motorlar için ise alkoller alternatif yakıt olarak önerilmektedir.





Şekil 3.2. Biyokütleden Yakıtlara Geçiş Stratejisi [Karaosmanoğlu vd., 1986].

### 3.1. Dünya Petrol Kaynakları ve Türkiye'nin Durumu

Halen dünyada tüketilen enerjinin takriben % 5'i hidrolik santrallardan, % 85' i fosil yakıtlardan ve geri kalanı da diğer kaynaklardan sağlanmaktadır. Dünyadaki enerjinin takriben % 30-50'si petrolden üretilmektedir. Taşıtlar toplam enerjinin % 20-25'ini tüketmektedir. Tabii, petrolü kesinlikle gerektirmeyen alanlarda başka enerji

kaynakları seçilmeli ve şimdilik petrol gerektiren taşıtlarda da ekonomi hedef alınmalıdır. Bu arada alternatif motor yakıtlarına da önem vermek gerekir (Borat, 1979).

Dünya petrol rezervleri ile ilgili olarak 1987 yılı sonundaki istatistiklere göre, 124 milyar ton olan rezervin % 77 si Ortadoğu bölgesinde olup, bunu % 14 'lük payla Latin Amerika izlemektedir. Dünya petrol rezervinin yaklaşık beşte biri Suudi Arabistanda bulunmaktadır. Ortadoğuda, bunu Irak, Kuveyt ve İran izlemektedir (Bayraktar, 1991). Petrol rezervlerinin bölgelere göre dağılımı tablo 3.1'de verilmiştir.

**Tablo 3.1. Dünya Petrol Rezervleri [Bayraktar, 1991].**

| Bölgeler      | Rezerv ( $\times 10^9$ ton) | [8]   |
|---------------|-----------------------------|-------|
| Kuzey Amerika | 5.5                         | 4.5   |
| Latin Amerika | 17.1                        | 13.8  |
| BatıAvrupa    | 2.4                         | 1.9   |
| Ortadoğu      | 77.3                        | 62.5  |
| Afrika        | 7.5                         | 6.1   |
| Asya          | 2.5                         | 2.0   |
| Avustralya    | 0.2                         | 0.2   |
| Doğu Bloku    | 11.3                        | 9.0   |
| Dünya         | 123.8                       | 100.0 |

Türkiye'deki toplam enerjinin yaklaşık % 4'ü hidrolik tesislerden, geri kalanı fosil yakıtlardan odun ve tezekten elde edilmektedir. Türkiye'de toplam enerjinin % 40-45'i petrole bağlıdır. Bu toplamın takriben % 20'si taşıtlara ayrılmıştır. Bu değer elektrik enerjisinin yarısını üreten hidrolik tesislerden sağlanan enerjinin 5 katıdır. Görüldüğü gibi petrole bağımlılık maalesef çok fazladır. Türkiye'nin petrol tüketimini yerli üretimle karşılaması gelecek seneler için de mümkün değildir (Gülde ve Bayka, 1981).

1991 yılında 17.6 milyon ton ham petrol satın alınmış, bunun bedeli olarak 2.4 milyar ABD doları ödenmiştir. Yine aynı yıl ham petrole ilaveten, 2.2 milyon ton petrol ürünü ithal edilmiş ve 1.1 milyar ABD doları ödenmiştir. 1991 yılındaki ham petrol ithalatı için ödenen paranın, ülkemizin toplam ithalatı içindeki payı % 10'un üzerindedir. Ülkemiz aynı yıl 2.9 milyon ton petrol ürünü ihraç etmiş ve karşılığında 277 milyon ABD doları kazanmıştır (Çelik, 1994) .

Gülde ve Bayka'ya (1981) göre, yeterli bir ulusal kalkınma hızı için petrole dayalı olmayan ve yerli kaynakları olan yapay yakıtların üretimine geçilmesi ve kullanılması zorunludur.

1993 yılında dünyadaki enerjinin %85'i ve Türkiye'dekinin %93'ü katı, sıvı ve gaz yakacaklardan elde edilmektedir. Tablo 3.2'de enerji üretim kaynaklarının (1993-2010 yılları arasındaki) dağılımı verilmiştir.

**Tablo 3.2.** Enerji Üretim Kaynakları Dağılımı (Borat vd., 1995).

| Kaynak           | Dünya |        | Türkiye |        |
|------------------|-------|--------|---------|--------|
|                  | 1993  | 2010   | 1993    | 2010   |
| Hidro-Elektrik   | %15   | %15-20 | %7      | %10-20 |
| Fosil Yakacaklar | %85   | %60-65 | %93     | %70-80 |
| Nükleer Yakıtlar | <%1   | %10-20 | -       | %5-10  |

### 3.2. Petrol Kökenli Hidrokarbonlar ve Yapıları

Petrolün orijini tam olarak bilinmemesine rağmen, jeolojik yaşı yaklaşık 10-300 milyon yıl öncesine uzanır. Ham petrol, birçok farklı hidrokarbon ve değişik ağırlıktaki organik bileşiklerden meydana gelmektedir. Ham petrol karışımının bileşiği, ham petrolün kaynağına bağlı olarak değişiklik arzeder. Genellikle ham petrol damıtımından sonra

parafin, asfalt ve bunların karışımı olarak çıkmaktadır. Esası parafinik veya naftenik ya da bunların karışımları olabilmektedir. Bunların yanısıra ham petrolün daha farklı kompozisyonları da olabilmektedir. Petrol 1858 yılından beri büyük miktarda sıvı yakıt olarak kullanılmaktadır. Petrol kokenli yakıtlar; hidrokarbon gazları, benzin, kerosene, gazyağı, fuel-oil v.s. olarak adlandırılır. Petrolün damıtma ürünleri sırası ile tabii gaz, yüksek oktanlı uçak benzini, otomobil benzini, kerosen (gaz yağı), mazot ve jet motoru yakıtı, endüstriyel yakıt yağı, parafin-mum, ağır yağlar, kok ve asfalttır. Karbonlu hidrojenler C/H oranına göre ve atomlar arasındaki bağ şekillerine göre adlandırılırlar. Motorlarda en iyi çalışmayı sağlayan hidrokarbon grupları, benzenik, naftenik ve etilenik sınıflarıdır. Parafinikler daha az kullanılır (Taylor, 1985; Heywood,1988).

### 3.2.1. Parafinler (Alkanlar)

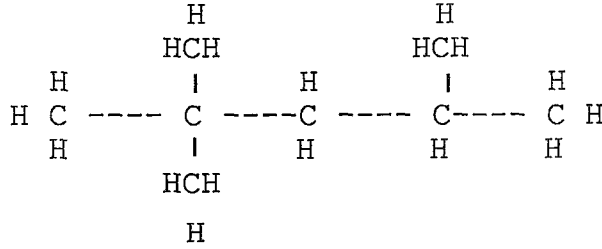
Parafin sınıfı bileşiklerin hepsi ham petrolde vardır ve motor yakıtının ana kısmını oluşturur. Bunlar normal ve izoparafinler olmak üzere iki grupta toplanırlar. Karbon atomları birbirlerine tek bağla bir düz zincir şeklinde bağlanmış moleküllerdir. Hidrojenle tekli bağ oluştururlar. Parafinler doymuş hidrokarbon olup, genel formülleri  $C_nH_{2n+2}$  dir. Parafinlere örnek olarak; metan ( $CH_4$ ), etan ( $C_2H_6$ ) vs. verilebilir. Şekil 3.3'te metan, ve etan'ın açık formülleri görülmektedir.



Şekil 3.3. Metan ( $CH_4$ ) ve Etan ( $C_2H_6$ )'ın Molekül Yapısı.

İzo-parafinler: Bunlar dallanmış hidrokarbonlar olup, 3 metil +5 tane de bağlantı yerine bağlanmış şekildedirler. Bunlar bu bağlantı şekillerine göre isim alırlar. Zincir boyu arttıkça parafinlerin benzin motorundaki duyulabilen vuruntuyla tanımlanan kritik sıkıştırma oranı küçülmektedir. İzo-parafinlerin normal parafinlere nazaran vuruntu

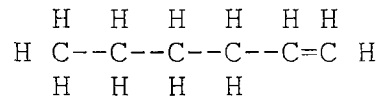
dirençleri daha fazladır. Şekil 3.4'te bu grupta bulunan izooktanın zincir yapısı görülmektedir.



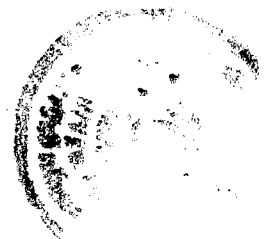
Şekil 3.4. İzooktan ( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ )'ın Molekül Yapısı.

### 3.2.2. Olefinler (Alkenler)

Bunlarda karbonlar arasında bir ya da birden fazla çift bağ vardır. Mono olefinler, bir tane çift bağa sahiptirler. Genel formülleri  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ 'dir. İki tane çift bağ yapanların ismi diolefin'dir ve bunlar doymamış hidrokarbonlardır. Bunların da genel formülleri  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ 'dir. Mono olefinlere hekzen örnek verilebilir. Hekzen 6 karbonlu ve karbonlar kendi aralarında bir tane tek çift bağ yapmışlardır. Birden fazla karbon çifti bağlı olefinler, depolama problemine sahip olmaları nedeniyle pek istenilmeyen bileşenlerdir. Monoolefinler sadece benzin ve dizel yakıtı içerisinde bulunurlar (Heywood 1988; Hirao & Pefley, 1988; Taylor, 1985). Olefin grubunda bulunan Hekzen'in zincir yapısı şekil 3.5'te görülmektedir.

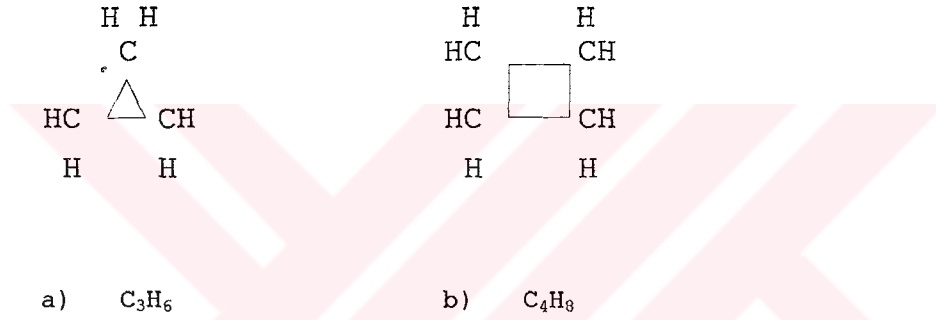


Şekil 3.5. Hekzen'in Molekül Yapısı.



### 3.2.3. Naftenler (Sikloparafinler, Siklanlar)

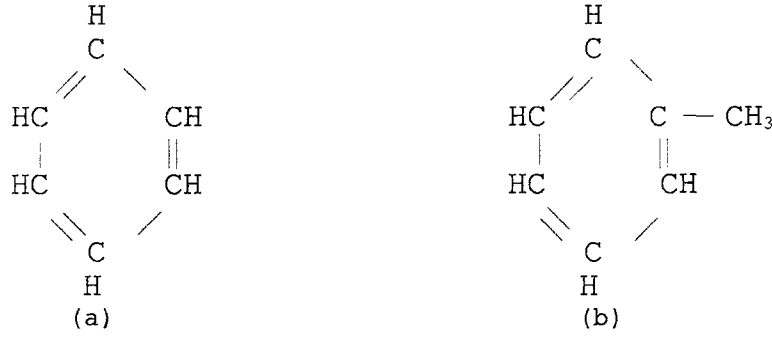
Monoolefinlerle aynı kapalı formüle sahip, kapalı halka şeklindeki doymuş HC'lardır. Ham petrolün takriben 1/4'ü naftenik bileşenlerdir. Naftenler benzin içinde arzu edilen hidrokarbonlardır. Bunların çift bağları yoktur. Genel formülleri olefinlerde olduğu gibi  $C_nH_{2n}$  'dir. Örnek olarak siklopropan, siklobütan ve sikloheksan verilebilir. Şekil 3.6 da naften grubundan Siklopropan ve Siklobütan'ın açık formülleri gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Siklopropan ve Siklobütan'ın Molekül Yapıları.

### 4. Aromatikler (Benzen türevleri)

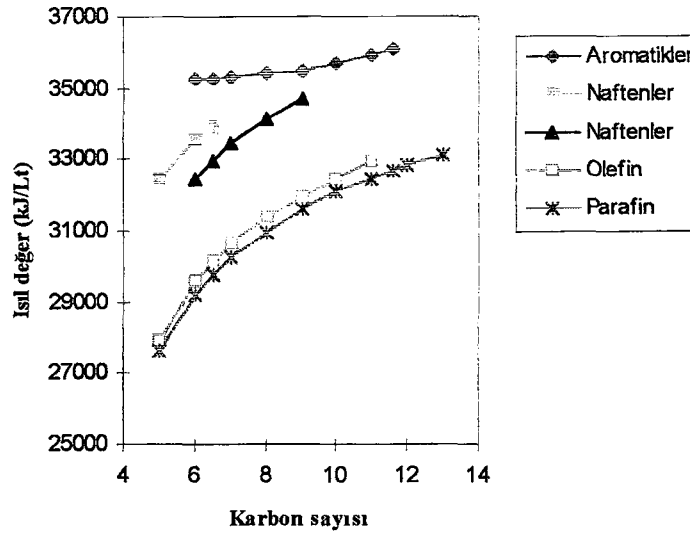
Bunlar bir zincir yapı içerisinde karbon-karbon çift bağını oluşturan moleküllerdir. Bu bileşiğin en çok bulunan bileşiği benzendir. Benzin, kansere yol açan bir madde olarak bilinmektedir. Bunlarda yapı bir altıgen şeklindedir. Bağlantı bir tek, bir çift şeklinde olmaktadır. Karbon atomları arasındaki birbirini takip eden pozisyondaki çift bağlar, molekül yapılarını güçlendirir ve bu nedenle bu bileşiklerin oktan sayıları artar. Bu özellikleri nedeniyle benzinde olmaları istenmekte ancak dizel yakıtı içerisinde istenilmemektedir. Bu gruba ait Benzen ve Toluen'in açık formülleri şekil 3.7'de verilmiştir.



**Şekil 3.7.** a) Benzen (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) ve b) Toluen (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH<sub>3</sub>)'in Molekül Yapısı.

Ham petrol, hidrokarbonların yanısıra şu bileşikler de içermektedir; %1-5 Sülfür, % 0.05-4 Nitrojen, % 0.05 veya daha az oksijen ve % 0.05 ya da daha az ağır metaller (Vanadyum ve Demir gibi). Çeşitli hidrokarbonların karbon sayısı ve ısı değeri arasındaki ilişki Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

Bu ısı değeri bir karbon atomu başına yaklaşık 627.6 kJ/mol'dur. Fakat bazı farklı hidrokarbonlarda bu değer biraz farklılık arzedebilir. Bununla birlikte, genelde bir sıvı yakıtın kompleks bir bileşeni ile özel karbon bileşenlerinin ısı formasyonu ile çalışmak zordur. Yakıtların iki çeşit ısı değeri vardır. Bunlar alt ve üst ısı değerleridir. Isı değerler, literatürde buharlaşma ısıları ve formasyon ısıları çeşitli tablo değerlerinden yararlanarak hesaplanabilir.



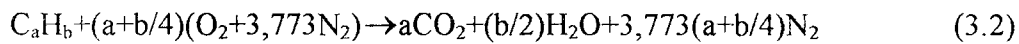
Şekil 3.8. Çeşitli Hidrokarbonların Karbon Sayısı ve Isıl Değeri İlişkisi (Hirao ve Pefley, 1988).

### 3.3. Yanma Stokiyometrisi

Yanma stokiyometrisi büyük ölçüde bileşenlerin (hava-yakıt) karışım durumuna bağlıdır. İçten yanmalı motorlarda tam yanmanın gerçekleşmesi için hava-yakıt karışımının belli bir oranda olması ve homojen bir karışım teşkil etmesi gerekir. Bir hidrokarbon yakıt yeteri miktarda oksijen bulabilirse oksidize olabilir. Yakıttaki C, CO<sub>2</sub>'ye ve H, H<sub>2</sub>O'ya dönüşür. Aşağıda propan'ın (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) yanma denklemi verilmiştir.

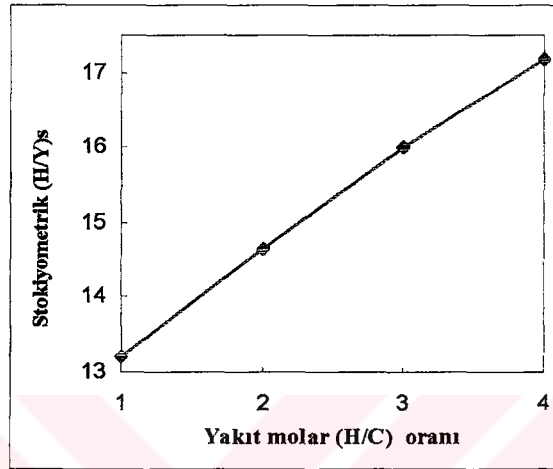


Burada bileşen ve ürünler arasında C dengesinden  $b=3$ , H dengesinden  $c=4$  ve O dengesinden  $2b+c=10=2a$  ise,  $a=5$  bulunur. Ancak havanın içerisindeki N de dikkate alınırsa, genel olarak bir hidrokarbon yakıtın yanma denklemi:



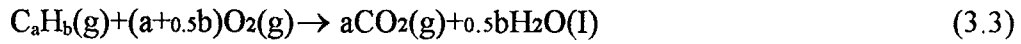
böylece, yakıt kompozisyonu CH<sub>y</sub> ve  $y=b/a$  şeklinde yazılırsa 3.1 nolu denklem stokiyometrik yanmayı göstermiş olur. Stokiyometrik H/Y ya da Y/H oranı yakıtın

bileşimine bağlıdır. Stokiyometrik H/Y oranının H/C oranına olan bağlı değişimi Şekil 3.9 'da verilmiştir.



Şekil 3.9 . Yakıtın (H/C) Molar Oranının Bir Fonksiyonu Olarak Hava-Hidrokarbon Yakıt Karışımları İçin Stokiyometrik H/Y Oranı [Heywood, 1988].

Aşağıda bir yakıtın üst ısıl değerinin  $C_mH_n$  formasyonunun yanma denkleminde nasıl hesaplanacağı açıklanmıştır.



$$H_o = H_r - 393.4a - 142.8b \quad \text{kJ/gmol} \quad (3.4)$$

Burada,  $H_o$  yakıtın üst ısıl değeridir.  $H_r$  ise bileşenlerin formasyon ısıdır ve ürünlerin formasyon ısıları sabittir. Bundan başka, eğer sözkonusu yakıt farklı hidrokarbonlardan oluşan bir karışım ise ve karışım yüzdesi biliniyorsa yakıttaki hidrokarbon bileşenlerinin her birinin yanma ısısı dikkate alınarak ısıl değeri hesaplanabilir (Hickman ve Waters, 1993).

Ham petrolün yaklaşık ısı değeri =41.184-48.534 J/g; benzinin =46.024 - 47.990 J/g; dizel yakıtının =45.605-47.990 J/g; ve ağır yağların ısı değeri de 39.957-48.116 J/g olarak hesaplanmıştır (Hirao ve Pefley, 1988).

Ham petrol içerisinde hidrokarbon tiplerinden hafif olanları (benzin gibi) parafinlerce zengindir. Ağır fraksiyonlar (gaz yağı gibi) naftenlerce zengin ve geriye kalan son ürünler de aromatiklerce zengindir. Halen içten yanmalı motorlarda temel yakıt olarak petrol ürünleri kullanılmaktadır. Bu yakıt türleri aşağıda kısaca açıklanmıştır. Ham petrolden damıtma yoluyla buharlaşma sıcaklığına göre elde edilen ürünler, buharlaşabilirlik, yoğunluk ve kullanım alanına göre değişik isimler almaktadır (Coates ve Lassanske, 1990).

### 3.4. Benzin

Birçok hidrokarbon karışımından oluşan, diziliş sayısında 4-10 karbon bulunan ve kaynama noktası 35-200 °C olan ham petrolün damıtılması ile elde edilen bir motor yakıtıdır. Benzin, buji ile ateşlemeli motorlarda yakıt olarak kullanılır. 0.70-0.78 Yoğunluğa sahiptir. Benzin de bazı özellik ve kullanım alanına göre değişik isimler almaktadır. Örneğin; Uçak benzini, Süper benzin, Normal benzin ve ayrıca kurşunlu ve kurşunsuz benzin diye de isimlendirilmektedir. Kurşunsuz benzin renksiz ve saydamdır. Kurşun tetra etil katılmış benzin toksik etkiye sahiptir (Hirao ve Pefley, 1988; An ve Stodolsky, 1995).

#### 3.4.1. Benzinin üretimi

Petrol çıkarıldığı şekliyle kullanıma uygun değildir. Bu nedenle içindeki hidrokarbonlar kısımlara ayrılarak kullanıma alanı genişletilir. Böylece ticari değeri yüksek olan pek çok ürün elde edilir. Petrolün kısımlara ayrılma işlemleri rafinerilerde yapılır. Bu işlem petrolün cinsine ve taşıdığı yabancı maddelere göre bir çok fiziksel ve kimyasal işlemi gerektirmektedir (Kato ve Onishi, 1989).

### 3.4.1.1. Birinci damıtma

Hidrokarbonların farklı kaynama noktalarının olmasından yararlanılarak damıtma işlemi yapılır; ham petrol bir fırında ısıtıldıktan sonra kulenin taban bölgesinden içeriye gönderilir. Kule tabanında sıcaklık 380 °C civarındadır. Petrolün içindeki hafif hidrokarbonlar bu sıcaklıklarda buharlaşarak kulede yukarıya doğru yükselirler. Kuledeki sıcaklık, yukarı doğru çıkıldıkça azalacağından, buhar halinde yükselen hidrokarbonların sıcaklıkları da düşer. Bulunduğu kısmın sıcaklığı, kendi kaynama sıcaklığının altına düştüğünde buhar hemen yoğunlaşır ve o düzeyde bulunan yoğunlaşma kablarna birikmeye başlar. Bir süre sonra birikme kablarna kısımlar toplanır. Gruplar ayrı ayrı yerlerden kule dışına alınarak soğutuculardan geçirilirler. Böylece benzin, gaz yağı, motorin ve benzeri ürünler elde edilmiş olur. Ancak bu ürünlerin motorlarda kullanılabilmesi için daha birçok fiziksel ve kimyasal işlemi gerektirmektedir. 380 °C'a kadar buharlaşamayan hidrokarbonlar ise kulenin dibinde toplanırlar. Bunlara birinci artık denir. Birinci damıtma sonucu petrolün cinsine göre %15-20 oranında benzin üretimi sağlandığı bilinmektedir (Ho ve Renner, 1990).

### 3.4.1.2. Kraming

Son yıllarda benzinli motorlu taşıt sayısındaki artış, sadece ham petrolün damıtımı ile elde edilen benzinin ihtiyacı karşılayamaması üzerine ağır kısımları parçalamak suretiyle benzin üretimi arttırılmaya çalışılmıştır. Ham petrol 380 °C'nin üstünde ısıtılsa hidrokarbonlar parçalanarak daha küçük molekülü hidrokarbonlara dönüşürler. Bu olaya "kraming" denir. Örneğin; hegzadekan  $C_{16}H_{34}$  molekülü, izo oktan ( $C_8H_{18}$ ) ve oktan ( $C_8H_{16}$ ) moleküllerine parçalanır. Isı ve basınç altındaki bu kimyasal değişim petrolden daha fazla benzin üretilmesine olanak sağlar. Bu yöntem ile elde edilen benzinin oktan sayısı daha yüksek olmaktadır. Bu yolla üretilen benzin oranı % 40-60'a kadar çıkmaktadır. Kraming işleminin diğer önemli bir yanı da benzinin vuruntuya karşı direncini yükseltmesidir.

Japon Endüstri Standartları (JIS)-K2202'e göre iki çeşit benzin vardır. Bunlar yaklaşık olarak 500 tip hidrokarbon ve molekül yapıları içerir (Ho ve Renner, 1990).

### 3.4.2. Benzinli motor yakıtında aranan özellikler

Benzinden beklenen verimi almak için, benzinin bazı özellikleri taşıması gerekir. Benzinin bilinen başlıca özellikleri aşağıda kısaca açıklanmıştır;

#### 3.4.2.1. Uçuculuk

Motor yakıtı olarak kullanılacak benzinin, aşağıda kısaca açıklandığı gibi motorun çalışma koşullarına göre uçuculuk açısından uyum sağlamalıdır.

a) Soğuk havalarda motora kolay ilk hareket: Benzin ve diğer sıvıların, sıvı halden gaz haline kolayca geçebilmesine uçuculuk denir. Basit bir bileşikte daima uçuculuk özelliği vardır. Ancak her sıvının uçuculuğu değişik sıcaklıklarda hızlanır. Suyun uçuculuğu kaynama noktasına yaklaşınca başlar. Benzinden istenen uçuculuk durumu ise, düşük sıcaklıklarda buharlaşabilmesidir. Benzinin suya göre uçuculuğu çok fazladır. Benzinin birçok hidrokarbonlardan meydana gelmesi nedeni ile uçuculuk yeteneği; motorun değişik çalışma koşullarına uyabilen bir sıvı yakıt olmasını sağlar. Soğuk bir motorda, motorun kolayca harekete geçebilmesi için, benzinin uçuculuk yeteneğinin fazla olması gerekir. Böyle bir durumda; dolgu sıcaklığı düşük olsa bile, karbüratörden ve emme manifoldundan hızla geçerken kolayca buharlaşır ve silindirlere buhar halinde girerek iyi bir karışım oluşur. Benzinin uçuculuk yeteneği ne kadar yüksekse, motorun ilk harekete geçmesi de o kadar kolay olur (Petrol ofisi, 1980).

b) Uygun buharlaşma: Her sıvının, sıcaklıkla değişen bir buhar basıncı vardır. Bu basınç, atmosfer basıncına eşit olduğu zaman kaynama olur. Sıvı ne kadar uçucu ise, (kaynama noktası ne kadar düşükse) düşük sıcaklıklardaki buhar basıncı o kadar yüksek.

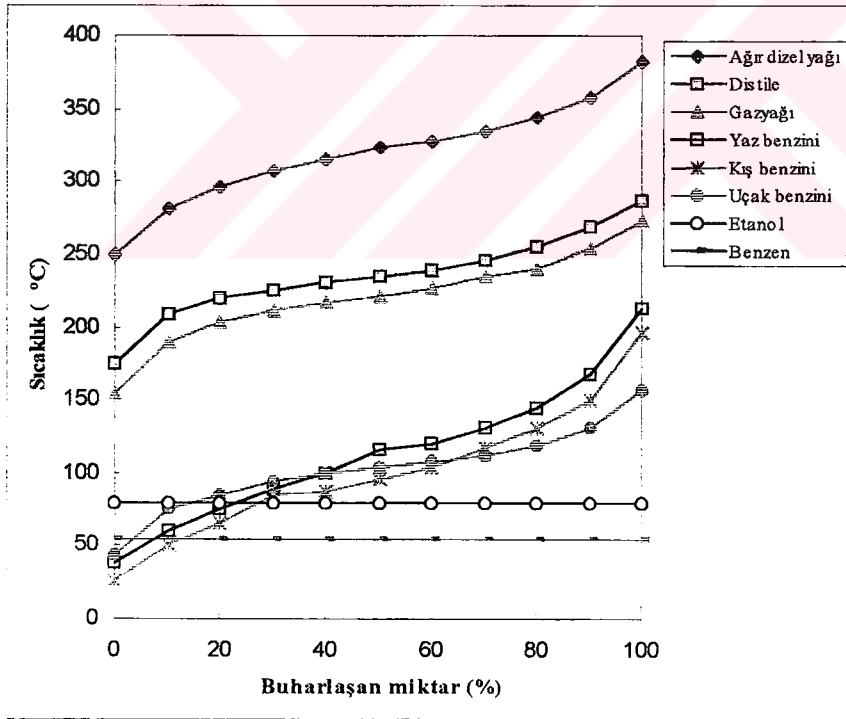
olur. Benzinin buhar basıncı “Reid Buhar Basıncı” metoduyla tayin edilir. Okunan basınç, benzinin uçuculuğunun bir işaretidir. Reid buhar basıncı, benzinleri karakterize eden en önemli özelliklerden birisidir ve bu değerler yakıtın kullanıldığı memleketin iklim koşullarına göre sınıflandırılmaktadır. Sıcak memleketlerde kullanılan benzinin “Reid buhar basıncı”, soğuk memleketlerde kullanılanlardan daha düşük olmalıdır. Benzinin buhar basıncı depolandığı iklime göre yüksek ise, buharlaşmadan dolayı büyük kayıplar olabilir. Bunlardan en önemlisi buhar tıkaması olayıdır. Bir yakıtın ısınmasından ötürü meydana gelen buhar habbeciklerinin yakıt akışını olumsuz bir duruma sokmasına denir. Buhar tıkaması olayına hem sıcak havalarda, hem de yakıt sisteminin sıcak yerlerden geçmesinde sık sık rastlanabilir. Yakıt boruları çoğu zaman motora yakın sıcak kısımlardan geçer. İşte benzin bu sıcak borulardan geçerken yakıtın bir kısmı buharlaşacak ve meydana gelen buhar habbecikleri yakıtın düzenli akmasını engelleyecektir. Böylece motor düzensiz çalışacak ve tam gücünü vermiyecektir. Aynı olay karbüratörde de meydana gelebilir. Karbüratör, motorun üzerinde bulunduğu için bazen fazla ısınabilir. Karbüratörde meydana gelen buhar habbecikleri nedeniyle silindirlere püsküren yakıt miktarı azalacak, zaman zaman hava dahi püskürtülerek karışımın iyice zayıflamasına neden olacaktır. Bunlardan ötürü motorun tam verimle çalışmaması hatta tamamen durması da sözkonusu olabilir. Bu durumların önüne geçmek için benzinlerin buhar basınç değerlerinin sınırlandırılması gerekmektedir.

**c) Benzinin buharlaşma eğrisinin incelenmesi:** Benzinin damıtımı da, uçuculuğunu karakterize eden önemli bir husustur. Benzinin damıtımı normal bir maddeninkinden farklıdır. birçok maddenin belli bir basınçta belli bir kaynama noktası vardır. Benzin ise böyle bir sabit kaynama noktası göstermez. Damıtımı 30-40 °C' ta başlar ve sıcaklık arttıkça buharlaşan miktar artar, sıcaklık bir noktada sabit tutulacak olursa, buharlaşma da durur.

Benzin damıtımı şöyle yapılır: 100 cm<sup>3</sup> lük ölçü kabında ölçülen benzin standart cihazında buharlaştırılır. Buharlar bir soğutucudan geçirilerek yoğunlaşan yakıt ölçü kabında toplanır. % 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve son noktaların destillendiği sıcaklıklar kaydedilir. Bu yüzdeler apsis eksenine ve yüzdelerin geçtiği sıcaklık dereceleri

de ordinat eksenine alınarak grafik çizilir. Benzin ve çeşitli ürünlerin buharlaşma eğrileri Şekil 3.10' da verilmiştir.

Benzin motorlarında yanmada açığa çıkan enerjiden yararlanıldığı için yanmanın iyi olması, bunun için de benzinin iyi bir şekilde buharlaşması gerekir. Benzinin buharlaşmasında ağır ve hafif hidrokarbonların yüzdesi önem arz eder. Motorlarda kullanılan benzin içinde düşük sıcaklıklarda kolay buharlaşan hafif hidrokarbonların yüzdesi az ise soğukta ilk hareket kolayca sağlanamaz. Yanma karışımında benzin buharlarının hacimsel olarak belli bir orandan aşağı olmaması gerekir, aksi taktirde karışım tutuşmaz. Bunun için benzin içindeki kolay buharlaşan hafif hidrokarbonların ayarlanması gerekir ki bu iş için de benzinin % 10 buharlaşma noktasının “Reid buhar basıncı” değerine göre ayarlanması gerekir.



Şekil 3.10. Bazı Ürünlerin Tipik ASTM Damıtma Eğrileri [Taylor, 1985].

Benzin tasfiye edilirken soğukta ilk hareketin kolay sağlanması için buharlaşma eğrisinde başlangıcın yatık olması, küçük bir sıcaklık artışına karşılık buharlaşacak madde miktarının çok olması istenir.

Kullanılan benzin içerisinde düşük sıcaklıklarda buharlaşan hidrokarbon miktarı yeterli değilse, verimde düşme görülebilir. Motor ilk harekete geçirilirken parçalar soğuk olduğu için buharlaşmayan ağır hidrokarbonlar cidarlara yapışıp kalır, silindire gidecek benzin hava karışımı benzin buharları bakımından zayıflar, ateşleme zorlaşır böylece istenen şekilde bir yanma gerçekleştirilemez. Aynı zamanda silindirler soğuk olacağından bir kısım buhar haline geçmiş hidrokarbonlar yoğunlaşır. Cidarlardaki yoğunlaşma nedeniyle karbüratöre yakın silindirlere giden karışımlar benzin buharı bakımından daha zengin, uzaktakiler ise daha zayıftır. Böylece her silindir aynı gücü vermez ve verim düşer. Silindir cidarlarındaki bu yoğunlaşma aynı zamanda karterden gelerek silindir cidarını yağlamakta olan yağın içerisine karışır ve karterdeki yağı inceltir. Bu nedenle motorda aşınmalar görülür. Karışımın uzak silindirlere kolayca gitmesini sağlamak için yakıt içerisindeki yüksek sıcaklıklarda kolay buharlaşmayan ağır hidrokarbonların miktarını azaltmak gerekir. Ağır hidrokarbonların benzin içerisinde fazla oluşunun bir başka olumsuz yanı da silindir başlarında karbonlu birikintiler bırakmasıdır.

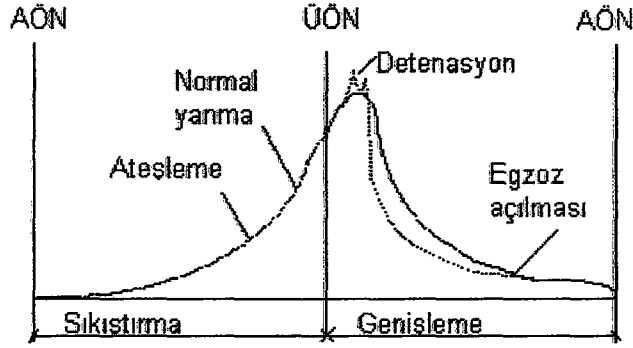
**d) Karbüratör buzlanması:** Bir sıvı buharlaşırken etrafından ısı alır ve etrafındaki havayı soğutur. Aynı olay karbüratörden silindirlere giden hava yakıt karışımında da olur. Benzinin bir kısmı buharlaşır ve buharlaşma için gerekli ısıyı etrafından alarak havayı soğutur. Eğer hava içinde nem fazla ise soğuma esnasında su zerrecikleri teşekkül eder ve buz haline gelir. Bu buzlaşma karbüratör kelebek valfi üzerinde toplanarak buradan geçen hava-yakıt karışımının sekteye uğramasına neden olur. Bu olaya karbüratör buzlanması denir. Bu durum benzin içindeki düşük sıcaklıkta kolay buharlaşan hafif hidrokarbon miktarının fazlalığı ile şiddetlenir. Bunu önlemek için karbüratörün etrafında bir ısıtma ceketı yapılır. Ayrıca benzin içerisinde düşük sıcaklıklarda buharlaşan hidrokarbon yüzdesini azaltmak gerekir (Heywood,1988; Taylor, 1985).

**e) Motorun düzgün hızlanmasını sağlamalı:** Yüksek hıza ani geçiş için gaz pedalına basılınca karbüratörden geçen hava miktarı ani olarak artar. Bu ani değişiklikte hava içerisine daha çok yakıt verilir. Böyle bir durumda eğer yakıt hemen

buharlaşmıyacaksa, motorun ani hızlanması gerçekleşmez ve motor devrinin düzgün bir şekilde artmadığı görülür. Bu nedenle yakıtın uçuculuk derecesi bu tür gereksinimleri karşılayacak kadar yüksek olmalıdır (Petrol ofisi, 1980).

#### 3.4.2.2. Vuruntu dayanımı

Benzin hava karışımı gibi patlayıcı bir gaza bir kıvılcım ile ateşlendiğinde ilk önce bu kıvılcıma yakın olan kısım ateş alır. Bu yanma sonucu öbür kısımların basıncı ve sıcaklığı artar. Alev 25 m/sn gibi bir hızla diğer kısımlara yayılır ve bir kısım yandıkça geri kalanların basıncı ve sıcaklığı daha çok artar. Bu yanma devam ederken yanmış kısmın neden olduğu sıcaklık yükselmesi neticesinde, yanmamış olan gazlar daha kolay tutuşabilecek hale gelirler. Bu basınç ve sıcaklık artışı nedeniyle alev cephesinden çok uzakta bulunan karışımlar kendi kendilerine tutuşur ve yanma anormal bir hal alır. Bu, motorlarda istenmeyen bir durumdur. Yavaş yanan ve ağır olan aromatik hidrokarbonlar, hafif fakat hızlı yanan parafinlerden daha az vuruntu yaparlar. Vuruntu bundan başka, karışım kısımlarına yayılan alevin aldığı uzaklığa bağlıdır. Bu uzaklık ne kadar büyük olursa, vuruntu son parça alev gelmeden kritik değere erişeceği için, o kadar çabuk olur. Şu halde yarım küre şeklindeki yanma odaları vuruntuyu geciktirir. Vuruntu aynı zamanda yakıtın cinsine de bağlıdır. Bazı hidrokarbonlar n-heptan gibi, vuruntuya çok yatkındır. Bazıları da vuruntuya direnç gösterirler. İzo-oktan bu çeşide örnektir. Yanma odasındaki alevin yayılma oranına göre; yanma odasında basınç ve sıcaklık hızla artar. Basıncın yükselmesi 50 kg/cm<sup>2</sup>'ye kadar ulaşır. Buna göre ani bir basınç yükselmesi yoktur. Sıcaklık ise 600-700 °C civarındadır. Alevin yayılma hızı ortalama 25-30 m/sn olmalıdır. Bu hız çok yüksek olursa, basınç yükselmesi de çok ani olacağı için vuruntu oluşur. Böyle yanmalarda alev hızı 300 m/sn'yi geçer. Bu durumda motor gücü azalacağı gibi, motor parçaları da zarar görür (Taylor vd., 1985; Hirao ve Pefley, 1988). Şekil 3.11'de vuruntulu ve normal yanma basınç grafiği verilmiştir.



Şekil 3.11. Normal ve Vuruntulu Yanma Basınç Grafiği.

Bazı kimyasal bileşikler vardır ki bunların benzine katılmasıyla vuruntu azalır. Vuruntuya mukavemet açısından hidrokarbonlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Aromatikler 2. İzoparafinler: Bunlar dallanmış bir yapı gösterdikleri için parçalanmaları oldukça güçtür ve böylece vuruntuya mukavim olarak normal parafinlerden farklılık arzederler 3. Sikloparafinler (Naftenler) 4. Olefinler 5. Normal parafinler.

Yakıtların vuruntuya olan direncini doğru olarak gösteren ölçek "Oktan Sayısı" olarak adlandırılır.

### 3.4.2.3. Oktan sayısı

Benzinin oktan sayısı, 1920'den 1963'lere kadar sürekli olarak artmıştır. 1920'lerin başlarında rafinerilerde kimyasal ayrışım ortaya çıktıktan sonra, oktan sayısı'nda önemli artışlar kaydedilmiştir. 1960-1970 yılları arasında benzinin oktan sayısında pek bir değişiklik gözlemlenmezken, 1970 yılından bu yana benzine kurşun tetraetil ilavesi uygulamasından yavaş yavaş vazgeçilmektedir. Otomobillerde katalitik dönüştürücülerin kullanılması oktan sayısını düşürmüştür.

Silindir içine emilen benzin hava karışımı sıkıştırma periyodunda kendi kendine tutuşmayacak sıcaklığa kadar yükselmeli ve bujinin ateşleme zamanı çok iyi hesaplanmış

olmalıdır. Eğer bujinin ateşlemesi normalinden erken ya da geç olursa, bu zamanda yanmalar piston üzerine basınçlı bir etki yapacaktır. Oktan sayısı; yakıtların kendi kendine tutuşma özelliklerini belirtir. Oktan sayısı arttıkça kendi kendine tutuşma zorlaşır, bu benzinli motorlarda istenen bir özelliktir (Coates ve Lassanske, 1990; Hipple, 1977).

Oktan sayısı (OS) iki referans yakıtla tanımlanır;

1. İzo-Oktan (trimetil pentan,  $C_8H_{18}$ ) OS = 100

2. n-Heptan ( $C_7H_{16}$ ) OS = 0

OS= 85 denilince hacimsel olarak % 85 izo-oktan ve % 15 n-heptan veya bu karışıma eşdeğer kritik sıkıştırma oranı gösteren yakıt anlaşılır.

Teknolojik gelişmeler paralelinde benzinin oktan sayısı ve motorların sıkıştırma oranları yükselmektedir. Motor benzinleri yaz ve kış olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bu ayrım, yakıtı motora göndermeden buharlaştırma ihtiyacına dayanarak mevsim sıcaklığı ve nem oranı da gözönüne alınarak yapılmaktadır (Oda vd., 1993 ; Hirao ve Pefley, 1988). Tablo 3.3'te çeşitli benzin ve hidrokarbonların oktan sayıları ve hacimsel yüzde miktarları verilmiştir.

**Tablo 3.3. Çeşitli Benzin ve Hidrokarbonların Oktan Sayıları ve Kompozisyon Durumları (Hirao ve Pefley, 1988).**

| Benzin cinsi                 | Hidrokarbon kompozisyonu)<br>(% hacim |        |          | Oktan sayısı<br>Araş.Okt. Mot.Okt. |        |
|------------------------------|---------------------------------------|--------|----------|------------------------------------|--------|
|                              | Doymuş                                | Olefin | Aromatik | Sayısı                             | Sayısı |
| Hafif nafta (1)              | 91                                    | 9      | 0        | 74                                 | 77     |
| Hafif nafta (2)              | 95                                    | 5      | 0        | 61                                 | 57     |
| Katalitik reforme benzin (1) | 58                                    | 42     | 0        | 87                                 | 80     |
| Katalitik reforme benzin (2) | 45                                    | 55     | 0        | 95                                 | 86     |
| Katalitik krake benzin       | 41                                    | 40     | 19       | 94                                 | 82     |
| Hidrokrake (35-82 °C)        | 94                                    | 6      | 0        | 89                                 | -      |
| Hidrokrake (>85-92 °C)       | 90                                    | 10     | 0        | 84                                 | -      |
| Polimer benzin               | 1                                     | 88     | 11       | 84                                 | 81     |
| Alkilate benzin              | 100                                   | 0      | 0        | 87                                 | 94     |
| Izomerize benzin             | 100                                   | 0      | 0        | 88                                 | 86     |

#### 3.4.2.4. Zamk ve vernik seviyesi

Oksijenle temas eden hidrokarbonlarda görülen bir olaydır. Motor için zararlı bu artıklar zamanla teşekkül etmemelidirler. Supapların yapışmasına ve yakıt kanallarının tıkanmasına sebep olmamalıdır. Genellikle, doymuş hidrokarbon sınıfından olan (olefin) benzinler daha çok reçine teşekkülü yaparlar. Bunlar depo edildikleri tanklarda, havanın oksijeni ile birleşerek çöküntü yaparlar. Bu çöküntüler, karbüratör memelerinin tıkanmasına neden olur. Benzinin içindeki reçine oranı  $0.05 \text{ mg/cm}^3$ 'ten az olmalıdır.

#### 3.4.2.5. Yakıt ve yanma ürünlerinde kükürt seviyesi

Benzinin içinde bulunan kükürt oranı az olmalıdır. Benzin içerisindeki kükürt miktarı 0.001'i geçmemelidir. Fazla olması halinde, yanma sonunda ( $\text{H}_2\text{SO}_3$  sülfüroz asit) asit oluşumuna neden olur. Ayrıca, Yanma sonunda silindirlerde oluşan kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ), yanma sonunda açığa çıkan su buharı ile birleşerek sülfirik asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) oluşturur. Asidik etki nedeniyle egzoz gazları geçtiği yerlerde korozyona yol açar. Gazların kartere sızması halinde ise yağın özelliği bozulur.

### 3.5. Alkoller

İçten yanmalı motorlarda benzin ve dizel yakıtına alternatif yakıt olarak; alkoller, katı yakıtlar, gaz yakıtlar, bitkisel yağlar ve hidrojen alternatif yakıtlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu alternatif yakıtları içten yanmalı motorlarda kullanılır hale getirmek için çalışmalar sürmektedir. Araştırmacılara göre, benzin ve dizel yakıtında (daha yüksek oktan/setan sayısı, daha düşük aromatikler ve yine daha düşük sülfür oranlı vb.) gelişmeye ihtiyaç vardır. Böylece gelişmiş yakıt daha iyi verim sağlayacak ve egzoz emisyonundaki kirletici bileşenleri azaltmış olacaktır (OECD Documents, 1991).



Yakıt amaçlı alkol olarak etanol, metanol, isopropanol ve bütanol iyi sonuç vermektedir. Doymuş hidrokarbon yapısında bir hidrojen yerine hidroksil (OH) iyonunun gelmesiyle oluşan alkollerin genel formülleri R.OH olup, burada R, parafin grubunu göstermektedir, Metanol korozyon ve zehirleyicidir. Depolama ve kullanımı durumunda özel itina göstermek gerekir. Bütanol'ün de üretimi zor, maliyetinin de oldukça yüksek olması nedeniyle kullanımı sınırlıdır. Etanolün bünyesinde selüloz, nişasta ve şeker bulunduran bitkilerin artıklarından elde edilebilmesi ve üretim maliyetinin düşük olması nedeniyle diğer alkollere göre kullanımı (özellikle yakıt ve ilaç sanayiinde) daha yaygındır.

**Metanol:** Higroskopik, renksiz, kendine has kokulu, normal sıcaklıkta sıvı, zehirli ve motorda saf olarak kullanılması halinde yüksek oktan sayılı ve yanma hızı benzinden daha yüksek olan bir alkoldür. Metanol, hem doğal gaz ve linyitten sentez yoluyla ve hem de evsel ve endüstriyel artıklardan biyomas teknolojisi ile üretilmektedir.

Etanol ve metanolün, içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak birbirlerine göre başlıca üstünlükleri aşağıya çıkarılmıştır;

1. Etanol daha yüksek oktan sayısına sahiptir.
2. Etanol'un ısı değeri daha (etanol=27 MJ/kg, metanol=20.1 MJ/kg) yüksektir.
3. Metanol'ün buharlaşma ısısı daha yüksektir (metanol=500 kJ/kg, etanol=390 kJ/kg).
4. Etanol'ün kaynama noktası daha yüksektir (etanol=78.3 °C, metanol=65 °C).
5. Metanol'ün buhar basıncı daha yüksektir (metanol=32 kPa, 38 °C'de, etanol=17 kPa, 38 °C'de).
6. Etanol motor malzemesi üzerinde daha az korozyon etki yapar.

Alkollerin (etil alkol ve metil alkol) kısa ve orta dönemde, içten yanmalı motorlarda kullanılabilecek en çok ilgiyi çeken yapay yakıtlar olduğu dünyaca kabul edilmiştir. Aşağıda isimleri verilen ülkelerde alkol yakıtlarla ilgili araştırma çalışmaları hükümetler tarafından yürütülmekte ve/veya desteklenmektedir (Gülde ve Bayka, 1981).

ABD (Metanol), Avustralya (Etanol ve Metanol), Brezilya (Etanol), Almanya (Metanol), Filipinler (Etanol ve Metanol), Güney Afrika (Etanol ve Metanol), İsveç



(Metanol), İtalya (Metanol), Kanada (Metanol), Kenya (Etanol), Polonya (Metanol), Rusya (Metanol), Sudan (Etanol), Tayland (Etanol), Yeni Zelanda (Metanol).

### 3.5.1. Etanol

Yaşamın temel kaynağı güneştir. Güneşin can verdiği bitkiler, diğer canlı türlerine yaşam verdikleri gibi, yanarak ısı verdikleri için ısınma, elektrik üretme ve taşıt çalıştırma gibi amaçlarla enerji elde etmek üzere kullanılabilirler. Etanol; şeker pancarı, şeker kamışı, yem pancarı, süpürge darısı (akdarı), üzüm, patates ve incir gibi tarım ürünlerinden elde edilmektedir. Selülozik (gözeli) madde ve artıklardan üretilen etanolün daha ucuz olabileceği bilinmektedir. Bu durum etanolü, ekonomisi tarımsal üretime dayalı ülkeler için daha da çekici hale getirmektedir.

Etanol benzin ile karşılaştırıldığında, bazı avantaj ve dezavantajları olduğu görülür. Etanolün benzine oranla oktan sayısı daha yüksektir. Karışım (hava/yakıt) daha zengin olarak kullanılabilir. Buharlaşma ısısı yüksektir. Bu avantajlar etanolün yakıt olarak kullanılması durumunda daha yüksek performans ve daha yüksek çıkış gücü sağlayacağı görüşünü desteklemektedir. Fakat bunlar sürüş konforu için önem teşkil etmezler. Etanol yenilenebilir ve bir çok bitkiden elde edilebilir. Dezavantajları ise; etanol motor yakıtı olarak kullanıldığında, ısıl değerinin benzine göre düşük olması nedeniyle esas verimi de düşüktür ve metaller üzerinde korozyon etkisi yapmaktadır. Diğer önemli bir dezavantajı da etanolün günümüzde birim fiyatının benzine göre daha yüksek olmasıdır.

#### 3.5.1.1. Etanolün üretimi

Ülkemizde 4250 no'lu alkol ve alkollü içkiler üretimi kanununa göre "Her türlü ispirto ve ispirotolu içkilerin yapılması" ithal edilmesi yurt içinde satılması hükümetin iznine tabiidir. Aynı kanunun 4. Maddesi; şeker fabrikalarının tali maddelerinden ispirto

üretiminin yapılabilceğini ve bu ispiertonun Tekel Genel Müdürlüğü'nce alınarak tüketiciye satılması hükmünü getirmiştir. Sektörde halen üretim yapan T.Şeker Fabrikaları A.Ş.'ne bağlı 4 adet ispierto fabrikası vardır. Bunlar; Eskişehir, Malatya, Turhal ve Erzurum'dadır. Etanol iki yöntemle üretilmektedir;

#### **a. Klasik yöntem**

Etanol üretiminde yaygın olan yöntem melastan alkol üretimi yöntemidir. Melas; şeker fabrikalarının bir yan ürünü olan ve ortalama % 50 şeker içeren maddedir. Etanol üretiminde genellikle klasik yöntem kullanılmaktadır.

Bu yöntemde, melas sulandırılarak daha önceden üretilmiş olan ve fermantasyon kazanlarına alınmış maya üzerine eklenir ve kazanlar dolduktan sonra fermantasyona bırakılır. Ortalama 10-14 saat sonra fermantasyon sona erer, bu süre zarfında tek hücreli mikroskopik canlılar olan maya, melastaki şekerini  $CO_2$  ve etanole dönüştürür. Bu durumda meydana gelen % 7-8 alkol içeren mayşe, seperatörden geçirilerek mayadan ayrılır ve damıtım kolonlarında distile edilir. Distile sonucunda elde edilen bu alkol ham etanol'dür ve ortalama olarak alkol derecesi 92'dir. Bu alkol içindeki yabancı maddelerden arındırılmak için yeniden tasfiyeye tabi tutularak 96.6°'lik saf etanol elde edilmiş olur.

#### **b. Biyostil prosesi**

Proses üretiminde halihazırda yeni ve sürekli proses olan teknolojiler geliştirilmiştir. Buna göre fermantasyon ve alkol damıtımı sürekli olarak ve aynı anda yapılmaktadır. En önemli avantajı bu işlemde muhtelif ham maddeler (şeker kamışı, pancar melası nişastalı hububat gibi) kullanılabilir ve yüksek randımanlı olup, atık miktarı da önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu yöntemde, tek bir fermantasyon reaktörü kullanılarak, konsantre girdi % 40-50 melas fermantere beslenir. Fermanterde kalan bakiye şekerin çok düşük konsantrasyonda olması için besleme hızı iyi ayarlanmalıdır. Burada şekerin alkole dönüşümü çok hızlı olur. Ama sirkülasyon sisteminde alkol konsantrasyonu % 5 civarında sabitleşir. Fermantasyon çıkan sıvı ürün bir santrifüj maya seperatörüne beslenir ve burada maya bulamacı ayrılarak yeniden fermantasyon cihazına verilir.

Fermantasyonun havalandırılması ve besleyici çözeltilerin dozajı maya büyümesine yetecek miktarda olmalıdır. Maya seperatörün ayrılan sıvı plakalı değiştiricisinden ön ısıtılma yapıldıktan sonra kolonun buharlaştırma kısmına girer. Burada alkol % 90 ayrılır ve normal olarak % 40 mertebesinde olan alkol-subuharı sonraki rektifikasyona girer. Zayıf çözeltinin büyük miktarı plakalı ısı değiştiriciden geçirilerek ve bir de soğutucudan geçmek suretiyle fermantasyon cihazına gönderilir. Akımın daha küçük bölümü, mayşe kolonunun stipper bölümünden geçer, burada kolon başı, su buharı ve alkol içeren buharlar buharlaştırıcı kısım için ısı temin etmektedir. Toplam ısı ihtiyacı kolonun dip kısmında buharla ısıtılmış bir robeyle gelir. Dip kısmında konsantre edilmiş şlempe ortaya çıkmaktadır. Tablo 3.4'te etanol üretimi kurulu kapasitesi (1984 yılından itibaren) verilmiştir.

**Tablo 3.4.** Etanol Üretiminde Kurulu Kapasite (1984 yılından itibaren).

| Kuruluş | Hammadde    | Fabr. Adı      | 1000 Lt/gün |       |        | 1000 Lt/yıl (300 gün) |       |        |
|---------|-------------|----------------|-------------|-------|--------|-----------------------|-------|--------|
|         |             |                | Ham         | Saf   | Toplam | Ham                   | Saf   | Toplam |
| T.Ş.F.  | Pancar      | Erzurum        | 12          | 48    | 60     | 3600                  | 14400 | 18000  |
| A.Ş.    | Melasi      | Eskişehir      | 12          | 45    | 57     | 3600                  | 13500 | 17100  |
|         |             | Malatya        | 10          | 30    | 40     | 3000                  | 9000  | 12000  |
|         |             | Turhal         | 11          | 24    | 35     | 3300                  | 7200  | 10500  |
|         |             | Toplam :       | 45          | 147   | 192    | 13500                 | 44100 | 57600  |
| Tariş   | Hurda İncir | İzmir          | 0.7         | 3.3   | 4      | 200                   | 1000  | 1200   |
|         |             | Genel Toplam : | 45.7        | 150.3 | 196    | 13700                 | 45100 | 58800  |

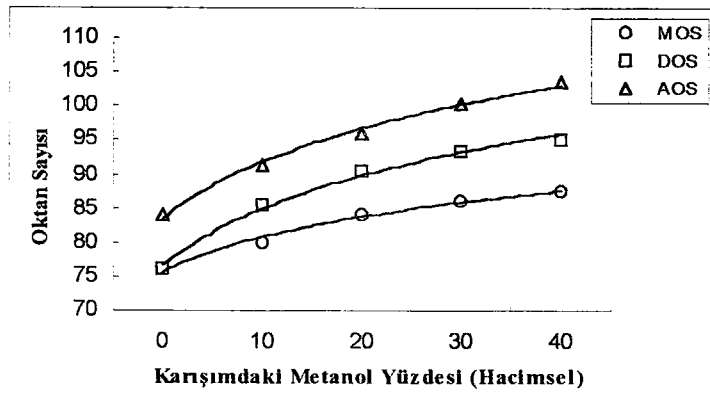
### 3.5.1.2. Etanolün özellikleri

Etanol, 78.4 °C'ta kaynayan, -100 °C'a kadar sıvı olarak kalan renksiz bir sıvıdır. Yoğunluğu 0.794 kg/lit, alt ısı değeri yaklaşık 27350 kJ/kg'dır. Bu değer benzininkine göre yaklaşık % 35 daha düşüktür. Etanol su ile her oranda karışabilme özelliği ile petrolden ayrılır. Etanolün en üstün özelliklerinden birisi yüksek oktan sayısına sahip olması bir diğeri ise yenilenebilir bir kaynak olmasıdır. Yüksek oktan sayıları benzin motorlarında daha yüksek sıkıştırma oranlarının seçilebilmesine ve verimin yükselmesine

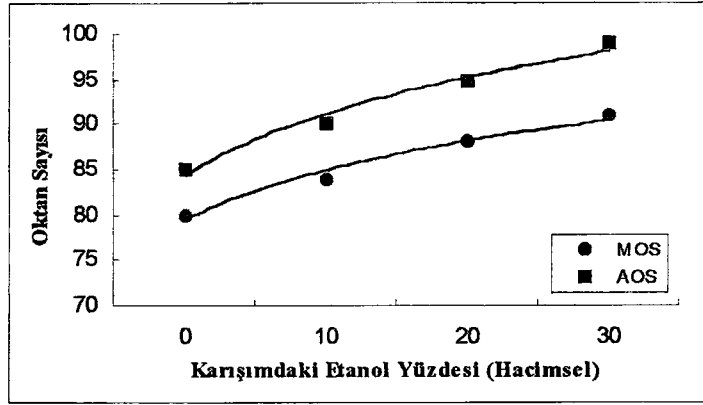
olanak sağlamaktadır. Ayrıca alkollerin benzine göre daha düşük alev sıcaklıklarının olması yanma işleminin iyileşmesini sağlamaktadır. Etanolün oktan sayısının yüksek oluşu nedeni ile dizel motorlarının belirli bir karışım oranından sonra vuruntu yapar. Bir diğer olumsuz etki de etanolün bünyesinde bulunan suyun metaller üzerinde korozyon etkisi yapmasıdır. Etanolün buhar basıncı düşük, buharlaşma ısısı yüksektir. Buharlaşma ısısının yüksek olması, motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmaktadır.

### 3.6. Etanol - Benzin Karışımlarının Teknik Özellikleri

Alkol katkı benzinin bileşiminde etanol, metanol, bütanol ve izopropanol gibi alkoller yer alır. Bu alkoller aşırı higroskopik maddeler olduklarından, bu karışımlar benzin-alkol-su'dan oluşan üçlü bir karışım özelliğini taşır. Motor yakıtı olarak benzinin oktan sayısı önemli bir özelliğidir. Benzine, kurşun-tetra-etil, etanol, metanol ve metil tersiyer katılarak oktan sayısı arttırılmaktadır. Gasohol ve alkol katkı benzin içindeki metanol ve etanol miktarının artmasıyla "Araştırma Oktan Sayısı (AOS)", "Dağılım Oktan Sayısı (DOS)" ve "Motor Oktan Sayısı (MOS)"'nda artışlar olmaktadır [Karaosmanoğlu, vd., 1986]. Şekil 3.12'de değişik oranlardaki metanol-benzin karışımlarının oktan sayıları, Şekil 3.13'te de etanol-benzin karışımlarının oktan sayıları verilmiştir.



Şekil 3.12. Metanol-Benzin Karışımının Oktan Sayısı (Karaosmanoğlu vd., 1986).



Şekil 3.13. Etanol-Benzin Karışımının Oktan Sayısı.

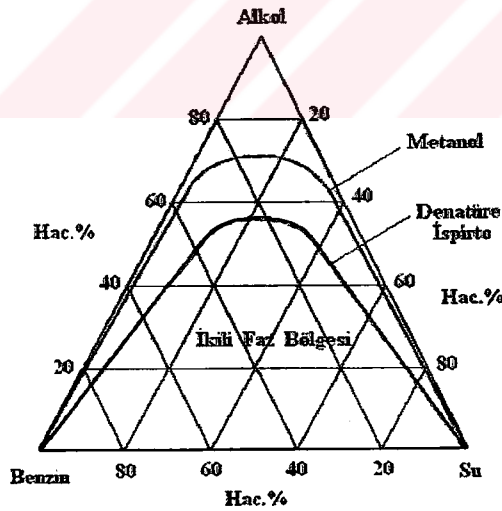
Etanolün 1 kg'nın tam yanması için yaklaşık  $7.6 \text{ m}^3$  havaya ihtiyaç vardır; 1kg benzinin tam yanması için ise yaklaşık  $12.8 \text{ m}^3$  hava gerekir. Benzin,  $290^\circ\text{C}$ 'ta tutuşurken; etanolün tutuşma sıcaklığı  $425^\circ\text{C}$ 'tır [Browning ve Raghuraman, 1984].

Alkol yanarken, yeterince hava bulunmazsa aldehit ve su, havanın daha az olması durumunda ise, sirke asidi ve su oluşur. Bu durum, etanolün yanmasında önemli bir yer teşkil eder. **Aldehit**; bir karbon atomunun, bir oksijen atomuna, ortaklaşım bağı ile bağlandığı bir karbonil grubu içeren organik bileşiklerdir. Aldehitler, havanın oksijeni ile birleşerek, sirke asidi oluşturabilirler. Aldehitler yükseltgenerek asitlere, indirgenerek alkollere dönüşmeye yatkın olan bileşiklerdir. Bu nedenle etanol, motorda alternatif yakıt olarak kullanıldığında, hava miktarının iyi ayarlanması gerekir. Havanın iyi bir şekilde ayarlanması ile aldehit ve sirke asidi oluşumu önlenabilmektedir. Etanol- benzin karışımı yandığında, fazla olan oksijen benzin tarafından kullanıldığı için, sirke asidi ve aldehit oluşumu önlenmiş olur. Etanol-benzin karışımlarının önemli bir sorunu de faz ayrışması sorunudur.

### 3.6.1. Etanol-benzin karışımlarında faz ayrışması sorunu

Alternatif motor yakıtları olarak en çok üzerinde durulan ve kısmen uygulananlar arasında gasohol (% 10 anhidrik etanol + % 90 kurşunsuz benzin), etanol ve metanol

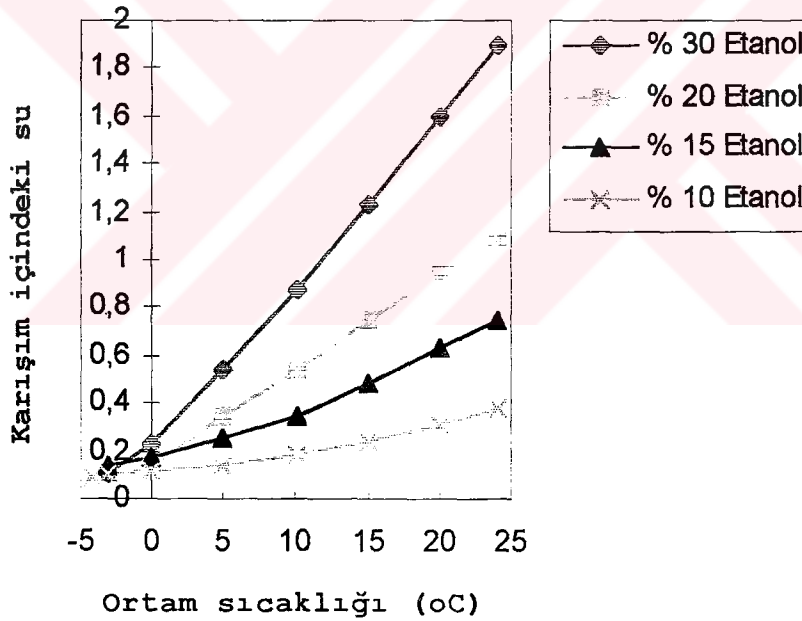
katkılı benzin bulunmaktadır. Bu yakıtların kullanım sırasındaki önemli bir zorluğu kütlede birbirine karışmayan iki fazın oluşumudur. Bu tür karışımların motor yakıtı olarak kullanılabilmesi için en önemli nokta; karışımın nem kapma sonucunda faz ayrımı olmamasıdır. Faz ayrışması sonucu alkol fazının yalnızca motora girmesi ile motorda yakıt yetersizliği, ani güç düşüşü ve tekleme görülebilir. Böyle bir faz ayrımı durumunda motorda ilk hareket çok zorlaşır. Motordan sağlıklı bir çalışma performansının alınması için, bu tür karışımların kullanılması durumunda, karışımın faz ayrışması sorununun önlenmesi gerekir. Alkol- benzin karışımları, alkol, benzin ve su olmak üzere üç bileşenden meydana gelmektedir. Şekil 3.14'te alkol katkı benzine ait bir faz diyagramı verilmiştir. Diyagramdan da görüldüğü gibi bileşenlerin miktarına bağlı olarak normal sıcaklıkta homojen bir fazın dayanıklı oldukları bölgeler açıkça seçilebilmektedir. Her iki eğrinin içinde kalan bölgede heterojen faz etkili iken, eğrilerin dış kısmındaki sistem normal sıcaklıkta homojendir. Bu özelliklere bağlı olarak alkol - benzin karışımları bünyesindeki su miktarı belli bir değeri geçince fazlar ayrışır (Bechthold ve Pulman, 1980 Dodge vd., 1992).



Şekil 3.14. Metanol-Benzin-Su ve Denatüre İspirto-Benzin-Su Sistemlerinin Faz Diyagramı (Karaosmanoğlu vd., 1986).

Panzer'e (1979) göre, % 10 etanol - % 90 benzin karışımı binde 5 oranında su içeriyorsa, binde 4-5 oranında bir faz ayrışması oluşturur. Bununla birlikte faz ayrımı; sıcaklık, alkol miktarı ve benzinin bileşimindeki hidrokarbonların çeşitlerine de bağlıdır. Şekil 3.15' te benzin-etanol karışımının suya dayanımı verilmiştir .

Aşağıdaki şekilde sırası ile % 10, 15, 20 ve 30 miktarında etanol benzine katılarak, bu karışımların sıcaklığa bağlı olarak suya olan toleransları gösterilmiştir. Karışımdaki alkol miktarının artması ve sıcaklığın yükselmesi ile toleransın da yükseldiği görülmektedir. Örnek olarak 15 °C'lik ortam sıcaklığında % 30 etanol katkılı benzinin suya tolerans sınırı yaklaşık olarak % 1.25 tir. Bu durum; karışımdaki su miktarı, söz konusu sıcaklıkta bu sınırı aştığı durumlarda iki fazın oluşabileceğini ifade etmektedir.



Şekil 3.15. Benzin-Etanol Karışımının Suya Dayanımı (Karaosmanoğlu vd., 1986).

"Faz ayrışması sıcaklığını düşürmek için alkol - benzin karışımlarına aromatik alkol, aromatik hidrokarbonlar ve yüksek alifatik alkol katılır. Ülkemizde de petrole bağımlılığın azaltılması ve yeterli bir ulusal kalkınma hızı için kesinlikle petrol gerektirmeyen alanlarda yerli kaynaklara dayalı yakıt alternatifleri üzerinde araştırmalar yapmak gerekmektedir. Türkiye benzinlerinin özelliklerine uygun -45/+45 °C sıcaklıkları arasında değişen iklim koşullarında

kullanılacak alkol katkılı benzinin kararlı olması için Türkiye kökenli katkı maddelerinin araştırılması önemli bir inceleme konusudur" (Karaosmanoğlu, vd.1986).

1984 Yılında Johnson ve arkadaşları benzin-etanol-su sistemi üzerinde araştırma yaparak, bu sistemde faz ayrışması sorununu çözmek için, sikloheksanol, siklopentanol vb. katkı maddesi kullanarak, düşük ortam sıcaklıklarında katkı maddesine daha çok miktarda ihtiyaç olduğunu açıklamışlardır.

**Tablo 3.5. Benzin-Alkol-Su Azeotropu Sistemi İçin Katkı Maddesi Miktarının (% hacim) Sıcaklık ile Değişimi (Kajimoto vd., 1984).**

| Katkı maddesi      | 40 °C      | 25 °C      | 10 °C      | -5 °C       | -20 °C      | -40 °C       |
|--------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|
| Sikloheksanol      | 3,93-9,13  | 3,9-9,13   | 5,96-13,02 | 7,01-15,02  | 9,19-19,13  | 11,43-23,37  |
| 2 metil-           |            |            |            |             |             |              |
| Sikloheksanon      | 8,84-18,4  | 11,0-22,48 | 13,23-26,7 | 14,38-28,85 | 15,54-35,53 | 21,62-42,5   |
| 1 propanol         | 4,29-9,64  | 4,29-9,64  | 5,19-11,36 | 7,05-14,87  | 11,99-24,2  | 17,34-38,53  |
| 2 metil-2 propanol |            |            |            |             |             |              |
|                    | 4,37-9,83  | 5,29-11,57 | 7,19-15,16 | 9,15-18,87  | 13,28-26,65 | 17,67-39,26  |
| siklopentanol      | 3,34-7,82  | 4,21-9,47  | 5,1-11,15  | 6,93-14,61  | 9,79-20,02  | 12,8-37,84   |
| isopropanol        | 5,06-10,84 | 5,84-12,3  | 5,06-18,43 | 13,43-26,64 | 18,13-44,95 | 27,83-57,98  |
| fenol              | 1,58-4,45  | 1,58-5,99  | 0,78-5,99  | 0,78-7,56   | 0,78-7,56   | kullanılamaz |
| n-butanol          | 4,24-9,55  | 4,24-9,55  | 5,14-11,24 | 8,89-18,33  | 11,88-23,96 | 17,17-38,15  |

Tablo 3.5'te de görüldüğü gibi benzin-alkol-su azeotropu/katkı maddesi sistemleri için ortam sıcaklığı önemlidir. Yüksek sıcaklıklarda az, düşük sıcaklıklarda daha çok miktarda katkı maddesine gereksinim vardır. Etanol-benzin karışımlarının teknik özellikleri; benzinin özellikleri, karışımdaki alkol miktarı, su ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir.

### 3.6.2. Etanol-benzin karışımlarının motor malzemelerine korozyon etkisi

Etanol-benzin karışımlarının motorlarda denenmesi ile birlikte korozyon problemi de ortaya çıkmıştır. Yakıt sistemindeki parçalar sıvı yakıt ile doğrudan ilişki içerisinde. Etanol ve etanol-benzin karışımlarının motor karakteristikleri üzerindeki etkisini araştırırken korozyonu da dikkate almak gerekir. Korozyonu önlemek için; etanol ve etanol- benzin karışımları ile ilişkide olan parçaları koruyucu kaplama ile kaplamak veya yeni malzeme seçimi yapmak, paslanmayı önleyici katıklar kullanmak ve etanolün paslandırıcı etkisini azaltmak gibi önlemler alınabilir. Korozyon, malzemelere verdiği zararın yanı sıra yakıtın akışını da engeller. Burada kaplamacılığın iki önemli görevinden sözedilebilir. Bunlardan birincisi malzemeyi korozyona karşı koruması, ikincisi ise yakıt kanallarında korozyonun neden olacağı akış engellemelerini ortadan kaldırmasıdır. Koruyucu kaplama kısa vade için en uygun olanıdır. Yakıt sisteminin koruyucu kaplama ile kaplanması teknolojik olarak mümkündür. Ancak, korozyona karşı en iyi direnci gösteren malzemeyi ve kaplamaları karşılaştırmalı olarak araştırmak ve en uygununu bulmak gerekir. Korozyon direncine karşı en iyi kaplama,  $Cl^-$  ve  $SO_4^{2-}$  iyonlarının etkisinin dikkate alındığı belirtilmiştir.

Kajimoto vd. (1984), etanol-benzin karışımlarının metalik malzeme üzerindeki korozyon etkisini daldırma yöntemi ile belirlemişlerdir. Bu araştırmacılar, kaplamalarda Alüminyum, Kadmiyum, Kromlanmış Kadmiyum, Kurşun, Sert Krom, Fosfat, Nikel, Çinko, Kromlanmış Çinko, Çinko/Alüminyum ve Dakromet (bir çeşit çinko kaplama) gibi kaplama malzemeleri kullanmışlar. Çinko, Fosfat ve Kurşunun direncinin yetersiz kaldığını, Kadmiyum, Sert Kromiyum, Nikel, Dakromat ve anodize edilmiş Alüminyumun korozyona karşı kaplamada iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Farklı marka ve modellerde yaptıkları 30.000 km yol sonucunda elde ettikleri değerler yukarıdaki sonuçları doğrular nitelikte olmuştur.

Kajimoto vd. (1984), Laboratuvar testlerinde sıvı etanol kullanmış ve araçların yakıt sistemini (karbüratör- depo arası yakıtın temasta olduğu yüzeyler) kaplayarak deneyler yapmışlar. Çalışmalarında, Kadmiyum ve sert Kromiyumun en iyi sonucu verdiğini belirtmektedirler. Aynı çalışmada, seçtikleri 18 değişik kaplama çeşidinde temel kriter; bunların fiyatları, genel çevredeki korozyon direnci ve testin kolayca

uygulanabilirliği olmuştur. Anodize edilmiş Alüminyum hariç, tüm kaplama malzemeleri SAE 1020 karbon çeliğinden seçilmiştir. Etanolü, yakıt testlerinde buharlaştırılmaksızın 580 günde yaptıkları çalışmada, çözücüler olarak NaCl ve Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanmışlardır.

### 3.7. Motorlu Taşıtların Egzoz Emisyonları

Hava kirlenmesi modern yaşamın getirdiği sorunlardan biri olup, ana kaynağı yanma olaylarıdır. Benzin ve dizel motorları çevre atmosferine CO, HC, NO<sub>x</sub>, HCHO, Pb, PM, SO<sub>x</sub>, vs. gibi kirlenici bileşenler bırakmaktadır. Bu kirlenicilerden bazılarının miktarları Tablo 3.6'da verilmiştir.

**Tablo 3.6.** Benzin ve Dizel Motorları Emisyon Faktörleri (Saraçoğlu vd.,1977).

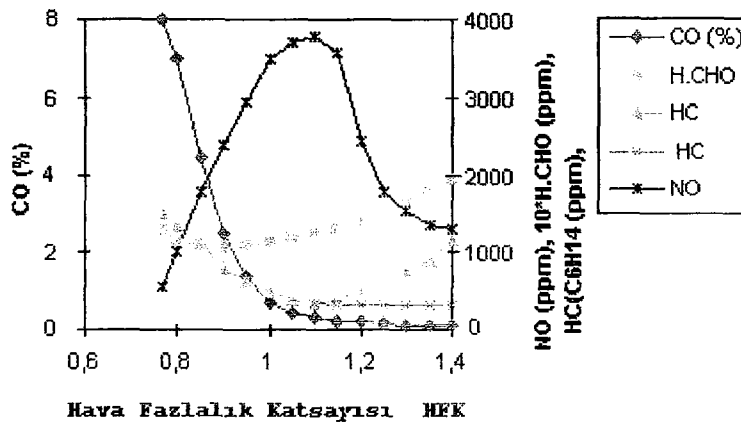
| Bileşen         | Sembol                             | Otto-Benzin<br>(kg/ton) | Dizel-Motorin<br>(kg/ton) |
|-----------------|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Aldehit         | HCHO                               | 0.65                    | 1.47                      |
| Karbonmonoksit  | CO                                 | 375.01                  | 8.83                      |
| Hidrokarbonlar  | HC                                 | 32.61                   | 20.02                     |
| Azot oksitler   | NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> ) | 18.42                   | 123.71                    |
| Kükürt oksitler | SO <sub>x</sub> (SO <sub>2</sub> ) | 1.47                    | 5.88                      |
| Partikül Madde  | PM                                 | 1.96                    | 16.19                     |

Tablo 3.7'de ise işletme şartlarına göre benzin motorlarının egzoz emisyonlarındaki değişim miktarları verilmiştir.

**Tablo 3.7.** Benzin Motorlarında İşletme Şartlarına Göre Egzoz Terkibi (Borat vd., 1994).

| Bileşen                | rölanti<br>( $v=0$ ) | hızlanma<br>( $a>0$ ) | seyir<br>( $v=sbt$ )  | yavaşlama<br>( $a<0$ ) |
|------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| HC, ppm                | 30-1000              | 300-800               | 250-550               | 3200-10000             |
| CO, %                  | 4-9                  | 1-8                   | 1-4                   | 3-4                    |
| NO <sub>2</sub> , ppm  | 10-50                | 1000-3000             | 1000-2000             | 5-40                   |
| N <sub>2</sub> , %     | 70-72                | 74-77                 | 72-75                 | 70-74                  |
| O <sub>2</sub> , %     | 1-1.5                | 0.1-0.3               | 0.5-2.6               | 1-1.5                  |
| H <sub>2</sub> , %     | 0.5-4                | 0.1-0.2               | 0.2-0.3               | 0.5-2                  |
| CO <sub>2</sub> , %    | 6.5-10               | 9-12                  | 10-13                 | 5-10                   |
| Önemli<br>kirleticiler | HC-CO                | HC-CO-NO              | HC-CO-NO <sub>x</sub> | HC-CO                  |

Şekil 3.16'da ise Hava Fazlalık Katsayısı ile HC, CO, H.CHO ve NO<sub>x</sub> miktarlarının değişimleri görülmektedir. HFK arttığında egzoz emisyonlarındaki CO ve HC'lar düşüş gösterirken, NO<sub>x</sub> miktarı stokiyometrik karışım oranı civarında maksimum değerini almıştır. H.CHO değeri ise, HFK'nın artışına bağlı olarak artış göstermiştir.

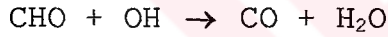


**Şekil 3.16.** Karbüratörlü Benzin Motoru Egzozundaki Kirleticilerin HFK'ya Bağlılığı  
(Borat vd., 1994)

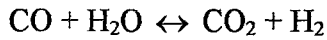
### 3.7.1. Karbonmonoksit (CO)

Karbonmonoksitin ana kaynağı benzinli motorlardır. Bu bakımdan CO'nun azaltılması motorlarda yanma ve egzoz kontrolünü gerektirmektedir. CO'nun atmosferdeki ömrü yaklaşık 2-4 ay kadar olup, yavaş bir şekilde CO<sub>2</sub>'ye dönüşmektedir.

Borat'a (1994) göre, CO oluşumunun kinetiği gerçekte oldukça komplekstir. C ve H içeren hidrokarbonların veya alkollerin oksidasyonundan genellikle CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub>, CH, CHO ve H.CHO gibi ara ürünler oluşmaktadır. Bunların parçalanması ve oksidasyonu sırasında CO oluşmaktadır. CO'nun CO<sub>2</sub>'ye dönüşümünü daha ziyade OH radikalleri kontrol etmektedir.

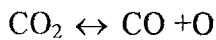


CO eksik yanma sonucu oluşmaktadır. Silindirde ÜÖN'dan sonra CO maksimum değerine ulaşmaktadır. Bunun bir miktarı genişleme zamanı esnasında, homojen su gazı reaksiyonuna göre, su buharı ile indirgenmektedir;



$$K_{SG}(T) = y_{\text{CO}_2}y_{\text{H}_2}/y_{\text{CO}}y_{\text{H}_2\text{O}}$$

Egzoz çıkışında CO konsantrasyonu 1600 - 2000 K sıcaklıklarındaki termokimyasal denge terkiibindedir. Motor hızı arttıkça bu süper denge konsantrasyonunu veren donma sıcaklığı da artmaktadır. HFK = 1 civarında CO oluşumu daha çok CO<sub>2</sub>'nin ısı parçalanması sonucu ile olmaktadır:

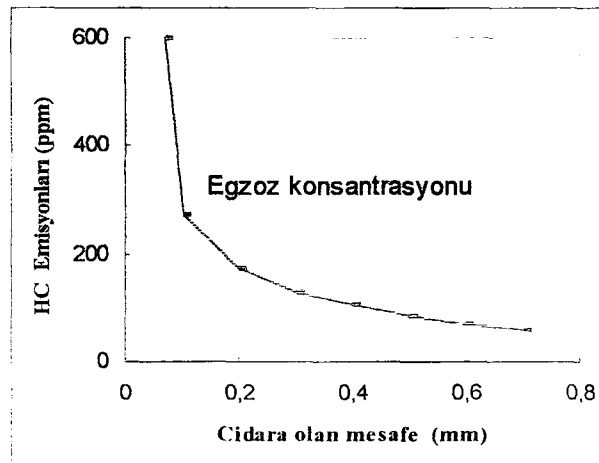


$$K_2(T) = y_{\text{CO}}y_{\text{O}}/y_{\text{CO}_2}$$

Borat'a (1994) göre, bu reaksiyona ait donma sıcaklığı 1650-1950 K mertebesinde dir. İşletme koşullarına bağı olarak silindirden çıkan CO egzoz borusunda oksitlenerek azalabilir. Bazen egzoz borusunda HC'ların eksik oksidasyonu sonucu CO miktarında artışa neden olabilmektedir.

### 3.7.2. Hidrokarbon (HC) emisyonları

Uygun sıcaklık, zaman ve yeteri miktarda oksijenli koşullarda gerçekleştirilen tam yanma sonucu  $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$  oluşur. Eksik, kısmi eksik, yetersiz ya da elverişsiz yanma hallerinde ise egzozda diğer ürünlerle birlikte kısmen yanmış ve yanmamış hidrokarbonlar ile bunların bileşikleri de görülebilir. Bunların yoğunluğu; motor tasarımına, kullanılan yakıtın cinsine, yanma ve taşıtın kullanım koşullarına göre değişir. Motorlardaki HC emisyonu daha çok tam yanma olmayan bölgelerden gelmektedir. Benzin motorlarında özellikle cidara yakın kısımlarda alev sönmektedir. Burada silindir cidarından iç kısımlara doğru gidildikçe HC miktarının azaldığı görülmektedir. Benzin ve dizel motorlarının egzoz borularındaki sıcaklık ve oksijen konsantrasyonunun yeterli olduğu hallerde HC'lar oksidasyonlarını devam ettirmektedirler. HC miktarının silindir cidarına olan uzaklıkla değişimi şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Silindir Cidarına Olan Mesafenin HC Oluşumuna Etkisi (Borat vd., 1994) .

### 3.7.3. Azot oksitler ( $\text{NO}_x$ )

NO oluşumunu aşağıda sıralanan faktörler etkiler;

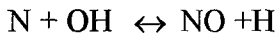
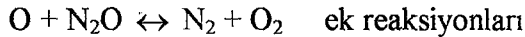
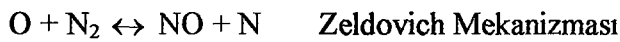
1. 1800 K'in üzerindeki sıcaklıklarda kalma süresi
2. Yeterli  $\text{O}_2$  bulunan bölgelerdeki maksimum sıcaklık
3. Mevcut  $\text{O}_2$  ve  $\text{N}_2$  miktarı.

NO'in genel reaksiyon hızı;

$$\frac{d(\text{NO})}{dt} = k(T) \cdot (\text{N}_2) \cdot (\text{O}_2)$$

şeklinde yazılabilir.

Genellikle  $\text{N}_2$  yeterince bulunduğundan kontrol daha çok zaman-oksijen-sıcaklık üçlüsüne bağlıdır.  $\text{HFK}=0.95$  civarında  $T_{\max}$ ,  $\text{HFK} = \infty$  için de  $(\text{O}_2)_{\max}$  gerçekleştiğinden maksimum NO değeri  $T_{\max}$  ve  $(\text{O}_2)_{\max}$  arasında, takriben  $\text{HFK} = 1.05-1.1$  değerlerinde ortaya çıkmaktadır.  $\text{NO}_x$ 'ler genellikle 1800 K üzerindeki yüksek sıcaklıklarda oluşmaktadır. Yanmalı sistemlerden atmosfere % 92-98 NO ve %2-8  $\text{NO}_2$  olarak atılmaktadır. NO'in teşekkülü, Zeldovich zincir reaksiyonu ile Lavoie-Heywood-Keck'in OH ve diğer reaksiyon ilaveleriyle ortaya koydukları mekanizmaya göre oluşmaktadır;



Bu reaksiyonların oluşumu çok yavaştır. Yeterli zaman olmadığından alev cephesinde doğan NO çok azdır. Hatta yanmış gazlarda bu reaksiyonlar devam etmesine rağmen dengeye ulaşamazlar.

Borat'a (1994) göre, bir benzin motorunda sıkıştırma sonunda ve genişleme zamanındaki sıcaklığa uyan (NO) denge konsantrasyonu ile NO kinetik konsantrasyonu arasında önemli fark vardır. Yanma süresinin başlarında gerçek NO çok azdır ve denge konsantrasyonunun çok altındadır. ÜÖN'dan sonra henüz NO teşekkülü yükselmeye devam etmektedir. Ancak bu yükselme hemen kaybolmakta ve sıcaklık 2100 K'in altına düştükten sonra konsantrasyon sabit kalmaktadır. Çünkü NO reaksiyonları bu sıcaklığın altında donmaktadır.

### 3.7.4. Benzin motorlarında kurşun oksitler (PbO)

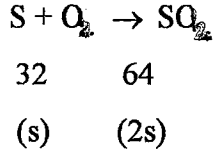
Benzin içerisine konulan kurşun tetra etil= $Pb(C_2H_5)_4$ =KTE (TEL=Tetra Ethyl-Lead) vuruntuya karşı kullanılır. Ancak kurşun oksidin yanma odasındaki ergime sıcaklığını düşürmek için klor bromlu kurşunun anorganik bileşikleri atmosfere atılır. Bu katkı maddeleri halen bazı ülkelerde kullanılan egzoz katalitik dönüştürücülerindeki yüzeylerin örtülmesine neden olduğundan istenmemektedir. Tabii ağır metallerden sayılan kurşun ve kurşun oksitler canlılar için çok zararlıdır. Batılı ülkelerde özellikle son yıllarda kurşunsuz benzin kullanımı yaygınlaştırılmıştır. Bu nedenle KTE miktarları artık sınırlandırılmaya başlanmıştır. Ülkemizde kullanılan benzindeki kurşun tetra etil miktarı Tablo 3.8'de verilmiştir.

**Tablo 3.8.** Türkiye'deki Benzinin Oktan Sayısı ve Kurşun Miktarları (Borat vd., 1995).

| Benzin | Oktan sayısı (OS) |          | Kurşun miktarı<br>(grPb/lt) |
|--------|-------------------|----------|-----------------------------|
|        | Araştırma OS;     | Motor OS |                             |
| Süper  | Min. 95           | 83-93    | 0,26-0,74                   |
| Normal | Min. 85           | 76-82    | 0-0,26                      |

### 3.7.5. Benzin motorlarında kükürtoksitler (SO<sub>x</sub>)

Benzinde kütleli olarak % 0,1'in altında, dizel yakıtlarında ise % 0,5 altında kükürt vardır. Basit olarak, çıkan SO<sub>x</sub>'in önemli bir kısmı SO<sub>2</sub> kabul edilir. Birim zamanda yakıtın  $m_y$ (kg Y/s), yakıttaki kükürdün kütleli kesri  $s'$ (kg/kg Y) olmak üzere, birim zamanda çıkan kükürt dioksit miktarı;



ifadelerinden anlaşılacağı gibi  $m_{SO_2} = 2m_y s'$

olacaktır. SO<sub>2</sub>, egzoz ve atmosferde kısmen SO<sub>3</sub>'e dönüşmektedir.

## BÖLÜM IV

### 4. MATERYAL VE METOD

#### 4.1. Deney Yeri ve Deneylerde Kullanılan Motorun Teknik Özellikleri

Deneyler, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarında yapılmıştır.

Tüm ölçümler için maksimum gücü 7.35 kW, hacmi 0.392 litre, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı Cussons marka bir benzin motoru kullanılmıştır. Ölçümler süresince motorun soğutma ve yağlama sistemlerinde hiç bir değişiklik yapılmamıştır. Deney Motoruna ait teknik özellikler Tablo 4.1'de verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Deney Motorunun Teknik Özellikleri (Cussons, 1995).

|                                        |         |
|----------------------------------------|---------|
| Marka                                  | Cussons |
| Model                                  | P8161   |
| Çap (mm)                               | 77.79   |
| Strok (mm)                             | 82.55   |
| Strok hacmi (cc)                       | 392.3   |
| Güç (kW)max. 3600 dak <sup>-1</sup>    | 7.35    |
| Moment (Nm)max. 2400 dak <sup>-1</sup> | 50.11   |
| Sıkıştırma oranı                       | 6:1     |
| Sıkıştırma oranı (değiştirildi)        | 7:1     |
| Sıkıştırma oranı (değiştirildi)        | 8:1     |
| Avans (KMA°)                           | 10      |
| Soğutma tipi:                          | Havalı  |

#### 4.2. Deneyde Kullanılan Yakıtlara İlişkin Özellikler

Deneylerde yakıt olarak, normal benzin ile % 96,6 saflıktaki etanol-normal kurşunsuz benzin karışımları kullanılmıştır. Benzin ve etanol'e ilişkin özellikler Tablo 4.2 ve 4.3'te verilmiştir.

**Tablo 4.2.** Deneylerde Kullanılan Benzinin Teknik Özellikleri (TPAO, 1984).

|                                                   |           |
|---------------------------------------------------|-----------|
| Bağıl yoğunluk, (kg/dm <sup>3</sup> , 15,6 °C'de) | 0,735     |
| Alt ısııl değer, Hu(kJ/kg)                        | 44001     |
| Korozyon, Bakır şerit (50 °C'de)                  | No:1      |
| Damıtım buharlaşmasına göre:                      |           |
| % 1 Hacmin buharlaştığı nokta (°C)                | 70        |
| % 5 Hacmin buharlaştığı nokta (°C)                | 150       |
| % 9 Hacmin buharlaştığı nokta (°C)                | 190       |
| % 10 Hacmin buharlaştığı nokta (°C)               | 225       |
| Kalıntı (% hacim)                                 | 2.0       |
| Doktor testi                                      | Negatif   |
| Sakızlaşmada var olan (mg/100 ml)                 | 5         |
| Oksitlenme dayanımı, etkilenme zamanı             | 380       |
| Araştırma oktan sayısı                            | 80        |
| Kurşun tetra etil Pb (g/dm <sup>3</sup> )         | 0,84      |
| Kükürt (% ağırlık)                                | 0,1       |
| Reid buhar basıncı (kg/cm <sup>2</sup> )          | 0,49-0,81 |

Tablo 4.3. Deney Etanol'ünün Teknik Özellikleri (Ş.F.Gen.Müdürlüğü, 1991).

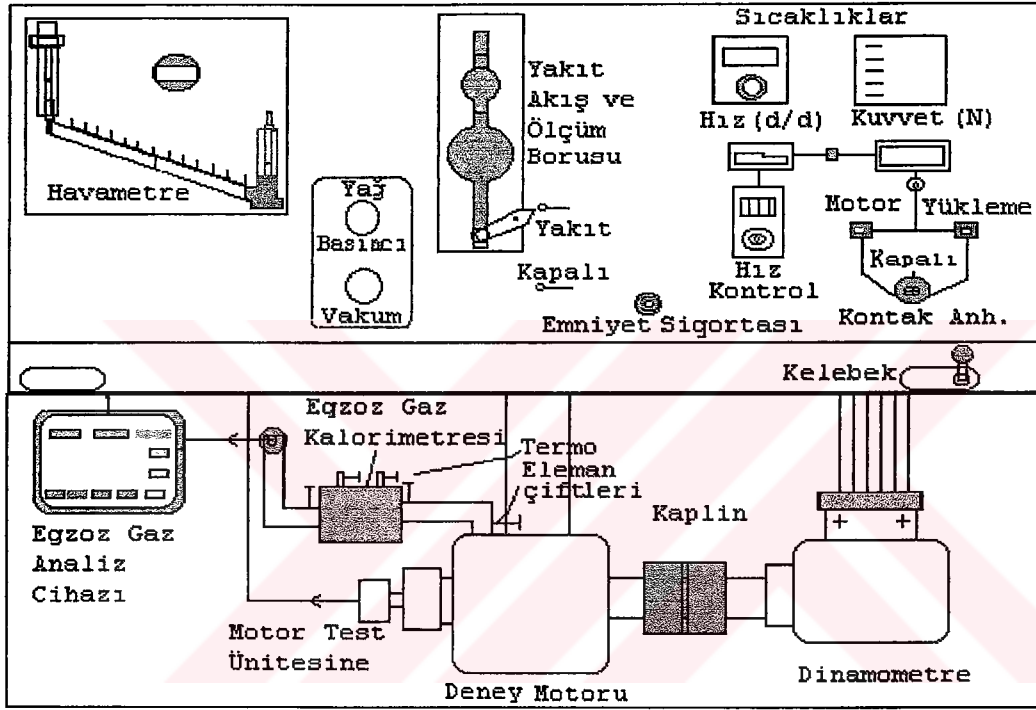
|                                                        |                   |
|--------------------------------------------------------|-------------------|
| Renk                                                   | renksiz ve berrak |
| Bağıl yoğunluk, (kg/dm <sup>3</sup> , 20 °C'de)        | en çok 0,81151    |
| Alt ısı değeri, Hu(kJ/kg)                              | 26771             |
| Etanol(% hacim, 20°C)                                  | en az 95          |
| Etanol(% ağırlık, 20°C)                                | en az 92.397      |
| Etanol (% hacim, 15°C)                                 | min 96            |
| Toplam asit (CH COOH olarak % ağırlık)                 | 0.003             |
| Toplam aldehit (CH CHO olarak mg/l)                    | en çok 20         |
| Toplam ester (CH COOC H olarak mg/l)                   | en çok 200        |
| Buharlaşma kalıntısı (% ağırlık)                       | en çok 0.005      |
| Metanol (% hacim 20° C)                                | en çok 0.1        |
| Permanganant testi (dakika)                            | en az 25          |
| Koromovski testi (50 dk.sonunda renk)                  | sarı              |
| Aseton ve diğer ketonlar (çökelti oluşmama süreci dk.) | en az 2           |

#### 4.3. Deney Motoru Üzerinde Yapılan Değişiklikler

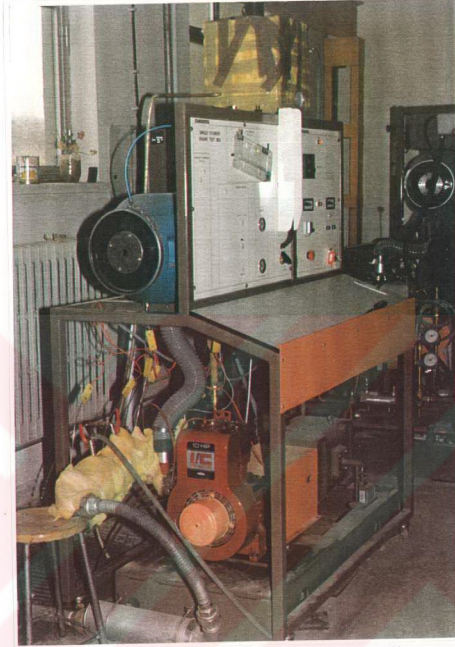
Deneyler sırasında motorun egzoz gazları ile dışarı atılan ısı miktarını tespit etmek için bir adet egzoz gaz kalorimetresi imal edilmiş ve deney motoruna monte edilmiştir. Etanol-benzin karışımlarının kullanılması durumlarında oluşabilecek faz ayrışmasını önlemek için ısıtma ve karıştırma fonksiyonlu yeni bir yakıt deposu tasarlanmıştır. Yüksek oktanlı yakıtların kullanılması durumunda, motor performansını geliştirmek amacıyla daha yüksek sıkıştırma oranlı motor kullanılabilir. Bu nedenle, motorun sıkıştırma oranı kademeli olarak (6:1'den 7:1 ve 8:1'e çıkarılarak) artırılmıştır. Alkollerin gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması ve bunun dolgu sıcaklığını azaltma etkisini ortadan kaldırmak amacıyla emme manifoldu kademeli olarak ısıtılmıştır.

#### 4.4. Deney Tesisatı

Deney tesisatının şematik görünümü şekil 4.1'de görülmektedir. Şekil 4.2'de ise deney tesisatının fotoğrafı verilmektedir.



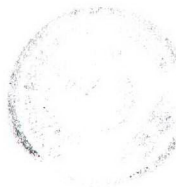
Şekil 4.1. Deney Tesisatının Şematik Olarak Görünüşü.



**Resim 4.1.** Deney Tesisatının (Fotografik) Görünümü.

#### 4.5. Deneylerde Kullanılan Ölçü Aletleri

Deneyler sırasında yakıt ve hava tüketimi ile motor torku, yakıtın giriş sıcaklığı, motorun karter yağ sıcaklığı, egzoz gaz kalorimetresinin su ve gaz giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmektedir. Egzoz gaz analizörü kullanılarak, egzoz gaz miktarları ölçülmüştür. Ölçüm cihazlarına ilişkin teknik özellikler aşağıda verilmiştir.



#### 4.5.1. Egzoz gazı analiz cihazı

Egzoz gaz analizi için egzoz borusundan sürekli örneklem yöntemiyle  $\pm \% 1$  hassasiyetle ölçüm yapan SUN marka, MGA-1200 model, dijital, infrared egzoz gazı analizörü kullanılmıştır. Analizör; karbonmonoksit, karbondioksit ve oksijenin egzoz gazındaki hacimsel yüzdesini, hidrokarbonun değerini ise ppm olarak ölçebilmekte; ayrıca, motor devir sayısını, karter yağ sıcaklığını, karışım oranını ya da hava fazlalığını sayısal olarak belirleyip ekrana yansıtabilmektedir. Ölçüm sırasında değerler istendiği anda ekranda dondurularak cihaza bağlı olan yazıcıyla alınabilmektedir. Yazılım sona erdiğinde donma kendiliğinden ortadan kalkmakta ve işlem yeniden başlamaktadır.

Analizörün egzoz gazını egzoz borusundan alan ve cihaza gönderen özel bir hortumu ve probu bulunmaktadır. Probun egzoz borusu içerisine en fazla 30 cm sokulması, motor devir sayısını belirlemek için sinyal alıcının buji kablosuna, sıcaklık ölçerin de yağ çubuğu yerine takılması gerekir.

Analizörün belli bir motor ve ortamda kullanılabilmesi için önce, 2 ya da 4 zamanlı çevrime, normal ya da super benzine, karışım oranı ya da hava fazlalık katsayısına ve bulunan yerin deniz seviyesinden yüksekliğine göre ayarlanması gerekir.

Analizör çalıştırıldıktan 15 dakika sonra ölçüme hazır hale gelmektedir. Probun egzoz borusuna motor ısındıktan sonra takılması, ölçümlerin karter yağ sıcaklığı 75 °C'ye ulaştıktan sonra yapılması gerekmektedir [SUN, 1990].

#### 4.5.2. Yakıt tüketimi ölçme cihazı

Yakıt tüketimi ölçümünde, FC-812 model Okuda marka, hacimsel olarak  $\pm \% 1$  hassasiyetle ölçüm yapabilen, periyodik darbe sistemli ve keyboard/software yöntemi ile çalışan, dijital ve yazıcı bir yakıt ölçer kullanılmıştır.

Yakıtmetre; kendi programına dayalı olarak, gidilen yolu (km)ya da hareketsiz durumdaki çalışma süresindeki (h/d/s) toplam yakıt tüketimini (lt), toplam ölçüm süresini

(h/d/s), hız ortalamasını (km/h) belleğine kaydetmekte ve bu verileri ölçüm sonunda yazıcıya aktarabilmektedir. Ayrıca cihaz, ölçüm yapılan hızla gidildiğinde bir litre yakıtla kaç km yol alınabileceğini, yine aynı hızla yol alındığında saatte tüketilebilecek yakıt miktarını da vermektedir.

Yakıtölçerin çalışabilmesi için 12 voltluk akım gereklidir bu da akü ya da aracın sigara çakmağından sağlanabilmektedir. Karbüratör ile benzin otomatiği arasındaki yakıt devresine seri olarak bağlanan ve yakıt tüketimini ölçen bir algılayıcı bulunmaktadır. Motor çalıştırılıp devreden yakıt akışı başladığında, algılayıcı gerekli ölçüm sinyallerini cihaza aktarmakta, sinyaller burada sayısal değerlere dönüşmektedir.

#### **4.5.3. Ayarlanabilir avans tabancası**

Deneyler sırasında motor ateşleme avansı kademeli olarak (5°, 10°) değiştirilmiştir. Bu amaçla Craftsman-2194 model SEARS marka ayarlanabilir bir avans tabancası kullanılmıştır.

Heywood'a (1988) göre, alkollerin yanma hızı benzine göre daha yüksek olması nedeniyle, motorda maksimum momenti elde edebilmek için ateşleme avansının biraz azaltılması gerekir. Yüksel'e (1997) göre, etanol-benzin karışımı ile yapılacak olan çalışmalarda ateşleme sistemi, emme sistemi ve soğutma sistemi üzerinde uygun değişiklikler yapılmalı, motor parametrelerinin nasıl değişeceği araştırılmalıdır.

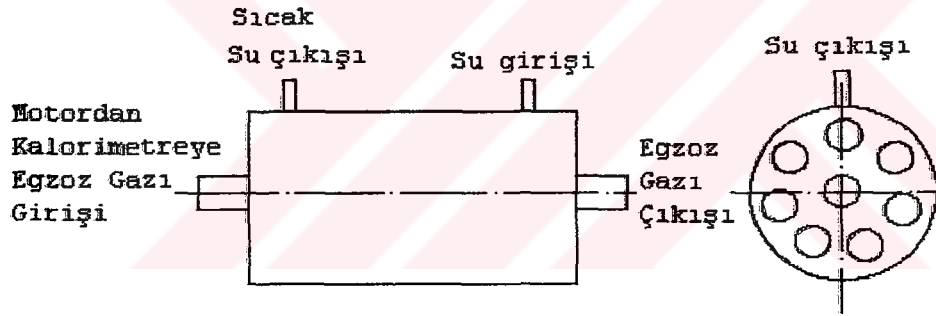
#### **4.5.4. Dinamometre ünitesi**

P8160 model Cussons marka elektrikli dinamometre ünitesi motorun güç ölçümünde kullanılmıştır. Bu ünite, motor çalışmadığı zaman dinamo olarak çalıştırılabilmekte ve motorun değişik devirlerindeki sabit hızlarda mekanik kayıplarını tespit edilebilmektedir. Motor, sabit gaz keleşği açıklığında ve sabit hızlarda yüklenerek motor momenti ölçülmüştür. Yine giriş havası sıcaklığı, yakıt giriş sıcaklığı, yağlama yağı sıcaklığı ve egzoz gazı sıcaklığı tespit edilmiştir. Sistemin üzerinde bulunan eğik

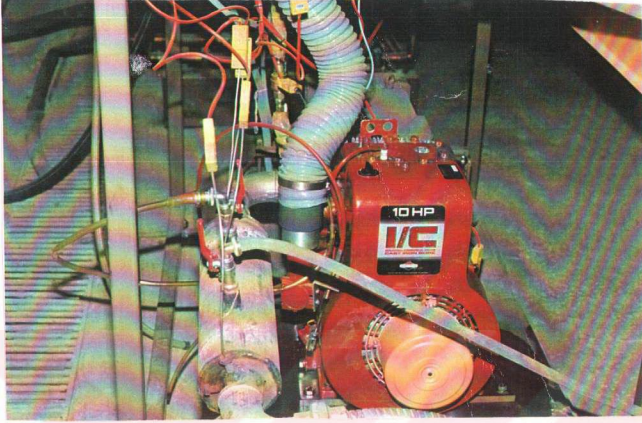
manometre yardımıyla orifisten geçen hava miktarı belirlenebilmiştir. Yakıt sistemine monte edilen iki kademeli dereceli ölçü şişesi ile tüketilen yakıt miktarı tespit edilmiştir.

#### 4.5.5. Egzoz gaz kalorimetresi

Deney setine bir egzoz kalorimetresi eklenmiş, tasarlanan egzoz kalorimetresi motorun egzoz manifoldu çıkışına bağlanmıştır. Deneyler sırasında kalorimetre üzerinde egzoz gazı giriş ve çıkış sıcaklığı, kalorimetre soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüş ve egzoz sistemi ile dışarı atılan ısı miktarı (ısı kayıpları) belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan egzoz gaz kalorimetresinin şematik görünümü Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4. 2. İmal Edilen Egzoz Gaz Kalorimetresinin Şematik Görünümü.



**Resim 4.2.** İmal Edilen Egzoz Gaz Kalorimetresinin (Fotografik) Görünümü.

#### 4.5.5.1. Özgül ısıların belirlenmesi

Eğitim amaçlı deneyler için egzoz gazı tahmini bir  $C_{p,E}$  ( $1.05 \text{ kJ/kg K}$ ) değeri kullanılabilir. Gerçek anlamda egzoz gazlarının bileşimi motora ve çalışma koşullarına bağlı olarak değişim gösterdiğinden ortalama  $C_{p,E}$  değeri de değişecektir. Dolayısıyla hassas ölçüm ve analizler için  $C_{p,E}$  değerini belirlemek amacıyla egzoz gaz kalorimetresi kullanılır (Borat vd., 1995). Bu nedenle hassas analiz ve ölçümler için yukarıda Şekil 4.1'de şematik olarak verilen ısı eşanjörü gibi çalışan egzoz gaz kalorimetresi kullanılmıştır.

Egzoz gazlarının soğutulmasında soğutucu akışkan olarak  $C_p$  değeri bilinen su kullanılmıştır. Suyun ve egzoz gazının giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüş ve aynı zamanda suyun ve egzoz gazının debileri de tespit edilmiştir.

Suyun özgül ısısı,  $C_{p,w} \cong 4.217 \text{ (kJ/kg K)}$  olarak seçilmiştir.

#### 4.5.5.2. Toplam egzoz ısının belirlenmesi

Egzoz gazları geçişi sırasındaki ayrıntılı ısı, bir enerji akış oranı şeklinde gösterilebilir;

$$\dot{Q}_{it} = m_g \cdot C_{p,E} \cdot (T_{mr} - T_{r1}) + m_w \cdot C_{p,w} \cdot (T_{w1} - T_{w2}) + m_g \cdot C_{p,E} \cdot (T_{r2} - T_0) \quad (4.1)$$

egzoz gaz kalorimetresinin gövdesindeki ısı kaybını ihmal edersek, ısı dengesi aşağıdaki gibi gösterilebilir (Cussons, 1995);

$$m_g \cdot C_{p,E} \cdot (T_{r1} - T_{r2}) = m_w \cdot C_{p,w} \cdot (T_{w2} - T_{w1})$$

$$m_g \cdot C_{p,E} = m_w \cdot C_{p,w} \cdot (T_{w2} - T_{w1}) / (T_{r1} - T_{r2})$$

Bu ifade 4.1 nolu denklemde yerine yazılırsa,

$$\dot{Q}_{it} = m_w \cdot C_{p,w} \cdot (T_{w2} - T_{w1}) \cdot (T_{mr} - T_0) / (T_{r1} - T_{r2}) \quad (4.2)$$

şeklinde elde edilir.

$\dot{Q}_{it}$ : Toplam egzoz ısısı (kW)

$m_g$ : Egzoz gazı debisi (kg/sn)

$C_{p,E}$ : Egzoz gazı özgül ısısı (kJ/kg K)

$m_w$ : Soğutma suyu debisi (kg/sn)

$C_{p,w}$ : Suyun özgül ısısı (kJ/kg K)

$T_{mr}$ : Motor egzoz gazı sıcaklığı (°K)

$T_{r1}$ : Egzoz gazı kalorimetreye giriş sıcaklığı (°K)

$T_{r2}$ : Egzoz gazı kalorimetreden çıkış sıcaklığı (°K)

$T_{w1}$ : Soğutma suyu giriş sıcaklığı (°K)

$T_{w2}$ : Soğutma suyu kalorimetreden çıkış sıcaklığı (°K)

$T_0$ : Ortam havası sıcaklığı (°K)

Egzoz gazı debisi ( $m_g$ ) kabaca bir çevrimde içeri alınan hava miktarı (hava debisinden yola çıkarak) ve karışımdaki yakıt miktarı dikkate alınarak hesaplanır, ancak segmanlar arasında ve kartere kaçan kompresyon kaçakları ihmal edilerek, egzoz gazı debisi emme sırasında içeri alınan hava debisine eşit kabul edilebilir. Deneylerde üç değişik hava-yakıt karışım oranında (13.5; 14.5 ve 15.5) çalışıldığından, egzoz debisi;

$$m_{g1} = m_{h1} + m_{y1}/13.5$$

$$m_{g2} = m_{h2} + m_{y2}/14.5$$

$$m_{g3} = m_{h3} + m_{y3}/15.5$$

şeklinde hesaplanabilir.

Ayrıca deneyler sırasında su debisi ölçülerek 600 gr/dak = 0.01 kg/sn olarak tespit edilmiştir.

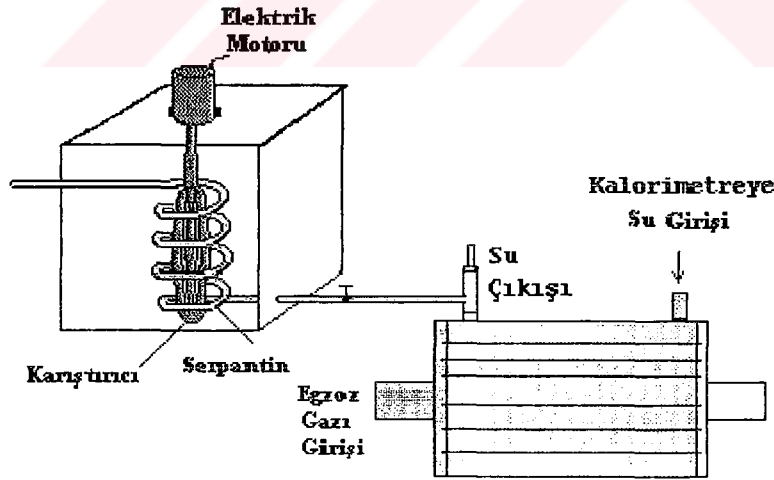
#### 4.5.6. Isıtma ve karıştırma fonksiyonlu yakıt deposu

Isıtma ve karıştırma fonksiyonlu yakıt deposu ile alkol-benzin karışımları motor yakıtı olarak kullanılırken karşılaşılan bazı problemlerin ortadan kaldırılması hedeflenmiştir.

Alkol-benzin karışımları ile motorun çalıştırılmasında değişik yöntemler üzerinde çalışmalar ve araştırmalar yapılmaktadır. Bunların başında benzin ve alkolün bir tank içerisinde karıştırılmasıdır. Bu yöntemde karşılaşılan önemli problem benzin ve alkolün tank içerisinde faz oluşturarak ayrışmasıdır. Karışımın faz oluşturması karışımın oranına, ortam sıcaklığına ve alkolün absorbe ettiği nem (su) miktarına bağlı olmaktadır; sıcaklık düştükçe etanolün benzin içerisinde eriyen yüzdesi azalmaktadır. Sıcaklıktan sonra faz ayrışmasına yol açan en önemli faktör, karışımdaki su miktarıdır. Meydana gelen faz ayrışmasında alkol deponun alt tarafında benzin ise deponun üst tarafında toplanmaktadır. Bu yalnızca alkol silindire sevkedilmektedir. Bu nedenle, motorun ilk çalıştırılması sırasında bazı zorluklarla karşılaşılmaktadır. Çelik'e (1994) göre, metanol-benzin karışımı

kullanılacak olan motorlarda, soğukta ilk hareketi kolaylaştıracak sistemler üzerinde çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Etanol-benzin karışımlarının faz ayrışmasını önlemek ve ilk hareket zorluklarını ortadan kaldırmak amacıyla imal edilen deponun içerisine bir karıştırıcı (mikser) yerleştirilmiştir. Karıştırıcı, 12 voltluk gerilimle çalışan bir elektrik motoru miline monte edilmiştir. Etanol-benzin karışımlarında faz ayrışması sorununu ortadan kaldırmak için değişik ve pahalı katıklar kullanmak yerine, depoya monte edilen karıştırıcı sayesinde bu katıkların kullanımına gerek kalmadığı gibi homojen bir karışım elde edilmiş ve faz ayrışması probleminin önüne geçilmiştir. Geliştirilen deponun şematik görünümü Şekil 4.3'te verilmiştir. Ayrıca, helisel olarak kıvrılan bir bakır boru yakıt deposu yerleştirilmiş, borunun giriş ve çıkış uçları depodan dışarı alınmıştır. Deponun üst tarafında bulunan giriş ucuna egzoz gaz kalorimetresinde ısınan soğutma suyu verilmektedir. Çıkış kısmına bir kısıcı musluk takılarak borudan dökülecek sıcak su miktarını kontrol etmek suretiyle borudaki sıcak suyun ısısının yakıtı geçmesi ve yakıt sıcaklığının istenilen değerde tutulması sağlanmıştır.



Şekil 4.3. Isıtma ve Karıştırma Fonksiyonlu Yakıt Deposunun Şematik Görünümü.

"Soğuk ortamda bir motorun ilk çalıştırılması sırasında benzin iyi bir şekilde buharlaşamaz. Dolayısıyla karışıma dahil olacak havanın önceden ısıtılması gerekir. Bundan başka manifold ve motorun diğer parçaları halen soğuk iken, benzin manifold iç cidarlarına yapışma eğilimini göstererek

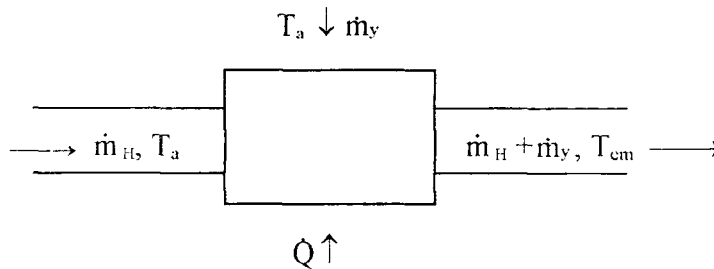
hava yakıt karışımının aşırı fakir olmasına neden olur. Bunu engellemek için, motor yeteri derecede ısınana kadar manifoldu ısıtmak gerekir" [Ata vd. 1995].

Otomatik sıcak hava emiş (HAI) sisteminde, emme havasının sıcaklığı ITC (Emme havası sıcaklık dengeleme valfi) tarafından hissedilerek hem soğuk olan dış havanın hem de egzoz tarafından ısıtılan havanın emme havasının sıcaklığına bağlı olarak içeri alınması otomatik olarak gerçekleştirilir. Emme havası sıcaklığı her zaman optimum sıcaklıkta kalacağından;

1. Motor soğuk iken yakıt yeteri kadar buharlaşabilir.
2. Motorun ısınması için gereken süre kısaltılmış olur.
3. Soğuk motorun çalışması daha düzenli olur.
4. HC ve CO emisyonlarının miktarı azaltılır.

#### 4.5.7. Emme manifoldunda ısı transferi

Emme havası karbüratörden geçerken ventürideki basınç düşmesinden dolayı, yakıt ventüriden geçen havanın içerisine akmaya başlar. Yakıt zerreleri bu andan itibaren buharlaşmaya başlar. Böyle bir karbüratörde basitçe ısı transferi işlemi Şekil 4.4'te görüldüğü gibidir. Motorda emme olayını sürekli kabul ederek, sürekli akış durumu için enerji denklem kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilerek ve çevrenin sistem üzerinde herhangi bir iş yapmadığı kabul edilirse,



Şekil 4.4. Karbüratöre Ait Basit Bir Isı Transferi Modeli (Borat vd., 1995).

$$Q + \dot{H}_g - \dot{H}_f = 0$$

yazılabilir. Özgül ısılar sabit alındığında,  $T_0$  referans sıcaklığı,  $T_a$  atmosfer sıcaklığı,  $T_{em}$  emme manifoldu sıcaklığı olmak üzere,

$$Q + [\dot{m}_H \cdot C_{pH} \cdot (T_a - T_0) + \dot{m}_y \cdot C_{py} \cdot (T_a - T_0)]_g = [\dot{m}_H \cdot C_{pH} \cdot (T_{em} - T_0) + (\dot{m}_y - \dot{m}_B) \cdot C_{py} \cdot (T_{em} - T_0) + \dot{m}_B \cdot C_{pB} \cdot (T_{em} - T_0) + \dot{m}_B \cdot q_B]_f \quad (4.3)$$

Eğer  $Q=0$  ve  $T_0=T_a$  alınırsa eşitliğin sol tarafı sıfır olur ve

$$T_{em} - T_a = \frac{\dot{m}_H \cdot q_B}{\dot{m}_H \cdot C_{pH} + (\dot{m}_y - \dot{m}_B) \cdot C_{py} + \dot{m}_B \cdot C_{pB}} \quad (4.4)$$

olarak sıcaklıktaki azalma bulunmuştur (Borat vd., 1995).

Burada sadece ventüri kontrol hacmi olarak seçilmiş ve  $Q$  ısısı da dikkate alınmıştır. Buna göre, denklem aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$Q_1 + [\dot{m}_H \cdot C_{pH} \cdot (T_a - T_0) + \dot{m}_y \cdot C_{py} \cdot (T_a - T_0)]_g = [\dot{m}_H \cdot C_{pH} \cdot (T_{em} - T_0) + (\dot{m}_y - \dot{m}_B) \cdot C_{py} \cdot (T_{em} - T_0) + \dot{m}_B \cdot C_{pB} \cdot (T_{em} - T_0) + \dot{m}_B \cdot q_B]_f \quad (4.5)$$

$$Q_1 = h_a \cdot A_v \cdot (T_a - T_0) \quad (4.6)$$

Burada  $A_v$  Ventüri yan yüzey alanıdır. Hesaplama kolaylığı bakımından ventüri iki simetrik koni gibi düşünülebilir. Koni taban çapı  $D$ , dar kısmının çapı  $d$ , yanal yüzeyin boyu  $m$  ve yüksekliği  $h$  olmak üzere, ventürinin yan yüzey alanı, simetrik iki kesik koni yan yüzey alanından gidilerek yaklaşık değer olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir,

$$A_{koni} = (\pi \cdot m/2) \cdot (D+d) = 2 \cdot \pi \cdot p \cdot h \quad (4.7)$$

$$m = (((D-d)/2)^2 + h^2)^{0.5}$$

$$A_{koni} = (\pi/2) \cdot (((D-d)/2)^2 + h^2)^{0.5} \cdot (D+d)$$

$$A_v = 2 \cdot A_{koni}$$

yazılabilir.

$$A_v = 2 \cdot \left[ \left( \frac{\pi}{2} \right) \cdot \left( \left( \frac{D-d}{2} \right)^2 + h^2 \right)^{0.5} \cdot (D+d) \right] \quad (4.8)$$

$A_v$ 'nin değeri denklemde yerine yazılırsa,

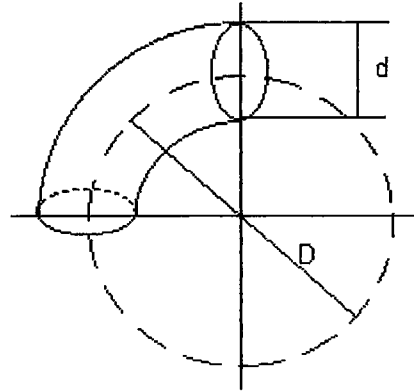
$$Q_1 = h_a \cdot 2 \cdot \left[ \left( \frac{\pi}{2} \right) \cdot \left( \left( \frac{D-d}{2} \right)^2 + h^2 \right)^{0.5} \cdot (D+d) \right] \cdot (T_a - T_0)$$

şeklinde hesaplanabilir.  $Q_1$  değeri denklemde yerine konur ve sıcaklık cinsinden yazılırsa;

$$T_{em} - T_0 = \frac{\left[ h_a \cdot 2 \cdot \left[ \left( \frac{\pi}{2} \right) \cdot \left( \left( \frac{D-d}{2} \right)^2 + h^2 \right)^{0.5} \cdot (D+d) \right] + \left[ \dot{m}_H \cdot C_{pH}(T_a - T_0) + \dot{m}_Y \cdot C_{pY} \cdot (T_a - T_0) - \dot{m}_B \cdot \dot{q}_B \right] \right]}{\left[ \dot{m}_H \cdot C_{pH} + (\dot{m}_Y - \dot{m}_B) \cdot C_{pY} + \dot{m}_B \cdot C_{pB} \right]} \quad (4.9)$$

olarak emme manifoldu sıcaklığındaki artış tespit edilebilir.

Termodinamiğin II. kanununa göre ısı daima sıcak kaynaktan soğuk kaynağa doğru akar. Çalışma sırasında motor blokunun sıcaklığı manifold sıcaklığından daha yüksek olduğundan, motordan manifolda doğru bir ısı iletimi olmaktadır. Deney motoru üzerinde bulunan emme manifoldu çeyrek halka şeklinde olup, şematik olarak Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Deney Motoru Emme Manifoldu Şematik Şekli.

Manifoldun konstrüksiyonu ve malzemesi de dikkate alınarak, motor blokundan emme manifolduna olan ısı iletimini aşağıdaki gibi matematiksel bir ifade şeklinde yazabiliriz.

$Q_2$ : Motor blokundan emme manifolduna iletim ile geçen ısı.

$T_{emiç}$ : Manifold iç cidar sıcaklığı

$T_{akışkan}$ : Akışkan sıcaklığı

$k$ : Kondüksiyon ısı iletim katsayısı

$$Q_2 = k \cdot A_0 \cdot (T_{emiç} - T_{akışkan}) \quad (4.10)$$

Manifoldun kesit alanı ( $A_0$ ),

$$A_0 = ((D^2 - d^2) \pi) / 4$$

$A_0$ 'ın değerini yerine yazarsak,

$$Q_2 = k \cdot ((D^2 - d^2) \pi) / 4 \cdot (T_{emiç} - T_{akışkan}) \quad (4.11)$$

elde edilir.

#### 4.5.8. Emme manifoldunun ısıtılması

Etanolün buharlaşması için benzine göre daha fazla ısı enerjisine ihtiyaç duyulmakta ve buharı da daha düşük sıcaklıklarda yoğunlaşmaktadır. Bunun sonucu, motorun ilk harekete geçebilmesi için sıcak havaya gereksinim vardır. Buharın yoğunlaşmaması için de yine yüksek sıcaklığa ihtiyaç bulunmaktadır. Bu nedenlerle emme manifoldu deneyler sırasında ısıtılmıştır. Bakır bir boru helisel olarak emme manifoldunun üzerine sıkça sarılmış, giriş tarafı egzoz gaz kalorimetresi sıcak su çıkışına bağlanmıştır. 90-95 °C'de kalorimetreden çıkan sıcak su emme manifolduna sarılmış olan helisel borudan geçerek manifoldu ısıtmaktadır. Manifoldtan geçen dolgunun sıcaklığı hassas bir termo eleman çifti ile kontrol edilerek, istenen değere getirmek için, helisel borudan geçen su debisi ayarlanmaktadır.

Çelik'e (1994) göre, metanol-benzin karışımı kullanılacak olan motorlarda, karışımın emme manifoldunu soğutma derecesinin performansa olan etkisi araştırılması

gerekmektedir. Ayrıca, karbüratörün ventürü boğazındaki hızın artması, basıncın düşmesi ve buharlaşmadan dolayı yakıtın manifold cidarından ısı çekmesi ile manifoldta bir soğuma ve tedbir alınmazsa, buzlanma meydana gelebilmektedir. Bu soğuma gizli buharlaşma ısıları yüksek olan yakıtlar kullanıldığında kendini daha çok hissettirmektedir. Soğumanın etkisini azaltmak için emme manifoldu ısıtılmıştır. Emme manifoldu üzerine helisel olarak sarılan bakır borudan sıcak su geçirilmek suretiyle ısıtma gerçekleştirilmektedir. Manifold dış ortamdan izole edilmiştir. Isıtılma nedeniyle  $Q_3$  ısını aşağıdaki gibi yazabiliriz,

$$Q_3 = \dot{m}_{w2} \cdot C_{pw2} \cdot (T_{w2} - T_{w3}) \quad (4.12)$$

Benzin motorlarında karbüratörden geçen havaya benzin zerrecikler halinde püskürmektedir. Manifold boyunca buharlaşma olmamaktadır. Karbüratörün emdiği hava miktarı aynı zamanda emilen yakıt kütlesini de etkilemektedir. Emme işleminde aşağıda kısaca açıklanan ayrıntılar önem arz etmektedir.

1. Yakıtın emme manifoldunda tamamen buharlaşması istenmez. Çünkü yakıt buharı havanın yerini alacağından volümetrik verim düşecektir.
2. Sıkıştırma zamanında dolgunun yakıt zerrecikleri içermesi ve bunların sıkıştırma sırasında buharlaşması istenir. Bu sayede dolgudan buharlaşma ısı çekilip sıcaklığı düşürülür. Bu nedenle vuruntuya neden olacak ön reaksiyonlar ile erken tutuşma olasılığı azalma gösterir.
3. Yakıtın buharlaşma süresi uzadıkça silindir cidarlarına temas ederek yağlama yağına karışan benzin miktarı fazlalaşacaktır.
4. Manifoldta yakıt zerreciklerinin bulunması silindirden silindire H/Y oranının değişmesine yol açar. Çünkü yakıt zerrecikleri ataletlerinden dolayı silindirlere eşit şekilde dağılamazlar. Bu nedenle çift karbüratör ya da benzin püskürtme sistemleri kullanılmaktadır. Böylece her silindirde H/Y oranı aynı mertebede tutulmaya çalışılmaktadır.
5. Motor silindirine girişteki kütleli hava/buhar oranı;

$$H/B = m_H/m_B = (m_H/m_Y)/(m_B/m_Y) = (H/Y)/(B/Y) \quad (4.13)$$

bağıntısı ile gösterilebilir. H: Hava, Y: Yakıt, B: Buhar'ı belirtmektedir (Borat vd., 1995).

"Karbüratör girişinde havanın ısıtılması ile hava-yakıt karışım giriş sıcaklığı normal çalışma durumunun 10 °C üzerine çıkarılmıştır. Alınan sonuç termik verimde % 1'lik iyileşmeye karşın volümetrik verimde % 15'lere varan düşme şeklindedir. Karbüratör giriş boğazı soğutma suyu veya egzoz gazı yardımıyla uygun şekilde ısıtılmalı ve yapılan bu düzenlemelerin verim üzerindeki etkileri araştırılmalıdır" (Yüksel, 1997).

Yukarıdaki bilgiler de dikkate alınarak giriş havasının ısıtılması ile havanın genleşeceği ve yeteri kadar hava içeri alınamayacağı için hacimsel verim düşeceğinden yola çıkarak, giriş havası ısıtma yerine emme manifoldu kademeli olarak ısıtılmıştır. Q1, Q2 ve Q3 ısılarının hesaplanmasının amacı, manifoldtan geçen dolgunun sıcaklığını belirli bir değerde tutmak ve bunun için manifolda dışarıdan verilmesi gereken ısıyı hesaplamaktır.

#### **4.6. Silindir Üst Kapağının imal edilmesi ve Sıkıştırma Oranının Değiştirilmesi**

Benzin motorlarında iyi bir yanma ve yanma sonu basıncı elde edebilmek için karışımın sıkıştırılması ve sıkıştırıldıktan sonra ateşlenmesi gerekir. Benzin motorlarında karışımı istenilen oranda sıkıştırmak mümkün olamamaktadır. Kullanılacak yakıtın kendi kendine tutuşmasına sebebiyet vermiyecek şekilde karışımın sıkıştırılması gerekir. Piston AÖN da iken üzerindeki hacim, silindir hacmi (kurs hacmi) ile yanma odası hacminin toplamına eşittir. ÜÖN'ya geldiği zaman ise; üzerindeki hacim yalnız yanma odası hacmidir. Toplam silindir hacminin, yanma odası hacmine oranına sıkıştırma oranı denir. Sıkıştırma oranının gerekliliği; 1. Sıkıştırma anında meydana gelen ısı, yakıt ile havayı daha iyi karıştırarak yanmanın düzgün ve kolay olmasını sağlar. 2. Sıkıştırılarak ateşlenen karışımın yanma sonu basıncı, sıkıştırılmadan ateşlenen karışımın yanma sonu basıncından çok daha fazla olur. Deneylerde kullanılan etanol-benzin karışımlarının oktan sayısı

benzine göre daha yüksek olduğundan, daha yüksek sıkıştırma oranlarına çıkmak mümkün olmaktadır.

Bu amaçla, motorun silindir üst kapağı piston alaşım malzemesinden aslına uygun bir şekilde döküm ile imal edilmiş ve yanma odası CNC Freze ve torna tezgahları ile hassas bir şekilde işlenmiştir. Ekler kısmında yanma odası resmi verilmiştir. Yanma odasının şekli aynen korunmaya çalışılmış sadece hacmi küçük tutularak, sıkıştırma oranı 6:1'den 7:1 ve 8:1'e conta kalınlığı değiştirilmek suretiyle sağlanmıştır.

#### **4.7. Deney Yöntemi ve Yakıtları**

Deneyler, önce normal benzin ile (1/4, 1/2 ve 1/1 yük altında) ve değişik motor devirlerinde (1500, 2000, 2500, 3000 ve 3500 d/dak) yapılmıştır. Sonra aynı devir ve kelebek açıklıklarında yakıt olarak etanol-benzin karışımları (hacimsel olarak % 10 etanol (E10) + % 90 benzin; % 20 etanol (E20) + % 80 benzin ve % 30 etanol (E30) + % 70 benzin) kullanılmıştır.

Bu çalışma koşullarında önce normal manifold (hava-yakıt karışımı) sıcaklığında ( $T_0$ ) çalışılmış, sonra işlemler manifold sıcaklığının kademeli olarak (hava-yakıt karışımının) normal sıcaklık değerinin 10 ve 20 °C üzerindeki sıcaklıklarda yapılmıştır.

##### **4.7.1. Deney yakıtının oktan sayısı**

Deneylerde; yakıt olarak; benzinli çalışma kısmında normal benzin, karışım kısmında ise aşağıda karışım oranları verilen etanol-benzin karışımları kullanılmıştır. Karışımların hazırlanmasında normal kurşunsuz benzin ve T.C.Tekel İşletmeleri Elazığ Şarap Fabrikası aracılığı ile Erzurum Şeker Fabrikasından sağlanan % 96.6 saflıktaki etanol kullanılmıştır.

Oktan sayısı motorun performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Normal benzinin oktan sayısının düşük olması, yüksek devirli, yüksek güçlü ve yüksek sıkıştırma oranlı motorlarda vuruntulu yanma nedeni ile istenen performans elde edilememektedir. Bu nedenle benzinlere vuruntu önleyici, yani oktan sayısı artırıcı katıklar katılmaktadır. İlave edilen katıklardan en önemlileri;

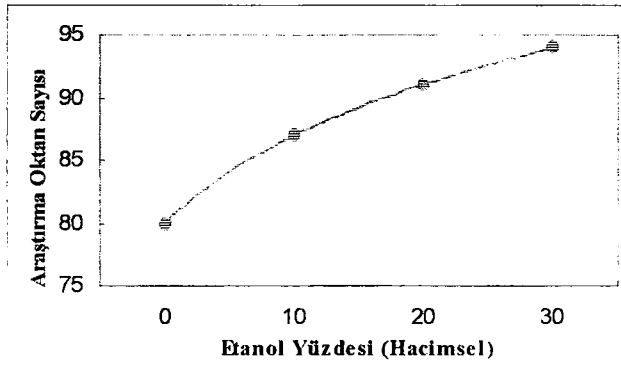
TEL: Tetra Ethyl Lead (Kurşun tetra etil)

TML: Tetra Methyl Lead (Kurşun tetra metil)

TMEL: Tetra Methyl-Ethyl Lead (Kurşun tetra etil-metil)

gibi kurşun bileşikleridir. Bu katıkların oktan sayısını artırması ile birlikte, yanma ürünlerinde kurşun oksitlerin meydana gelmesi doğal çevreye zarar vermektedir. Kurşun oksitlerin son derece zehirleyici etkiye sahip olmaları nedeniyle kurşunlu benzinlerden kaçınmak; kurşunsuz benzin kullanmak ve alkollü benzin kullanımını araştırmak gerekir.

Bu çalışmada kullanılan karışımların araştırma oktan sayıları TÜPRAŞ Batman Bölgesi Tesislerinde, Oktan Test Motoru ile tespit edilmiştir. Karışımlarda kullanılan benzin 80 oktanlı(araştırma oktan sayısı) normal benzindir. Karışımındaki etanolün yaklaşık % 2'lik bir artış oranına bağlı olarak karışımın oktan sayısında yaklaşık 1 birimlik artış olduğu görülmüştür. Şekil 4.6'da deney yakıtının belirlenen araştırma oktan sayısının etanol yüzdesi ile değişimi görülmektedir. Türkiye Petrolleri tarafından üretilen normal benzinde en çok 0.15 gr Pb/lt, super benzinde ise, en çok 0.4 gr Pb/lt değerleri verilmektedir (TPAO, 1984).



Şekil 4.7. Deney Yakıtının Belirlenen Araştırma Oktan Sayısı.

#### 4.7.2. Egzoz gazı Analizi

Deney düzeni ve yöntemler için TS 5648, TSE 4236 Standartları ile emisyon kontrol standartlarından yararlanılmıştır. Ölçümleri etkileyebilecek olan motor devri, hava-yakıt oranı ve motorun karter yağ sıcaklığı belirli sınırlar içerisinde kontrol altında tutulmuştur. Böylece, sonuçların bu değişkenlerden değil, deneysel değişkenlerden gelmesi sağlanmıştır.

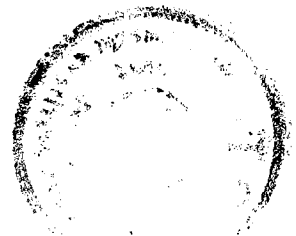
Esas ölçümlere geçilmeden önce, daha iyi bir deney düzeni oluşturmak, ölçüm kolaylığı sağlamak ve verilerin güvenilirliğini artırmak için yeterli sayıda hazırlık deneyleri yapılmıştır. Ölçümlerde motor yük altında çalıştırılmıştır. Ölçümler; karter yağ sıcaklığı 75 °C, 1500 devirden başlayarak 500 aralıklı olmak üzere 3500 devire kadar 5 değişik devirde yapılmıştır. Ölçümlerde, devir için  $\pm 10$  , sıcaklık için  $75 \pm 2$  °C sapmalar dışına çıkılmamış, daha fazla sapmalı ölçümler değerlendirilmeye alınmamıştır. Sıcaklık sınır değeri aşıldığında motor belli bir süre durdurularak karter yağ sıcaklığının belirtilen sınırlara düşmesi sağlanmıştır.

#### 4.7.3. Yakıt tüketimi ölçümü

Yakıt tüketimi ölçümleri; Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu'nun belirlediği Otomobiller İçin Yakıt Tüketimi Standartları, TS 1984 Karayolları Motorlu Taşıtlarında Yakıt Tüketimi Tayini ve SAE Motor Laboratuvar Testleri Standartlarında belirtilen yöntem ve esaslara uygun olarak yapılmıştır.

#### 4.7.4. Güç ölçümü

Güç ölçümü, TS 3514 Yol Araçları-Motor Deney Kodu Efektif Güç, Motor Güç Ölçüm Test Standartları ve esaslara uygun olarak, döndürme momenti belirlenmiş ve güç formülünden yararlanarak motor gücü tespit edilmiştir.



#### 4.7.5. Kontrol Değişkenleri

Deneyler sırasında kontrol altında tutulan ve değiştirilen değişik parametreler aşağıda kısaca açıklanmıştır;

1. Motor devri (dev/dak),
2. Yükleme durumu (kelebek açıklığı konumu): 1/4, 1/2 ve 1/1
3. Etanol-benzin karışımları: (hacimsel olarak % 10 etanol + % 90 benzin; % 20 etanol + % 80 benzin ve % 30 etanol + % 70 benzin),
4. Depodaki yakıt sıcaklığı (°C): Karışımların faz ayrışmasını önlemek için yakıt sıcaklığı, faz ayrışma sıcaklığının altına düştüğünde, depoya monte edilen kazan tipi termometre yardımı ile yakıt sıcaklığı belirlenmekte ve egzoz gaz kalorimetresinde ısınmış olan su serpantin ısıtıcı'dan (helisel kıvrılmış bakır boru'dan) geçirilerek yakıtın sıcaklığı ayarlanmaktadır.
5. Motorun ateşleme zamanı: (SEARS Marka, ayarlanabilir Avans Tabancası ile) 5; 10 derece krank mili açısı.
6. Hava yakıt karışım oranı: MGA 1200 model SUN Marka Egzoz Gaz Analiz Cihazı yardımı ile, karbüratör üzerinde 13.5; 14.5 ve 15.5 değerlerinde ayarlanmıştır.
7. İmal edilen silindir üst kapağı ve conta kalınlığının değiştirilmesi ile yanma odası hacmi küçültülerek sıkıştırma oranı 6:1'den 7:1 ve 8:1'e çıkarılmıştır.
8. Emme manifoldu kademeli olarak ısıtılmıştır.

#### Ölçülen ve Hesaplanan Büyüklükler

Deneyler sırasında ölçülen büyüklükler aşağıda kısaca açıklanmıştır;

1. Motor döndürme momenti (Nm): deney seti üzerinde bulunan elektrikli dinamometre yardımı ile belirlenmiştir.
2. Motor gücü: Deneyler sırasında elde edilen döndürme momenti değerleri ve güç formülü yardımı ile belirlenmiştir.
3. Yakıt tüketimi (lt/h): Okuda marka yakıt tüketim ölçüm cihazı ve deney seti üzerindeki ölçüm şişeleri yardımı ile tespit edilmiştir.
4. Özgül yakıt tüketimi: Tüketilen yakıt miktarı ve motor gücü dikkate alınarak hesaplanmıştır.

5. Termik verim ( $\eta_t$ ) : Hesaplama yoluyla bulunmuştur.

6. Motorun mekanik kayıpları (kW): Deney seti üzerinde bulunan elektrikli dinamometreden motora hareket verilerek, motor dinamo tarafından çevrilmiş ve bu şekilde sürtünme kayıpları dinamometre üzerindeki dijital skalada (-) negatif olarak ölçülmüştür.

7. Isı kaybı, egzoz gazları ile dışarı atılan ısı miktarı): İmal edilen egzoz gaz kalorimetresi yardımı ile belirlenmiştir.

8. Egzoz emisyonları; CO (%), HC (ppm), CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, (MGA 1200 model SUN Marka Egzoz Gaz Analiz Cihazı ile tespit edilmiştir.

9. Giriş havası sıcaklığı : Deney seti üzerindeki termo eleman çifti ile belirlenmiştir.

10. Hava tüketimi (lt/h): Deney seti üzerindeki hava dinlendirme tankı orifisi ve eğik manometre yardımı ile belirlenmiştir.

11. Ortam basınç ve sıcaklığı (kPa, °C): Barometre ve deney seti üzerindeki termo eleman çifti ile belirlenmiştir.

12. Egzoz gazı sıcaklığı (°C): Deney seti üzerindeki Kromel-Alumel termo eleman çifti ile belirlenmiştir. Ve motor karter yağ sıcaklığı (°C): Deney seti üzerindeki termo eleman çifti ile belirlenmiştir.

#### 4.9. Hesaplanan büyüklükler

##### 4.9.1. Motor gücü

Deneyler sırasında tespit edilen motor hızı ve motor momenti değerleri, güç formülünde yerine yazılarak motor gücü elde edilmiştir.

$$N_e = M_d \cdot n / 9550 \quad (4.14)$$

$N_e$ : Motor gücü (kW)

$M_d$ : Motor momenti (Nm)

n: Motor devri (d/d)

#### 4.9.2. Yakıt ve özgül yakıt tüketimi

Benzin ve etanol-benzin karışımlarının tüketiminin belirlenmesi için yakıtmetre ve kronometre kullanılmıştır.

$$B_e = 10(\text{cm}^3) \cdot \rho_y / \Delta t$$

$$B_e = 26.46 / \Delta t \quad [\text{kg/h}] \quad (4.15)$$

$B_e$ : Yakıt tüketimi (kg/h)

$\Delta t$ : 10 cm<sup>3</sup>'lük yakıtın tüketilme zamanı (sn)

$$\rho_y = 0.735 \text{ kg/litre}$$

Özgül yakıt tüketimi, deney sırasında tüketilen yakıt miktarının hesaplanan güce oranıdır.

$$b_e = 10^3 \cdot B_e / N_e \quad (4.16)$$

$b_e$ : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

#### 4.9.3. Özgül enerji tüketimi

Özgül enerji tüketimi, özgül yakıt tüketimi ile, kullanılan yakıtın alt ısı değeri çarpımına eşittir.

$$\text{ÖET} = b_e \cdot H_u / 1000 \quad (4.17)$$

ÖET: Özgül enerji tüketimi (kJ/kWh)

$H_u$ : Kullanılan yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

#### 4.9.4. Volümetrik verim

Volümetrik verim, deneyler sırasında havametre ile ölçülen gerçek hava tüketiminin, motorun aynı koşuldaki çalışması sırasında tüketmesi gereken teorik hava miktarına oranıdır.

$$\eta_v = Q_{hm} / (30 \cdot V_H \cdot n \cdot \rho_h) \quad (4.18)$$

$\eta_v$ : Volümetrik verim (%)

$Q_{hm}$ : Gerçek hava tüketimi (kg/h)

$V_H$ : Toplam strok hacmi (m<sup>3</sup>)

$\rho_h$ : Havanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

#### 4.9.5. Termik verim

Termik verim, motordan alınan mekanik enerjinin, motorun o anda tükettiği yakıtın enerjisine oranıdır. Termik verim, benzin ve etanol-benzin karışımlarının alt ısı değerleri ve yakıt tüketimleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

$$\eta_t = N_e \cdot 3600 / (B_e \cdot H_u) \quad (4.20)$$

$\eta_t$ : Termik verim (%)

## BÖLÜM V

### 5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Başlangıç deneyleri için, motor performansı ve egzoz emisyonlarının değerlendirilmesi esas alınarak, değişik oranlardaki etanol-benzin karışımları için, motorun sıkıştırma oranı, emme manifoldu dolgu sıcaklığı, hava/yakıt karışım oranı, ateşleme avansı ve motor hızı gibi parametrelerin etkisi araştırılıp, çalışma aralığı belirlenmiştir. Ölçülen ve hesaplanan performans ve emisyon değerleri grafik ve tablolarla gösterilmiştir. Deneyler; ortam sıcaklıklarında, 1/4; 1/2 ve tam gaz keleşbeği açıklığında ve motor tam yük altında iken yapılmıştır.

Etanol-benzin karışımlarının motor performansına etkilerini belirlemek için ilk deneyler benzin ile yapılmış ve benzin esas alınarak karşılaştırma yapılmıştır. Bu çalışma sonuçlarına göre, normal benzin (E0) ile elde edilen döndürme momenti değerleri, hemen tüm deney koşullarında etanol-benzin karışımları (E10, E20, E30) ile elde edilen değerlerden daha yüksek çıkmıştır. 1/4, 1/2 ve tam yükleme durumlarında, özellikle yüksek devirlerde ve karışımdaki etanol miktarının yüksek olduğu çalışma durumlarında dinamometreden ölçülen kuvvet ve elde edilen performans değerleri normal benzin değerlerine göre düşük miktarlarda kalmış ve buna paralel olarak özgül yakıt tüketiminde artış gözlenmiştir. Buna karşın, etanol-benzin karışımları ile yapılan hemen tüm çalışma koşullarında egzoz emisyonları normal benzin değerlerine göre daha temiz sonuç vermiştir. Değişik çalışma koşullarında elde edilen veriler aşağıda grafiklerle gösterilmiştir.

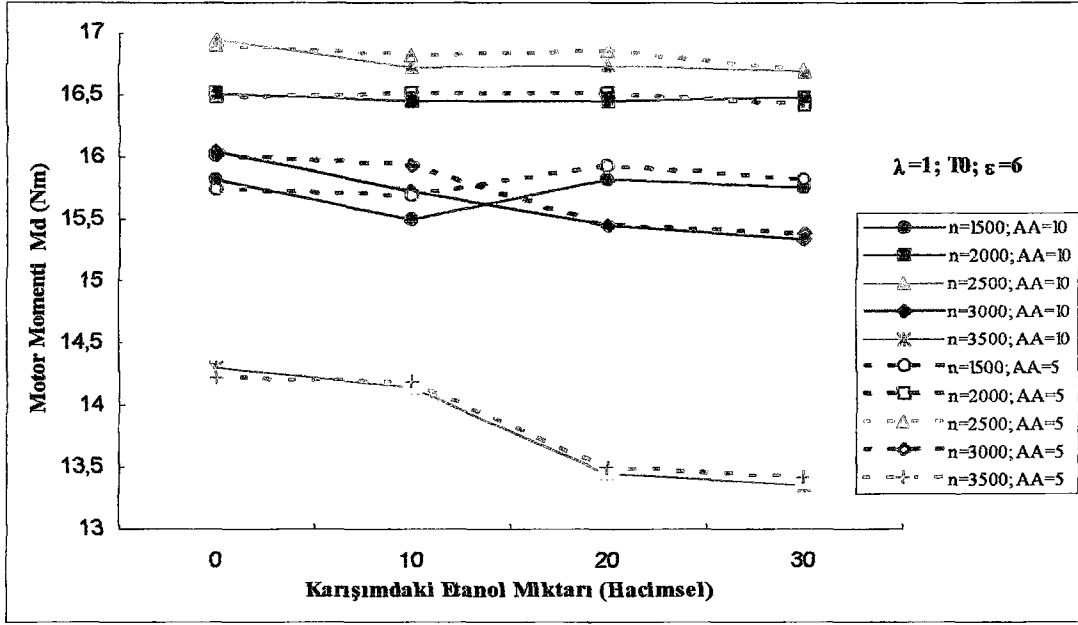
#### 5.1. Motor Momenti

##### 5.1.1. Karışımdaki etanol miktarının motor momentine etkisi

1 kg hidrojenin oksijenle reaksiyonu sonucu açığa çıkan enerji 144000 kJ, 1 kg karbonun oksijenle reaksiyonu sonucu açığa çıkan enerji ise 33870 kJ kadar olduğu bilinmektedir. Bu durum göz önüne alınırsa, yakıt içerisindeki hidrojen yüzdesinin fazlalığı, yakıtın ısı değeri daha yüksek olduğunu göstermektedir. Yakıt molekülünde bulunan oksijen ise, yakıtı kısmen oksitlemekte ve bunun sonucunda da bir miktar enerji kaybedilmiş olmaktadır. Alkollerin ısı değerlerinin benzinin ısı değerlerine nazaran daha düşük olması bu durumdan kaynaklanmaktadır.

Motor devri ve ateşleme avansının motor momentinin etkisinin karışımdaki etanol miktarı ile değişimi Şekil 5.1'de verilmiştir. Şekil 5.1'e göre, benzin içerisine katılan etanol miktarı arttıkça, buna bağlı olarak özellikle motorun yüksek devirlerinde, motor momentinde düşme görülmektedir. Burada maksimum moment, motorun 2400 devrine denk gelmektedir. Etanol-benzin karışımları deney yakıtı olarak kullanıldığında, karışımdaki etanol miktarı % 10- 20 arasında ve motor 1500 d/d ile dönerken, motor momentinde az da olsa bir artış eğilimi görülmektedir. Yüksek devirlere çıktığında momentte bir düşüş görülüp, devir 3000 ve 3500 d/d'ya çıktığında E0 ve E30 deney yakıtları ile elde edilen moment farkı yaklaşık olarak % 8 civarında olmuştur.

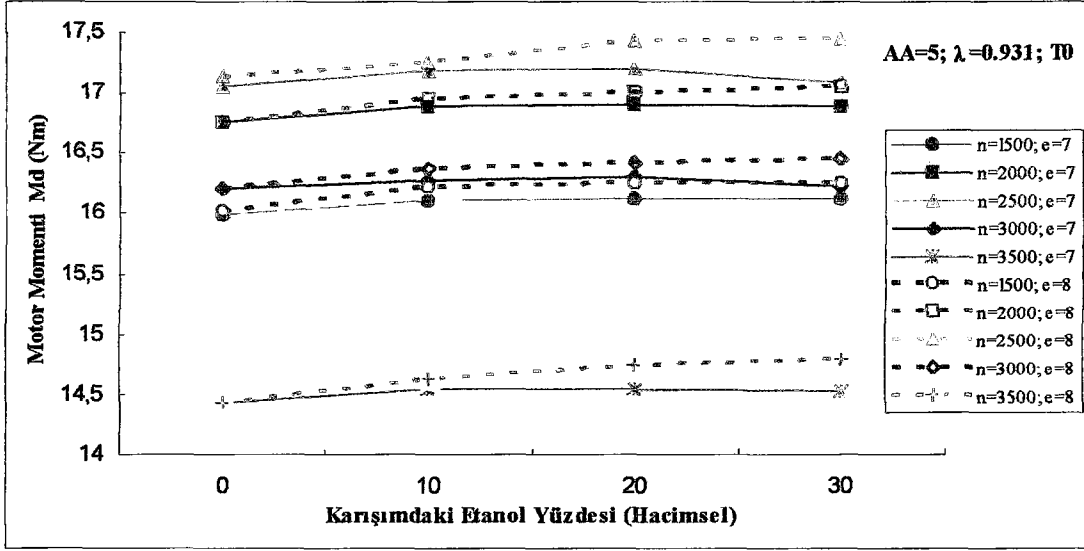
Benson'a (1979) göre, içten yanmalı motorlarda yanma hızı stokiyometrik hava-yakıt oranında maksimumdur. Karışımdaki etanol miktarının artışına paralel olarak  $\lambda$  değeri 0.931'den 1.069'a yükseltildiğinde, özellikle motorun yüksek devirlerinde motor momentinde düşüş meydana gelmiştir. Bu durum, etanolün stokiyometrik hava-yakıt karışım oranının ( $H/Y=9$ ) benzinin stokiyometrik hava-yakıt karışım oranına nazaran daha düşük olması ve deneylerin  $H/Y= 13.5, 14.5$  ve  $15.5$  değerlerinde yapılması ve bu değerlerin de etanol - benzin karışımları için fakir karışım sınırında kalması ile açıklanabilir. Ayrıca etanolün buharlaşma gizli ısısının yüksek olması nedeniyle özellikle motorun yüksek devirlerinde dolgunun yeteri kadar ısınamamasından dolayı etanol - benzin karışımlarının verdiği motor moment değeri benzinin verdiği motor moment değerinden daha düşük çıkmıştır. Düşük devirlerde karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak momentte bir artış gözlenmiştir. Bu artışın nedeni, etanolün buharlaşma gizli ısısının benzine göre yüksek olması, bu nedenle emme manifoldundan geçen dolgunun benzinli duruma göre, nispeten soğuk olarak içeri girmesi ile volümetrik verimin artması bunun sonucunda da motor momentinde artış olabilmektedir.



Şekil 5.1. Motor Devri ve Ateşleme Avansının Motor Momentin Etkisinin Karışımındaki Etanol Miktarı İle Değişimi ( $\epsilon=6$ ).

Burada, ateşleme avansının 5 KMA° rotara çekilmesi ile, özellikle karışımındaki etanol miktarı %10 ve 20 civarında iken daha yüksek moment elde edilmiştir. Bu karışım oranlarında 5 derecelik rotar yeterli olmuştur. Ancak karışımındaki etanol miktarı % 30'a çıkarıldığında 5 derecelik rotar kafi gelememiş ve moment artış değeri, % 10 ve 20 etanolü karışıma göre düşük kalmıştır. Normal benzinli çalışmada ateşleme avansının 5 KMA° geri alınması ile momentte düşüş tespit edilmiştir. Etanol-benzin karışımları kullanımı ile, ateşleme avansı 10 KMA°dan 5 KMA°na çekildiğinde motor momentinde yaklaşık olarak % 1.2 oranında bir artış saptanmıştır.

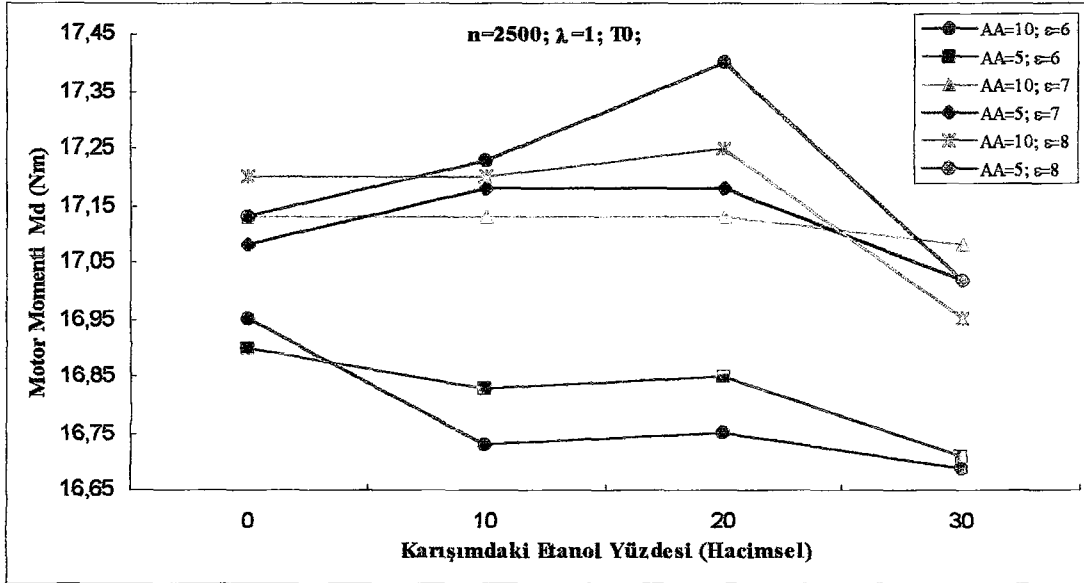
Sıkıştırma oranı 6 iken karışımındaki etanol miktarı arttırıldığında motor momentini 3000 ve 3500 d/d'da düşüş göstermiştir. Karışımındaki etanol miktarı % 20 iken en yüksek motor moment değeri 2500 d/d'da ölçülmüştür. En düşük motor moment de 3500 d/d'da ve karışımındaki etanol miktarı % 30 iken elde edilmiştir. Bu durum, etanolün alt ısı değerinin benzine göre düşük olması, motorun yüksek devirlerinde dolgunun emme manifoldunda yeteri kadar ısınamaması sonucunda yanmanın benzine göre iyi olmaması ile açıklanabilir.



Şekil 5.2. Motor Momentinin Karışımdaki Etanol Miktarı İle Değişimi.

Sıkıştırma oranı 7'ye yükseltilip, karışımdaki etanol miktarı % 20'ye çıkarıldığında en yüksek motor moment değeri 2500 d/d'da ölçülmüştür. En düşük motor moment de 3500 d/d'da ve karışımdaki etanol miktarının sıfır olduğu noktada elde edilmiştir (Şekil 5.2). Şekil 5.1'in aksine karışımdaki etanol miktarının artışına paralel olarak motor momentinde tedrici bir artış gözlenmiştir. Motorun sıkıştırma oranının artışına bağlı olarak, motorda yanma sonu basınç ve sıcaklığının artması beklenir, bunun sonucunda da motor momentinde artış sağlanmaktadır.

Sıkıştırma oranı 8'e yükseltildiğinde yine en yüksek motor moment de 2500 d/d'da elde edilmiştir. Karışımdaki etanol miktarının artışına paralel olarak motor momentinde artış gözlenmiştir. Karışımdaki etanol miktarının % 30 olduğu bölgede bu artış oranı yaklaşık % 2 olmuştur (Şekil 5.2). Yakıtın oktan sayısı arttırıldığında, daha yüksek sıkıştırma oranlı motor kullanımı ile motor verimini artırma imkanı ortaya çıkmaktadır. Şekil 5.3'te ateşleme avansı ve sıkıştırma oranının momente etkisinin karışımdaki etanol yüzdesi ile değişimi verilmiştir.



Şekil 5.3. Ateşleme Avansı ve Sıkıştırma Oranının Motor Momentine Etkisinin Karışımındaki Etanol Miktarı İle Değişimi.

Sıkıştırma oranı 6 ve  $\lambda=1$  iken, karışımındaki etanol miktarının artışına bağlı olarak, her iki ateşleme avansı değerinde de moment düşüş göstermiştir. Bu durum etanolün ısıl değerinin benzinin ısıl değerine göre daha düşük olması ile açıklanabilir. Ateşleme avansının 5 derece kadar rotara alınması ile elde edilen moment değeri daha yüksek olmuştur. Etanolün alev hızının benzinin alev hızından daha yüksek olması ile, karışımındaki etanol yüzdesi belli bir noktaya kadar arttırıldığında, yanma hızı da artarak yanma sonu meydana gelen maksimum basınç artışını sağlamak ve motor momenti bu şekilde artış göstermektedir. Deneyler sırasında elde edilen maksimum moment artışı,  $\epsilon=8$ , karışımındaki etanol oranı % 20 iken ateşleme avansının 5 derecelik rotarlı durumunda elde edilmiştir. Sıkıştırma oranı 7 ve 8'e çıkarıldığında karışımındaki etanol yüzdesi 20'ye kadar olan kısımda moment eğrisi 10 derecelik açı için yatay bir seyir izlemiş, karışımındaki etanol oranı % 30'a çıkarıldığında ise momentte bir düşüş gözlenmiştir. Aynı sıkıştırma oranlarında, ateşleme avansı 5 derece rotara alındığında, karışımındaki etanol yüzdesi 20'ye kadar olan kısımda moment artışı sağlanmıştır, karışımındaki etanol oranı % 30'a çıkarıldığında, momentte ani bir düşüş saptanmıştır.  $\lambda=1$  seçildiğinde karışımındaki etanol oranı % 30 olduğunda, H/Y oranında 14.5 alındığında, bu değer bu yakıt cinsi için fakir karışım sınırında kalmaktadır. Dolayısıyla, ateşleme

avansının 5 derece rotara alınması da bu moment düşüşünü önleyememektedir (Şekil 5.3).

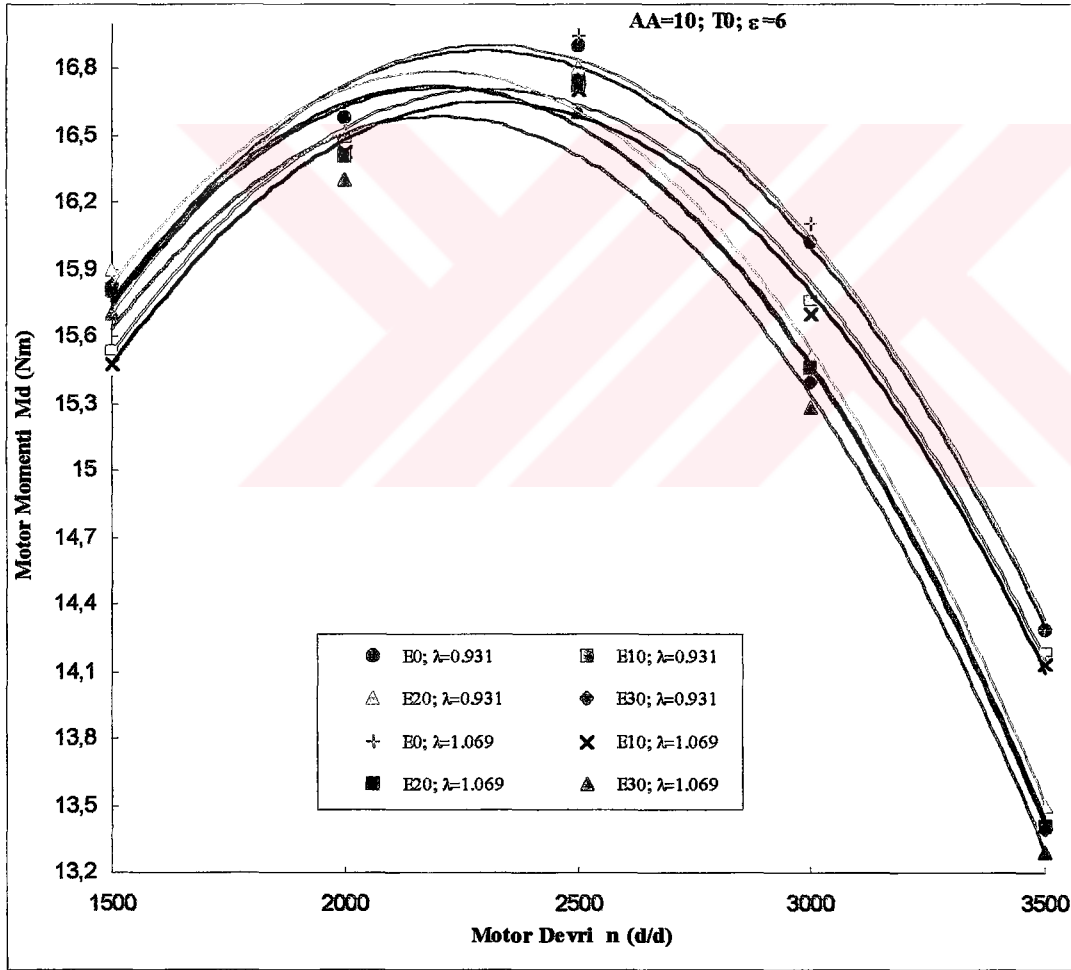
İçten yanmalı motorlarda motor konstrüksiyonu da dikkate alınarak, motor devri arttıkça, buna bağlı olarak motor momentinde artış görülmekte ve bu artış bir maksimum noktadan geçerek tekrar düşüş göstermektedir [Fiaschetti vd., 1995]. Şekil 5.4'te de görüldüğü gibi etanol - benzin karışımları benzin ile benzer bir özellik göstermiştir. Şekil 5.5'te gerek benzin ve gerekse etanol-benzin karışımları ile elde edilen grafiklerde bu durum görülmektedir.

Etanol-benzin karışımları ile meydana gelen motor momenti düşüşünün nedeni; etanolün alt ısı değeri (27000 kJ/kg) benzinin alt ısı değerine (44000 kJ/kg) nazaran daha düşük olması ve etanolün gizli buharlaşma ısısının (921 kJ/kg) da benzinin gizli buharlaşma ısısına (490 kJ/kg) göre daha yüksek olması ile açıklanabilir. Motor devri arttıkça emme manifoldundan geçen hava yakıt karışımının (dolgu) sıcaklığının düşük devirlere nazaran azalma göstermesi, etanol-benzin karışımları kullanımı sırasında dolgu sıcaklığında (etanolün yüksek gizli buharlaşma ısısı nedeniyle) daha çok düşüş meydana gelmesi nedenleri ile etanol-benzin karışımları yakıt olarak kullanıldığında, emme manifoldu ısıtılmazsa, özellikle yüksek devirlerde motor momentinde düşüş beklenebilir (Şekil 5.8). Çünkü, normal ortam koşullarında emilen havanın yakıt ile karıştıktan sonra oluşturulan karışımın emme manifoldundan geçerken buharlaşabilmesi için emme manifoldu cidarından ısı çekmesi gerekir. Borat (1979) ve Furey vd. (1991), alkol - benzin karışımları yakıt olarak kullanıldığında karışımın buharlaşabilmesi için benzine göre daha çok ısıya gereksinim duyulacağını ve emme manifoldunun ısıtılması ihtiyacının doğacağını belirtmişlerdir.

### 5.1.2. Motor devri ve yakıt türünün motor momentine etkisi

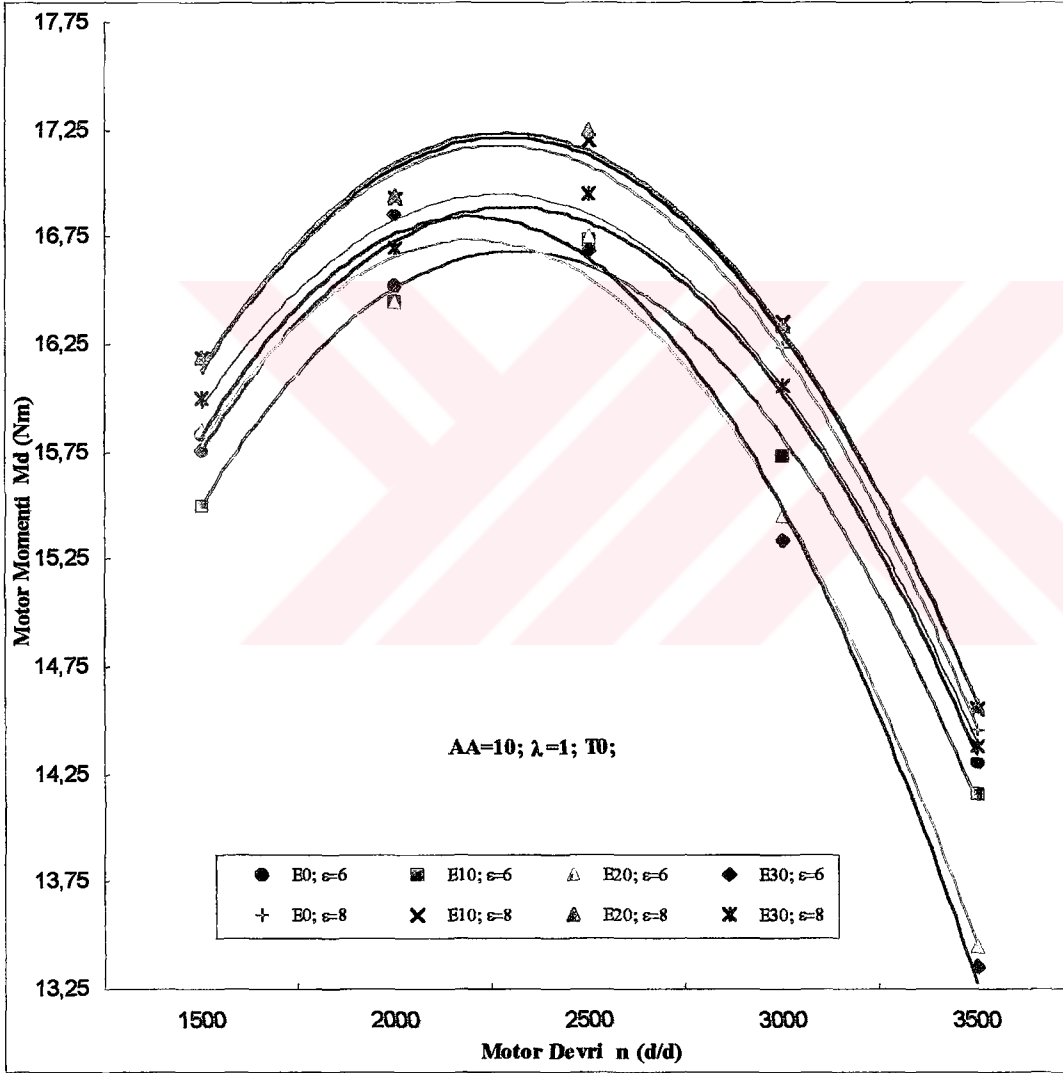
Benzin ve etanol -benzin karışımları ve hava fazlalık katsayısının motor momentine etkisinin motor devri ile değişimi Şekil 5.4'te sunulmuştur. Benzinli çalışmada her üç  $\lambda$  değerinde de diğer karışımlara göre daha yüksek motor momenti elde edilmiştir. Burada,  $\lambda$  moment değişiminde fazla belirgin bir etkiye sahip olmamakla

değeri daha yüksek moment verirken, karışımlar için  $\lambda$ 'nın düşük değeri daha yüksek moment sağlamıştır. Çünkü, etanol ve benzinin stokiometrik H/Y oranları da farklıdır. Ateşleme avansı  $10^\circ$  iken, etanol-benzin karışımları ile elde edilen motor moment, E0 yakıtı ile elde edilen motor momentinden daha düşük çıkmıştır. Bunun sebebi, etanolün yüksek yanma hızından dolayı maksimum çevrim basıncı, karışımdaki etanol yüzdesi artışına bağlı olarak, ÜÖN'ya doğru kaymakta ve piston üzerine negatif etki yapmaktadır (pozitif iş alanı küçülmektedir). Bu nedenle karışımdaki etanol yüzdesi arttıkça, motor moment de düşüş göstermektedir (Şekil 5.4).

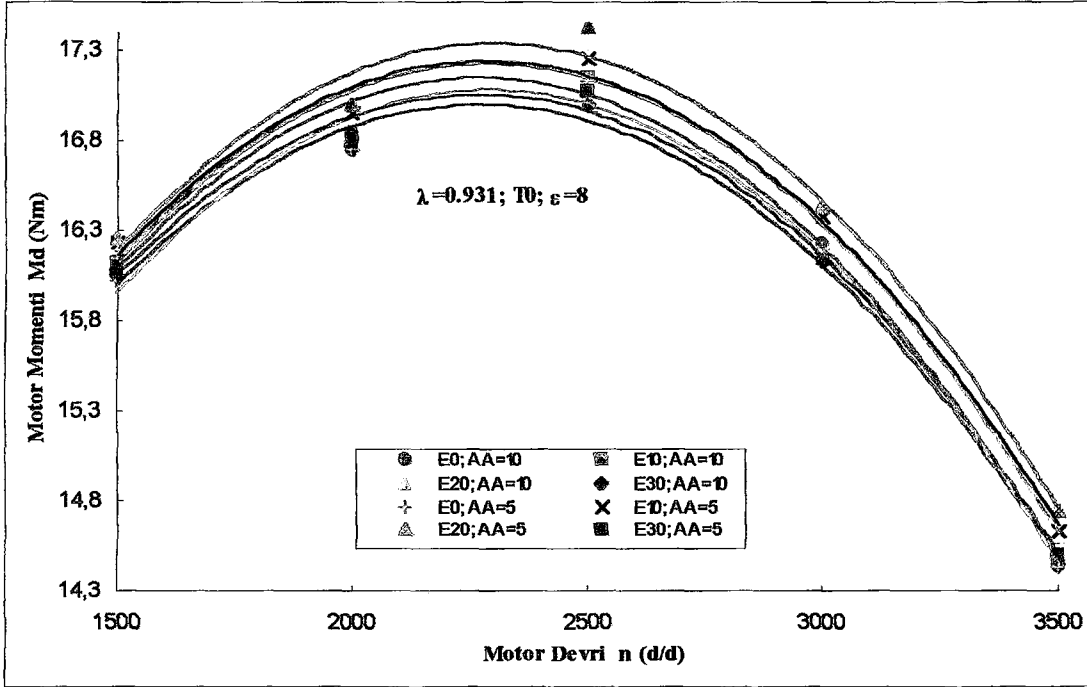


Şekil 5.4. Benzin ve Etanol -Benzin Karışımları ve  $\lambda$ 'nın Md'ye Etkisinin n İle Değişimi.

Şekil 5.5'te benzin ve etanol-benzin karışımları ve sıkıştırma oranının motor momentine etkisinin motor devri ile nasıl değiştiği verilmiştir. Motorun sıkıştırma oranının artırılması sonucunda motor momentinde artış sağlanmaktadır. 1500 motor devri için moment farkı yaklaşık % 4.2; 2500 motor devri için fark % 3.2 ve 3500 motor devri moment farkı yaklaşık olarak % 8 çıkmıştır.



Şekil 5.5. Benzin ve Etanol -Benzin Karışımları ve  $\epsilon$ 'nın  $M_d$ 'ye Etkisinin  $n$  İle Değişimi.



Şekil 5.6. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve AA'nın  $M_d$ 'ye Etkisinin  $n$  İle Değişimi.

Benzin ve etanol-benzin karışımlarının ve ateşleme avansının motor momentine etkisinin motor devri ile değişimi Şekil 5.6'da verilmiştir. Etanol-benzin karışımları ile elde edilen motor moment değeri, benzin ile elde edilen motor moment değeri ile uyum göstermiştir. E10 ve E20 yakıtları ile özellikle AA=5 KMA° iken, elde edilen motor moment değeri, benzinle elde edilen motor moment değerlerinden daha yüksek olmuştur (E20 yakıtı, AA=5 KMA° iken, E0 yakıtının moment değerinden yaklaşık olarak % 1.5 civarında daha yüksek motor moment sağlamıştır).

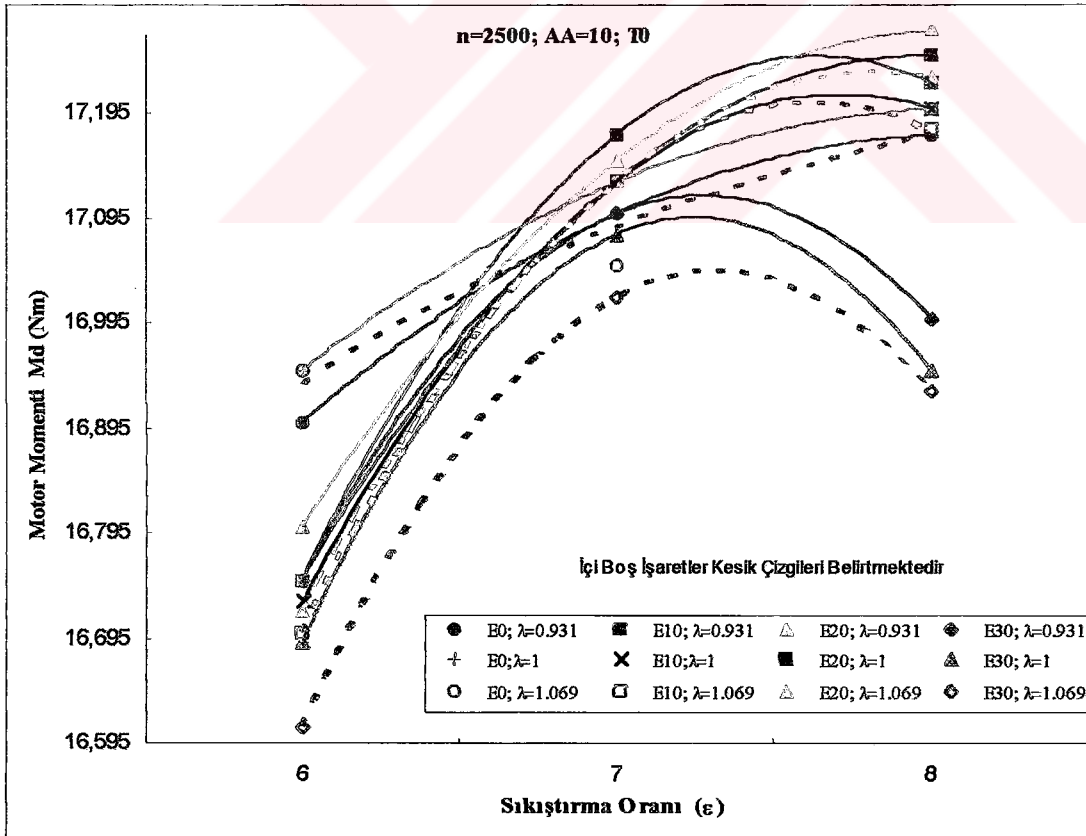
### 5.1.3. Motorun sıkıştırma oranının motor momentine etkisi

Benzin ve etanol-benzin karışımları ve hava fazlalık katsayısının motor momentine etkisinin sıkıştırma oranına bağlı olarak değişimi Şekil 5.7'de verilmiştir. Sıkıştırma oranı 7'ye yükseltildiğinde hemen tüm deney yakıtı çeşitleri ile yapılan çalışma sonucu elde edilen motor moment değeri, sıkıştırma oranı 6'ya göre artış göstermiştir. Sıkıştırma oranındaki bu artış sonucunda, E0 yakıtı ile elde edilen motor momentindeki artış

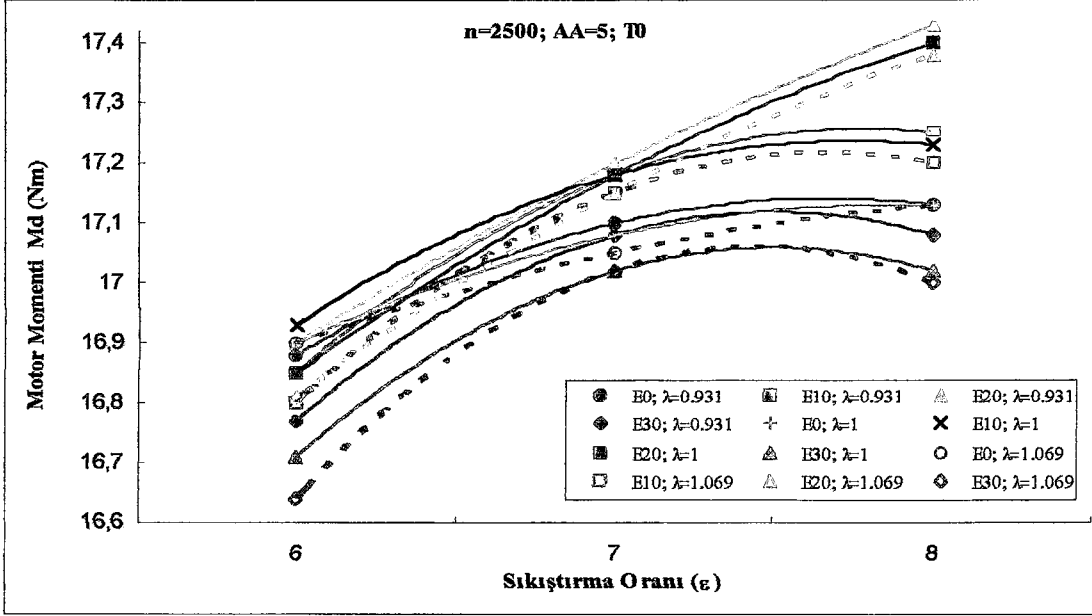
oranı, etanol-benzin karışımları ile elde edilen moment artış oranından daha düşük kalmıştır. Hava fazlalık katsayısı artışına bağlı olarak, E0 yakıtı ile moment artışı olurken, diğer yakıtların motor moment değerinde düşüş gözlenmiştir.

Sıkıştırma oranı 8'e çıkarıldığında tüm deney yakıtlarının motor momenti artış hızı tedricen azalmış, E30 yakıtı hariç, en yüksek  $M_d$  değerleri  $\epsilon=8$ 'de elde edilmiştir. E30 yakıtının moment artışı sıkıştırma oranı 7'den hemen sonra düşüş eğilimine girmiş,  $\epsilon=8$  iken, sıkıştırma oranı 7'ye göre motor momentinde görülen düşüş oranı % 1'in altında seyretmiştir. Ateşleme avansının 5 KMA° geciktirilmesi ile E30 yakıtının  $\epsilon=8$ 'deki motor momenti düşüşü nispeten önlenmiştir (Şekil 5.7-5.8).

Şekil 5.8'de de görüldüğü gibi, sıkıştırma oranı artışına paralel olarak en yüksek motor moment artışı E20 yakıtı, Ateşleme avansı 5 KMA° ve  $\lambda=0.931$  iken elde edilmiştir.



Şekil 5.7. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve  $\lambda$ 'nın  $M_d$ 'ye Etkisinin  $\epsilon$  İle Değişimi.

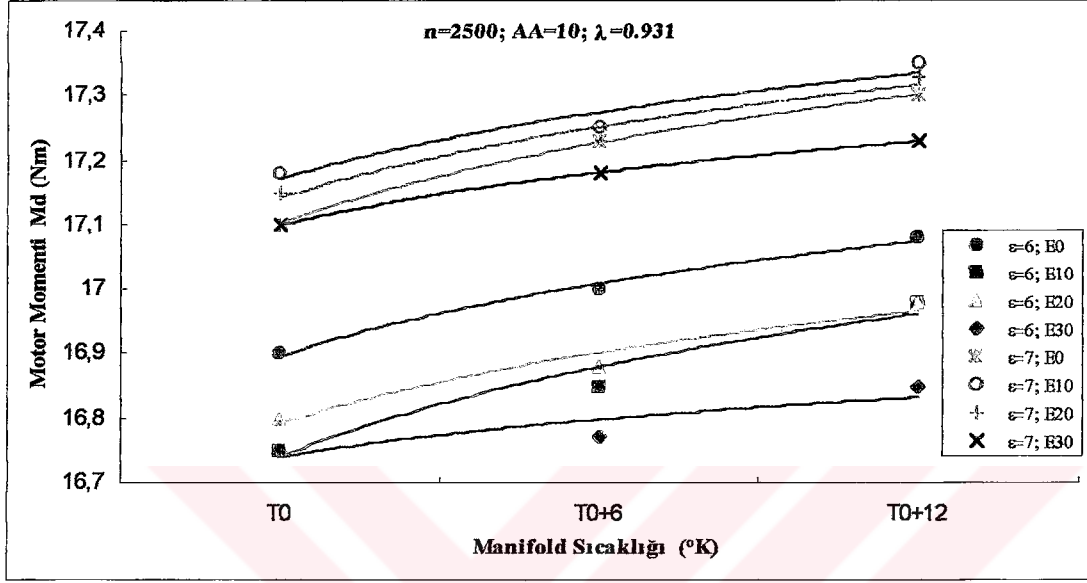


Şekil 5.8. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve  $\lambda$ 'nın  $M_d$ 'ye Etkisinin  $\epsilon$  İle Değişimi (AA=5).

#### 5.1.4. Emme manifoldu dolgu sıcaklığının motor momentine etkisi

Motor devir artışına bağlı olarak, emme manifoldundan geçen dolgunun sıcaklığı düşüş gösterir. Bu düşüş nedeni ile dolgunun sıkıştırma sonu sıcaklığı da değişmiş olacak ve alev hızı da etkilenmiş olacaktır. Bu durum ise, basıncı, ısı iletimini ve dolayısıyla motor performansını etkileyecektir. Şekil 5.9'da görüldüğü gibi, emme manifoldu dolgu sıcaklığı arttırıldığında, motor momentinde artış sağlanmaktadır. Sıkıştırma oranı 6 iken, benzin ve karışımlar arasındaki fark fazla olurken, sıkıştırma oranı 7'ye çıkarıldığında ise, bu fark azalma göstermiş, moment eğrileri daha kararlı bir seyir izlemiştir. Etanolün gizli buharlaşma ısısının benzinin gizli buharlaşma ısısına göre daha yüksek olması nedeni ile bu soğumanın artışına sebebiyet verir. Etanol-benzin karışımları kullanıldığında emme manifoldunun ısıtılması ihtiyacı doğmaktadır. Borat'a (1979) göre, Ön ısınma sonucu alev hızı değişmektedir. Teorik olarak yanma hızının arttırılması faydalı ise de, volümetrik verimi azaltıcı etkisi nedeni ile sınırlanmıştır. Etanol-benzin karışımları kullanımı sırasında emme manifoldu ısıtılmadığı hallerde, özellikle yüksek devirlerde motorda tekleme görülmüş ve motor momentini düşüş göstermiştir.

Emme manifoldu dolgu sıcaklığının daha fazla artırılması da volümetrik verimin azalmasına ve dolayısıyla moment ve gücün düşmesine neden olabilmektedir.



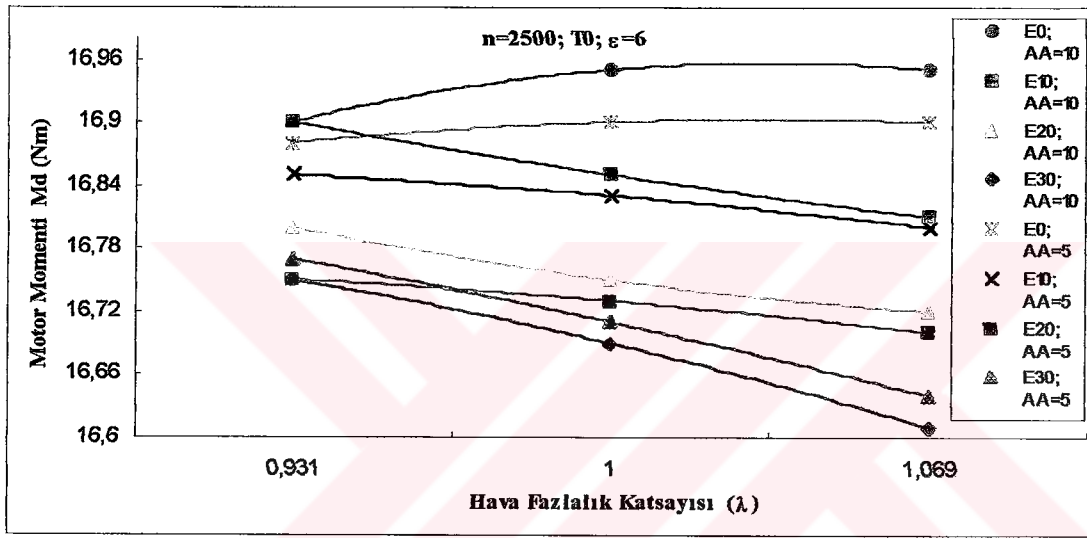
Şekil 5.9. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve  $\epsilon$ 'nin Md'ye Etkisinin Emme Manifoldu Sıcaklığı İle Değişimi.

Şekil 5.9'da da görüldüğü gibi, emme manifoldu dolgu sıcaklığının 12 °C artırılması ile  $n=2500$  d/d'da, benzinli çalışmada % 1'in altında, etanol-benzin karışımı kullanımı ile ise, momentteki artış yaklaşık olarak % 1-1.25 civarında olmuştur.

#### 5.1.5. Hava fazlalık katsayısının motor momentine etkisi

Şekil 5.10'da benzin ve etanol-benzin karışımları ve ateşleme avansının hava fazlalık katsayısına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Hava fazlalık katsayısı artırıldığında ateşleme avansı (10 KMA°) normal değerinde iken, etanol-benzin karışımları, karışımındaki etanol miktarının artışına paralel olarak düşük motor momentini vermiştir. Şekil 5.10'da da görüldüğü gibi E30,  $\lambda=1.069$  ve  $AA=10$  KMA° iken en düşük moment değeri elde

edilmiş, bu değer benzinli çalışma ile elde edilen değere göre yaklaşık olarak % 1.7 daha düşük olmuştur. Ateşleme avansı ( $5 \text{ KMA}^\circ$ ) rotara alındığında, etanol-benzin karışımı çalışmada görülen moment düşüşü nispeten azalmıştır. Bu ateşleme avansında elde edilen en düşük motor momenti değeri benzine göre % 1.3 civarında daha düşük çıkmıştır. Benzinli çalışmada ateşleme avansı ( $5 \text{ KMA}^\circ$ ) rotara alındığında motor momentinde düşüş kaydedilmiştir.



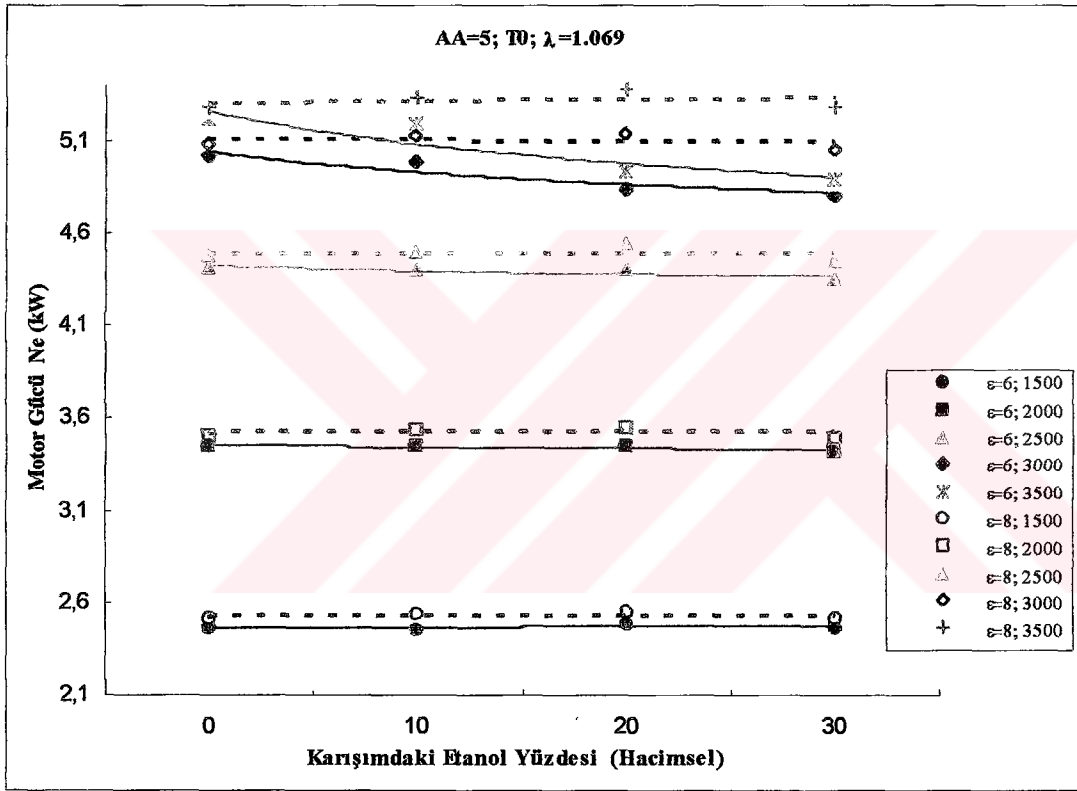
Şekil 5.10. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve AA'nın  $M_d$ 'ye Etkisinin  $\lambda$  İle Değişimi.

## 5.2. Motor gücü

### 5.2.1. Karışımındaki etanol miktarının motor gücüne etkisi

Deneyler sırasında elde edilen 1/2 ve özellikle 1/4 yükleme durumları için güç düşük değerlerde kalmış ve buna paralel olarak özgül yakıt tüketimi çok yüksek değerlere çıkmıştır. Söz konusu yükleme durumlarında ekonomik bir çalışmadan söz etmek güçtür. Bu nedenle çalışma, daha çok 1/1 gaz kelebeği konumu ve tam yükleme durumunda yapılmıştır. Sıkıştırma oranı ve motor devrinin  $N_e$ 'ye etkisinin karışımındaki

etanol miktarı ile değişimi Şekil 5.11'de verilmiştir. Burada, motor devri 1500 d/d,  $\epsilon$  6'dan 8'e çıkarıldığında, normal benzinle motor gücündeki artış oranı yaklaşık % 2, karışımdaki etanol miktarı % 10'a çıkarıldığında motor gücündeki artış oranı yaklaşık % 3.14, karışımdaki etanol miktarı % 20'ye çıkarıldığında motor gücündeki artış oranı yaklaşık % 2.3 ve karışımdaki etanol miktarı % 30'a çıkarıldığında motor gücündeki artış oranı yaklaşık % 2 olmuştur.



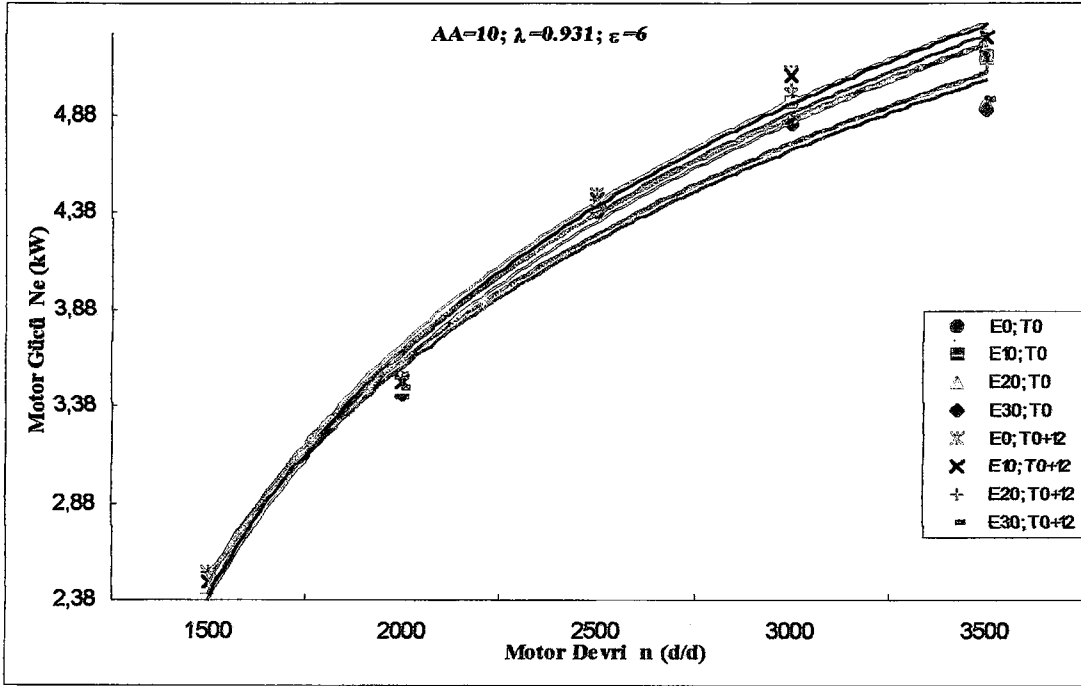
Şekil 5.11. Sıkıştırma Oranı ve motor devrinin Ne'ye Etkisinin Karışımdaki Etanol Miktarı İle Değişimi.

Sıkıştırma oranı 6, motor devri 3000 ve 3500 d/d'da iken, karışımdaki etanol miktarı artışına bağlı olarak motor gücünde sıra ile yaklaşık olarak % 4 ve % 6 oranlarında düşüş görülmüş,  $\epsilon$  8' yükseltildiğinde bu durum ortadan kalkmıştır.

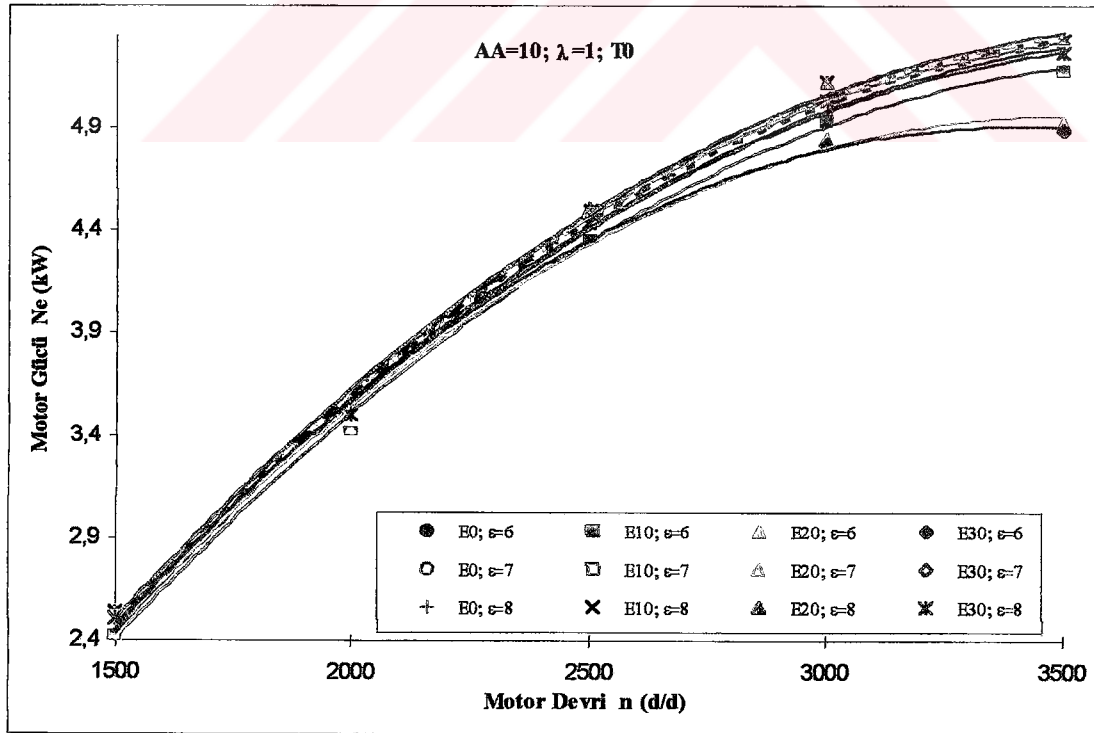
### 5.2.2. Motor devri ve yakıt türünün motor gücüne etkisi

Şekil 5.12'de benzin ve etanol-benzin karışımlarının ve emme manifoldu dolgu sıcaklığının motor gücüne etkisinin motor devri ile değişimi verilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı gibi, düşük motor devirlerinde tüm deney yakıtları ile elde edilen motor güç değerleri birbirine yakın çıkmıştır. 2000 d/d'dan sonraki motor devirlerinde değerler arasındaki fark büyümüş, 3500 d/d'da en yüksek değere ulaşmıştır. Motorun düşük devirlerinde dolgunun ısınma zamanı yeterli olduğu ve yüksek devirlere göre volümetrik verimin yüksek olması nedeni ile şekil 5.12 ve 5.13'te de görüldüğü gibi, motor devri 1500 ve 2000 d/d'da iken tüm deney yakıtları ile, güç eğrisi kararlı bir artış seyri izlemiştir. Motorun 1500 (d/d) devrinde emme manifoldu dolgu sıcaklığı  $T_0$ 'dan  $T_0+12$  °C'ta çıkarıldığında, motor güç artışı yaklaşık olarak % 1.58, motorun 3500 (d/d) devrinde ise % 1.13 olmuştur. E20 yakıtı ile bu artış oranı  $n=1500$  d/d için yüzde 1'in altında kalırken,  $n=3500$  d/d için ise yaklaşık olarak % 2.79 olmuştur. Emme manifoldu dolgu sıcaklığının 12 °C arttırılmasının, E30 yakıtı ile,  $n=1500$  d/d'daki güç artış oranı yaklaşık % 1.2, 3500 d/d'daki motor devri için ise % 1 olmuştur. Burada en iyi sonuç, E20 yakıtı kullanımı ve emme manifoldu dolgu sıcaklığının arttırılmış durumu ile elde edilmiştir.

Sıkıştırma oranı 6 iken E0 ve E30 yakıtının 3500 d/d'da verdiği motor gücü karşılaştırıldığında, E30 yakıtının E0'a göre yaklaşık olarak % 6.6 civarında güç düşüşüne neden olduğu belirlenmiştir. Sıkıştırma oranı 6'den 7'ye yükseltildiğinde güç düşüş oranı % 0.18 gerilemiştir. Sıkıştırma oranı 6'den 8'e yükseltildiğinde ise güç düşüş oranı % 0.56 olmuştur. Sıkıştırma oranı 7, motor devri 3500 d/d iken daha E0 ve E30 yakıtları ile yüksek güç elde edilmesine karşın, sıkıştırma oranı 8, motor devri 3500 d/d iken de E10 ve E20 yakıtları ile en yüksek güç elde edilmiştir. Şekil 5.13'te etanol-benzin karışımları ve sıkıştırma oranının motor gücüne etkisinin motor devri ile değişimi verilmiştir.



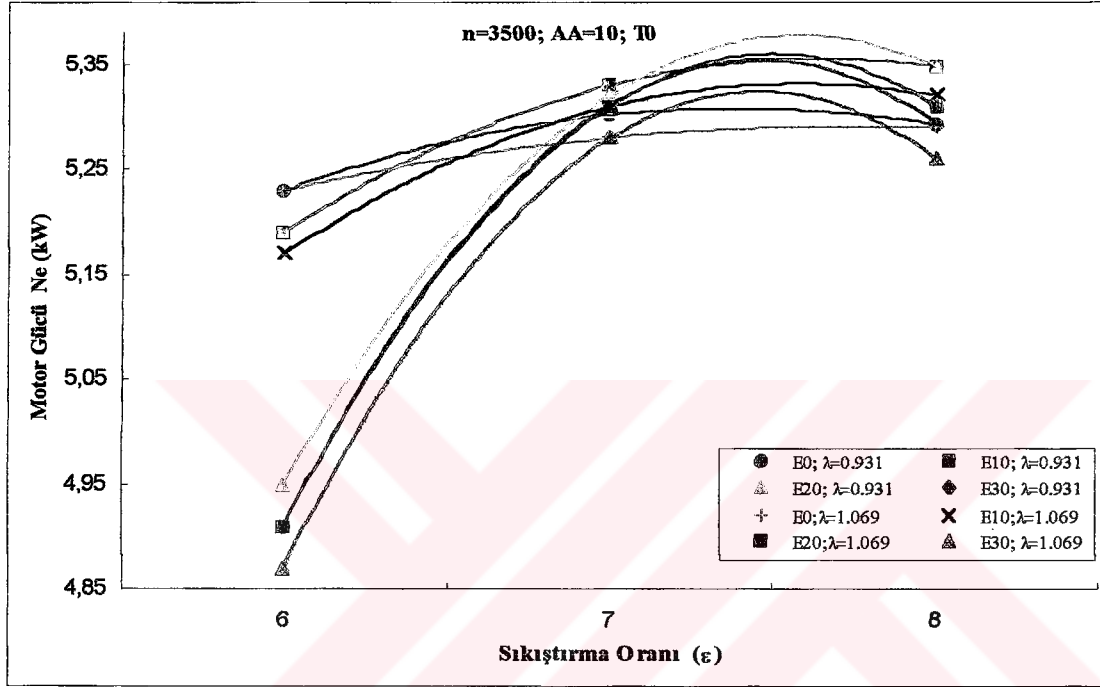
Şekil 5.12. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımlarının ve Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığının  $N_e$ 'ye Etkisinin  $n$  İle Değişimi.



Şekil 5.13. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımlarının ve  $\varepsilon$ 'nin  $N_e$ 'ye Etkisinin  $n$  İle Değişimi.

### 5.2.3. Motorun sıkıştırma oranının motor gücüne etkisi

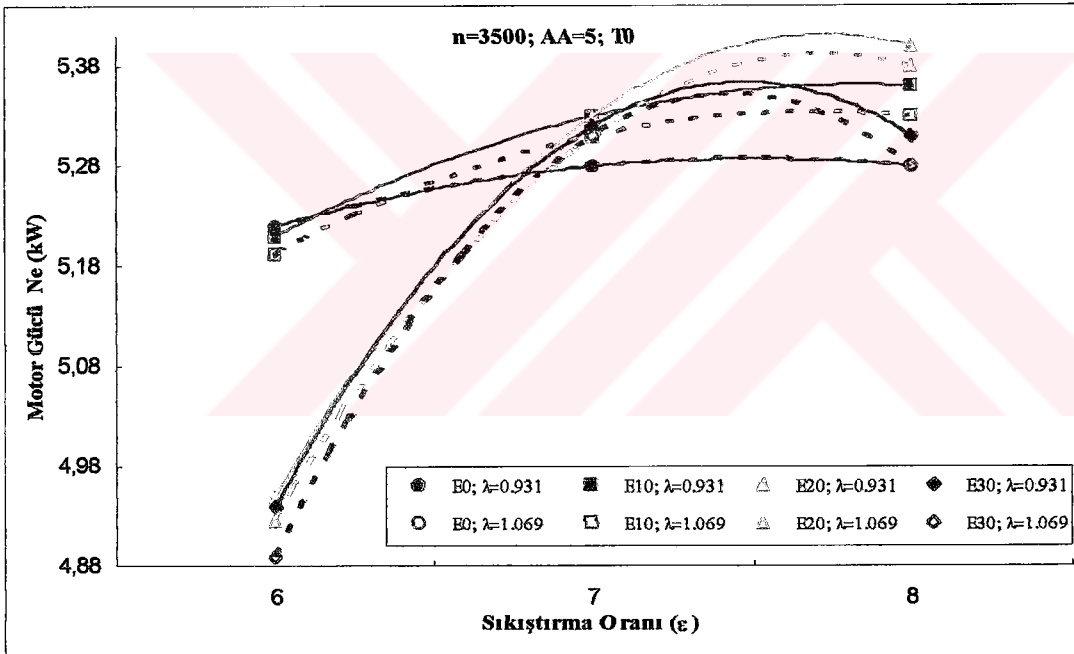
Benzin ve etanol-benzin karışımlarının ve hava fazlalık katsayısının ( $\lambda$ ) motor gücüne etkisinin sıkıştırma oranı ile değişimi Şekil 5.14'te verilmiştir.



Şekil 5.14. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve  $\lambda$ 'nın  $N_e$ 'ye Etkisinin  $\epsilon$  İle Değişimi.

Sıkıştırma oranı 6 ve  $\lambda=0.931$  çalışma durumunda, E0 yakıtının verdiği motor gücü değeri, E10 yakıtının güç değerine yakın; E20 yakıtının verdiği güç değerine göre yaklaşık olarak % 5.3 ve E30 yakıtının güç değerine göre ise yaklaşık % 6 oranında daha yüksek olmuştur. Sıkıştırma oranı 6'dan 7'ye yükseltildiğinde, tüm yakıt çeşitlerinin motor gücü değerinde artış sağlanıp, değerler birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Ancak,  $\epsilon$  8'e yükseltildiğinde, E0 yakıtının güç değeri, E10 ve E20 yakıtlarının güç değerlerine göre yaklaşık olarak % 1 oranında daha düşük, E30 yakıtının güç değeri ile aynı değerde çıkmıştır.

Şekil 5. 15'te de görüldüğü gibi,  $AA=5 \text{ KMA}^\circ$ ;  $n=3500 \text{ d/d}$  ve  $T_0$  çalışma durumunda,  $\epsilon=6$  iken, E0 yakıtının verdiği  $N_e$  değeri, E10 yakıtın  $N_e$  değerine yakın sonuç vermiş, E20 yakıtının  $N_e$  değerine göre yaklaşık olarak % 5.6; E30 yakıtının  $N_e$  değerine göre de yaklaşık olarak % 6.32 oranında daha yüksek çıkmıştır.  $AA=10 \text{ KMA}^\circ$  iken elde edilen sonuçlarda olduğu gibi, burada da  $\epsilon=7$  iken tüm yakıt çeşitlerinin verdiği motor güç değerleri birbirlerine yakın çıkmıştır.  $\epsilon$  8'e yükseltildiğinde, E0 yakıtı, E10 yakıtına göre % 1.5; E20 yakıtına göre % 2.22 ve E30 yakıtına göre de % 0.5 daha düşük motor gücü vermiştir. Bu çalışma durumunda en yüksek güç artışı,  $\epsilon=8$  ve E20 yakıtı ile elde edilmiştir.

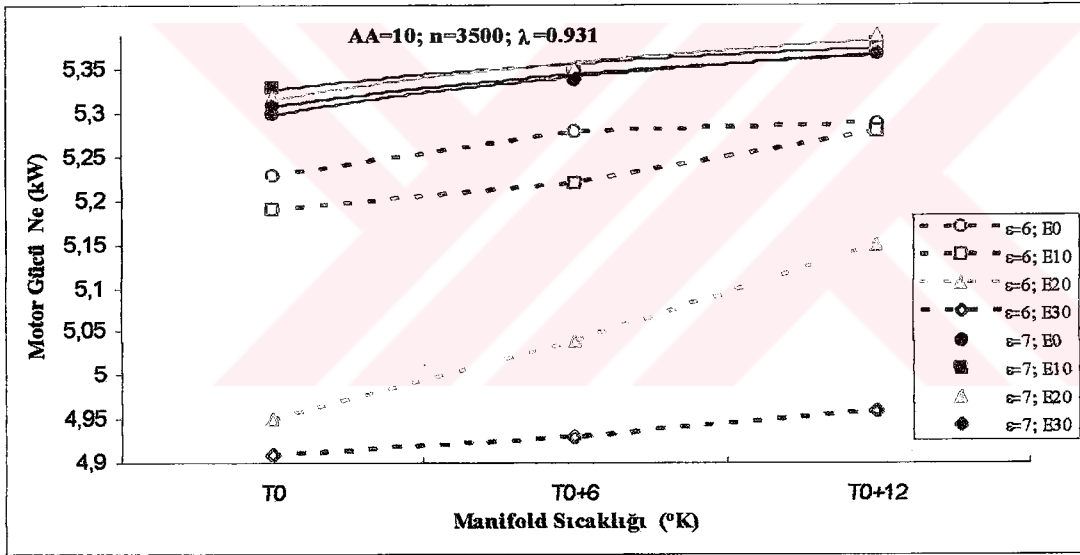


Şekil 5.15. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve  $\lambda$ 'nın  $N_e$ 'ye Etkisinin  $\epsilon$  İle Değişimi.

#### 5.2.4. Emme manifoldu dolgu sıcaklığının motor gücüne etkisi

Şekil 5.16'da görüldüğü gibi, sıkıştırma oranı 6 ve  $\lambda=0.931$  iken, emme manifoldu dolgu sıcaklığı  $T_0$ 'dan  $T_0+12$  dereceye çıkarıldığında E10 yakıtı ile yaklaşık % 1.8, E20

yakıtı ile % 3.88, E0 ve E30 yakıtları ile de yaklaşık % 1 oranında güç artışı sağlanmıştır. 12 °C'lik dolgu ısıtılmasının E20 yakıtı için iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. E10 ve özellikle E0 yakıtı için dolgu ısıtılmasının pek gerekmediği, ancak E30 yakıtı için de 12 °C'lik ısıtmanın yetersiz kaldığı görülmüştür. Sıkıştırma oranı 7'ye çıkarıldığında yanma sonu basınç ve sıcaklığının artmasıyla emme manifoldu dolgu sıcaklığının artırılmasına büyük oranda ihtiyaç duyulmamıştır. Bu sıkıştırma oranında, tüm yakıt çeşitleriyle güç artışı sağlanmış olup, dolgu sıcaklığı 12 °C artırılmayla hemen tüm yakıt çeşitlerinde yaklaşık % 1'lik bir güç artışı sağlanmıştır. Şekil 5.16'da etanol-benzin karışımları ve motorun sıkıştırma oranının motor gücüne etkisinin emme manifoldu dolgu sıcaklığı ile değişimi verilmiştir.



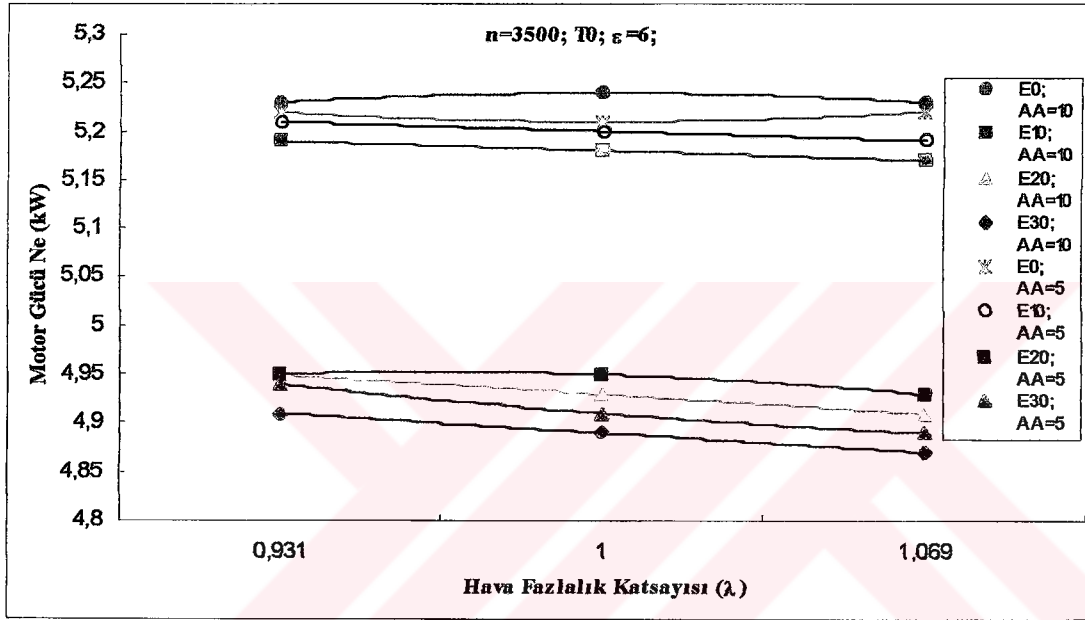
Şekil 5.16. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve  $\epsilon$ 'nın  $N_e$ 'ye Etkisinin Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığı İle Değişimi.

### 5.2.5. Hava fazlalık katsayısının motor gücüne etkisi

Şekil 5.17'de benzin ve etanol-benzin karışımlarının ve ateşleme avansının hava fazlalık katsayısına göre motor gücündeki değişimi verilmiştir.  $\epsilon=6$  iken, en yüksek motor güç değeri, E0 yakıtı ile  $AA=10$  KMA° ve  $\lambda=1$  durumunda; en düşük motor güç değeri



ise E30 yakıtı ile  $AA=10$  KMA° ve  $\lambda=1.069$  durumunda elde edilmiştir. Elde edilen bu iki değer arasındaki fark yaklaşık olarak % 7 civarında olmuştur. Etanol-benzin karışımları kullanımı ile, ateşleme avansı normal değerinde tutulmak kaydıyla ve  $\lambda$ 'nın artışına paralel olarak motor gücünde düşüş tespit edilmiştir. Bu düşüş AA'nın 5 dereceye ayarlanmasıyla azalmıştır.



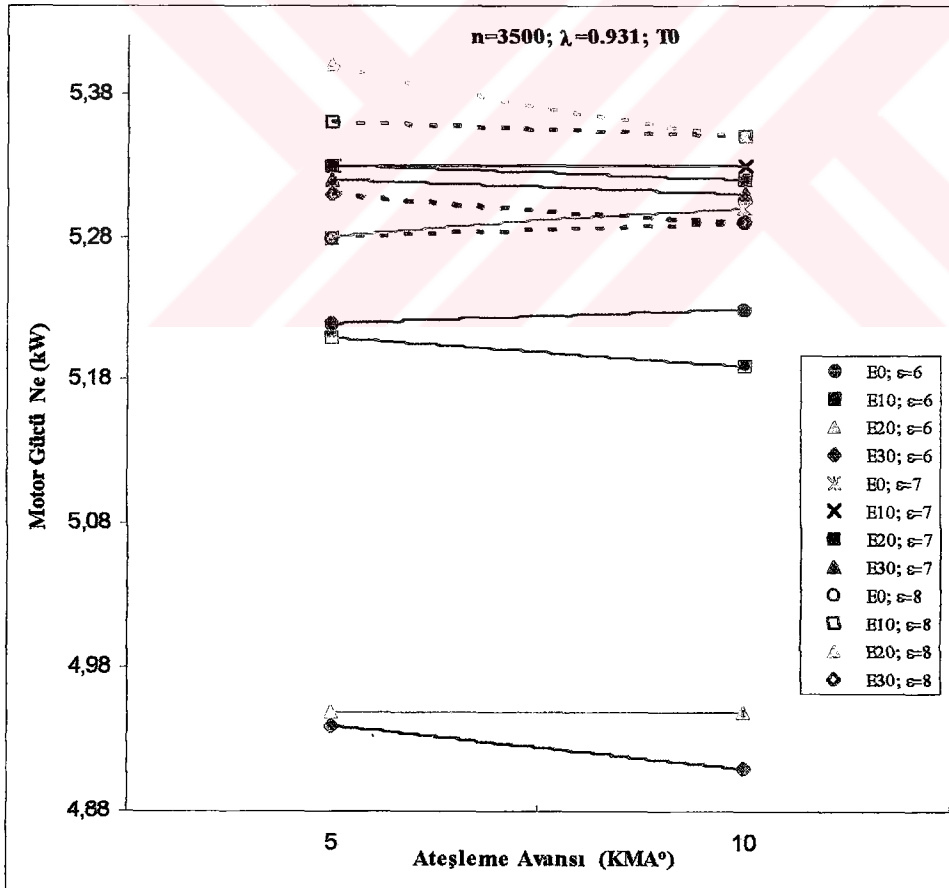
Şekil 5.17. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve AA'nın Ne'ye Etkisinin  $\lambda$  İle Değişimi.

### 5.2.6. Ateşleme avansının motor gücüne etkisi

Şekil 5.18'de görüldüğü gibi,  $\varepsilon=6$  iken, ateşleme avansı 5 KMA° rotara getirildiğinde E0 yakıtının verdiği motor gücü değerinde düşüş, diğer karışımlarla elde edilen motor gücü değerlerinde yaklaşık olarak % 1.73'lük bir artış gözlenmiştir.  $\varepsilon=8$  ve  $AA=5$  iken en yüksek motor gücü değeri E20 yakıtı ile elde edilmiştir. En düşük motor gücü değeri ise,  $\varepsilon=6$  ve  $AA=10$  iken E30 yakıtı ile elde edilmiştir. Bu iki değer arasındaki fark yaklaşık olarak % 8.3 civarında olmuştur.  $\varepsilon=6$  ve  $\varepsilon=8$  sıkıştırma oranlarında E0 yakıtı ile elde edilen motor gücü değerleri arasında da benzer bir trend gözlemlenmiştir.



yakıtı ile elde edilen motor gücü farkı % 1'in altında kalmıştır. E0 yakıtı ile  $\epsilon=7$  ve 8 sıkıştırma oranı ile elde edilen motor gücü değerleri arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir.  $\epsilon=6$  iken E0 ile E30 yakıtlarının verdiği motor gücü farkı yüksek olmasına rağmen  $\epsilon=7$  ve 8'de bu farklar azalarak birbirlerine yakın çıkmıştır. Etanolün yanma hızının benzinin yanma hızına göre daha yüksek olması nedeniyle aynı ateşleme avansında etanol-benzin karışımı yanarsa, piston ÜÖN'ya gelmeden önce maksimum basınç meydana gelir, bu durum ise ortalama çevrim basıncının azalmasına neden olur. Oysa maksimum basıncın ÜÖN'yu  $5-10^\circ$  geçte meydana gelmesi istenmektedir (Ziejewski 1985: Ricardo'dan). Bu sebeple, ateşleme avansı  $10 \text{ KMA}^\circ$ 'dan  $5 \text{ KMA}^\circ$ 'ya (rotara) çekilmiştir. Şekil 5.18'de benzin ve etanol-benzin karışımları ve sıkıştırma oranının motor gücüne etkisinin ateşleme avansı ile değişimi verilmiştir.

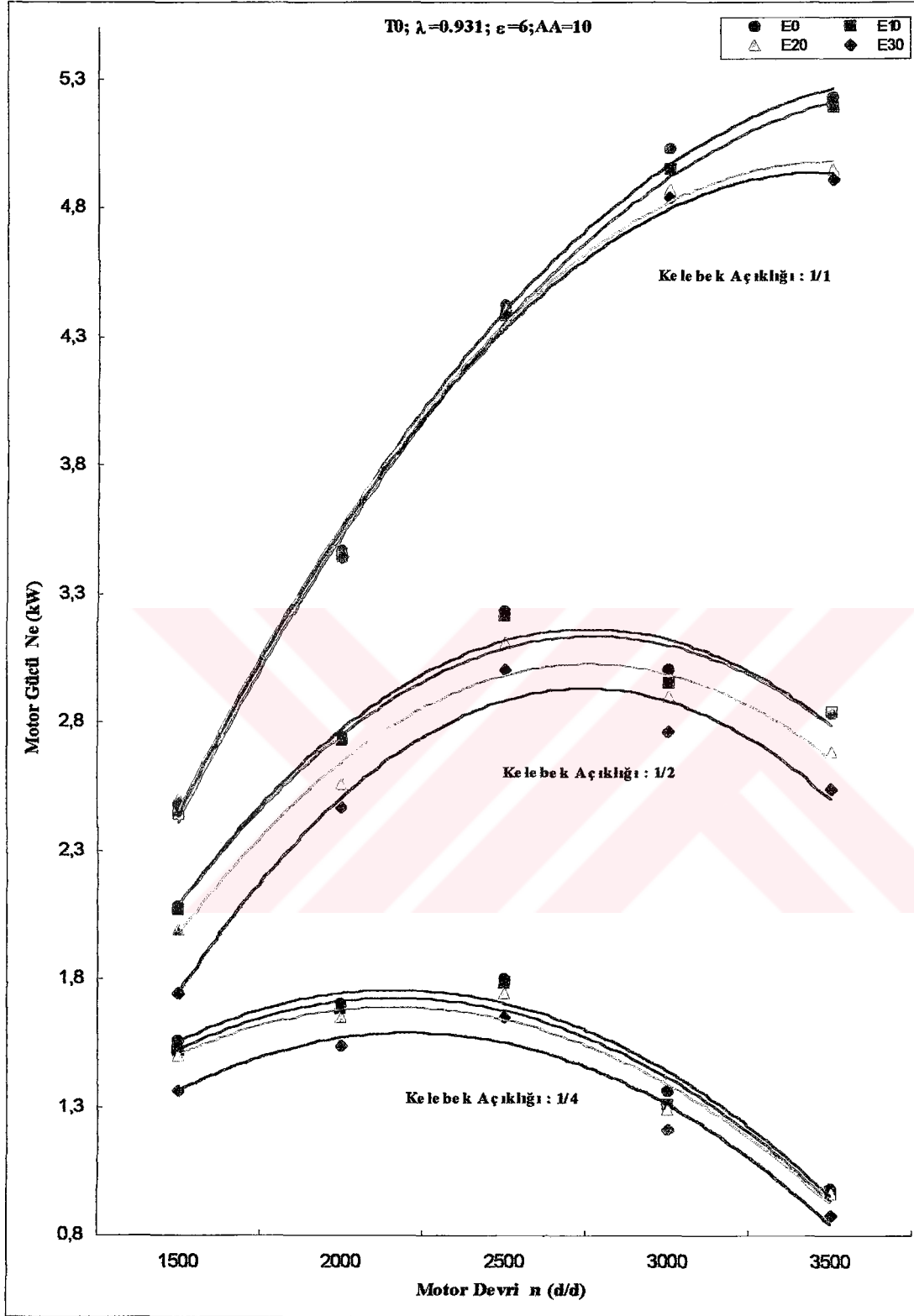


Şekil 5.18. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve  $\epsilon$ 'nin  $N_e$ 'ye Etkisinin AA İle Değişimi.

### 5.2.7. Kelebek açıklığının motor gücüne etkisi

Benzin ve etanol-benzin karışımlarının ve kelebek açıklığının motor gücüne etkisinin motor devri ile değişimi Şekil 5.19'da verilmiştir. Her dört deney yakıtı ile 1/4 kelebek açıklığında elde edilen motor gücü 1/2 ve 1/1 kelebek açıklık konumlarına göre daha düşük, 1/2 kelebek açıklığında elde edilen motor gücü ise 1/1 kelebek açıklık konumuna göre daha düşük olmuştur. 1/4 Kelebek açıklığı ile 1/1 kelebek açıklık konumlarında motor devri 1500 d/d en yüksek güç E0 yakıtı ile, en düşük güç ise E30 yakıtı ile elde edilmiştir. 1/4 kelebek açıklığında tüm yakıtlar için maksimum motor gücü yaklaşık 2200 d/d'da elde edilmiştir. Yine aynı kelebek konumunda tüm devirlerde maksimum güç büyüklük sırasına E0, E10, E20, ve E30 yakıtı ile elde edilmiştir. Bu yakıtlarla elde edilen motor gücü değerleri arasında bir paralellik sağlamakla birlikte, aralarındaki en büyük fark % 5'lik bir değer ile E0 ve E30 arasında olmaktadır.

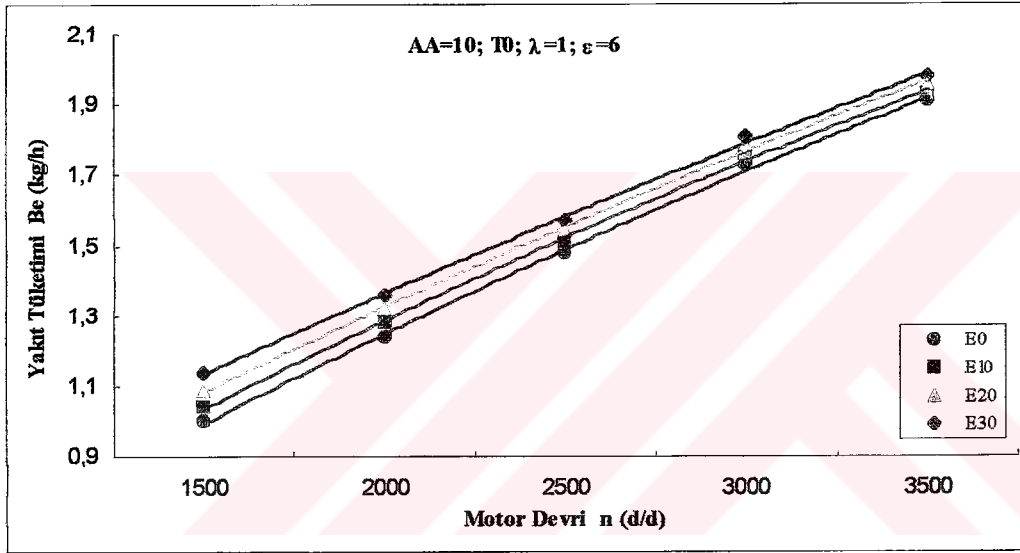
Şekil 5.19'da da görüldüğü gibi, kelebek açıklığı 1/2 iken maksimum güç 2700 d/d'da meydana gelmektedir. Benzin ve karışımların verdikleri motor güç eğrileri bir uyum göstererek, en yüksek fark değeri E0 ile E30 yakıtları arasında olup, bu fark değeri yaklaşık olarak % 6 civarındadır. En yüksek güç değerleri, 1/1 kelebek konumunda, 3500 motor devrinde ve normal benzinli çalışma ile elde edilmiştir. Bu kelebek konumunda, 1500-2500 d/d aralığında benzin ve etanol-benzin karışımlarının motor gücü değeri arasında belirgin bir fark görülmemiştir. Ancak, motor devri 2500 d/d'nin üzerine çıktığında motor gücünde farklılık meydana gelmektedir. 1/1 gaz kelebeği açıklığında maksimum motor gücü 3500 d/d'da büyükten küçüğe doğru sırası ile E0, E10, E20 ve E30 yakıtları ile elde edilmiştir. 3500 d/d'da E0 ile E30 yakıtları arasındaki fark yaklaşık olarak % 8 olmuştur.



**Şekil 5.19.** Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve Kelebek Açıklığının Motor Gücüne Etkisinin Motor Devri İle Değişimi.

### 5.3. Yakıt tüketimi

Deneyle sırasında  $10 \text{ cm}^3$ 'lük hacmindeki yakıtın tüketilme zamanı  $\Delta t$  (sn) olarak ölçülmüştür.  $\Delta t$ 'nin değeri tespit edilerek, motorun yakıt tüketimi bulunmuştur. Şekil 5.20'de motorun hızına bağlı olarak, motorun belirlenen yakıt tüketimi grafiği verilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi, yakıt tüketimi motor devrinin bir fonksiyonu olarak değişim göstermektedir.



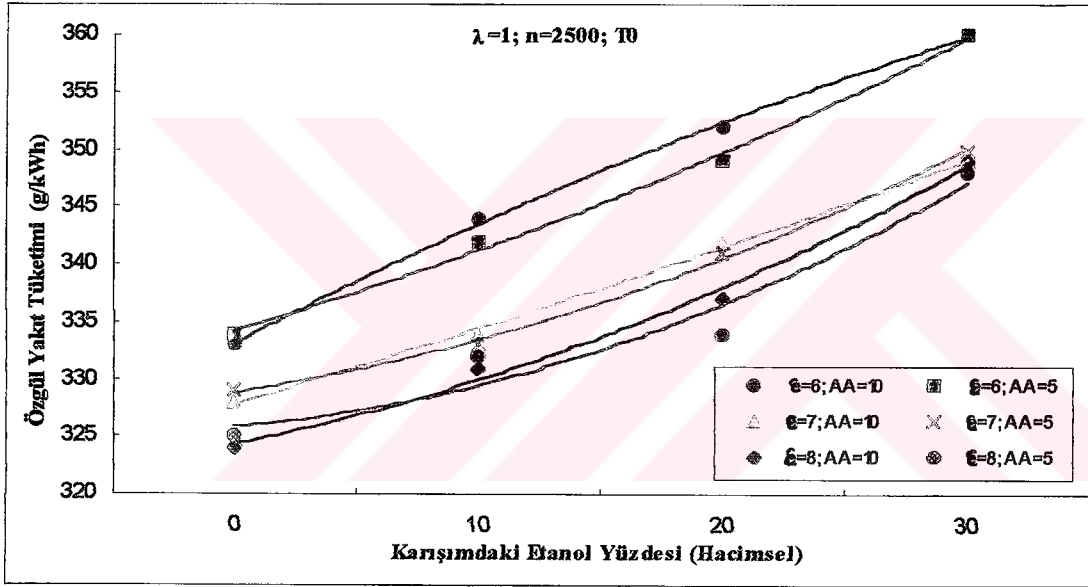
Şekil 5.20. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımlarının Motor Devrine Bağlı Olarak Yakıt Tüketimi.

### 5.4. Özgül yakıt tüketimi

#### 5.4.1. Karışımdaki etanol miktarının motorun özgül yakıt tüketimine etkisi

$\lambda=1$ ,  $n=2500 \text{ d/d}$ ,  $T_0$ ,  $\varepsilon=6$  ve  $AA=10 \text{ KMA}^\circ$  iken karışımdaki etanol miktarının artışına paralel olarak özgül yakıt tüketiminde yaklaşık olarak % 8 oranında artış tespit edilmiştir. Etanolün ısı değeri benzine göre daha düşük olması, etanol-benzin karışımları düşük sıkıştırma oranlı motorlarda, aynı çalışma koşullarında benzine göre

daha düşük motor gücü verdiklerinden, özgül yakıt tüketimi de (güç formülünden yararlanılarak hesaplandığından) artış göstermektedir. Ateşleme avansı 5 derece rotara alındığında, karışımdaki etanol miktarının artışına paralel olarak özgül yakıt tüketimindeki artış 10 KMA<sup>o</sup>'na göre daha düşük olmuştur. Şekil 5.21'de de görüldüğü gibi, sıkıştırma oranı artışına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi daha düşük çıkmıştır. Burada, karışımdaki etanol miktarının artışına paralel olarak en düşük özgül yakıt tüketimi, sıkıştırma oranı 8 iken elde edilmiştir. Motorun sıkıştırma oranı ve ateşleme avansının özgül yakıt tüketimine etkisinin karışımdaki etanol miktarı ile değişimi Şekil 5.21'de gösterilmiştir.

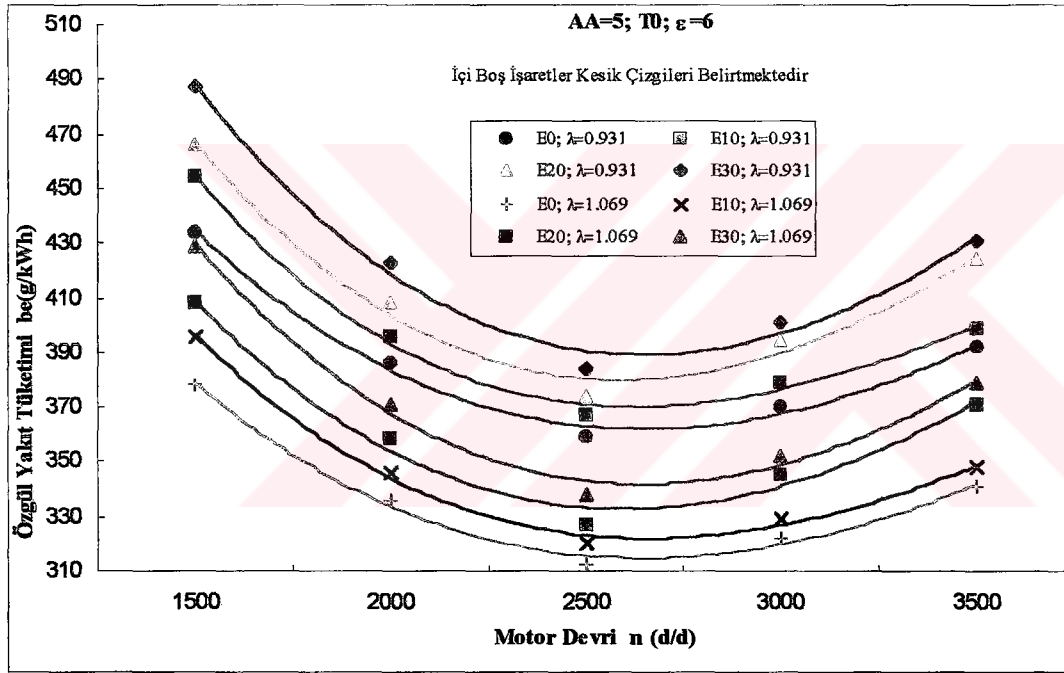


Şekil 5. 21. Motorun Özgül Yakıt Tüketiminin Karışımdaki Etanol Miktarı İle Değişimi.

#### 5.4.2. Motor devrinin motorun özgül yakıt tüketimine etkisi

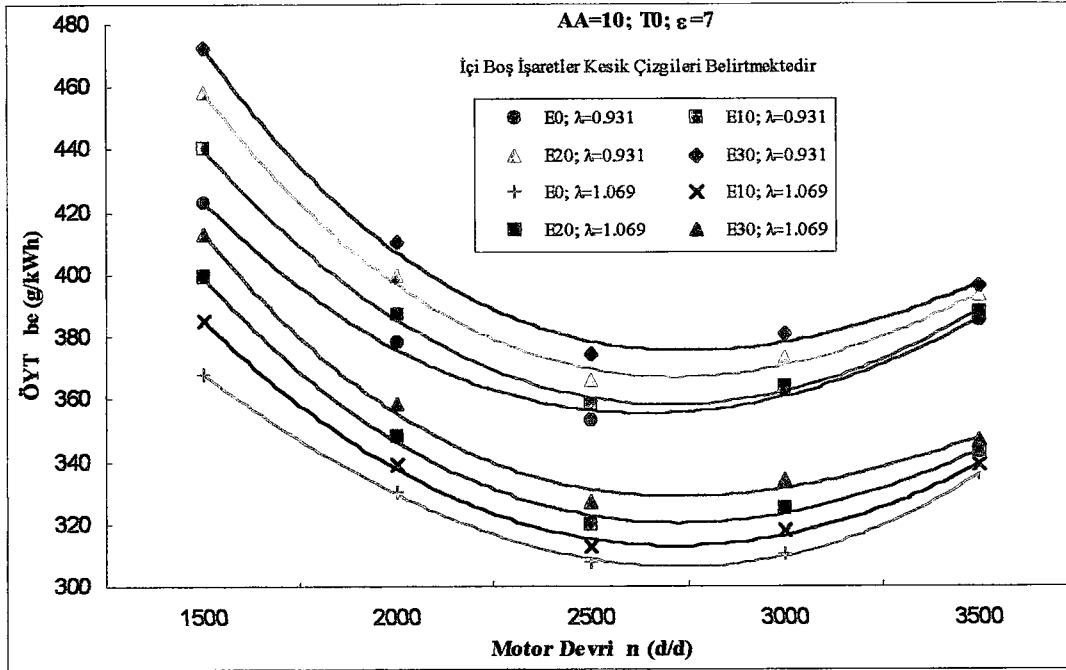
Benzin ve etanol-benzin karışımlarının ve hava fazlalık katsayısının özgül yakıt tüketimine etkisinin motor devri ile değişimi Şekil 5.22'de görülmektedir. Etanol-benzin karışımları benzinle paralel özellik göstermektedir. Tüm deney yakıtları için en düşük ÖYT değeri 2700 d/d'da elde edilmiştir. En yüksek ÖYT değeri E30 yakıtı ve  $\lambda=0.931$  ile elde edilmiş, en düşük ÖYT değeri ise E0 ve  $\lambda=1.069$  ile elde edilmiştir. Bu iki yakıt

çeşidi ile elde edilen ÖYT değeri farkı yaklaşık % 21 civarında olmuştur.  $\lambda = 0.931$ 'den 1.069'a yükseltildiğinde özgül yakıt tüketiminde yaklaşık olarak % 15 oranında düşüş görülmektedir. ÖYT değeri büyükten küçüğe doğru sırası ile E30, E20, E10 ve E0 yakıtları ile elde edilmiştir. Etanolün ısııl değerleri benzinin ısııldeğerine göre düşük ve oktan sayısı benzinin oktan sayısına göre daha yüksektir. Düşük sıkıştırma oranlı motorlarda etanol ya da etanol-benzin karışımı kullanımı motor performansı açısından uygun değildir. Şekil 5.22'de de görüldüğü gibi, etanol-benzin karışımlarının özgül yakıt tüketimleri benzinin özgül yakıt tüketimine göre daha yüksek olmuştur.

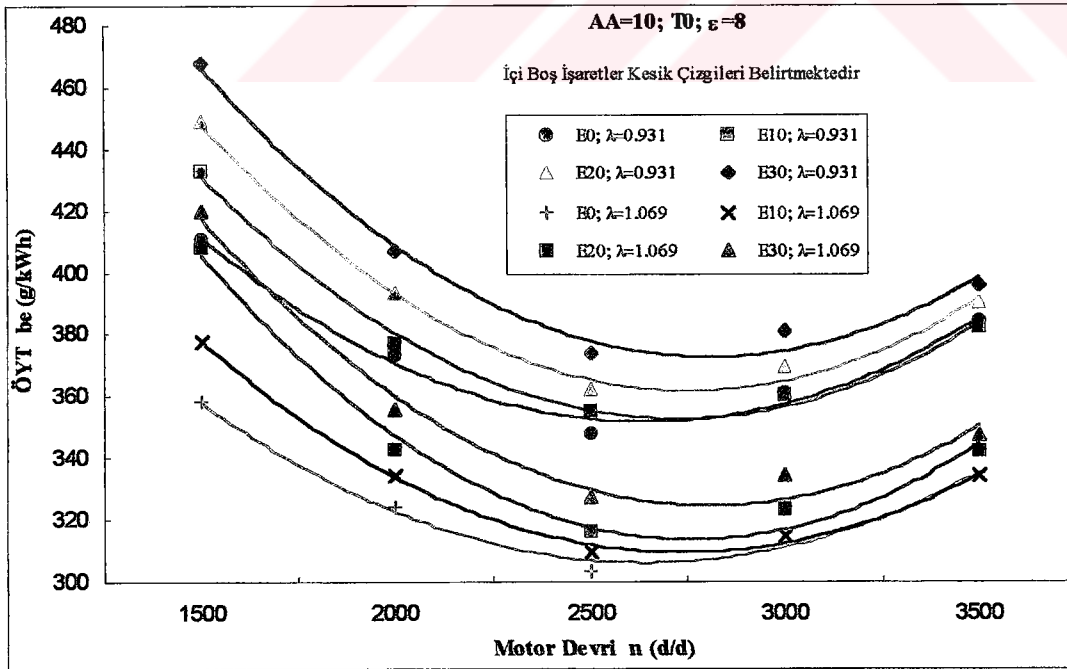


Şekil 5.22. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve  $\lambda$ 'nın ÖYT'ye Etkisinin n İle Değişimi ( $\epsilon=6$ ).

Benzin ve etanol-benzin karışımlarının ve  $\lambda$ 'nın ÖYT'ye etkisinin n ile değişimi Şekil 5.23'te verilmiştir. Sıkıştırma oranı 6'dan 7'ye çıkarıldığında E0 yakıtı ile ÖYT değerinde yaklaşık % 1.5, E10 yakıtı ile yaklaşık % 2.9, E20 yakıtı ile % 3.1 ve E30 yakıtı ile yaklaşık % 3 oranında düşüş sağlanmıştır (Şekil 5.23).



Şekil 5.23. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımlarının ve  $\lambda$ 'nın ÖYT'ye Etkisinin  $n$  İle Değişimi ( $\epsilon=7$ ).



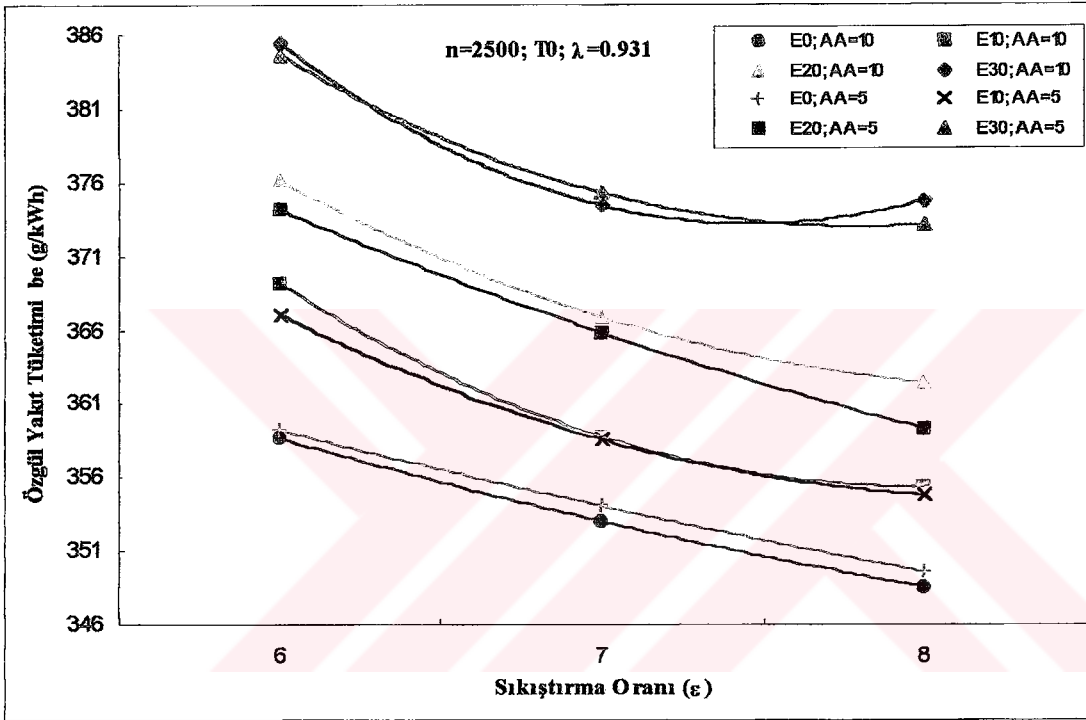
Şekil 5.24. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımlarının ve  $\lambda$ 'nın ÖYT'ye Etkisinin  $n$  İle Değişimi ( $\epsilon=8$ ).

Benzin ve etanol-benzin karışımlarının ve  $\lambda$ 'nın ÖYT'ye etkisinin  $n$  ile değişimi Şekil 5.24'te verilmiştir. Sıkıştırma oranı 6'dan 8'e çıkarıldığında E0 yakıtı ile ÖYT değerinde yaklaşık % 2.8, E10 yakıtı ile yaklaşık % 3.8, E20 yakıtı ile % 4.2 ve E30 yakıtı ile yaklaşık % 3.4 oranında düşüş gözlenmiştir (5.24). Motorun sıkıştırma oranının artışına paralel olarak özellikle motorun yüksek devirlerinde daha düşük özgül yakıt tüketimi vermiştir. Burada da, tüm deney yakıtlarının en yüksek özgül yakıt tüketimi  $\lambda=0.931$  iken elde edilmiştir.

#### 5.4.3. Motorun sıkıştırma oranının motorun özgül yakıt tüketimine etkisi

Benzin ve etanol-benzin karışımları ve ateşleme avansının özgül yakıt tüketimine etkisinin motorun sıkıştırma oranı ile değişimi Şekil 5.25'te verilmiştir. Sıkıştırma oranı 6'dan 8'e çıkarıldığında özgül yakıt tüketiminde bir düşüş belirlenmiştir. Ancak E30 yakıtı ile çalışıldığında sıkıştırma oranı 7.5 seviyelerinde iken ÖYT minimum değere indiği ve sıkıştırma oranı 8 olduğunda, artış eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. E0 yakıtı ile,  $n=2700$  d/d, ateşleme avansı  $10 \text{ KMA}^\circ$  ve  $\varepsilon=8$ ,  $l=1.069$  iken en düşük ÖYT değeri ( $318 \text{ g/kWh}$  olarak) elde edilmiştir. Bu yakıt çeşidi ile  $\varepsilon=6$ 'dan 8'e çıkarıldığında özgül yakıt tüketiminde yaklaşık olarak % 2.78'lik bir düşüş sağlanmıştır. Sıkıştırma oranı 6 iken en yüksek ÖYT değeri E30 yakıtı ve  $AA=10 \text{ KMA}^\circ$  iken elde edilmiştir. Şekil 5.25'te görüldüğü gibi,  $\varepsilon=6$ ,  $10 \text{ KMA}^\circ$ , E0 yakıtı ile E30 yakıtının ÖYT değerleri arasında yaklaşık olarak % 7'lik bir fark bulunmaktadır.  $\varepsilon=7$ ,  $AA=10 \text{ KMA}^\circ$ , E0 yakıtı ile E30 yakıtının ÖYT değerleri arasındaki en büyük fark yaklaşık olarak % 5.7 olmaktadır.  $\varepsilon=8$ ,  $AA=10 \text{ KMA}^\circ$ , E0 yakıtı ile E30 yakıtının ÖYT değerleri arasındaki en büyük fark yaklaşık olarak % 7 olmuştur. E30 yakıtının  $\varepsilon=6$ 'dan 8'e çıkarıldığında özgül yakıt tüketiminde görülen düşüş yaklaşık olarak % 2.5 olmuştur. E10 yakıtının  $\varepsilon=6$ 'dan 8'e çıkarıldığında ÖYT değerindeki düşüş yaklaşık % 3.7 çıkmıştır. Panzer (1979), benzin için tasarımı yapılan bir motorda (sıkıştırma oranı değiştirilmeksizin) etanol-benzin karışımları ile yapılan çalışmada, etanol-benzin karışımlarının ÖYT değerlerinin, normal benzinin ÖYT değerine göre daha yüksek çıktığını belirtmiştir. Ateşleme avansı  $10^\circ$ 'den  $5^\circ$ 'ye düşürüldüğünde yalnızca benzin kullanıldığı taktirde motorun özgül yakıt

tüketiminde artış görülmüş, buna karşılık etanol-benzin karışımı ile yapılan testlerin tümünde özgül yakıt tüketiminde bir azalma görülmüştür. Etanol-benzin karışımı kullanıldığında, ateşleme avansı azaltmak etanolün yüksek yanma hızından dolayı motor performansını olumlu yönde etkilemiş ve bundan dolayı özgül yakıt tüketiminde azalma meydana gelmiştir.

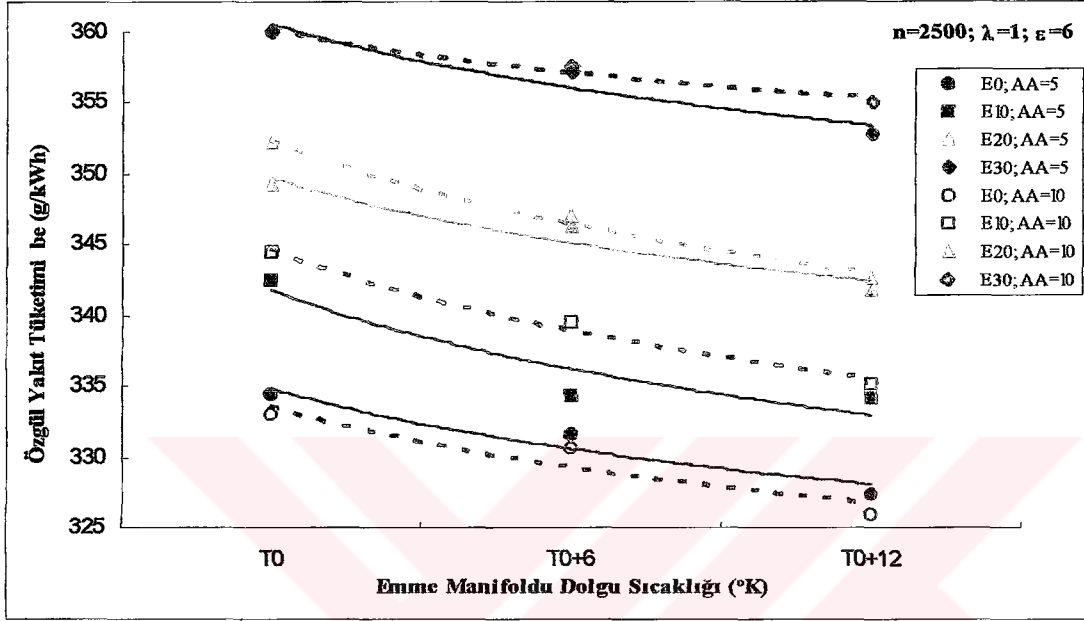


Şekil 5.25. Etanol-Benzin Karışımları ve AA'nın ÖYT'ye Etkisinin  $\epsilon$  İle Değişimi.

#### 5.4.4. Emme manifoldu dolgu sıcaklığının motorun özgül yakıt tüketimine etkisi

Etanol-benzin karışımları ve ateşleme avansının motorun özgül yakıt tüketimine etkisinin emme manifoldu dolgu sıcaklığı ile değişimi Şekil 5.26'da verilmiştir. Emme manifoldu dolgu sıcaklığı  $T_0$ 'dan  $T_0+12$  °C'ta çıkarılması ile özellikle etanol-benzin karışımları kullanımı ile motor performansı iyi sonuç vermekte ve buna bağlı olarak özgül yakıt tüketimi yaklaşık olarak % 2 oranında düşüş göstermektedir. Burada, aynı çalışma

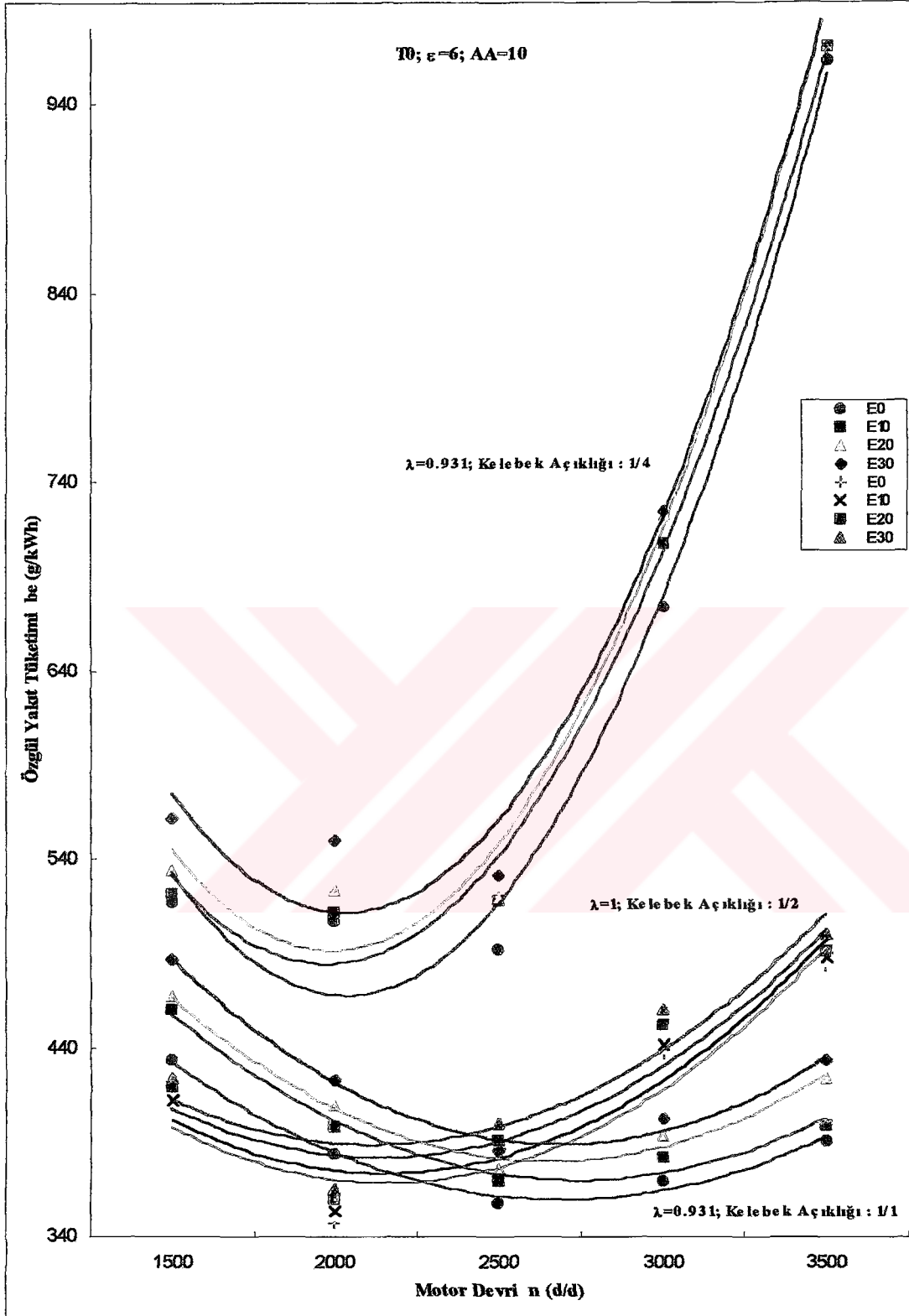
koşullarında, ateşleme avansının 5 dereceye çekilmesi ile özgül yakıt tüketimi daha da azalmıştır. E30 yakıtı aynı çalışma koşullarında, E0 yakıtına göre özgül yakıt tüketimi yaklaşık olarak % 9 daha fazla olmuştur.



Şekil 5.26. Emme manifoldu dolgu sıcaklığının motorun özgül yakıt tüketimine etkisi.

#### 5.4.5. Kelebek açıklığının motorun özgül yakıt tüketimine etkisi

Benzin ve etanol-benzin karışımlarının ve kelebek açıklığının özgül yakıt tüketimine etkisinin motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 5.27'te verilmiştir. 1/4 kelebek açıklığında elde edilen ÖYT değerleri 1/2 ve 1/1 kelebek açıklık durumlarına göre daha yüksek olmuştur. Bu kelebek açıklığında minimum ÖYT değerleri motorun 2000 devrine karşılık gelmektedir. Motorun 2000 devrinden sonraki devirlerinde ÖYT hızlı bir artış kaydederek 3500 d/d'da maksimum değerini almıştır. Bu kelebek konumunda beklenen bir sonuç olarak motor momentinin düşük ve buna bağlı olarak motor gücünün de düşük olması nedeni ile ÖYT çok yüksek değerde çıkmış ve bu değer ekonomik sınırın çok altında kalmıştır (Şekil 5.27).



Şekil 5.27. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve Kelebek Açıklığının ÖYT'ye Etkisinin  $n$  İle Değişimi.

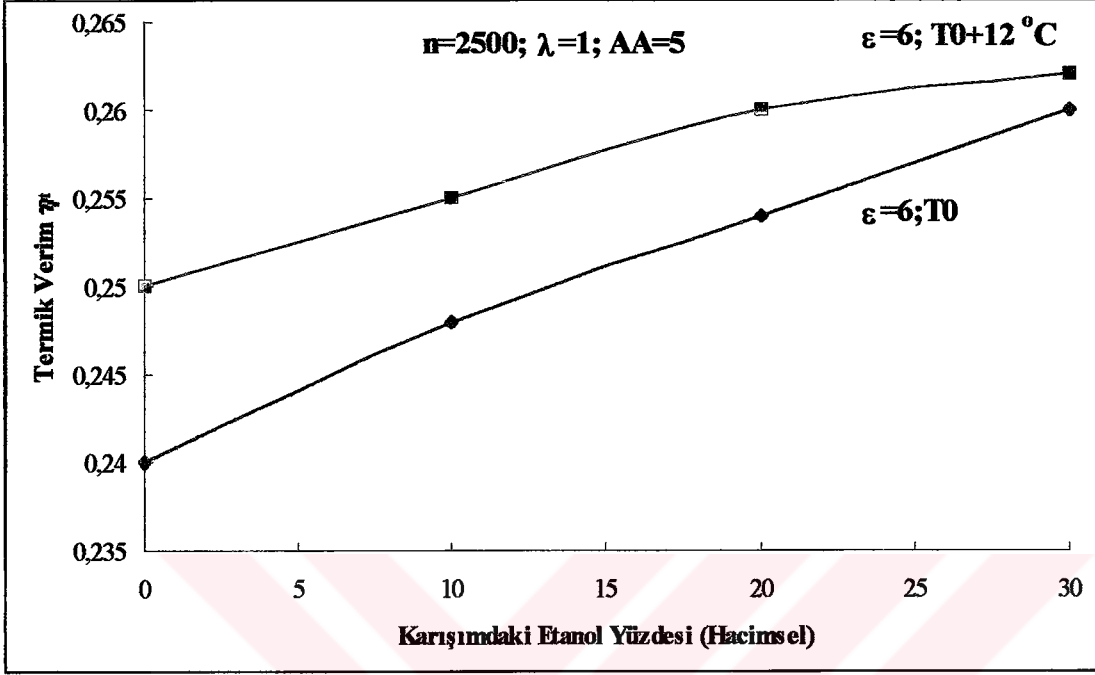
1/2 kelebek açıklığında elde edilen en düşük ÖYT değerleri motorun 2200 devrine karşılık gelmektedir. Bu devirden sonra özgül yakıt tüketimi güç düşmesine paralel olarak artış göstermektedir. Benzin ve etanol-benzin karışımlarının verdiği ÖYT değerleri birbirleri ile uyum içerisinde olup, en düşük ÖYT değeri sırası ile E0, E10, E20 ve E30 yakıtı ile elde edilmiştir. 1/2 kelebek açıklığında elde edilen ÖYT değerleri de ekonomik değildir. Bu nedenle, çalışma tam yük durumunda tekrarlanmıştır.

### 5.5. Termik Verim ( $\eta_t$ )

Termik verim, motordan alınan mekanik enerjinin, motorun o anda tükettiği yakıtın enerjisine olan oranıdır. Termik verim, benzinin ve etanol-benzin karışımlarının ısı değerleri ve deneyler sırasındaki yakıt tüketimleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Starkman'a (1970) göre, motor çevriminde alkollerde ulaşılan doruk sıcaklıklar benzine göre daha düşüktür. Bu fark etanol için 50 °C civarındadır. Gülder ve Bayka'ya (1981) göre, saf alkol kullanımı sonucu oluşan düşük yanma sıcaklıkları soğutma suyuna geçen ısı kaybını azaltmakta ve bunun sonucunda da termik verim olumlu yönde etkilenmektedir.

### 5.5.1. Karışımdaki etanol miktarının termik verime etkisi

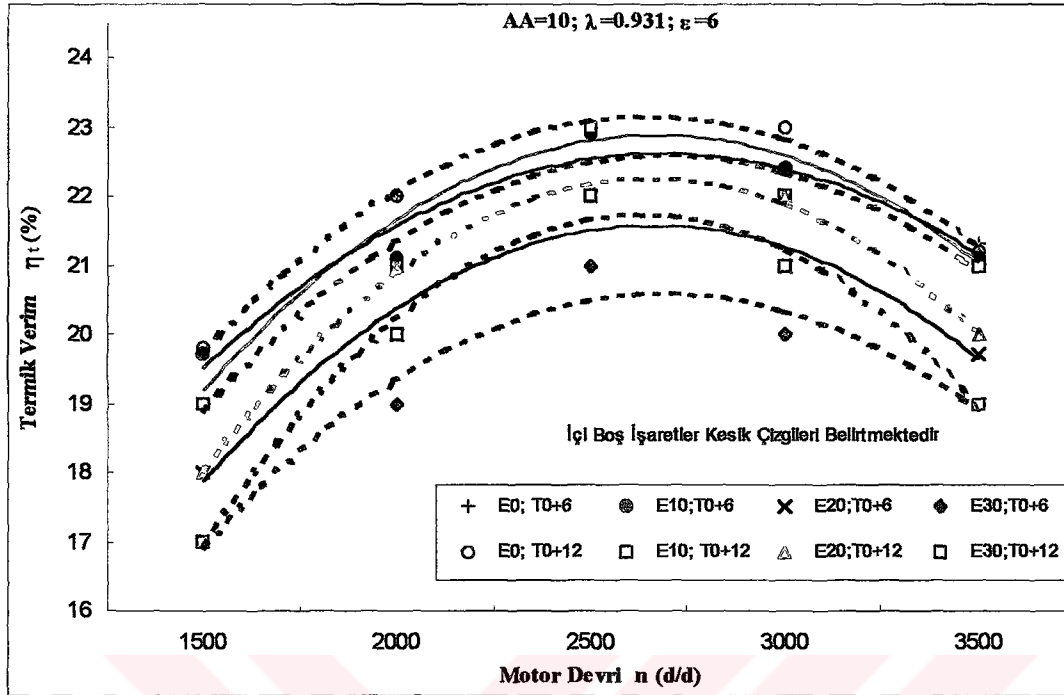
Şekil 5.28'de karışımdaki etanol miktarının termik verime etkisi verilmiştir. Karışımdaki etanol yüzdesinin artışına bağlı olarak termik verimde artış sağlanmıştır. Bu artışın nedeni etanolün ısı değeri benzinin ısı değerine nazaran daha düşük olması ile açıklanabilir. Etanol benzin karışımlarının özgül yakıt tüketimleri benzinin özgül yakıt tüketimine göre daha yüksek olmasına karşın, yine de etanol benzin karışımlarının termik verimi daha yüksek çıkmıştır. Emme manifoldu dolgu sıcaklığının artışı da termik verimi artırmaktadır (Şekil 5.28).



Şekil 5.28. Karışımındaki Etanol Miktarının Termik Verime Etkisi.

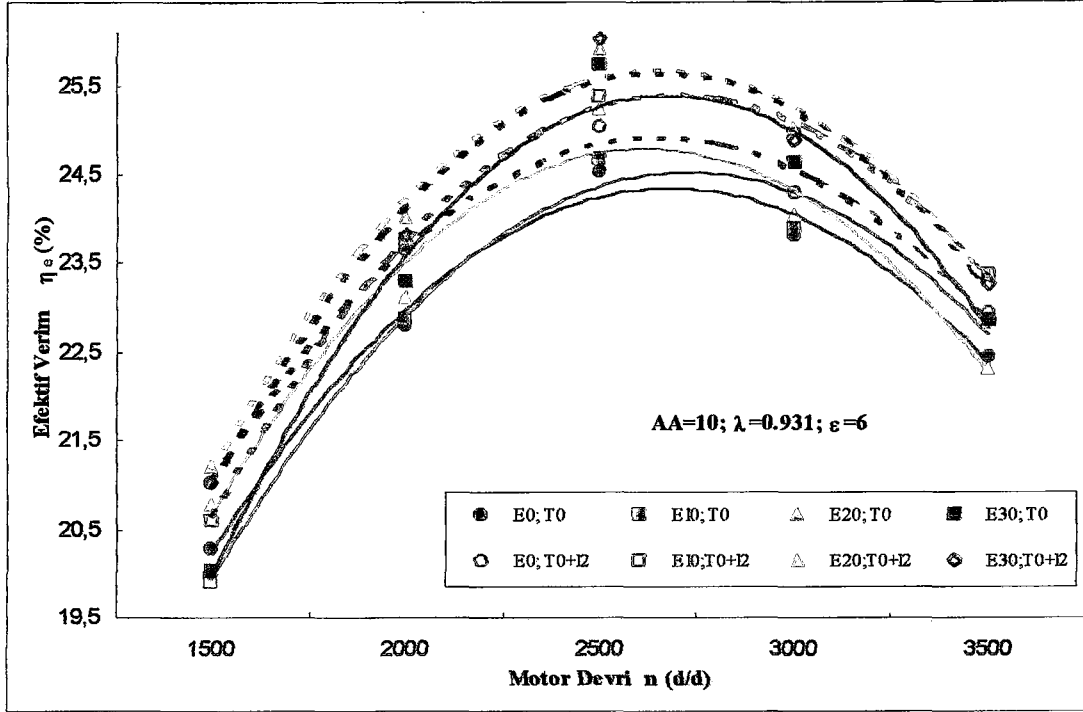
### 5.5.2. Motor devri ve yakıt türünün termik verime etkisi

Ateşleme avansı ( $10\text{ KMA}^{\circ}$ ) normal değerinde,  $\lambda=0.931$  ve  $\epsilon=6$  iken, emme manifoldunun ısıtılmadığı durumlarda en yüksek termik verim büyükten küçüğe doğru sırası ile E30, E20, E10 ve E0 yakıtı ile elde edilmiştir. En yüksek termik verim motor devri  $2700\text{ d/d}$  iken, E20 ve E30 yakıtları ile, emme manifoldu dolgu sıcaklığının artırılması durumunda elde edilmiştir.

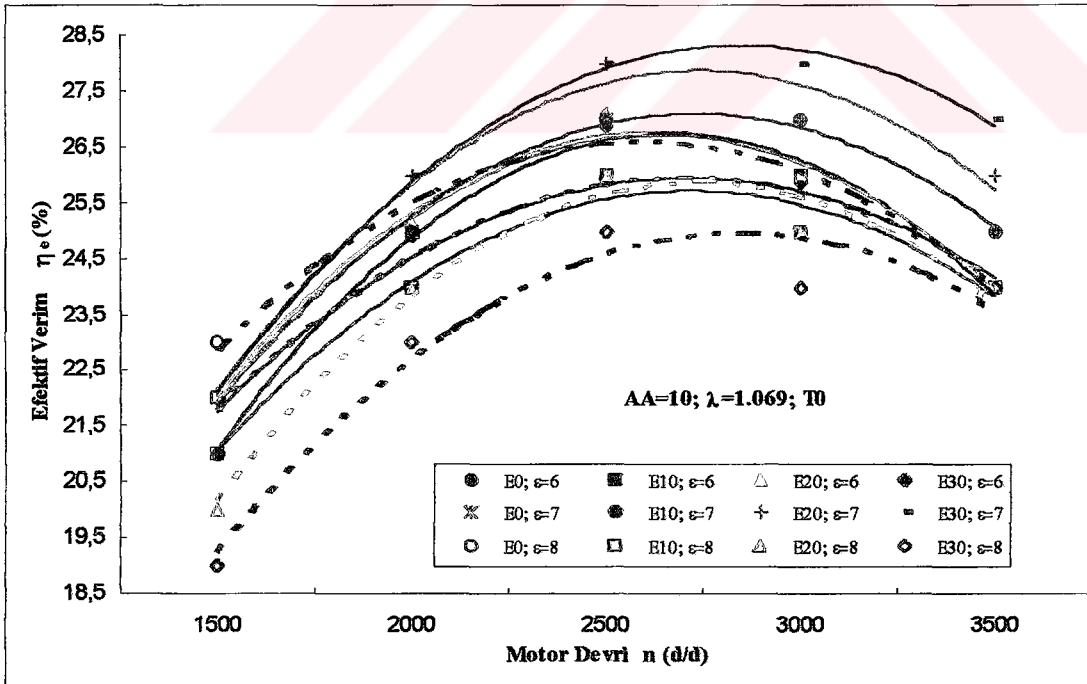


Şekil 5.29. Etanol-Benzin Karışımları ve Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığının  $\eta_t$ 'ye Etkisinin  $n$  İle Değişimi.

Emme manifoldu dolgu sıcaklığının  $T_0+6$  °C'tan  $T_0+12$  °C'ta çıkarılması ile tüm yakıt çeşitlerinin termik verimleri artış göstermiştir. Ancak, termik verimin artırışı konusunda kesin bir hüküm söylemek için dışarıdan verilen ısının da hesaba katılması gerekir. Eğer ısıtılma işlemi, deney setinde olduğu gibi, egzoz gazları ısısından yararlanılarak yapılıyorsa, ısıtılma işlemi termik verim artışı açısından kazançlı sayılır. Özellikle soğuk havalarda etanol-benzin karışımları kullanımı durumunda, emme manifoldu dolgu sıcaklığının yükseltilmesi ihtiyacı doğmaktadır. Benzin ve etanol-benzin karışımları ve emme manifoldu dolgu sıcaklığının  $\eta_t$ 'ye etkisinin motor devri ile değişimi Şekil 5.30'da verilmiştir.



Şekil 5.30. Etanol-Benzin Karışımları ve Manifold Sıcaklığının  $\eta_e$ 'ye Etkisinin  $n$  İle Değişimi.

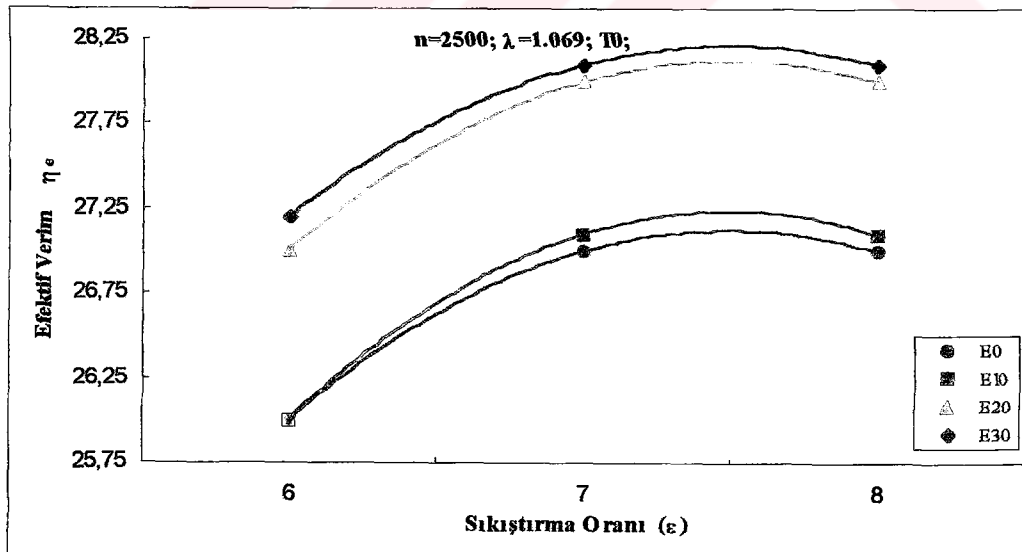


Şekil 5.31. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve  $\varepsilon$ 'nin  $\eta_e$ 'ye Etkisinin  $n$  İle Değişimi.

Benzin ve etanol-benzin karışımlarının ve sıkıştırma oranının termik verime etkisinin motor devri ile değişimi Şekil 5.31'de verilmiştir. Emme manifoldu dolgu sıcaklığı ısıtılmaksızın, tüm deney yakıtları ile en yüksek termik verim değeri  $\varepsilon=7$  ve  $n=2600-2700$  d/d civarında vermiştir.  $\lambda=1.069$  durumunda, E30 yakıtının en düşük termik verim değeri  $\varepsilon=8$  iken elde edilmiştir.

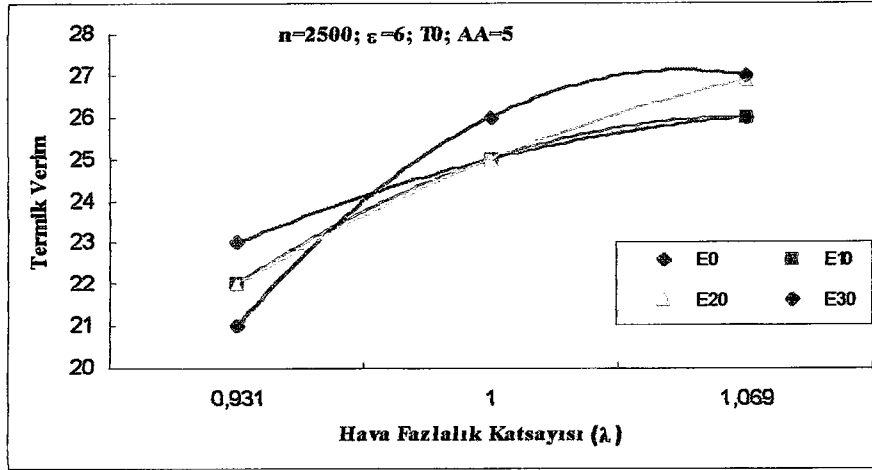
### 5.5.2. Motorun sıkıştırma oranının termik verime etkisi

Şekil 5.32'de görüldüğü gibi, tüm deney yakıtları ile elde edilen en yüksek termik verim değerleri motorun 7.5'lik sıkıştırma oranına denk gelmektedir. Sıkıştırma oranı 8'e çıkarıldığında, tüm deney yakıtlarının termik verim değeri, sıkıştırma oranı 7'ye göre düşüş eğilimine girmiştir. Sıkıştırma oranı 7 iken, hemen tüm yakıt çeşitleri ile elde edilen termik verim değerleri, sıkıştırma oranı  $\varepsilon=6$  ve 8 ile elde edilen termik verim değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Burada, en yüksek termik verim değerleri sırası ile E30, E20, E10 ve E0 yakıtları ile elde edilmiştir.



Şekil 5.32. Motorun Sıkıştırma Oranının Termik verime Etkisi.

### 5.5.3. Hava fazlalık katsayısının termik verime etkisi



Şekil 5.33. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları  $\eta_t$ 'ye Etkisinin  $\lambda$  İle Değişimi.

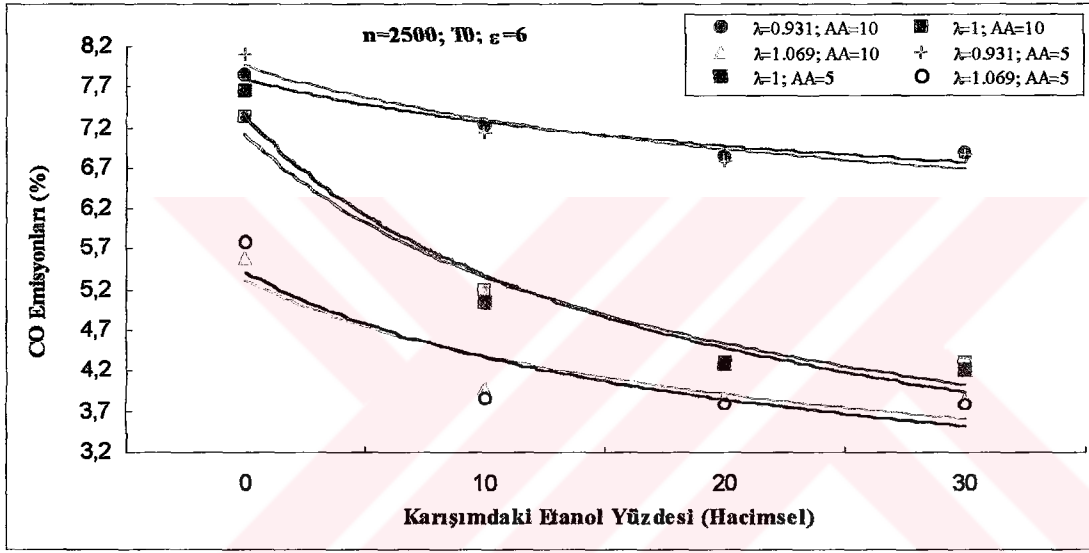
Şekil 5.33'te de görüldüğü gibi, hava fazlalık katsayısının artışına paralel olarak termik verim de artış göstermiştir. E20 ve E30 yakıtları  $\lambda$ 'nın 0.931'lik değeri hariç, diğer iki HFK değerinde yüksek termik verim vermiştir.  $\lambda$ 'nın 0.931 değeri için tüm yakıtların termik verimleri düşük olurken, E0 yakıtı diğerlerine göre daha yüksek çıkmıştır.

### 5.6. Karbonmonoksit emisyonları (CO)

Karışımlardaki etanol yüzdesinin artışına bağlı olarak özellikle CO emisyonlarında düşüş tespit edilmiştir. 1/4 ve 1/2 yükleme durumlarında CO emisyonları 1/1 yükleme durumuna göre yaklaşık olarak % 4-18 arasında azalma göstermiştir. Ancak içten yanmalı motorlardan iş elde edildiğinden, tam yük altındaki performans çalışması önem arz etmektedir.

### 5.6.1. Karışımdaki etanol miktarının CO emisyonlarına etkisi

Şekil 5.34'te hava fazlalık katsayısı ve ateşleme avansının CO emisyonlarına etkisinin karışımdaki etanol miktarı ile değişimi verilmiştir. Karışımdaki etanol miktarı arttırıldıkça CO emisyonlarında belirgin bir düşüşün yaşandığı gözlenmiştir. Hava fazlalık katsayısının 1.069 olduğu bölgede CO emisyonları en düşük değerini almaktadır. Ateşleme avansının CO emisyonları üzerinde fazla etkili olmadığı görülmüştür.

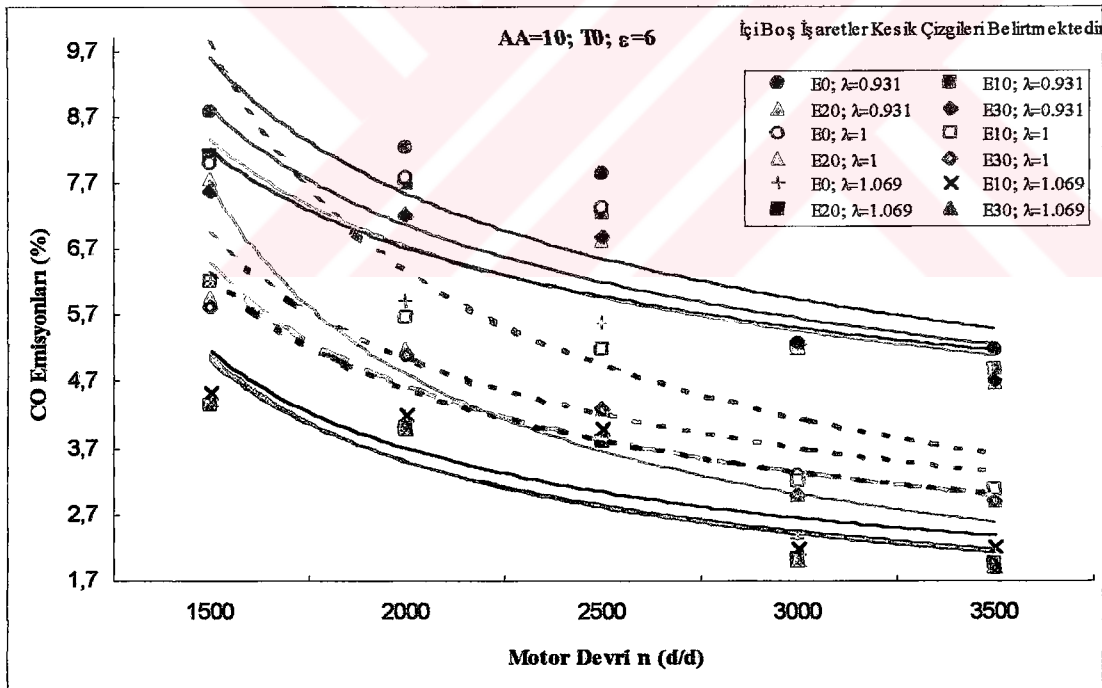


Şekil 5.34. Ateşleme Avansı ve  $\lambda$ 'nın CO Emisyonlarına Etkisinin Karışımdaki Etanol Miktarı İle Değişimi.

### 5.6.2. Motor devrinin CO emisyonlarına etkisi

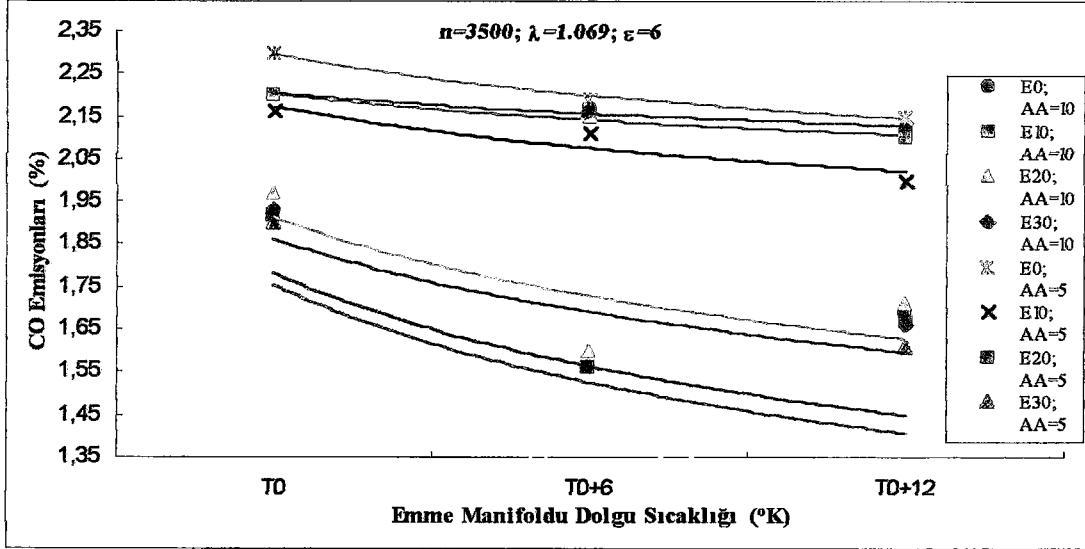
Etanol-benzin karışımları benzine göre (Şekil 5.34), daha düşük CO emisyonları vermiştir. Daha önce de belirtildiği gibi normal benzinin stokiyometrik hava-yakıt karışım oranı: 14.5 ve etanolün stokiyometrik hava-yakıt karışım oranı ise 9'dur. Deneylerde kullanılan etanol-benzin karışımlarının stokiyometrik hava-yakıt karışım oranları (E10 için 13.95; E20 için 13.4 ve E30 için ise 12.25) dikkate alındığında, etanol-benzin karışımları için fakir karışım bölgesinde çalışıldığı ve bunun yanı sıra etanolün yanma hızının benzinin

yanma hızına göre daha yüksek olması, etanol-benzin karışımları kullanımı ile CO emisyonlarının seviyesinin bu nedenlere bağlı olarak düştüğü anlaşılmaktadır. Şekil 5.34'de de görüldüğü gibi motor hızı artınca CO emisyonları düşüş göstermiştir. CO emisyonlarının düşüşü; hava ile yakıtın yüksek hızlarda daha homojen bir karışım teşkil etmesi ve bunun da yanmayı iyileştirmesi ile açıklanabilir. CO emisyonlarının düşük devirlerde yüksek çıkması; düşük motor devirlerinde silindir cidarlarının yüksek hızlara nazaran daha soğuk olması, yanma odası basıncının düşük olması, hava hareketinin yetersiz kalması ve yanma hızının düşük değerde olması ile açıklanabilir. Motor devri 1500 d/d'dan 3500 d/d'ya çıkarıldığında CO emisyonlarında yaklaşık olarak % 40 civarında düşüş tespit edilmiştir. Şekil 5.35'te hava fazlalık katsayısı ve motor devrinin CO emisyonlarının oluşumu üzerine etki yaptığı bilinmektedir.



Şekil 5.35. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve  $\lambda$ 'nın CO Emisyonlarına Etkisinin  $n$  İle Değişimi.

### 5.6.3. Emme manifoldu dolgu sıcaklığının CO emisyonlarına etkisi



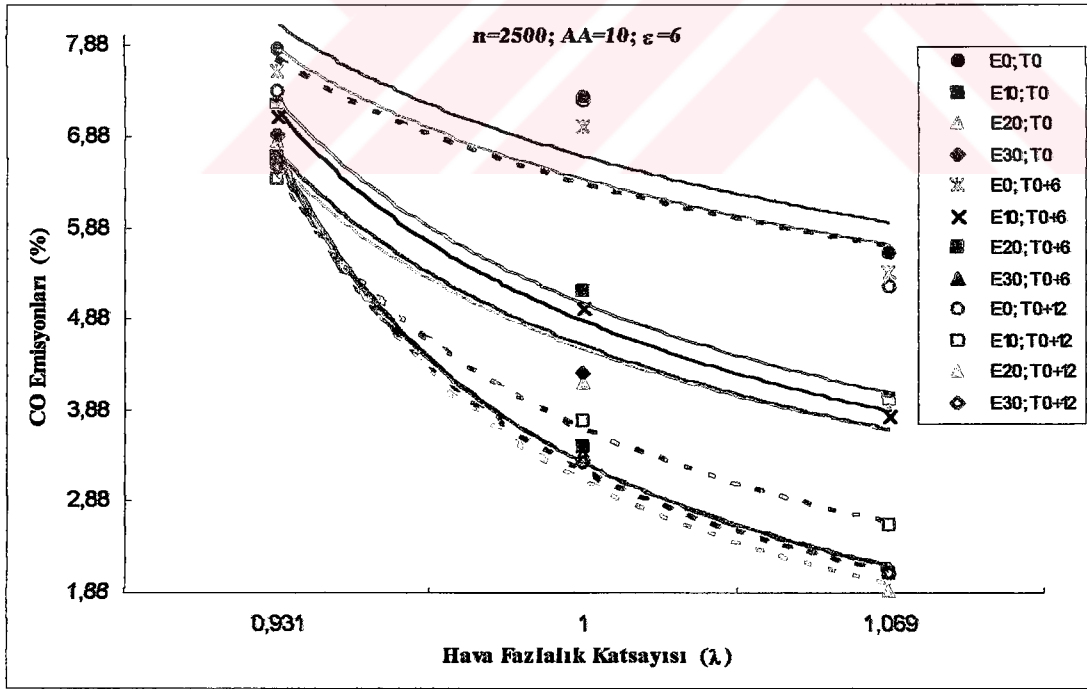
Şekil 5.36. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve AA'nın CO Emisyonlarına Etkisinin Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığı İle Değişimi.

### 5.6.4. Hava fazlalık katsayısının CO emisyonlarına etkisi

Motor hız artışı ve hava fazlalık katsayısı artışına bağlı olarak CO emisyonlarında düşüş tespit edilmiştir. Şekil 5.37'de de görüldüğü gibi,  $\lambda$  artınca başka bir deyişle dolgu (hava-yakıt karışımı) fakirleşince motorun egzoz emisyonları içerisindeki CO miktarı düşüş göstermektedir. CO emisyonları  $\lambda$ 'nın bir fonksiyonu olarak değişim gösterir [Bechtold vd., 1980].  $\lambda$  arttıkça, karışımdaki  $O_2$  miktarı artmakta ve C'lerin  $CO_2$ 'ye dönüşme imkanı artmakta bu nedenle  $\lambda$  artınca CO emisyonları düşüş göstermektedir. % 15 metanol - % 85 normal benzin karışımı yakıt olarak kullanıldığında, hava/yakıt karışım oranı fakir bölgede daha düşük CO emisyonu vermiş, yine aynı bölgede ateşleme avansı 10 KMA° rotara alındığında, metanol-benzin karışımı benzine nazaran daha düşük CO emisyonu vermiştir [Bayındır, 1996]. E0 yakıtı ile E30 yakıtının CO değerleri arasında motorun düşük devirlerinde yaklaşık % 10, yüksek devirlerde yaklaşık % 8 farklı çıkmış ve etanol-benzin karışımları benzine göre daha düşük CO değeri vermiştir. Furey ve

Jackson (1977), karışımdaki etanol miktarında % 1'lik bir artışın CO emisyonlarında km başına 1.33 gr düşüş gösterdiğini belirtmişlerdir.

Şekil 5.37'de görüldüğü gibi,  $\lambda$ 'nın 1.069 olduğu bölgede manifold sıcaklığı  $T_0+12$  iken E30 ve E20 yakıtları birbirine yakın CO emisyon değeri vermiştir. Stokiyometrik hava miktarından daha az ya da daha çok hava içeren karışım oranları ile gerçekleştirilen yanma süreçlerinde, egzoz emisyonlarında tespit edilen yanma ürünleri içerisinde farklı oranlarda CO ve HC emisyonları bulunmuştur. CO ve HC emisyonlarının oluşumu; tam homojen bir hava-yakıt karışımının sağlanamaması, yanma odası içerisinde türbülans düzeyinin yeterli olmaması ve yanmanın çok kısa bir zaman aralığında oluşması gibi nedenlerden ileri geldiği düşünülmektedir. Hava-yakıt karışımının homojen olmaması nedeni ile yanmanın bölgesel olarak eksik kalması ve tüm yakıt moleküllerinin enerji düzeylerinin kısa sürede kritik seviyeye ulaşamamasının bir sonucu olduğu sanılmaktadır.

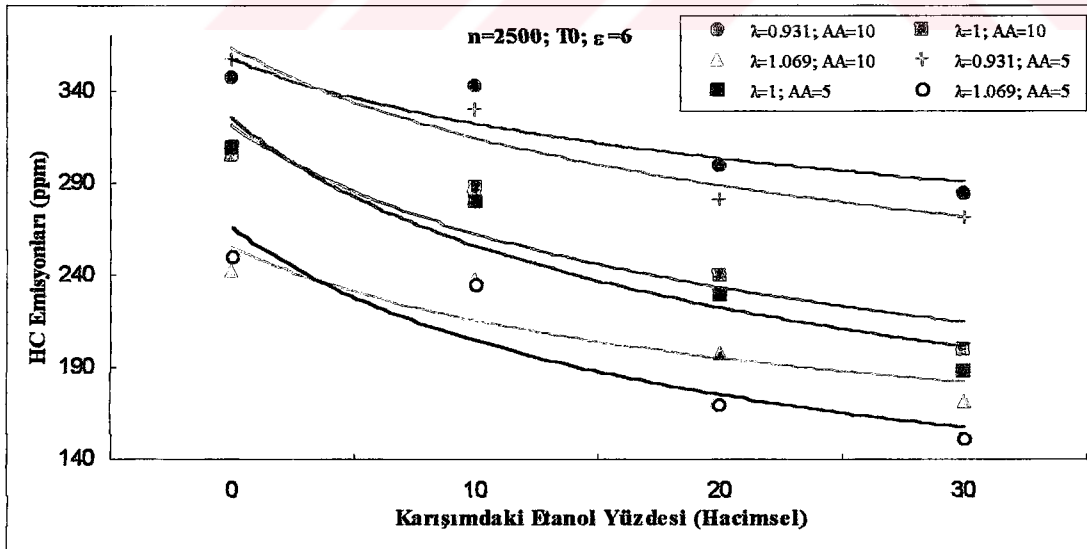


Şekil 5.37. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığının CO Emisyonlarına Etkisinin  $\lambda$  İle Değişimi.

## 5.7. Hidrokarbon emisyonları (HC)

### 5.7.1. Karışımdaki etanol miktarının HC emisyonlarına etkisi

Furey ve Jackson'a (1977) göre, HC emisyonları benzindeki etanol miktarının artış oranına bağlı olarak lineer bir şekilde düşüş göstermektedir. Etanolün benzin içerisindeki miktarının % 1'lik bir artış oranına paralel olarak HC emisyonlarında km başına 0.07 gr düşüş olduğu belirtilmektedir. Şekil 5.38'de karışımdaki etanolün oranına bağlı olarak ateşleme avansının geciktirilmesi ile özellikle yüksek devirlerde benzine göre HC emisyonlarında yaklaşık olarak % 8-40 oranında düşüş saptanmıştır. Ateşleme avansı ve hava fazlalık katsayısının HC emisyonlarına etkisinin karışımdaki etanol miktarı ile değişimi Şekil 5.38'de verilmiştir. Karışımdaki etanol miktarı arttırıldığında ve Ateşleme avansı 5 derece rotara çekildiğinde HC emisyonları düşüş göstermiştir. Karışımdaki etanol miktarı % 30'a çıkarıldığında HC emisyonlarında yaklaşık olarak % 40 oranında düşüş olmuştur.

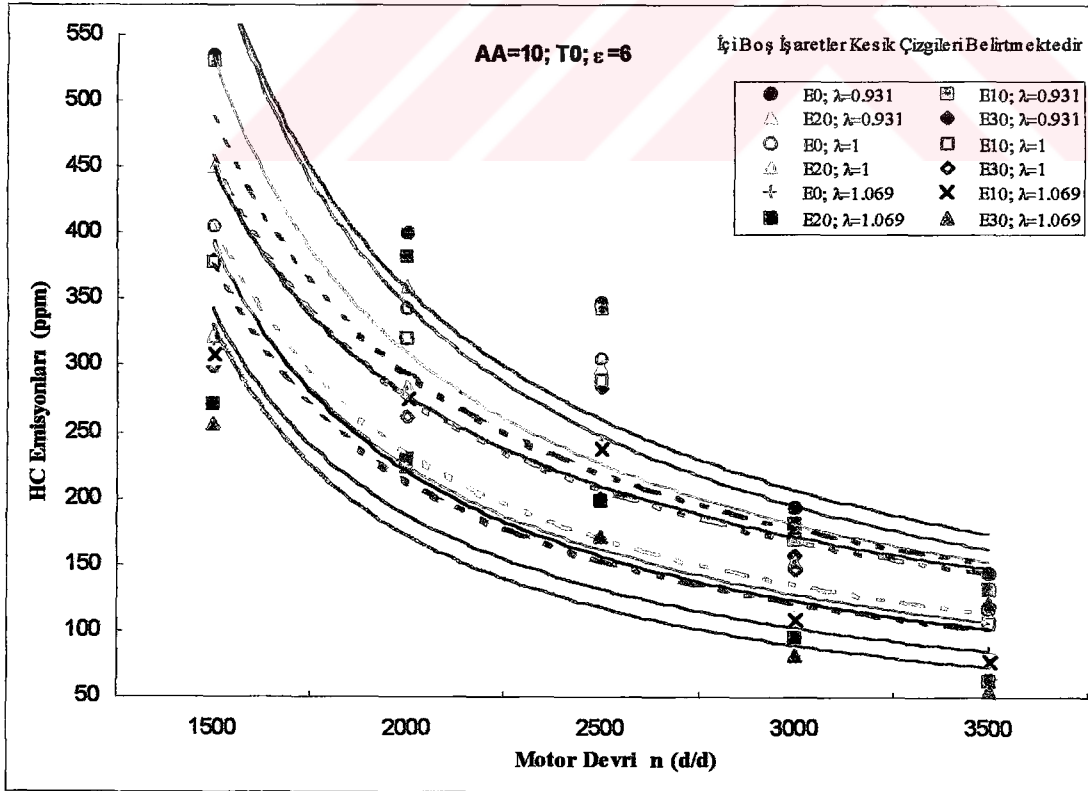


Şekil 5.38. Ateşleme Avansı ve  $\lambda$ 'nın HC Emisyonlarına Etkisinin Karışımdaki Etanol Miktarı İle Değişimi.

Etanolün stokiyometrik hava/yakıt karışım oranı 9, benzinin ise 14.5'dir. Deneysel çalışma aralığı 13.5; 14.5 ve 15.5 seçildiğinden bu oran etanol-benzin karışımları için fakir karışım sınırında kalmaktadır. Bunun yanı sıra etanolün yanma hızı benzinin yanma hızına göre daha yüksek olması nedeni ile özellikle ateşleme avansının 5 derecelik geriye alınması ve karışımdaki etanol miktarının artırılması ile HC emisyonlarında düşüş gözlenmiştir.

### 5.7.2. Motor devrinin HC emisyonlarına etkisi

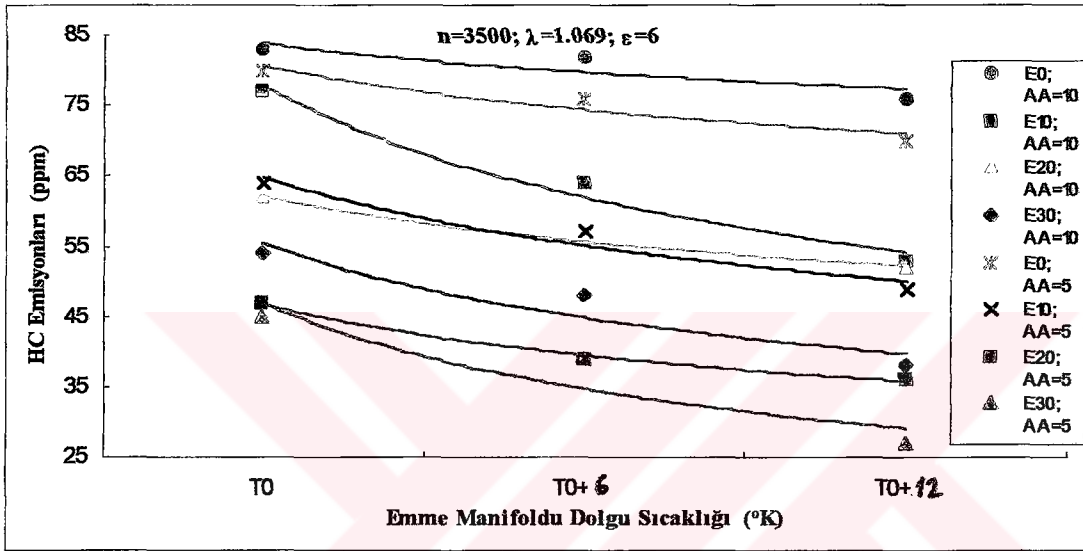
Motor hız artışına bağlı olarak HC emisyonlarında düşüş kaydedilmiştir. Hava ile yakıtın yüksek hızlarda daha iyi bir karışım sağladığı ve bu sayede yanmanın iyileştiği, HC emisyonlarının miktarındaki azalmanın bu durumdan kaynaklandığı sanılmaktadır.



Şekil 5.39. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve  $\lambda$ 'nın HC Emisyonlarına Etkisinin n İle Değişimi.

### 5.7.3. Emme manifoldu sıcaklığının HC emisyonlarına etkisi

Emme manifoldu dolgu sıcaklığının artırılması karışımın buharlaşmasını ve daha homojen bir karışımın oluşmasını sağlamakta bunun sonucunda da yanma iyileşmekte ve egzoz emisyonlarındaki kirlenici bileşenlerin miktarı azalmaktadır.

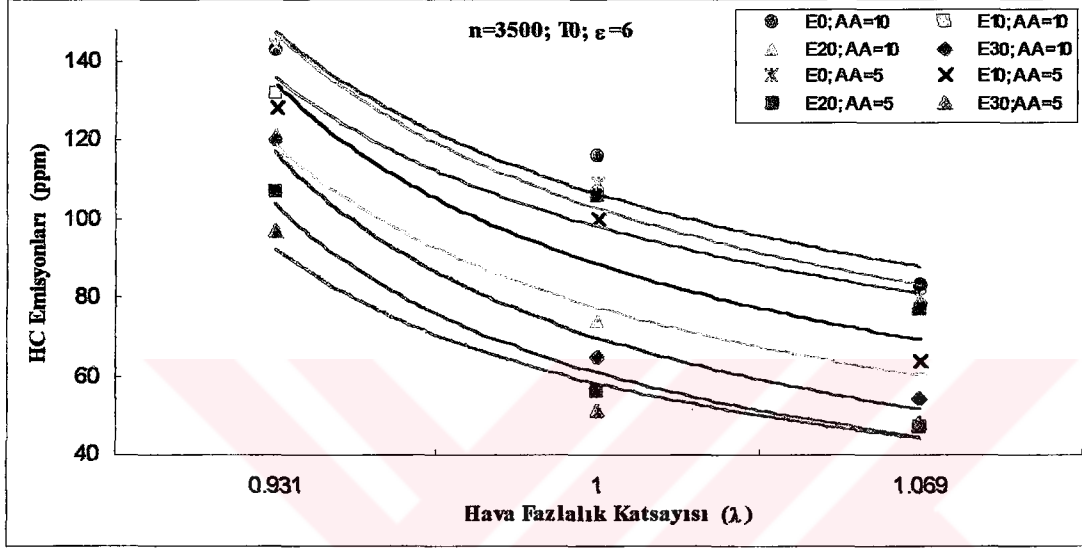


Şekil 5.40. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve AA'nın HC Emisyonlarına Etkisinin Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığı İle Değişimi.

### 5.7.4. Hava fazlalık katsayısının HC emisyonlarına etkisi

H/Y karışım oranının fakirleştirilmesi ile motorda oluşan HC emisyonları azalmakta, belirli bir hava-yakıt karışım oranından itibaren oluşmaya başlayan kararsız yanma sonucu HC emisyonları tekrar artış gösterebilir. Şekil 5.41'de görüldüğü gibi,  $\lambda$ 'nın 1.069 olduğu bölgede HC emisyonları en düşük değerine ulaşmıştır. E30 yakıtı ile, 5 KMA° ateşleme avansı ve  $\lambda$ 'nın 1.069 olduğu durumda en düşük HC emisyonları elde edilmiştir. En yüksek HC emisyonları, E0 yakıtı ile  $\lambda=0.931$  iken elde edilmiştir. Burada  $\lambda$  ve etanol-benzin karışımlarının HC emisyonları üzerine etkili olduğu görülmektedir. Anderson vd. (1994), HC emisyonlarının daha fazla azalmamasının nedeninin segmanların

arasına giren karışımın yanmayıp egzoz zamanı sırasında egzoz gazlarına karışarak emisyon artışına neden olduğunu belirtmiştir. Benzin ve etanol-benzin karışımları ve AA'nın HC emisyonlarına etkisinin  $\lambda$  ile değişimi Şekil 5.41'de verilmiştir.



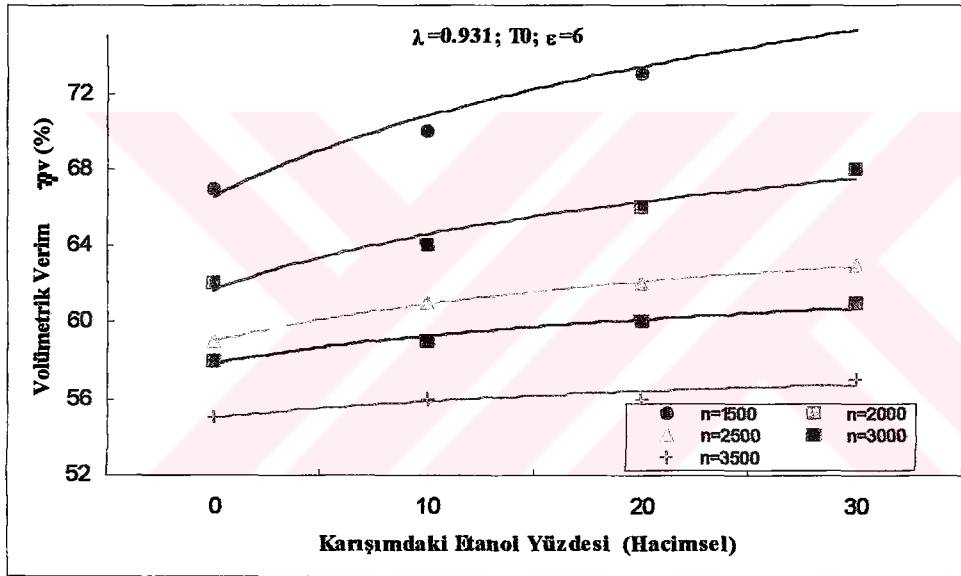
Şekil 5.41. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımları ve AA'nın HC Emisyonlarına Etkisinin  $\lambda$  İle Değişimi.

## 5.8. Volümetrik verim

### 5.8.1. Karışımındaki etanol miktarının volümetrik verime etkisi

Volümetrik verim, deneyler sırasında hava metre ile ölçülen gerçek hava tüketiminin, motorun çalışması sırasında tüketmesi gereken teorik hava miktarına oranıdır. Volümetrik verim, yakıt cinsi, motor konstrüksiyonu ve motorun çalışma koşullarına göre değişim gösterir [Heywood, 1988]. Volümetrik verim; yakıt tipi, H/Y oranı, emme manifoldu sisteminde yakıt buharlaşma durumu ve yakıtın buharlaşma basıncı, ısı transferi sonucu değişim gösteren karışım sıcaklığı, art gazlar basıncı, motorun

sıkıştırma oranı, motor hızı emme ve egzoz manifoldu konstrüksiyonu ve supapların açılma zamanları ve açıklık pozisyonları gibi faktörlerden etkilenmektedir (Czerwinsky, 1994). Şekil 5.42'de motor devrinin volümetrik verime etkisinin karışımdaki etanol miktarı ile değişimi verilmiştir. Karışımdaki etanol miktarının artışına paralel olarak motorun tüm devirlerinde volümetrik verimde artış olmuştur. Alkollerin buharlaşma ısılarının benzine göre yüksek ve stokiyometrik hava/yakıt oranlarının benzine göre düşük olması, dolgu sıcaklığını düşürerek, dolgu yoğunluğunun artmasına neden olmakta ve bu da volümetrik verimi artırmaktadır.



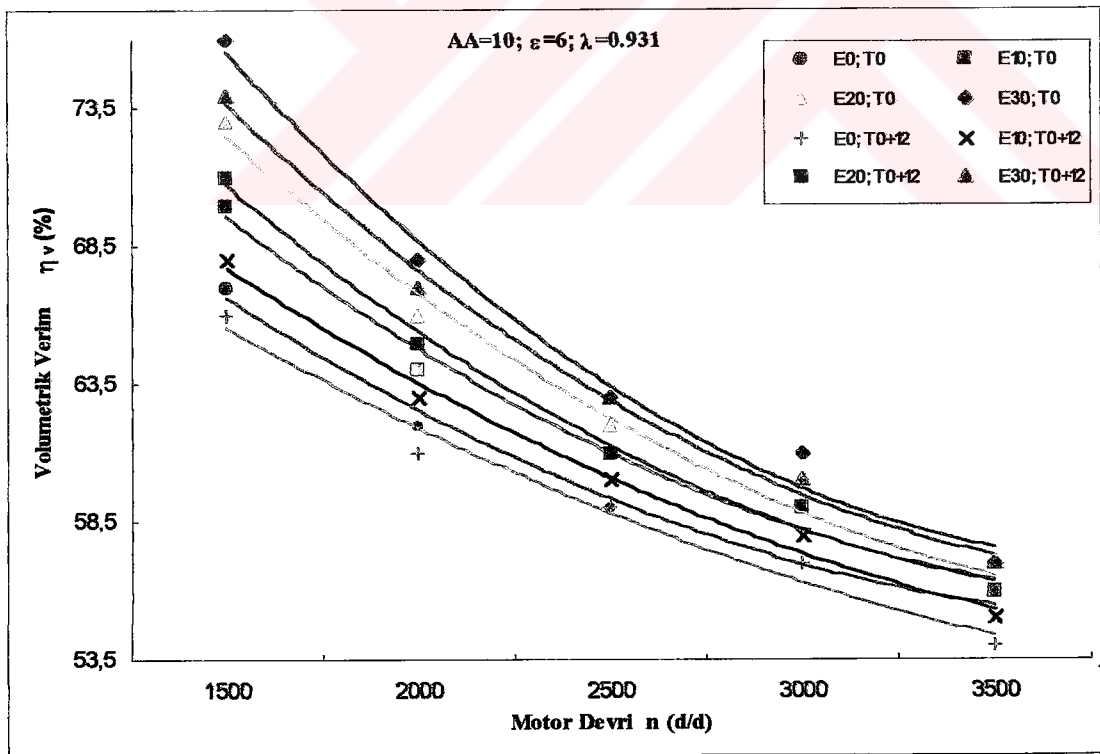
Şekil 5.42. Motor Devrinin  $\eta_v$ 'ye Etkisinin Karışımdaki Etanol Miktarı İle Değişimi.

Şekil 5.42'de de görüldüğü gibi motorun düşük devirlerinde volümetrik verim yüksek, motorun yüksek devirlerinde volümetrik verim düşük çıkmıştır. 1500 d/d iken karışımdaki etanol miktarının en yüksek (E30) değerinde volümetrik verim en yüksek değerde çıkmıştır. Normal benzinle 1500 d/d'daki volümetrik verim değeri, karışımdaki etanol miktarı % 30'a çıkarıldığında elde edilen volümetrik verim değerine göre yaklaşık % 13 daha düşük olmaktadır. 3500 d/d'da karışımdaki etanol miktarı % 30 iken, normal

benzinli çalışmaya göre volümetrik verim yaklaşık olarak % 3.5 artış göstermiştir. Şekil 5.42'de de görüldüğü gibi motor devir artışına bağlı olarak volümetrik verim düşüş göstermiştir.

### 5.8.2. Motor devrinin volümetrik verime etkisi

Motor devri arttıkça emme supabının açık kalma süresi azalmakta ve manifoldtaki sürtünme kayıpları artmaktadır. Buna bağlı olarak içeriye alınan dolgu hacmi azalacağından volümetrik verim düşüş göstermektedir (Şekil 5.43). Daha önce de değinildiği gibi etanolün gizli buharlaşma ısısının benzine göre yüksek olması nedeniyle, etanol-benzin karışımları benzine göre daha yüksek volümetrik verim sağlamaktadır.

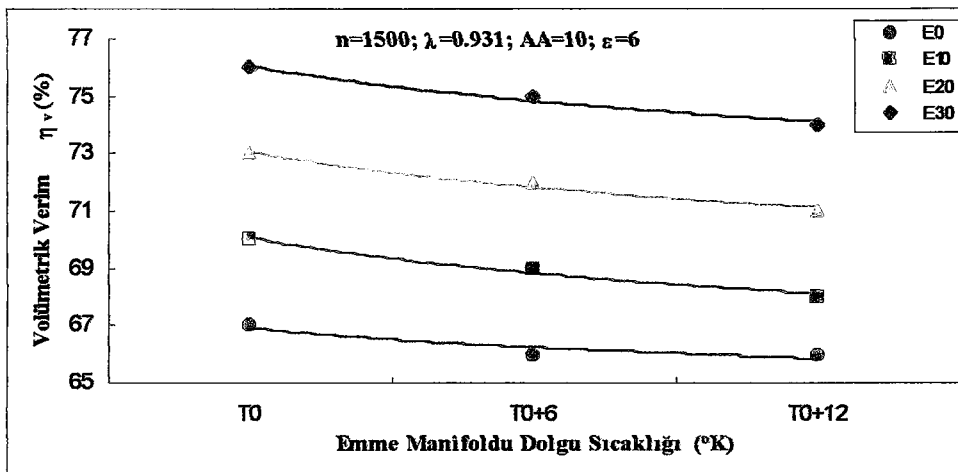


Şekil 5.43. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımlarının ve Manifold Sıcaklığının  $\eta_v$ 'ye Etkisinin  $n$  İle Değişimi.

### 5.8.3. Emme manifoldu dolgu sıcaklığının volümetrik verime etkisi

Volümetrik verimin azalmasına sebep olan diğer bir faktör de emme manifoldunun ısıtılmasıdır. Etanol-benzin karışımlarında karışımın manifoldta buharlaşmasını sağlamak ve daha homojen bir hava-yakıt karışımı elde etmek amacıyla yapılan ısıtma işlemi; silindire giden gazın yoğunluğunun azalmasına sebep olacağı için volümetrik verimin düşmesine sebep olur. Şekil 5.44'te de görüldüğü gibi, emilen karışımın sıcaklığını 12 °C artırmak 1500 d/d'da aynı yakıt türü için volümetrik verimde yaklaşık % 1.5'luk bir azalmaya sebep olmaktadır. Motor devrinin artmasıyla bu fark bütün yakıt türleri için azalmaktadır. Etanolün gizli buharlaşma ısısının yüksek olması nedeni ile etanol-benzin karışımları benzine göre daha yüksek volümetrik verim sağlamaktadır.

Manifold sıcaklığı 12 °C artırıldığında, E30 yakıtının verdiği volümetrik verim değerinde yaklaşık % 3.2, E0 yakıtının volümetrik verim değerinde ise yaklaşık % 1.5 oranında düşüş görülmüştür. Bu düşüşün sebebi sıcaklık artışıyla gaz yoğunluğunun azalmasıdır. Şekil 5.44'te de görüldüğü gibi etanol-benzin karışımları, normal benzine göre daha yüksek volümetrik verim vermiştir. Şekil 5.44'te benzin ve etanol-benzin karışımlarının volümetrik verime etkisinin manifold sıcaklığı ile değişimi görülmektedir.



Şekil 5.44. Benzin ve Etanol-Benzin Karışımlarının  $\eta_v$ 'ye Etkisinin Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığı İle Değişimi.

## BÖLÜM VI

### 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 6.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada değiştirilen deney parametrelerinin motor performansına etkilerini şu şekilde özetleyebiliriz:

Motorun standart ayar değerlerinde, etanol-benzin karışımları yakıt olarak kullanılırken CO ve HC emisyonlarında düşüş görülmüş ve volümetrik verimde de artış saptanmıştır.

Motorun normal sıkıştırma oranında ve normal ateşleme avansında, etanol-benzin karışımlarının kullanılması ile normal benzine göre daha düşük motor güç ve momenti elde edilmiştir. Karışımındaki etanol miktarının artışına bağlı olarak, özellikle motorun yüksek devirlerinde motor güç ve momentindeki düşüş oranı hızlanmıştır. Etanol-benzin karışımlarının özgül yakıt tüketimleri normal benzinin özgül yakıt tüketimine göre daha yüksek çıkmıştır. Ancak, etanol-benzin karışımlarının özgül enerji tüketimleri normal benzinin özgül enerji tüketimine göre daha düşük çıkmıştır.

Etanol-benzin karışımlarının faz ayrışmasını önlemek için yakıt deposunun içine monte edilen mikser deneylere hazırlık safhasında çalıştırılarak faz ayırımı önlenmiştir. Ancak, uzun süre depoda etanol-benzin karışımı tutulduğunda ve mikser çalıştırılmaksızın marşa basıldığında ilk çalıştırma sırasında zorlukla karşılaşılmıştır. Etanolün yoğunluğunun benzine nazaran yüksek olması nedeniyle, etanol deponun dibine inmekte ve çalışma sırasında homojen karışım yerine büyük oranda etanol motora sevk edilmektedir. Mikser çalıştırıldıktan sonra bu sorun giderilmiştir.

Hava fazlalık katsayısının (0.931'den 1.069'a) artışına bağlı olarak, gerek benzin ve gerekse etanol-benzin karışımları ile CO ve HC emisyonlarında azalma görülmüştür.

Hava fazlalık katsayısının (0.931'den 1.069'a) artışına bağlı olarak benzinli çalışmada moment ve güç artışı sağlanırken, etanol-benzin karışımlarında ise, karışımdaki etanol miktarının artışına bağlı olarak moment ve güçte düşüş kaydedilmiştir.

Etanolün yanma hızı benzinin yanma hızına göre daha yüksek olması nedeniyle etanol-benzin karışımları kullanıldığında ateşleme avansının ihtiyaca göre geciktirilmesi gerekmektedir.

Ateşleme avansının 5 derece rotara alınması ile normal benzinli çalışmada motor güç ve momenti az da olsa düşüş gösterirken CO ve HC emisyon miktarlarında artış gözlenmiştir. Rotarlı avans durumunda etanol-benzin karışımları benzinin aksine, motor güç ve momentindeki düşüşü nispeten önlemiş, CO ve HC emisyon miktarlarında da düşüş sağlamıştır.

Emme manifoldu dolgu sıcaklığının artırılması dolgu yoğunluğunun düşmesine neden olmakta ve birim zamanda içeriye daha az karışım alındığından volümetrik verim düşüş göstermektedir. Emme manifoldu dolgu sıcaklığı 12 °C artırıldığında volümetrik verimde düşme görülmesine rağmen, motorun güç, moment ve termik veriminde artış, CO ve HC emisyon miktarlarında düşüş tespit edilmiştir. Etanol-benzin karışımları kullanımı ile benzine göre motor performansındaki bu iyileşme daha fazla olmuştur. Etanolün buharlaşma gizli ısısının benzinin buharlaşma gizli ısısına göre daha yüksek olması nedeniyle etanol-benzin karışımları kullanımı ile ventüri boğazında karışım buharlaşırken benzine göre daha fazla ısıya ihtiyaç göstermektedir. Bu etki nedeniyle dolgu soğumaktadır. Deneyler sırasında emme manifolduna yerleştirilen termo eleman çiftleri ile bu durum tespit edilmiştir.

Etanol-benzin karışımları kullanımı ile volümetrik verim artışının nedeni, etanolün buharlaşma ısısının benzine göre yüksek ve tam katlı hava/yakıt oranının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Böylece dolgu sıcaklığı düşmekte, dolgu yoğunluğunun artmasına neden olmakta ve bu da volümetrik verimin artışı sağlamaktadır.

Özellikle diğer çalışmalardaki yöntemlerden farklı olarak karbüratör boğazı ya da karbüratörden önce emme havasının ısıtılması yöntemi tercih edilmemiştir. Çünkü karbüratörden önce emme havasının ısıtılması sonucu genleşme nedeniyle havanın yoğunluğu azalmakta ve az miktarda hava içeri alınarak volümetrik verim düşmektedir.

Kullanılan emme manifoldu ısıtılması yönteminde de az da olsa volümetrik verim düşmekte, bu düşüşün önüne geçilememektedir.

Motorun sıkıştırma oranı kademeli olarak arttırıldığında buna paralel olarak motor gücünde artış sağlanmıştır. Etanol-benzin karışımları ile bu artış oranı normal benzine göre daha yüksek olmuştur. Benzinli çalışma ile, yüksek sıkıştırma oranında egzoz gazları sıcaklığı yaklaşık 27-41 °C artış göstermiştir. Yine yüksek sıkıştırma oranlarında emme manifoldu dolgu sıcaklığının artırılmasının etkisi tedricen azalmıştır. En yüksek motor gücü;  $\xi = 8$ , manifold ısıtılmalı durumda,  $\lambda=0.931$  ve E20 yakıtı ile elde edilmiştir.

Motorun sıkıştırma oranı 8'e çıkarıldığında benzinli çalışmada özellikle yüksek devirlerde hafifçe vuruntu sesi hisedilmiştir.

Motorun sıkıştırma oranı kademeli olarak arttırıldığında termik verimde de buna paralel olarak artış sağlanmıştır. Etanol-benzin karışımları ile bu artış oranı normal benzine göre daha yüksek olmuştur.

Sıkıştırma oranı artırıldığında özgül yakıt tüketimi ve özgül enerji tüketiminde düşüş CO ve HC emisyonlarında artış belirlenmiştir.

Bu çalışmada diğerlerinden farklı olarak, sonuçlar üzerinde etkili olabilecek bir çok parametrenin (HFK, AA, Emme manifoldu sıcaklığı ve sıkıştırma oranı) kontrollü bir şekilde etkisi aynı anda ele alınmıştır.

Gerek normal benzin gerekse etanol-benzin karışımları ile yapılan çalışmalarda emme manifoldunun ısıtılması sonucunda termik verimde artış sağlanmış, egzoz emisyonlarında da düşüş gözlenmiştir. Emme manifoldunun ısıtılması ile, termik verimdeki artış normal benzinli çalışmada az miktarda olurken, özellikle karışımdaki etanol miktarının artması ile termik verim daha çok artış göstermiştir.

Etanol-benzin karışımları kullanılması durumunda ateşleme avansının 10° den 5° ye düşürülmesi sonuçlar üzerinde olumlu etki yapmasına karşın, normal benzin kullanımı ile de 10° avans değeri daha iyi sonuç vermiştir.

Etanolün ısıl değerinin benzine göre daha düşük ve buharlaşma gizli ısısının daha yüksek olması nedeniyle yanma sıcaklıkları da düşük olması beklenmektedir.

Etanol'ün CO'larının düşük çıkması bu yakıtın H/C oranının benzinin H/C oranından yüksek olması ile C atomunun yakıt kütlesinde az bulunmasından ileri gelmektedir. CO oluşumu özellikle düşük yanma sıcaklıklarında azalma göstermektedir. Etanol-benzin karışımlarının düşük CO vermesi bu durumun da bir sonucudur.

## 6.2. Öneriler

Günümüz benzin için tasarlanan motorlarda etanol-benzin karışımlarının pratikte kullanımı uygun değildir. Motor ve yakıtın yapısal özellikleri dikkate alınarak, şu an dezavantaj olarak görülen faktörler avantaja dönüştürülebilir. Etanol ve etanol-benzin karışımlarının geleceği, yakıt ve yanma sistemindeki teknolojik gelişmelere bağlıdır.

Değişik etanol-benzin karışım oranları için yüksek performans sağlayacak motorun yüksek sıkıştırma oranı ve yanma odası şeklini belirlemek için yanma odasının modeli geliştirilmeli ve ayrıca etanol-benzin karışımları turboşarjlı ve yakıt enjeksiyonlu benzinli motorlarda denenmelidir.

Eskiden beri süregelen ve günümüzde de devam eden petrol senaryoları özellikle petrol ithal eden ülkelerin geleceğini tehdit etmesinin yanı sıra, bu ülkeler petrol ithalatı için büyük oranlarda dışarıya döviz akıtmaktadır. Bunlarla birlikte, alternatif yakıt kullanımı için de mevcut motorların sıkıştırma oranı, ateşleme avansı, emme manifoldu ve yakıt sistemlerinde uygun değişiklikler yapılmalıdır. Gelecekte petrol yerine kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynakları geliştirilmeli ve alternatif yakıt olarak kullanılmalıdır. Ülkemiz geniş tarım alanlarına sahiptir. Özellikle GAP bölgesinin tarım alanları etanolün ham maddesi olan şeker pancarı üretimine açıktır ve bir ulusal alkol yakıt politikası geliştirilirse, ülkemiz kısa sürede petrol ithalatının yaklaşık olarak % 20'sini kendi öz kaynaklarından karşılamış olabilecektir.

Özellikle soğuk iklimlerde motorlu taşıtlarda etanol-benzin karışımları alternatif yakıt olarak kullanıldığında, faz ayrışması sorununu önlemek için yakıt depoları deney tesisatında olduğu gibi ısıtılabilir ve karıştırılabilir yapılmalıdır.

Alternatif yakıtları destekleyen çalışmaların yapılmasını sağlamak gerekir.

Gelişigüzel artırılan emme havası sıcaklığı alev hızını etkilemekte bu da reaksiyon süresini etkileyeceği için vuruñu ve benzer sorunlara neden olabilmektedir. Bu nedenle emme manifoldu ile ilgili çalışmalarda sıcaklık-buharlaşma ilişkisi göz önüne alınarak, emme manifoldu ısıtılmasının optimizasyonu ile ilgili çalışmalar yapılmalıdır.

Etanol-benzin karışımlarının benzinli motorlarda motor performansını artırması için, kullanılacak karışımın yanma sırasındaki alev sıcaklığı, alev hızı, alevin çekirdek yapısı ve gaz kompozisyonu lazer teknolojisi ile belirlenmeli ve bu doğrultuda gerekli değişiklikler yapılmalıdır.

Sıkıştırma <sup>gradı</sup> artışına bağılı olarak artan motor gürültüsünü önleyecek çalışmalar yapılmalıdır.



## KAYNAKLAR

- Ahmed, F., (1988). **Effect of Ethanol and Gasoline Blends on Exhaust Gas Emissions in S.I. Engines.** A Master Thesis (unpublished) in Mech. Eng., Middle East Technical University. Ankara.
- Alibaş, K. Ve Çıtıroğlu, R. (1991). Etanol-Benzin Karışımlarının Küçük Güçlü, İçten Patlamalı Motorlarda Moment, Güç, Özgül Yakıt Tüketimi ve Isıl Verime Olan Etkisinin Belirlenmesi. **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi.** Cilt 14, Sayı 2, Haziran.
- American Petroleum Institute, (1988). **Alcohol and Ethers.** API Publication 4261, 1220 L Street, Northwest Washington, D.C. 20005. Second Edition. USA.
- An, F., ve Stodolsky, F., (1995). Modeling the Effect of Engine Assembly Mass on Engine Friction & Vehicle Fuel Economy, Engine and Multidimensional Engine Modeling. **SP-1101, SAE Paper.** No. 950988.
- Anderson, L.G., Wolfe, P., Barrel, R.A., ve Lanning, J.A., (1994). **The Effect of Oxygenated Fuels on the Atmospheric Concentrations of Carbon Monoxide & Aldehydes in Colorado.** 121 S.M. Street P.O.B.519, Chelsea, M.
- Annand, W.J.D., ve Gülder, Ö.L.,(1980). Exhaust Emissions & Cold Starting of a Four-Cylinder Engine Using Methanol As Fuel. **IMechE.** Vol.194.
- Ata, Y., Ünal, O. ve Ulus, E.,(1995). **İleri Motor Teknolojisi.** Toyota Teknik Eğitim Programı Laboratuvarı, 1. Baskı Haziran, İstanbul.
- Aulier, J.E., Zbrozek, J.D., ve Blumberg, P.N., (1977). Optimization of Automotive Engine Calibration for Better Fuel Economy-Methods & Applications. **SAE Paper.** No. 770076.
- Baber, B.B., Lestz, S.J., ve LePera, E.M., (1990). Technology Demonstration of U.S. Army Methanol-Fueled Administrative Vehicles. **SAE Paper.** No. 902158.
- Bayındır, H., (1996). Effects of Spark Timing & Air-Fuel Ratio on Exhaust Emission and Fuel Consumption in Gasoline Engines using Methanol-Gasoline Blends. **First Trabzon International Energy and Environment Symposium.** Karadeniz Technical University, Trabzon-Turkey.

- Bayraktar, H., (1991). **Motorlarda Benzin-Etil Alkol-İzopropanol Karışımlarının Kullanılması**. Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bechtold, R., ve Pullman, J.B., (1980). Driving Cycle Economy, Emissions and Photochemical Reactivity Using Alcohol Fuels and Gasoline. **SAE, Inc. Technical Series**. Number 19. 400 Commonwealth Dr. Warrendale, PA, 15096.
- Benson, R.S., ve Whitehouse, N.D., (1979). **Internal Combustion Engines**. Printed & Bound at William Clowes & Sons Limited Beccles and London, Vol. 1.
- Black, M.F., (1991). **Control of Motor Vehicle Emissions: The U.S. Experience**. Mobile Source Emissions Research Branch, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711, by CRC Press, Inc.
- Bolt, J.A., (1980). A Survey of Alcohol as a Motor Fuel. **SAE Inc. SAE/PT-80/19. Technology Series**. 400 Commonwealth Dr. Warrendale, PA, 15096.
- Borat, O., (1979). **Benzin - Metanol Karışimli Otto Motorları**. İ.T.Ü. Makina Fakültesi, TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Grubu, Proje No: 483.
- Borat, O., Balcı, M., ve Sürmen, A., (1987). Benzin Motorlarında Yakıt Ekonomisi. **Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi**. 1.1. 19-38. Ankara.
- Borat, O., Balcı, M., ve Sürmen, A., (1994). **Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği**. Teknik Eğitim Vakfı Yayınları-3, 2.Baskı, Ankara.
- Borat, O., Balcı, M., ve Sürmen, A., (1995). **İçten Yanmalı Motorlar**. Teknik Eğitim Vakfı Yayınları-2, G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası. Cilt-1, Ankara.
- Bridgeman, O.C., (1936). Utilization of Ethanol-Gasoline Blends as Motor Fuels. **Industrial & Engineering Chemistry**. Vol. 28, pp. 1102-1112.
- Brinkman, N.D., Gallopoulos, N.E., (1975). Exhaust emissions, Fuel Economy & Driveability of Vehicles Fueled with Alcohol-Gasoline Blends. **Transactions of the SAE**. Vol. 84, pp. 541-567.
- Broukhiyan, E.M.H., ve Lestz, S.S., (1981). Ethanol Fumigation of a Light Duty Automotive Diesel Engine. **SAE Paper**. No. 811209.

- Browning, L.H., ve Raghuraman, G., (1984). A Detailed Study of Alcohol Cold Starting. **VI. Int. Symp. on Alcohol Fuels Technology**, Volume I. Canada.
- Büyüktür, A.R., (1986). **Termodinamik**. Cilt 2, Uludağ Üniv. Basımevi, Bursa.
- Casalini, F., ve Laforgia, D., (1985). Use of Gasoline-Ethanol Mixtures With a High Ratio of Alcohol in the Internal Combustion Engine. **SAE/P-85/164**,
- Chung, C.T., Chen, K.C., ve Lu, J.H., (1995). Comparison of Boundary Condition Models and Numerical Methods for a Two-Stroke Engine. **SP-1101, SAE, Inc.** 400 Commonwealth Dr. Warrendale, PA, 15096-0001, USA.
- Clancy, J.S., Dunn, P.D., ve Chawawa, B., (1988). Ethanol as Fuel in Small Stationary Spark Ignition Engines for use in Developing Countries. **IMechE**. C67/88, pp.191-194.
- Coates, S.W., ve Lassanske, G.G., (1990). Measurement & Analysis of Gaseous Exhaust Emissions from Recreational & Small Commerical Marine Craft. **SAE** .
- Collins, D., ve Mears, C.R., (1984). An Optimized Spark Ignition Methanol Engine for Light Duty Vehicles. **VI. Int. Symp. on Alcohol Fuels Technology**, Vol. I. pp.1.97-1.105, OTTAWA, CANADA.
- Cussons Technology, (1995). **P8160 Cussons Single Cylinder Engine Test Bed's Instruction Manual**. Wisconsin, U.S.A.
- Cussons Technology, (1995). **P8161 Briggs & Stratton Engine's Instruction Manual**. Wisconsin, U.S.A.
- Czerwinsky, J., (1994). Performance of HD-DI-Diesel Engine With Addition of Ethanol and Rapeseed Oil. Alternative Fuels in CI and Heavy Duty Engines. **SP-1027, SAE, Inc.** 400 Commonwealth Drive Warrendale, PA, 15096-000
- Çelik, M.B., (1994). **Metanol-Benzın Karışımlarının Motor Performansına ve Eksoz Emisyonlarına Etkisi**. Yüksek Lisans Tezi(yayınlanmamış), G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Çetinkaya, S., (1987). **Dört Zamanlı Buji ile Ateşlemeli Bir Motor Performansının Bilgisayar Yardımı ile Simulasyonu**. Doktora Tezi(yayınlanmamış). G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

- Çıtıroğlu, A.R.,(1990). **Değişik Oranlardaki Etanol Benzin Karışımlarının Küçük Güçlü, İçten Patlamalı Motorlarda Kullanılabilme İmkânlarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma**. H.Ü., Fen Bilimleri Enst. Y. Lisans Tezi.
- Da Cruz, M.J.,(1981). **Ethanol Fuel for Diesel Traktors**. Ph.D Thesis. Michigan State University (unpublished). Michigan, USA.
- Demirsoy, M., (1972). Eksoz Gazları Problemi. **Mühendis ve Makina**. Cilt16, Sayı 187.
- Demirsoy, M., (1989). Motorlu Araçların Gelecekteki Enerji Kaynakları. **Endüstri Müh. Dergisi**, II. Otomotiv ve Yan Sanayii Sempozyumu 1. Özel Sayısı.
- Dempster, N., ve Shore, F.R., (1990). An Investigation into the Production of Hydrocarbon Emissions from a Gasoline Engine Tested on Chemically Defined Fuels. **SAE Paper**. No. 900354.
- Den Bergh, H.V., (1993). **Alternative Bus Fuels and Motorization**. SP-958 SAE, Inc. 400 Commonwealth Dr. Warrendale, PA 15096-0001, USA.
- Dhinagar, S.J., Nagalingam,B., ve Gopalakrishnan,K.V., (1993). Experimental Investigations on the Combustion of Ethanol in a Low Heat Rejection Engine Using Different Methods. **SAE Paper**. No. 930931.
- Dodge, L.G.; Naegeli, D.W.; Crane, M.E.; Maymar, M.J.; Likos, W.E., (1992). Improved Atomization of Methanol for Low Temperature Starting in Spark-Ignition Engines. **SAE Technical Paper Series**. No. 920592.
- Durgun, O., (1989). **Motorlarda Deneysel Yöntemler**. Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Fakülte Ders Notları No:22, Trabzon.
- Durgun, O., (1991). Motor Çevrimlerinin Hesabı İçin Pratik Bir Yöntem. **Mühendis ve Makina**. Cilt: 32 Sayı:383.
- Durgun, O. ve Kızıltan, E., (1986). Motorlarda Etil Alkol Karışımlarının Kullanılması. **End. Müh. Dergisi**. II. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu.1.Özel Sayı.
- Eberhard, G.A., Ansari, M., ve Hoekman, S.K., (1990). Emissions and Fuel Economy Tests of a Methanol Bus With a 1988 DDC Engine. **SAE Paper**. No. 900340.
- Edo, T., ve Foster, D., (1984). A Computer Simulation of a Dissociated Methanol Engine. **VI. Int. Symp. on Alcohol Fuels Technology**. Vol. I. OTTAWA.

- Espinola, S.A., ve Pefley, R.K., (1984). Corrosion and Wear Mechanism in Alcohol Fueled Engines. **VI.Int. Symp. on Alcohol Fuels Technology**. Vol. I. Canada
- Fanick, E.R., Smith,L.R., Leonard,J.H. ve Ahuja,M., (1993). Laboratory Evaluation of Additives for Flame Luminosity Improvement in Neat Methanol Fuel. **SAE Paper**. No:930379.
- Perfecki, F.J., Sorenson,S.C., (1983). Performance of Ethanol Blends in Gasoline Engines. **SAE Paper**. No: 001-2351.
- Fiaschetti, J., ve Narasimhamurthi, N., (1995). A Descriptive Bibliography of S.I. Engine Modeling and Control. Engine and Multidimensional Engine Modeling. **SP-1101. SAE, Inc. SAE Paper**. No. 950986.
- Freedman, B., ve Bagby, M.O., (1990). Cetane Numbers of Fatty Esters, Fatty Alcohols & Triglycerides Determined in a Constant Volume Combustion Bomb. **SAE, Inc.**
- Furey, R.L., ve Perry,K.L., (1991). Composition and Reactivity of Fuel Vapor Emissions from Gasoline-Oxygenate Blends. **SAE Int. SAE Technical Paper Series**.
- Furey, R.L.; & Perry,K.L.; (1990). Volatility Characteristics of Blends of Gasoline with Ethyl Tertiary-Butyl Ether (ETBE). **SAE Int. SAE Technical Paper Series**.
- Furey, R.L. ve Perry,K.L., (1986). Vapor Pressures of Mixtures of Gasoline and Gasoline-Alcohol Blends. **SAE Transactions Fuel and Lubricants**. Vol. 95, pp.6.779-6.789. No. 861557.
- Furey, R.L., (1985). Volatility Characteristics of Gasoline- Alcohol and Gasoline-Ether Fuel Blends. **SAE Technical Paper Series**.
- Furey, L.R., ve King, J.B., (1982). **Emissions, Fuel Economy, and Driveability Effects of Methanol/Butanol/Gasoline Fuel Blends**. General Motors Research Laboratories. Warren, Michigan 48090.
- Furey, L.R., ve King, J.B., (1980). Evaporative and Exhaust Emissions from Cars Fueled with Gasoline Containing Ethanol or Methyl tert-Butyl Ether. **SAE Technical Paper Series**. No. 800261.

- Furey, R.L., ve Jackson, M.W., (1977). **Exhaust and Evaporative Emissions from a Brazilian Chevrolet Fueled with Ethanol-Gasoline Blends.** General Motors Research Laboratories, Warren, Michigan 48090.
- Gallopoulos, N.E., (1977). **Alternative Fuels for Reciprocating Internal Combust. Engines.** General Motors Research Laboratories, Warren, Michigan.
- Goldstein, L., ve Carvalho, A.V., (1980). Fermentation Ethanol as a Petroleum Substitute. **American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.** pp.1170-1177.
- Green, C.J., Cockshutt, N.A., ve King, L., (1990). Dimethyl Ether as a Methanol Ignition Improver: Substitution Requirements and Exhaust Emissions Impact. **SAE, Inc.**
- Glder, .L., (1982). Benzin-Etanol, Etanol-Su Karışımlarının ve Saf Etanolün Motor Performansına Etkileri. **TBTAK VII. Bilim Kongresi, Mühendislik Araştırma Grubu Teblięleri**, 29 Eylül-3 Ekim, Kuşadası-Aydın.
- Glder, .L., ve Bayka, A.D., (1981), Etanol ve Etanol-Benzin Karışımlarının Otomobil Yakıtı Olarak Teknik Yönleri, TBTAK Mühendislik Araştırma Grubu, Proje No: 526.
- Hamrin, D.A. ve Heywood, J.B., (1995). Modeling of Engine-Out Hydrocarbon Emissions for Prototype Production Engines. **SP-1101, SAE, Inc.** 400 Commonwealth Dr. Warrendale, PA, 15096-0001. USA.
- Hardenberg, H.O., ve Schaefer, A.J., (1981). The Use of Ethanol as a Fuel for Compression Ignition Engines. **SAE Paper.** No. 811211.
- Harrison, R.M., ve Laxen, D.P.H., (1981). **Lead Pollution: Causes and Control.** Methuen, Inc. 733 Third Avenue, New York, NY 10017.
- Hedstrom, D.D., (1979). **Performance Characteristics of Engines Using Ethanol-Gasoline Fuels Blends.** MS, Thesis(unpublished), Department of Agricultural and Chemical Engineering, Colorado State University. Fort Collins, Colorado.
- Heisey, J.B. ve Lestz, S.S., (1981). Aqueous Alcohol Fumigation of a Single-Cylinder DI Diesel Engine. **Fuels & Lubricants Meeting. Oklahoma, & SAE.** SP-81/503.

- Hellman, K.H., ve Piotrowski, G.K., (1990). Recent Results from Prototype Vehicle and Emissions Control Technology Evaluation Using Methanol Fuel. **SAE Paper**.
- Heywood, J.B., (1988). **Internal Combustion Engine Fundamentals**. Mc Graw-Hill Book Company. U.S.A.
- Hickman, A.J., ve Waters, M.H.L., (1993). **Improving Automobile Fuel Economy**. SAE, Inc. SP-958, 400 Commonwealth Dr. Warrendale, PA, 15096-0001, USA.
- Hipple, P., (1973). Lead in the Environment. **Applied Science Publishers LTD Barking**. Essex, The Institute of Petroleum, London.
- Hirao, O., ve Pefley, R.K., (1988). **Present and Future Automotive Fuels**. Performance & Exhaust Clarification, John Willey & Sons Publ. New York.
- Ho, S.P., ve Renner, T.A., (1990). Global Warming Impact of Gasoline v.s. Alternative Transportation Fuels. **SAE, Inc.**
- Işıksoluğu, M.A., (1993). **Benzin Motorlarında Yakıt Düzenleyici Cihazın Egzoz Emisyonu ve Yakıt Tüketimine Etkisi**. Doktora Tezi (yayınlanmamış), Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kajimoto, Z.P., Wolyneć, S., ve Tanaka, D.K., (1984). Corrosion Performance of Metallic Coatings in Ethanol Fuel (E-95): Laboratory & Field Tests. **VI.Int. Symp. on Alcohol Fuels Technology**. Vol. I. OTTAWA, CANADA.
- Kaneko, Y., Tsuruno, S. ve Fujimoto, S., (1984). Development of Methanol and Gas Fuel Engine. **VI. Int. Symp. on Alcohol Fuels Technology**. Vol. I. OTTAWA .
- Karaosmanoğlu, F., Aksoy, H.A., ve Civelekoğlu, H., (1986). Alkol Katkılı Benzinlerin Tüketim Üzerine Etkisi. **İ.T.Ü. Dergisi**. Cilt 44, 1-2, 75-78.
- Karaosmanoğlu, F., Aksoy, H.A. ve Civelekoğlu, H., (1986). Alkol Katkılı Benzinlerde Faz Ayırımı Sorunu. **İ.T.Ü. Dergisi**. Cilt 44, 3-4, 1-8.
- Karaosmanoğlu, F., Aksoy, H.A., ve Civelekoğlu, H., (1988). The Effect of Isopropanol Addition on Gasoline-Alcohol Fuel Blends. **Journal of the Institute of Energy**. LXI, 125-127.

- Karaosmanoğlu, F., Tuna, A.I., Sorusbay, C. ve Aksoy, H.A., (1990). Benzin Alternatifi Olarak Etanollü Benzinlerin Değerlendirilmesi. **Karayolları Vakfı Derg.** Cilt.3,1419.
- Karaosmanoğlu, F., Işığigür, A., ve Aksoy, H.A., (1994). Metanol-Benzin Karışımlarında Yakıt Özellikleri Değişiminin İncelenmesi. **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi.** Cilt 16, No. 3/4, Sayfa: 7-13.
- Kato, S.; Onishi, S., (1989). New Mixture Formation Technology of Direct Fuel Injection Stratified Charge S.I.E.(OSKA)-Test Result with Gasoline Fuel. **SAE,**
- Khan, N., ve Gollahalli, S.R., (1981). Performans and Emissions Characteristics of a Diesel Engine Burning Unstabilized Emulsions of Diesel Fuel with Water, Methanol, & Ethanol. **SAE Paper.** No.811210.
- Klimstra, J., (1990). Performance of Lean-Burn Natural-Gas-Fueled Engines On Specific Fuel Consumption, Power Capacity and Emissions. **SAE, Inc.**
- Kusumowardhoyo, M.A., ve Arismunandar, W., (1984). Modulated Alcohol Blending-Ratio and Fuel Metering in SI Engines Leading to Performance Optimization. **VI. Int. Symp. on Alcohol Fuels Technology.** Vol. I. OTTAWA/CANADA.
- Lang, J.M. ve Black, F.M., (1981). Impact of Gasohol on Automobile Evaporative & Tailpipe Emissions", **International Congress & Exposition Cobo Hall, Detroit.**
- Lavoie, G.A. ; Blumberg, P.N., (1980). A Fundamental Model for Predicting Fuel Consumption, NO<sub>x</sub> and HC Emissions of a Conventional Spark-Ignited. **Combustion Science Technology,** Vol.21, pp. 225-258.
- LoRusso, J.A. ve Tabaczynski, R.J., (1976). Combustion and Emissions Characteristics of Methanol, Methanol-Water, and Gasoline-Methanol Blends in a Spark Ignition Engine. **SAE Paper.** No. 769019.
- Lucas, G.G., ve James, E.H., (1973). A Computer Simulation of a Spark Ignition Engine. **SAE Paper.** No. 730053.
- Lucke, C.E., (1907). **The Use of Alcohol and Gasoline in Farm Engines.** Ph.D. Thesis. (Published) in USDA Farmers Bulletin. Washington, D.C.

- Lukanin, V.N., (1993). Conception of Building Ecologically Clean Automobile Transportation Complex. **SP-958, SAE, Inc.** 400 Commonwealth Dr. Warrendale, PA, 15096-0001.
- Maji, S., Abraham, M., Pundir, B.P., ve Radzimirski, S., (1989). Abnormal Combustion in a Two-Stroke Spark Ignited Methanol Engine. **SAE, Inc.**
- Markatos, N.C., (1989). **Computer Simulation for Fluid Flow, Heat and Mass Transfer and Combustion in Reciprocating Engines.** Hemisphere Publishing Corporation. New York.
- Marland, G., ve Tuhrollow, A.F., (1991). CO<sub>2</sub> Emissions From the Production & Combustion of Fuel Ethanol From Corn. **Energy.** Vol.16. No.11/12, pp. 1307-1316, Pergamon press. Great Britain.
- Marland, G., (1994). Greenhouse Gas Emissions Related to Ethanol Produced From Corn. **Environmental Sci. Divison** Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge.
- Martins, J.J.G., ve Finlay, I.C., (1990). Heat Transfer to Air-Ethanol and Air-Methanol Sprays Flaming in Heated Ducts and Across Heated Intake Valves. **SAE Paper.** No. 900583.
- McCabe, R.W., King, E.T., Watkins, W.L.H., ve Gandhi, H.S., (1990). Lab. & Vehicle Studies of Aldehyde Emissions from Alcohol Fuels. **SAE Paper.** No. 900708.
- McCallum, R.I., (1973). **Lead in the Environment.** Nuffield Department of Industrial Health, Newcastle University.
- McLean, W.J., (1976). **Alternative Fuels.** Sibley School of Mechanical and Aerospace Engineering Cornell University, Ithaca, New York.
- Miller, S.P., ve Savonen, C.L., (1990). Development Status of the Detroit Diesel Corporation Methanol Engine. **SAE Paper.** No. 901564.
- Mueller, A. (1982). **A Comparative Assessment of Current Gasohol Fuel Economy Data.** Mueller Associates, Update 82, Michigan.
- Muthu, S. ve Jagadeesan, T.R., (1984). Analytical and Experimental Investigations of Ethanol-Diesel Dual Fuel Combustion System. **VI. Int. Symp. on Alcohol Fuels Technology.** Volume I. OTTAWA, CANADA.

- Naegeli, D.W., (1989). Combustion-Associated Wear in Alcohol- Fueled Spark Ignition Engines. **SAE Technical Paper Series**. No. 891641.
- Naegeli, D.W., ve Weatherford, W.D., (1989). Practical Ignition Limits for Low Molecular Weight Alcohols. **Fuel**. Vol. 68, pp. 45-48.
- Needham, J.R., May, M.P., Doyle, D.M., ve Faulkner, S.A., (1990). Injection Timing and Rate Control a Solutions for Low Emissions. **SAE, Inc.**
- Nicholas, R.J., (1986). The Flexible Fuel Vehicle: The Bridge to Methanol. National Petroleum Refiners Association, **1986 Fuels & Lubricants Meeting**. Houston,
- Nicholas, R.J., (1982). Applications of Alternative Fuels. **SAE, Inc.** 823265.
- Nicholas, R.J., ve Norbeck, J.M., (1985). Assesment of Emissions From Methanol-Fueled Vehicles. **78th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association**.
- Nicholas, R.J., Clinton, E.L., King, E.T., et.al. (1988). A View of Flexible Fuel Vehicle Aldehyde Emissions. **SAE Techn. Paper Series**. No. 881200.
- Oda, K., Hosono, K., Isoda, T., Aihara, H., Kojima, K., ve Shibata, G., (1993). **Effect of Gasoline Composition on Engine Performance**. SP-958, SAE, Inc. 400 Commonwealth Dr. Warrendale, PA 15096-0001, USA.
- OECD Documents, (1991). Toward Clean and Fuel Efficient Automobiles. **Proceedings of an Int. Conference**. Berlin.
- OECD Documents, (1991). **Fuel Efficiency of Passenger Cars**, 2, Rue Andre-Pascal, 75775, Paris Cedex 16, FRANCE.
- Onder, C.H., ve Geering, H.P., (1995). **Model-Based Engine Calibration for Best Fuel Efficiency**. SP-1101, SAE, Inc. 400 C. Dr. Warrendale, PA, 15096-0001.
- Özer, Z., (1996). Biyokütle Enerjisi. **Bilim ve Teknik Dergisi**, TÜBİTAK, Sayı:342. Pro-mat Basım Yayın A.Ş.
- Öztürk, A.; Kılıç, A., (1982). **Termodinamik Özellik Bağlılıkları**. Togay Matbaası, İst.
- Panzer, J., (1979). **Ethanol Gasoline Blending Study**. Exxon Research & Engineering Company, RL.3PC.79, Los Angeles, California.
- Petrol ofisi, (1980). **Yakıtlar ve Yağlar**. Madeni Yağ Şube Müdürlüğü. Sanem Matbaası, Necatibey Cad. No: 31 Sıhhiye-Ankara.

- Powell, T., (1975). Racing Experiences with Methanol and Ethanol-Based Motor-Fuel Blends. **SAE, Inc.** 400 Commonwealth Drive Warrendale, PA, 15096: **Automotive Eng. Cong. and Exposition.** Detroit, Michigan.
- Ramos, J.I., (1989). **Internal Combustion Engine Modeling.** Hemisphere Publishing Corporation. New York.
- Reed, G., (1981). **Production of Fermentation Alcohol as a Fuel Source.** The Avi Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut, USA.
- Rice, R.W., Sanyal, A.K., Elrod, A.C., ve Bata, M.R., (1991). Exhaust Gas Emissions of Butanol, Ethanol, and Methanol- Gasoline Blends. **Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Transactions of the ASME.** Vol.113. pp377-381.
- Saeed, M.N., ve Henein, N.A., (1984). Ignition Delay Correlations for Neat Ethanol and Ethanol-DF2 Blends in a D.I. Diesel Engine. **SAE Paper.** No. 841343.
- Saeed, M.N. ve Henein, N.A., (1989). Combustion Phenomena of Alcohols in C.I. Engines. **Journal of Engineering for Gas Turbines & Power, Transactions of the ASME,** Vol.111.
- Santoro, S., Newkirk, M.S., Smith, L.R. ve Ahuja, M., (1990). Formaldehyde Emission Control Technology for Methanol-Fueled Vehicles. **SAE Paper.** No. 902118.
- Saraçoğlu, S., Borat, O. Ve Gönültaş, B., (1977). **Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği.** Marmara Bölgesinde Çevre Kirlenmesi Semineri, İstanbul Ticaret Odası Seminerler Dizisi No:1, Ağaoğlu Kitabevi, 27-30 Eylül, İstanbul.
- Scheller, W.A., (1977). Tests on Unleaded Gasoline Containing %10 Ethanol-Nebraska Gasohol. **Int. Symp. on Alcohol Fuel Technology-Methanol and Ethanol.** Wolsburg, Germany.
- Scheller, W.A. ve Mohr, B.J., (1975). Performance of an Ethanol-Gasoline Blend in Automobiles and Light Trucks. **American Chemical Society.** Division of Fuel Chemistry. Vol.20, Washington.
- Schleyer, C.H., ve Koehl, W.J., (1990). Comparison of Gasoline and Methanol Vehicle Emissions Using VOC Reactivity. **SAE Paper.** No. 902095.

- Schramm, J., ve Sorenson, S.C., (1990). A Model for Hydrocarbon Emissions from S.I. Engines. (Lab.for Energetics Tech.Univ. of Denmark). **SAE Paper**. No.902169.
- Shore, P.R., Humphries, D.T. ve Hadded, O., (1993). **Speciated Hydrocarbon Emissions from Aromatic, Olefinic, and Paraffinic Model Fuels**. SP-958, 400 Commonwealth Dr. Warrendale, PA 15096-0001, USA.
- Sidhu, J.S., (1988). **The Acceptability of Alcohol Fuels for Automobile Engines**. Ph.D. Thesis(unpublished). The University of Aston, Birmingham.
- Sperling, D., (1993). Marketable Credits for Vehicle Emissions in California; Tomorrow's Clean and fuel- Efficient Automobile. **SP-958, SAE, Inc.** 400 Commonwealth Dr. Warrendale, PA, 15096-0001, USA.
- Starkman, E.S.,(1970). Alternative Fuels for Control of Engine Emissions. **Journal of Air Pollution Cont. Assoc.**, 20,87.
- Stump, F.D., Knapp, K.T., ve Ray, W.D., (1990). **Seasonal Impact of Blending Oxygenated Organics with Gasoline on Motor Vehicle Tailpipe and Evaporative Emissions**. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina.
- Stump, F.D., Knapp, K.T., Ray, W.D., Burton, C., ve Snow, R., (1990). The Seasonal Impact of Blending Oxygenated Organics with Gasoline on Motor Vehicle Tailpipe and Evaporative Emissions-Part II. **SAE Paper**. No. 902129.
- Subba, R.K., Mathur, H.B. ve Gajendra Babu, M.K., (1984). A Comparative Study of the Combustion Characterictics of Methanol and Gasoline in a Spark Ignition Engine. **VI. Int. Symp. on Alcohol Fuels Technology**. Vol.I. OTTAWA.
- Taylor, C.F., (1985). **The Internal Combustion Engine in Theory and Practice**. The M.I.T. Press Massachusetts Institute of Technology, Volume 1-2. USA.
- Tosh, J.D., et al., (1985). **Project for Reliability Fleet Testing of Alcohol/Gasoline Blends**. Southwest Research Institute, DOE/CE/50004-1, California.
- TPAO (1984). Batman Bölgesinde Üretim ve Etüd . Batman Rafinerisi Dökümanları
- Tsao, K.C., Wang, C.L. ve Miller, E.M.,(1984). Performance of Gasoline-Water Fuel in a Modified SI Engine. **SAE Paper**. No. 841399.

Wals, M.P., (1991). Environmental Challenges Posed by Wrowing Automobile Use.  
**Proceedings of an Int. Conference.** Berlin.

Walzer, P., Altendorf, J.P., Geiger, I., ve Waschatz,U., (1989). A New Exhaust  
Emissions Concept. **SAE, Inc.**

Weidmann, K., ve Menrad, H., (1984). Fleet Test, Performance and Emission of Diesel  
Engines Using Different Alcohol-Diesel Fuel Blends. **SP-587, SAE, Inc.** 400  
Commonwealth Drive Warrendale, PA, 15096.

White, J.S., (1987). Using Alternative Fuels. **Energie & Environmental Analysis Inc.**  
Arlington, Virginia, October.

Wilkie, H.F., Kalakov, P.J., (1942). **Food for Thought.** Indiana Farm Breau, Inc.,  
Indianapolis, Indiana. U.S.A.

Yüksel, F., (1997). **Geliştirilen Karbüratör Sistemi İle Otto Motorlarında Benzin-  
Alkol Karışımlarının Kullanımı.** Doktora Tezi (yayınlanmamış), Atatürk  
Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Ziejewski, M., (1985). **The Effect of the Level of Unsatiration & of Alcohol  
Modifications of Plant Oil Fuels on the Longterm Performance of a Direct  
Injected Diesel Engine.** Ph.D.Thesis(unpublished). Notrh Dakota State  
University. Fargo, North Dakota.

Ek- 1

1- E0; AA=10;  $\lambda=0,931$ ; T0;  $\varepsilon=6$

| n     | F     | h      | dt    | Md    | Ne   | Be     | be      | ÖET      | Qhm    | $\eta_v$ | $\eta_k$ | CO   | HC    |
|-------|-------|--------|-------|-------|------|--------|---------|----------|--------|----------|----------|------|-------|
| (d/d) | (N)   | (mmHg) | (s)   | (Nm)  | (kW) | (kg/h) | (g/kWh) | (kJ/kg)  | (kg/h) |          |          | (%)  | (ppm) |
| 1500  | 63.20 | 11.00  | 24.63 | 15.80 | 2.48 | 1.07   | 433.08  | 19055.54 | 14.50  | 0.67     | 0.19     | 8.78 | 535   |
| 2000  | 66.30 | 17.00  | 19.81 | 16.58 | 3.47 | 1.34   | 384.96  | 16938.16 | 18.02  | 0.62     | 0.21     | 8.23 | 401   |
| 2500  | 67.60 | 24.00  | 16.68 | 16.90 | 4.42 | 1.59   | 358.72  | 15783.79 | 21.42  | 0.59     | 0.23     | 7.85 | 347   |
| 3000  | 64.10 | 33.00  | 14.22 | 16.02 | 5.03 | 1.86   | 369.80  | 16271.04 | 25.11  | 0.58     | 0.22     | 5.28 | 194   |
| 3500  | 57.10 | 40.00  | 12.92 | 14.28 | 5.23 | 2.05   | 391.63  | 17231.67 | 27.65  | 0.55     | 0.21     | 5.2  | 143   |

2-E0; AA=10;  $\lambda=1$ ; T0;  $\varepsilon=6$

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | ÖET      | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_k$ | CO   | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|----------|----------|------|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg    | kg/h  |          |          | %    | ppm |
| 1500 | 63.30 | 11.00 | 26.46 | 15.83 | 2.48 | 1.00 | 402.49 | 17709.62 | 14.50 | 0.67     | 0.20     | 8.12 | 405 |
| 2000 | 66.10 | 17.00 | 21.27 | 16.52 | 3.46 | 1.24 | 359.62 | 15823.23 | 18.02 | 0.62     | 0.23     | 7.89 | 343 |
| 2500 | 67.80 | 24.00 | 17.91 | 16.95 | 4.44 | 1.48 | 333.10 | 14656.45 | 21.42 | 0.59     | 0.25     | 7.33 | 305 |
| 3000 | 64.20 | 33.00 | 15.27 | 16.05 | 5.04 | 1.73 | 343.83 | 15128.60 | 25.11 | 0.58     | 0.24     | 3.29 | 172 |
| 3500 | 57.20 | 40.00 | 13.88 | 14.30 | 5.24 | 1.91 | 363.90 | 16011.82 | 27.65 | 0.55     | 0.22     | 3    | 116 |

3-E0; AA=10;  $\lambda=1,069$ ; T0;  $\varepsilon=6$

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | ÖET      | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_k$ | CO   | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|----------|----------|------|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg    | kg/h  |          |          | %    | ppm |
| 1500 | 63.10 | 11.00 | 28.29 | 15.78 | 2.48 | 0.94 | 377.65 | 16616.54 | 14.50 | 0.67     | 0.22     | 6.21 | 311 |
| 2000 | 66.10 | 17.00 | 22.76 | 16.52 | 3.46 | 1.16 | 336.08 | 14787.35 | 18.02 | 0.62     | 0.24     | 5.93 | 280 |
| 2500 | 67.80 | 24.00 | 19.16 | 16.95 | 4.44 | 1.38 | 311.37 | 13700.26 | 21.42 | 0.59     | 0.26     | 5.6  | 242 |
| 3000 | 64.40 | 33.00 | 16.34 | 16.10 | 5.06 | 1.62 | 320.32 | 14094.02 | 25.11 | 0.58     | 0.26     | 2.34 | 111 |
| 3500 | 57.10 | 40.00 | 14.84 | 14.28 | 5.23 | 1.78 | 340.96 | 15002.24 | 27.65 | 0.55     | 0.24     | 2.2  | 83  |

4-E0; AA=10;  $\lambda=0,931$ ; T0+6;  $\varepsilon=6$

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | ÖET      | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_k$ | CO   | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|----------|----------|------|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg    | kg/h  |          |          | %    | ppm |
| 1500 | 63.90 | 10.80 | 24.86 | 15.98 | 2.51 | 1.06 | 424.37 | 18672.43 | 14.37 | 0.66     | 0.19     | 8.62 | 516 |
| 2000 | 67.00 | 16.90 | 19.88 | 16.75 | 3.51 | 1.33 | 379.59 | 16702.17 | 17.97 | 0.62     | 0.22     | 8.01 | 399 |
| 2500 | 68.00 | 23.80 | 16.75 | 17.00 | 4.45 | 1.58 | 355.12 | 15625.37 | 21.33 | 0.59     | 0.23     | 7.61 | 338 |
| 3000 | 64.70 | 32.80 | 14.27 | 16.18 | 5.08 | 1.85 | 365.08 | 16063.66 | 25.04 | 0.58     | 0.22     | 5.08 | 188 |
| 3500 | 57.60 | 39.70 | 12.97 | 14.40 | 5.28 | 2.04 | 386.73 | 17016.24 | 27.55 | 0.55     | 0.21     | 5.04 | 140 |

5-E0; AA=10;  $\lambda=1$ ; T0+6;  $\varepsilon=6$

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | ÖET      | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_k$ | CO   | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|----------|----------|------|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg    | kg/h  |          |          | %    | ppm |
| 1500 | 64.00 | 10.80 | 26.71 | 16.00 | 2.51 | 0.99 | 394.36 | 17351.98 | 14.37 | 0.66     | 0.21     | 8.0  | 400 |
| 2000 | 67.00 | 16.90 | 21.35 | 16.75 | 3.51 | 1.24 | 353.46 | 15552.19 | 17.97 | 0.62     | 0.23     | 7.82 | 340 |
| 2500 | 68.00 | 23.80 | 17.99 | 17.00 | 4.45 | 1.47 | 330.64 | 14548.36 | 21.33 | 0.59     | 0.25     | 7.0  | 300 |
| 3000 | 64.70 | 32.80 | 15.33 | 16.18 | 5.08 | 1.73 | 339.84 | 14952.93 | 25.04 | 0.58     | 0.24     | 3.26 | 170 |
| 3500 | 57.60 | 39.70 | 13.93 | 14.40 | 5.28 | 1.90 | 360.08 | 15843.55 | 27.55 | 0.55     | 0.23     | 3    | 115 |

6-E0; AA=10;  $\lambda=1,069$ ; T0+6;  $\varepsilon=6$

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | ÖET      | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_k$ | CO   | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|----------|----------|------|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg    | kg/h  |          |          | %    | ppm |
| 1500 | 63.90 | 10.80 | 28.55 | 15.98 | 2.51 | 0.93 | 369.52 | 16259.08 | 14.37 | 0.66     | 0.22     | 6.0  | 299 |
| 2000 | 67.00 | 16.90 | 22.82 | 16.75 | 3.51 | 1.16 | 330.69 | 14550.36 | 17.97 | 0.62     | 0.25     | 5.74 | 276 |
| 2500 | 67.90 | 23.80 | 19.23 | 16.98 | 4.44 | 1.38 | 309.78 | 13630.39 | 21.33 | 0.59     | 0.26     | 5.4  | 234 |
| 3000 | 64.70 | 32.80 | 16.38 | 16.18 | 5.08 | 1.62 | 318.05 | 13994.41 | 25.04 | 0.58     | 0.26     | 2.26 | 107 |
| 3500 | 57.50 | 39.70 | 14.89 | 14.38 | 5.27 | 1.78 | 337.45 | 14847.85 | 27.55 | 0.55     | 0.24     | 2.19 | 82  |

7-E0; AA=10;  $\lambda=0,931$ ; T0+12;  $\varepsilon=6$

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | ÖET      | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_k$ | CO   | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|----------|----------|------|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg    | kg/h  |          |          | %    | ppm |
| 1500 | 64.30 | 10.50 | 25.22 | 16.08 | 2.52 | 1.05 | 415.71 | 18291.39 | 14.17 | 0.66     | 0.20     | 8.36 | 482 |
| 2000 | 67.40 | 16.40 | 20.07 | 16.85 | 3.53 | 1.32 | 373.77 | 16445.87 | 17.70 | 0.61     | 0.22     | 7.76 | 377 |
| 2500 | 68.30 | 23.60 | 16.82 | 17.08 | 4.47 | 1.57 | 352.09 | 15492.00 | 21.24 | 0.59     | 0.23     | 7.38 | 320 |
| 3000 | 65.00 | 32.30 | 14.40 | 16.25 | 5.10 | 1.84 | 360.12 | 15845.17 | 24.85 | 0.57     | 0.23     | 4.92 | 178 |
| 3500 | 57.80 | 39.40 | 13.04 | 14.45 | 5.29 | 2.03 | 383.33 | 16866.33 | 27.44 | 0.54     | 0.21     | 4.91 | 133 |

8-E0;AA=10;  $\lambda=1$ ;T0+12; $\varepsilon=6$

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | ÖET      | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_k$ | CO   | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|----------|----------|------|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg    | kg/h  |          |          | %    | ppm |
| 1500 | 64.30 | 10.50 | 27.10 | 16.08 | 2.52 | 0.98 | 386.87 | 17022.47 | 14.17 | 0.66     | 0.21     | 7.77 | 374 |
| 2000 | 67.40 | 16.50 | 21.61 | 16.85 | 3.53 | 1.22 | 347.13 | 15273.88 | 17.76 | 0.62     | 0.24     | 7.58 | 318 |
| 2500 | 68.30 | 23.40 | 18.17 | 17.08 | 4.47 | 1.46 | 325.93 | 14340.97 | 21.15 | 0.59     | 0.25     | 7.28 | 280 |
| 3000 | 65.10 | 32.30 | 15.37 | 16.27 | 5.11 | 1.72 | 336.87 | 14822.38 | 24.85 | 0.57     | 0.24     | 3.15 | 159 |
| 3500 | 57.90 | 39.40 | 14.00 | 14.48 | 5.30 | 1.89 | 356.42 | 15682.65 | 27.44 | 0.54     | 0.23     | 2.9  | 106 |

9-E0;AA=10;  $\lambda=1.069$ ;T0+12;  $\varepsilon=6$

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | ÖET      | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_k$ | CO   | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|----------|----------|------|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg    | kg/h  |          |          | %    | ppm |
| 1500 | 64.40 | 10.50 | 28.96 | 16.10 | 2.53 | 0.91 | 361.46 | 15904.44 | 14.17 | 0.66     | 0.23     | 5.83 | 279 |
| 2000 | 67.30 | 16.40 | 23.18 | 16.83 | 3.52 | 1.14 | 324.10 | 14260.53 | 17.70 | 0.61     | 0.25     | 5.57 | 258 |
| 2500 | 68.20 | 23.40 | 19.42 | 17.05 | 4.46 | 1.36 | 305.40 | 13437.56 | 21.15 | 0.59     | 0.27     | 5.23 | 219 |
| 3000 | 65.00 | 32.50 | 16.45 | 16.25 | 5.10 | 1.61 | 315.24 | 13870.55 | 24.92 | 0.58     | 0.26     | 2.2  | 100 |
| 3500 | 57.70 | 39.40 | 14.94 | 14.43 | 5.28 | 1.77 | 335.16 | 14746.86 | 27.44 | 0.54     | 0.24     | 2.13 | 76  |

10-E0; AA=5;  $\lambda=0.931$ ;T0; $\varepsilon=6$

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | ÖET      | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_k$ | CO   | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|----------|----------|------|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg    | kg/h  |          |          | %    | ppm |
| 1500 | 63.00 | 11.00 | 24.63 | 15.75 | 2.47 | 1.07 | 434.46 | 19116.04 | 14.50 | 0.67     | 0.19     | 8.92 | 552 |
| 2000 | 66.00 | 17.00 | 19.81 | 16.50 | 3.45 | 1.34 | 386.71 | 17015.1  | 18.02 | 0.62     | 0.21     | 8.46 | 404 |
| 2500 | 67.50 | 24.00 | 16.68 | 16.88 | 4.42 | 1.59 | 359.25 | 15807.1  | 21.42 | 0.59     | 0.23     | 8.09 | 357 |
| 3000 | 64.00 | 33.00 | 14.22 | 16.00 | 5.02 | 1.86 | 370.37 | 16296.46 | 25.11 | 0.58     | 0.22     | 5.47 | 199 |
| 3500 | 57.00 | 40.00 | 12.92 | 14.25 | 5.22 | 2.05 | 392.32 | 17261.9  | 27.65 | 0.55     | 0.21     | 5.15 | 144 |

11-E0;AA=5;  $\lambda=1$ ;T0; $\varepsilon=6$

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | ÖET      | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_k$ | CO   | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|----------|----------|------|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg    | kg/h  |          |          | %    | ppm |
| 1500 | 63.00 | 11.00 | 26.46 | 15.75 | 2.47 | 1.00 | 404.41 | 17793.95 | 14.50 | 0.67     | 0.20     | 8.24 | 409 |
| 2000 | 65.90 | 17.00 | 21.28 | 16.48 | 3.45 | 1.24 | 360.54 | 15863.79 | 18.02 | 0.62     | 0.23     | 7.96 | 346 |
| 2500 | 67.60 | 24.00 | 17.91 | 16.90 | 4.42 | 1.48 | 334.09 | 14699.81 | 21.42 | 0.59     | 0.24     | 7.67 | 309 |
| 3000 | 64.10 | 33.00 | 15.27 | 16.02 | 5.03 | 1.73 | 344.37 | 15152.20 | 25.11 | 0.58     | 0.24     | 3.3  | 174 |
| 3500 | 56.90 | 40.00 | 13.87 | 14.23 | 5.21 | 1.91 | 366.09 | 16107.84 | 27.65 | 0.55     | 0.22     | 3    | 109 |

12- E0;AA=5;  $\lambda=1.069$ ;  $\varepsilon=6$ ;T0

| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg    | kg/h  | $\eta_v$ | $\eta_k$ | %    | ppm |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|----------|----------|------|-----|
| 1500 | 62.90 | 11.00 | 28.28 | 15.73 | 2.47 | 0.94 | 378.98 | 16675.27 | 14.50 | 0.67     | 0.22     | 6.43 | 323 |
| 2000 | 66.00 | 17.00 | 22.75 | 16.50 | 3.45 | 1.16 | 336.73 | 14816.27 | 18.02 | 0.62     | 0.24     | 6.12 | 284 |
| 2500 | 67.60 | 24.00 | 19.15 | 16.90 | 4.42 | 1.38 | 312.45 | 13747.97 | 21.42 | 0.59     | 0.26     | 5.79 | 250 |
| 3000 | 64.00 | 33.00 | 16.33 | 16.00 | 5.02 | 1.62 | 322.52 | 14190.79 | 25.11 | 0.58     | 0.25     | 2.42 | 115 |
| 3500 | 57.00 | 40.00 | 14.83 | 14.25 | 5.22 | 1.78 | 341.79 | 15038.69 | 27.65 | 0.55     | 0.24     | 2.39 | 80  |

13- E0; AA=5;  $\lambda=0.931$ ;  $\varepsilon=6$ ; T0+6

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | ÖET      | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_k$ | CO   | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|----------|----------|------|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg    | kg/h  |          |          | %    | ppm |
| 1500 | 63.80 | 10.80 | 24.86 | 15.95 | 2.50 | 1.06 | 425.04 | 18701.70 | 14.37 | 0.66     | 0.19     | 8.8  | 520 |
| 2000 | 66.90 | 16.80 | 19.94 | 16.73 | 3.50 | 1.33 | 379.02 | 16676.80 | 17.92 | 0.62     | 0.22     | 8.3  | 389 |
| 2500 | 67.90 | 23.80 | 16.75 | 16.98 | 4.44 | 1.58 | 355.65 | 15648.38 | 21.33 | 0.59     | 0.23     | 7.95 | 330 |
| 3000 | 64.60 | 32.70 | 14.29 | 16.15 | 5.07 | 1.85 | 365.14 | 16066.01 | 25.00 | 0.58     | 0.22     | 5.3  | 184 |
| 3500 | 57.50 | 39.70 | 12.97 | 14.38 | 5.27 | 2.04 | 387.41 | 17045.83 | 27.55 | 0.55     | 0.21     | 5    | 130 |

14-E0;AA=5;  $\lambda=1$ ;T0+6; $\varepsilon=6$

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | ÖET      | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_k$ | CO   | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|----------|----------|------|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg    | kg/h  |          |          | %    | ppm |
| 1500 | 63.90 | 10.80 | 26.70 | 15.98 | 2.51 | 0.99 | 395.13 | 17385.64 | 14.37 | 0.66     | 0.21     | 8.1  | 339 |
| 2000 | 66.90 | 16.80 | 21.41 | 16.73 | 3.50 | 1.24 | 353.00 | 15531.78 | 17.92 | 0.62     | 0.23     | 7.8  | 324 |
| 2500 | 67.80 | 23.80 | 17.99 | 16.95 | 4.44 | 1.47 | 331.62 | 14591.28 | 21.33 | 0.59     | 0.25     | 7.5  | 296 |
| 3000 | 64.60 | 32.70 | 15.35 | 16.15 | 5.07 | 1.72 | 339.92 | 14956.57 | 25.00 | 0.58     | 0.24     | 3.16 | 164 |
| 3500 | 57.40 | 39.70 | 13.93 | 14.35 | 5.26 | 1.90 | 361.34 | 15898.75 | 27.55 | 0.55     | 0.23     | 2.91 | 99  |

15- E0;AA=5;  $\lambda=1.069$ ;T0+6; $\varepsilon=6$

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | $\ddot{O}ET$ | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_t$ | CO   | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|--------------|-------|----------|----------|------|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg        | kg/h  |          |          | %    | ppm |
| 1500 | 63.80 | 10.80 | 28.55 | 15.95 | 2.50 | 0.93 | 370.10 | 16284.56     | 14.37 | 0.66     | 0.22     | 6.3  | 314 |
| 2000 | 66.90 | 16.80 | 22.88 | 16.73 | 3.50 | 1.16 | 330.32 | 14533.89     | 17.92 | 0.62     | 0.25     | 5.96 | 270 |
| 2500 | 67.90 | 23.80 | 19.23 | 16.98 | 4.44 | 1.38 | 309.78 | 13630.29     | 21.33 | 0.59     | 0.26     | 5.6  | 230 |
| 3000 | 64.50 | 32.70 | 16.41 | 16.13 | 5.06 | 1.61 | 318.46 | 14012.14     | 25.00 | 0.58     | 0.26     | 2.3  | 103 |
| 3500 | 57.40 | 39.70 | 14.89 | 14.35 | 5.26 | 1.78 | 338.04 | 14873.72     | 27.55 | 0.55     | 0.24     | 2.2  | 76  |

16- E0;AA=5;  $\lambda=0.931$ ;T=+20; $\varepsilon=6$

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | $\ddot{O}ET$ | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_t$ | CO   | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|--------------|-------|----------|----------|------|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg        | kg/h  |          |          | %    | ppm |
| 1500 | 64.10 | 10.50 | 25.21 | 16.02 | 2.52 | 1.05 | 417.18 | 18355.74     | 14.17 | 0.66     | 0.20     | 8.5  | 475 |
| 2000 | 67.10 | 16.40 | 20.05 | 16.77 | 3.51 | 1.32 | 375.82 | 16535.88     | 17.70 | 0.61     | 0.22     | 7.96 | 360 |
| 2500 | 68.00 | 23.40 | 16.89 | 17.00 | 4.45 | 1.57 | 352.18 | 15495.85     | 21.15 | 0.59     | 0.23     | 7.65 | 305 |
| 3000 | 64.80 | 32.30 | 14.38 | 16.20 | 5.09 | 1.84 | 361.73 | 15916.18     | 24.85 | 0.57     | 0.23     | 5.1  | 169 |
| 3500 | 57.60 | 39.40 | 13.02 | 14.40 | 5.28 | 2.03 | 385.25 | 16950.89     | 27.44 | 0.54     | 0.21     | 4.8  | 120 |

17- E0;AA=5;  $\lambda=1$ ;T0+12; $\varepsilon=6$

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | $\ddot{O}ET$ | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_t$ | CO   | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|--------------|-------|----------|----------|------|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg        | kg/h  |          |          | %    | ppm |
| 1500 | 64.00 | 10.50 | 27.08 | 16.00 | 2.51 | 0.98 | 388.97 | 17114.89     | 14.17 | 0.66     | 0.21     | 7.8  | 361 |
| 2000 | 67.10 | 16.50 | 21.60 | 16.77 | 3.51 | 1.23 | 348.85 | 15349.27     | 17.76 | 0.62     | 0.23     | 7.54 | 298 |
| 2500 | 68.10 | 23.40 | 18.14 | 17.02 | 4.45 | 1.46 | 327.43 | 14406.87     | 21.15 | 0.59     | 0.25     | 7.25 | 274 |
| 3000 | 64.70 | 32.30 | 15.44 | 16.18 | 5.08 | 1.71 | 337.42 | 14846.40     | 24.85 | 0.57     | 0.24     | 3.05 | 151 |
| 3500 | 57.70 | 39.40 | 13.98 | 14.43 | 5.28 | 1.89 | 358.17 | 15759.52     | 27.44 | 0.54     | 0.23     | 2.82 | 91  |

18- E0;AA=5;  $\lambda=1.069$ ;T0+12; $\varepsilon=6$

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | $\ddot{O}ET$ | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_t$ | CO   | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|--------------|-------|----------|----------|------|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg        | kg/h  |          |          | %    | ppm |
| 1500 | 64.00 | 10.50 | 28.95 | 16.00 | 2.51 | 0.91 | 363.85 | 16009.37     | 14.17 | 0.66     | 0.22     | 6.1  | 290 |
| 2000 | 67.20 | 16.40 | 23.16 | 16.80 | 3.52 | 1.14 | 324.87 | 14294.08     | 17.70 | 0.61     | 0.25     | 5.77 | 250 |
| 2500 | 68.00 | 23.40 | 19.39 | 17.00 | 4.45 | 1.36 | 306.77 | 13497.94     | 21.15 | 0.59     | 0.27     | 5.42 | 213 |
| 3000 | 64.80 | 32.40 | 16.48 | 16.20 | 5.09 | 1.61 | 315.64 | 13888.03     | 24.88 | 0.58     | 0.26     | 2.22 | 96  |
| 3500 | 57.60 | 39.40 | 14.95 | 14.40 | 5.28 | 1.77 | 335.51 | 14762.58     | 27.44 | 0.54     | 0.24     | 2.12 | 70  |

E10; AA=10;  $\lambda=1$ ; T0;  $\varepsilon=6$

| n    | F     | h     | dt    | Md    | Ne   | Be   | be     | $\ddot{O}ET$ | Qhm   | $\eta_v$ | $\eta_t$ | CO | HC  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|--------------|-------|----------|----------|----|-----|
| d/d  | N     | mmHg  | s     | Nm    | kW   | kg/h | g/kWh  | kJ/kg        | kg/h  |          |          | %  | ppm |
| 1500 | 62.00 | 12.00 | 25.33 | 15.50 | 2.43 | 1.04 | 429.26 | 18148.37     | 15.14 | 0.70     | 0.20     |    |     |
| 2000 | 65.80 | 18.00 | 20.69 | 16.45 | 3.44 | 1.28 | 371.39 | 15701.44     | 18.55 | 0.64     | 0.23     |    |     |
| 2500 | 66.90 | 25.00 | 17.55 | 16.73 | 4.38 | 1.51 | 344.51 | 14565.07     | 21.86 | 0.61     | 0.25     |    |     |
| 3000 | 62.90 | 34.10 | 15.03 | 15.73 | 4.94 | 1.76 | 356.54 | 15073.88     | 25.53 | 0.59     | 0.24     |    |     |
| 3500 | 56.60 | 41.10 | 13.69 | 14.15 | 5.18 | 1.93 | 372.87 | 15764.06     | 28.03 | 0.56     | 0.23     |    |     |

E10; AA=10;  $\lambda=1.069$ ; T0;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |  |  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|--|--|
| 1500 | 61.90 | 12.00 | 27.08 | 15.48 | 2.43 | 0.98 | 402.17 | 17002.99 | 15.14 | 0.70 | 0.21 |  |  |
| 2000 | 65.70 | 18.00 | 22.10 | 16.43 | 3.44 | 1.20 | 348.22 | 14722.05 | 18.55 | 0.64 | 0.24 |  |  |
| 2500 | 66.80 | 25.00 | 18.75 | 16.70 | 4.37 | 1.41 | 322.94 | 13653.32 | 21.86 | 0.61 | 0.26 |  |  |
| 3000 | 62.80 | 34.10 | 16.07 | 15.70 | 4.93 | 1.65 | 334.00 | 14120.79 | 25.53 | 0.59 | 0.25 |  |  |
| 3500 | 56.50 | 41.10 | 14.65 | 14.13 | 5.17 | 1.81 | 349.05 | 14757.12 | 28.03 | 0.56 | 0.24 |  |  |

E10; AA=10;  $\lambda=1$ ; T0+6;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |  |  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|--|--|
| 1500 | 62.40 | 11.70 | 25.66 | 15.60 | 2.45 | 1.03 | 421.03 | 17800.14 | 14.95 | 0.69 | 0.20 |  |  |
| 2000 | 66.10 | 17.70 | 20.85 | 16.52 | 3.46 | 1.27 | 366.86 | 15510.23 | 18.39 | 0.64 | 0.23 |  |  |
| 2500 | 67.30 | 24.60 | 17.70 | 16.83 | 4.40 | 1.49 | 339.56 | 14355.80 | 21.68 | 0.60 | 0.25 |  |  |
| 3000 | 63.90 | 33.80 | 15.09 | 15.98 | 5.02 | 1.75 | 349.57 | 14778.98 | 25.42 | 0.59 | 0.24 |  |  |
| 3500 | 56.90 | 40.80 | 13.74 | 14.23 | 5.21 | 1.93 | 369.55 | 15623.88 | 27.92 | 0.55 | 0.23 |  |  |

E10; AA=10;  $\lambda=1.069$ ; T0+6;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |  |  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|--|--|
| 1500 | 62.35 | 11.70 | 27.43 | 15.59 | 2.45 | 0.96 | 394.17 | 16664.89 | 14.95 | 0.69 | 0.22 |  |  |
| 2000 | 66.00 | 17.70 | 22.30 | 16.50 | 3.45 | 1.19 | 343.53 | 14523.69 | 18.39 | 0.64 | 0.25 |  |  |
| 2500 | 67.20 | 24.60 | 18.92 | 16.80 | 4.40 | 1.40 | 318.13 | 13450.10 | 21.68 | 0.60 | 0.27 |  |  |
| 3000 | 63.80 | 33.80 | 16.14 | 15.95 | 5.01 | 1.64 | 327.34 | 13839.18 | 25.42 | 0.59 | 0.26 |  |  |
| 3500 | 56.80 | 40.80 | 14.69 | 14.20 | 5.20 | 1.80 | 346.26 | 14639.21 | 27.92 | 0.55 | 0.25 |  |  |

E10; AA=10;  $\lambda=1$ ; T0+12;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 62.90 | 11.40 | 25.99 | 15.73 | 2.47 | 1.02 | 412.38 | 17434.43 | 14.76 | 0.68 | 0.21 |
| 2000 | 66.70 | 17.30 | 21.10 | 16.68 | 3.49 | 1.25 | 359.26 | 15188.59 | 18.18 | 0.63 | 0.24 |
| 2500 | 67.80 | 24.30 | 17.80 | 16.95 | 4.44 | 1.49 | 335.16 | 14169.88 | 21.55 | 0.60 | 0.25 |
| 3000 | 67.60 | 33.40 | 15.18 | 16.85 | 5.10 | 1.74 | 348.47 | 14487.25 | 25.27 | 0.58 | 0.25 |
| 3500 | 57.50 | 40.50 | 13.79 | 14.38 | 5.27 | 1.92 | 364.37 | 15404.79 | 27.82 | 0.55 | 0.23 |

E10; AA=10;  $\lambda=1.069$ ; T0+12;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 62.85 | 11.40 | 27.78 | 15.71 | 2.47 | 0.95 | 386.11 | 16324.02 | 14.76 | 0.68 | 0.22 |
| 2000 | 66.65 | 17.30 | 22.55 | 16.66 | 3.49 | 1.17 | 336.41 | 14222.61 | 18.18 | 0.63 | 0.25 |
| 2500 | 67.75 | 24.20 | 19.07 | 16.94 | 4.43 | 1.39 | 313.07 | 13235.97 | 21.51 | 0.60 | 0.27 |
| 3000 | 64.50 | 33.40 | 16.23 | 16.13 | 5.06 | 1.63 | 321.99 | 13613.08 | 25.27 | 0.58 | 0.26 |
| 3500 | 57.40 | 40.50 | 14.74 | 14.35 | 5.26 | 1.80 | 341.48 | 14437.05 | 27.82 | 0.55 | 0.25 |

E10; AA=5;  $\lambda=1$ ; T0;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 62.80 | 12.00 | 25.33 | 15.70 | 2.46 | 1.04 | 423.79 | 17917.19 | 15.14 | 0.70 | 0.20 |
| 2000 | 66.10 | 18.00 | 20.69 | 16.32 | 3.46 | 1.28 | 369.70 | 15630.18 | 18.55 | 0.64 | 0.23 |
| 2500 | 67.30 | 25.00 | 17.55 | 16.83 | 4.40 | 1.51 | 342.46 | 14478.50 | 21.86 | 0.61 | 0.25 |
| 3000 | 63.70 | 34.10 | 15.03 | 15.93 | 5.00 | 1.76 | 352.06 | 14884.57 | 25.53 | 0.59 | 0.24 |
| 3500 | 56.80 | 41.10 | 13.70 | 14.20 | 5.20 | 1.93 | 371.28 | 15697.08 | 28.03 | 0.56 | 0.23 |

E10; AA=5;  $\lambda=1.069$ ; T0;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 62.70 | 12.00 | 27.09 | 15.68 | 2.46 | 0.98 | 396.89 | 16779.85 | 15.14 | 0.70 | 0.21 |
| 2000 | 66.00 | 18.00 | 22.11 | 16.50 | 3.45 | 1.20 | 346.48 | 14648.50 | 18.55 | 0.64 | 0.25 |
| 2500 | 67.20 | 25.00 | 18.77 | 16.80 | 4.40 | 1.41 | 320.68 | 13557.58 | 21.86 | 0.61 | 0.27 |
| 3000 | 63.60 | 34.10 | 16.07 | 15.90 | 4.99 | 1.65 | 329.80 | 13943.17 | 25.53 | 0.59 | 0.26 |
| 3500 | 56.70 | 41.10 | 14.64 | 14.18 | 5.19 | 1.81 | 348.06 | 14715.12 | 28.03 | 0.56 | 0.24 |

E10; AA=5;  $\lambda=1$ ; T0+6;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 63.90 | 11.76 | 25.67 | 15.98 | 2.51 | 1.03 | 410.98 | 17375.52 | 14.99 | 0.69 | 0.21 |
| 2000 | 67.10 | 17.70 | 20.87 | 16.77 | 3.51 | 1.27 | 361.05 | 15264.44 | 18.39 | 0.64 | 0.24 |
| 2500 | 68.40 | 24.60 | 17.69 | 17.10 | 4.47 | 1.50 | 334.29 | 14132.92 | 21.68 | 0.60 | 0.25 |
| 3000 | 64.80 | 33.80 | 15.16 | 16.20 | 5.09 | 1.75 | 343.12 | 14506.43 | 25.42 | 0.59 | 0.25 |
| 3500 | 57.20 | 40.80 | 13.75 | 14.30 | 5.24 | 1.92 | 367.35 | 15530.63 | 27.92 | 0.55 | 0.23 |

E10; AA=5;  $\lambda=1.069$ ; T0+6;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 63.80 | 11.70 | 27.43 | 15.95 | 2.50 | 0.96 | 385.22 | 16286.14 | 14.95 | 0.69 | 0.22 |
| 2000 | 67.00 | 17.72 | 22.31 | 16.75 | 3.51 | 1.19 | 338.25 | 14300.51 | 18.40 | 0.64 | 0.25 |
| 2500 | 68.20 | 24.60 | 18.92 | 17.05 | 4.46 | 1.40 | 313.47 | 13252.88 | 21.68 | 0.60 | 0.27 |
| 3000 | 64.70 | 33.80 | 16.14 | 16.18 | 5.08 | 1.64 | 322.78 | 13646.67 | 25.42 | 0.59 | 0.26 |
| 3500 | 57.20 | 40.80 | 14.69 | 14.30 | 5.24 | 1.80 | 343.84 | 14536.84 | 27.92 | 0.55 | 0.25 |

E10; AA=5;  $\lambda=1$ ; T0+12;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 63.10 | 11.40 | 25.99 | 15.78 | 2.48 | 1.02 | 411.07 | 17379.17 | 14.76 | 0.68 | 0.21 |
| 2000 | 66.80 | 17.30 | 21.11 | 16.20 | 3.44 | 1.25 | 384.65 | 16073.77 | 18.18 | 0.63 | 0.06 |
| 2500 | 68.00 | 24.30 | 17.80 | 17.00 | 4.45 | 1.49 | 334.17 | 14128.20 | 21.55 | 0.60 | 0.25 |
| 3000 | 64.80 | 33.40 | 15.19 | 16.20 | 5.09 | 1.74 | 342.44 | 14477.78 | 25.27 | 0.58 | 0.25 |
| 3500 | 57.70 | 40.50 | 13.79 | 14.43 | 5.28 | 1.92 | 363.11 | 15351.39 | 27.82 | 0.55 | 0.23 |

E10; AA=5;  $\lambda=1.069$ ; T0+12;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 63.00 | 11.40 | 27.78 | 15.75 | 2.47 | 0.95 | 385.19 | 16285.15 | 14.76 | 0.68 | 0.22 |
| 2000 | 66.70 | 17.30 | 22.56 | 16.68 | 3.49 | 1.17 | 336.01 | 14205.64 | 18.18 | 0.63 | 0.25 |
| 2500 | 67.90 | 24.30 | 19.03 | 16.98 | 4.44 | 1.39 | 313.03 | 13234.49 | 21.55 | 0.60 | 0.27 |
| 3000 | 64.70 | 33.40 | 16.24 | 16.18 | 5.08 | 1.63 | 320.80 | 13562.64 | 25.27 | 0.58 | 0.27 |
| 3500 | 57.60 | 40.51 | 14.74 | 14.40 | 5.28 | 1.80 | 340.29 | 14386.92 | 27.82 | 0.55 | 0.25 |

E20; AA=10;  $\lambda=1$ ; T0;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 63.40 | 13.10 | 24.23 | 15.85 | 2.49 | 1.09 | 438.84 | 17797.21 | 15.82 | 0.73 | 0.20 |
| 2000 | 68.80 | 19.10 | 20.07 | 16.45 | 3.44 | 1.32 | 384.86 | 15524.56 | 19.11 | 0.66 | 0.22 |
| 2500 | 67.00 | 26.20 | 17.14 | 16.75 | 4.38 | 1.54 | 352.22 | 14284.34 | 22.38 | 0.62 | 0.25 |
| 3000 | 61.80 | 35.10 | 14.81 | 15.45 | 4.85 | 1.79 | 368.28 | 14935.54 | 25.90 | 0.60 | 0.24 |
| 3500 | 53.80 | 42.10 | 13.52 | 13.45 | 4.93 | 1.96 | 397.20 | 16108.64 | 28.37 | 0.56 | 0.22 |

E20; AA=10;  $\lambda=1.069$ ; T0;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 63.25 | 13.00 | 26.02 | 15.81 | 2.48 | 1.02 | 409.62 | 16612.19 | 15.76 | 0.73 | 0.22 |
| 2000 | 65.65 | 19.10 | 21.47 | 16.41 | 3.44 | 1.23 | 358.71 | 14547.52 | 19.11 | 0.66 | 0.25 |
| 2500 | 66.86 | 26.10 | 18.36 | 16.72 | 4.37 | 1.44 | 329.51 | 13363.09 | 22.33 | 0.62 | 0.27 |
| 3000 | 61.85 | 35.10 | 15.84 | 15.46 | 4.86 | 1.67 | 344.05 | 13953.07 | 25.90 | 0.60 | 0.26 |
| 3500 | 53.65 | 42.20 | 14.44 | 13.41 | 4.91 | 1.83 | 372.94 | 15124.49 | 28.40 | 0.56 | 0.24 |

E20; AA=10;  $\lambda=1$ ; T0+6;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 63.70 | 12.70 | 24.64 | 15.93 | 2.50 | 1.07 | 429.51 | 17418.65 | 15.58 | 0.72 | 0.21 |
| 2000 | 63.00 | 18.80 | 20.25 | 15.75 | 3.30 | 1.31 | 396.52 | 16072.75 | 18.96 | 0.66 | 0.22 |
| 2500 | 67.30 | 25.70 | 17.32 | 16.83 | 4.40 | 1.53 | 347.01 | 14072.88 | 22.16 | 0.61 | 0.26 |
| 3000 | 63.00 | 34.80 | 14.88 | 15.75 | 4.95 | 1.78 | 359.56 | 14582.13 | 25.79 | 0.60 | 0.25 |
| 3500 | 54.86 | 41.80 | 13.58 | 13.72 | 5.02 | 1.95 | 387.81 | 15727.59 | 28.26 | 0.56 | 0.23 |

E20; AA=10;  $\lambda=1.069$ ; T0+6;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 63.60 | 12.70 | 26.34 | 15.90 | 2.50 | 1.00 | 402.42 | 16320.06 | 15.58 | 0.72 | 0.22 |
| 2000 | 66.50 | 18.90 | 21.58 | 16.63 | 3.48 | 1.23 | 352.32 | 14288.37 | 19.01 | 0.66 | 0.25 |
| 2500 | 67.20 | 25.80 | 18.48 | 16.80 | 4.40 | 1.43 | 325.71 | 13209.14 | 22.21 | 0.62 | 0.27 |
| 3000 | 62.90 | 34.90 | 15.89 | 15.73 | 4.94 | 1.67 | 337.25 | 13676.97 | 25.83 | 0.60 | 0.26 |
| 3500 | 54.70 | 41.80 | 14.50 | 13.68 | 5.01 | 1.82 | 364.27 | 14772.79 | 28.26 | 0.56 | 0.24 |

E30; AA=10;  $\lambda=1$ ; T0+12;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 63.75 | 13.30 | 24.06 | 15.94 | 2.50 | 1.10 | 439.52 | 17097.16 | 15.94 | 0.74 | 0.21 |
| 2000 | 66.00 | 19.80 | 19.72 | 16.50 | 3.45 | 1.34 | 388.47 | 15111.59 | 19.45 | 0.67 | 0.24 |
| 2500 | 67.10 | 26.70 | 16.98 | 16.77 | 4.39 | 1.56 | 355.01 | 13809.91 | 22.59 | 0.63 | 0.26 |
| 3000 | 61.70 | 35.50 | 14.72 | 15.43 | 4.84 | 1.80 | 371.13 | 14437.00 | 26.05 | 0.60 | 0.25 |
| 3500 | 54.00 | 42.80 | 13.41 | 13.50 | 4.95 | 1.97 | 398.98 | 15520.31 | 28.60 | 0.57 | 0.23 |

E30; AA=10;  $\lambda=1.069$ ; T0+12;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 63.43 | 13.30 | 25.72 | 15.86 | 2.49 | 1.03 | 413.22 | 16074.38 | 15.94 | 0.74 | 0.22 |
| 2000 | 65.75 | 19.80 | 21.08 | 16.44 | 3.44 | 1.26 | 364.79 | 14190.40 | 19.45 | 0.67 | 0.25 |
| 2500 | 66.80 | 26.70 | 18.15 | 16.70 | 4.37 | 1.46 | 333.62 | 12977.71 | 22.59 | 0.63 | 0.28 |
| 3000 | 61.40 | 35.60 | 15.72 | 15.35 | 4.82 | 1.68 | 349.22 | 13584.66 | 26.08 | 0.60 | 0.27 |
| 3500 | 53.70 | 42.80 | 14.34 | 13.43 | 4.92 | 1.85 | 375.19 | 14594.85 | 28.60 | 0.57 | 0.25 |

E30; AA=5;  $\lambda=1$ ; T0;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 63.26 | 14.20 | 23.29 | 15.82 | 2.48 | 1.14 | 457.56 | 17799.23 | 16.47 | 0.76 | 0.20 |
| 2000 | 65.68 | 20.40 | 19.43 | 16.42 | 3.44 | 1.36 | 396.19 | 15411.86 | 19.75 | 0.68 | 0.23 |
| 2500 | 66.84 | 27.30 | 16.80 | 16.71 | 4.37 | 1.58 | 360.21 | 14012.17 | 22.84 | 0.63 | 0.26 |
| 3000 | 61.57 | 36.20 | 14.59 | 15.39 | 4.83 | 1.81 | 375.23 | 14596.39 | 26.30 | 0.61 | 0.25 |
| 3500 | 53.66 | 43.30 | 13.33 | 13.42 | 4.91 | 1.98 | 403.92 | 15712.39 | 28.77 | 0.57 | 0.23 |

E30; AA=5;  $\lambda=1.069$ ; T0;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 63.05 | 12.20 | 24.89 | 15.76 | 2.47 | 1.06 | 429.58 | 16710.51 | 15.27 | 0.71 | 0.22 |
| 2000 | 65.35 | 20.30 | 20.82 | 16.34 | 3.42 | 1.27 | 371.61 | 14455.55 | 19.70 | 0.68 | 0.25 |
| 2500 | 66.56 | 27.30 | 17.93 | 16.64 | 4.35 | 1.48 | 338.93 | 13184.31 | 22.84 | 0.63 | 0.27 |
| 3000 | 61.25 | 36.20 | 15.59 | 15.31 | 4.81 | 1.70 | 352.99 | 13731.49 | 26.30 | 0.61 | 0.26 |
| 3500 | 53.40 | 43.30 | 14.25 | 13.35 | 4.89 | 1.86 | 379.68 | 14769.54 | 28.77 | 0.57 | 0.24 |

E30; AA=5;  $\lambda=1$ ; T0+6;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 63.55 | 13.60 | 23.79 | 15.89 | 2.49 | 1.11 | 445.90 | 17345.62 | 16.12 | 0.75 | 0.21 |
| 2000 | 65.90 | 20.00 | 19.62 | 16.48 | 3.45 | 1.35 | 391.05 | 15211.66 | 19.55 | 0.68 | 0.24 |
| 2500 | 66.94 | 26.90 | 16.92 | 16.74 | 4.38 | 1.56 | 357.12 | 13892.01 | 22.67 | 0.63 | 0.26 |
| 3000 | 61.63 | 35.80 | 14.67 | 15.41 | 4.84 | 1.80 | 372.82 | 14502.65 | 26.16 | 0.60 | 0.25 |
| 3500 | 53.85 | 43.00 | 13.38 | 13.46 | 4.93 | 1.98 | 400.99 | 15598.44 | 28.67 | 0.57 | 0.23 |

E30; AA=5;  $\lambda=1.069$ ; T0+6;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 63.24 | 13.60 | 25.43 | 15.81 | 2.48 | 1.04 | 419.19 | 16306.53 | 16.12 | 0.75 | 0.22 |
| 2000 | 65.66 | 20.00 | 20.97 | 16.42 | 3.44 | 1.26 | 367.21 | 14284.39 | 19.55 | 0.68 | 0.25 |
| 2500 | 66.70 | 26.90 | 18.09 | 16.68 | 4.36 | 1.46 | 335.23 | 13040.27 | 22.67 | 0.63 | 0.28 |
| 3000 | 61.38 | 35.80 | 15.68 | 15.35 | 4.82 | 1.69 | 350.23 | 13623.76 | 26.16 | 0.60 | 0.26 |
| 3500 | 53.59 | 43.00 | 14.31 | 13.40 | 4.91 | 1.85 | 376.75 | 14655.47 | 28.67 | 0.57 | 0.25 |

E30; AA=5;  $\lambda=1$ ; T0+12;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.05 | 13.40 | 23.97 | 16.01 | 2.51 | 1.10 | 439.10 | 17080.97 | 16.00 | 0.74 | 0.21 |
| 2000 | 66.34 | 19.80 | 19.72 | 16.59 | 3.47 | 1.34 | 386.48 | 15034.14 | 19.45 | 0.67 | 0.24 |
| 2500 | 67.53 | 26.70 | 16.98 | 16.88 | 4.42 | 1.56 | 352.75 | 13721.97 | 22.59 | 0.63 | 0.26 |
| 3000 | 62.00 | 35.60 | 14.70 | 15.50 | 4.87 | 1.80 | 369.84 | 14386.69 | 26.08 | 0.60 | 0.25 |
| 3500 | 54.33 | 42.80 | 13.41 | 13.58 | 4.98 | 1.97 | 396.56 | 15426.04 | 28.60 | 0.57 | 0.23 |

E30; AA=5;  $\lambda=1.069$ ; T0+12;  $\varepsilon=6$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 63.70 | 13.30 | 25.72 | 15.93 | 2.50 | 1.03 | 411.47 | 16006.24 | 15.94 | 0.74 | 0.22 |
| 2000 | 66.00 | 19.80 | 21.08 | 16.50 | 3.45 | 1.26 | 363.41 | 14136.65 | 19.45 | 0.67 | 0.25 |
| 2500 | 67.20 | 26.70 | 18.15 | 16.80 | 4.40 | 1.46 | 331.63 | 12900.46 | 22.59 | 0.63 | 0.28 |
| 3000 | 61.70 | 35.60 | 15.72 | 15.43 | 4.84 | 1.68 | 347.52 | 13518.61 | 26.08 | 0.60 | 0.27 |
| 3500 | 54.00 | 42.80 | 14.34 | 13.50 | 4.95 | 1.85 | 373.10 | 14513.76 | 28.60 | 0.57 | 0.25 |

E0; AA=10;  $\lambda=0.931$ ; T0;  $\varepsilon=7$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.00 | 10.76 | 24.90 | 16.00 | 2.51 | 1.06 | 423.03 | 18613.31 | 14.34 | 0.66 | 0.19 |
| 2000 | 67.10 | 16.31 | 19.92 | 16.77 | 3.51 | 1.33 | 378.27 | 16643.79 | 17.92 | 0.62 | 0.22 |
| 2500 | 68.40 | 23.78 | 16.75 | 17.10 | 4.47 | 1.58 | 353.05 | 15534.00 | 21.32 | 0.59 | 0.23 |
| 3000 | 65.00 | 32.80 | 14.26 | 16.25 | 5.10 | 1.86 | 363.65 | 16090.74 | 25.04 | 0.58 | 0.22 |
| 3500 | 57.90 | 39.78 | 12.95 | 14.48 | 5.30 | 2.04 | 385.32 | 16954.22 | 27.57 | 0.55 | 0.21 |

E0; AA=10;  $\lambda=1$ ; T0;  $\varepsilon=7$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.10 | 10.76 | 25.75 | 16.02 | 2.52 | 0.99 | 494.16 | 17299.00 | 14.34 | 0.66 | 0.21 |
| 2000 | 67.20 | 16.81 | 21.40 | 16.80 | 3.52 | 1.24 | 351.58 | 15469.67 | 17.92 | 0.62 | 0.23 |
| 2500 | 68.50 | 23.78 | 17.99 | 17.13 | 4.48 | 1.47 | 328.23 | 14442.17 | 21.32 | 0.59 | 0.25 |
| 3000 | 65.09 | 32.80 | 15.59 | 16.27 | 5.11 | 1.72 | 356.49 | 14808.35 | 25.04 | 0.58 | 0.24 |
| 3500 | 57.90 | 39.78 | 13.91 | 14.48 | 5.30 | 1.90 | 358.73 | 15784.12 | 27.57 | 0.55 | 0.23 |

E0; AA=10;  $\lambda=1.069$ ; T0;  $\varepsilon=7$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.01 | 10.75 | 28.51 | 16.00 | 2.51 | 0.92 | 468.12 | 16197.10 | 14.33 | 0.66 | 0.22 |
| 2000 | 66.95 | 16.81 | 22.88 | 16.74 | 3.50 | 1.16 | 330.07 | 14523.04 | 17.92 | 0.62 | 0.25 |
| 2500 | 68.20 | 23.78 | 19.23 | 17.05 | 4.46 | 1.35 | 308.42 | 13570.53 | 21.32 | 0.59 | 0.27 |
| 3000 | 64.90 | 32.80 | 16.73 | 16.23 | 5.09 | 1.58 | 310.44 | 13659.42 | 25.04 | 0.58 | 0.26 |
| 3500 | 57.70 | 39.78 | 14.87 | 14.43 | 5.28 | 1.78 | 336.73 | 14816.28 | 27.57 | 0.55 | 0.24 |

E10; AA=10;  $\lambda=0.931$ ; T0+6;  $\varepsilon=7$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.70 | 16.34 | 24.26 | 16.18 | 2.54 | 1.09 | 429.49 | 18158.06 | 17.67 | 0.82 | 0.20 |
| 2000 | 67.70 | 17.37 | 19.60 | 16.93 | 3.54 | 1.35 | 381.04 | 16109.47 | 18.22 | 0.63 | 0.22 |
| 2500 | 69.00 | 24.21 | 16.60 | 17.25 | 4.51 | 1.59 | 353.14 | 14929.96 | 21.51 | 0.60 | 0.24 |
| 3000 | 65.40 | 33.44 | 14.12 | 16.35 | 5.13 | 1.87 | 365.01 | 15432.00 | 25.28 | 0.58 | 0.23 |
| 3500 | 58.40 | 40.42 | 12.85 | 14.60 | 5.35 | 2.06 | 385.00 | 16276.91 | 27.79 | 0.55 | 0.22 |

E10; AA=10;  $\lambda=1$ ; T0+6;  $\varepsilon=7$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.60 | 11.34 | 26.06 | 16.15 | 2.54 | 1.02 | 400.45 | 16930.03 | 14.72 | 0.68 | 0.21 |
| 2000 | 67.60 | 17.37 | 21.05 | 16.90 | 3.54 | 1.26 | 355.31 | 15021.98 | 18.22 | 0.63 | 0.24 |
| 2500 | 69.00 | 24.21 | 17.83 | 17.25 | 4.51 | 1.48 | 328.78 | 13900.02 | 21.51 | 0.60 | 0.26 |
| 3000 | 65.30 | 33.44 | 15.17 | 16.33 | 5.13 | 1.74 | 340.27 | 14385.86 | 25.28 | 0.58 | 0.25 |
| 3500 | 58.20 | 40.42 | 13.80 | 14.55 | 5.33 | 1.92 | 359.73 | 15208.48 | 27.79 | 0.55 | 0.24 |

E10; AA=10;  $\lambda=1.069$ ; T0+6;  $\varepsilon=7$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.50 | 11.35 | 27.84 | 16.13 | 2.53 | 0.95 | 375.42 | 15872.15 | 14.73 | 0.68 | 0.23 |
| 2000 | 67.60 | 17.38 | 22.50 | 16.90 | 3.54 | 1.18 | 332.42 | 14053.89 | 18.23 | 0.63 | 0.26 |
| 2500 | 68.90 | 24.21 | 19.06 | 17.23 | 4.51 | 1.39 | 308.01 | 13021.88 | 21.51 | 0.60 | 0.28 |
| 3000 | 65.30 | 33.44 | 16.22 | 16.33 | 5.13 | 1.63 | 318.24 | 13454.59 | 25.28 | 0.58 | 0.27 |
| 3500 | 58.20 | 40.42 | 14.75 | 14.55 | 5.33 | 1.79 | 336.56 | 14228.95 | 27.79 | 0.55 | 0.25 |

E10; AA=10;  $\lambda=0.931$ ; T0+12;  $\varepsilon=7$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 65.20 | 11.12 | 24.50 | 16.30 | 2.56 | 1.08 | 422.02 | 17842.30 | 14.58 | 0.67 | 0.20 |
| 2000 | 68.10 | 16.94 | 19.85 | 17.02 | 3.56 | 1.33 | 374.03 | 15813.15 | 17.99 | 0.62 | 0.23 |
| 2500 | 69.40 | 23.87 | 16.72 | 17.35 | 4.54 | 1.58 | 348.58 | 14737.37 | 21.36 | 0.59 | 0.24 |
| 3000 | 65.80 | 33.00 | 14.22 | 16.45 | 5.17 | 1.86 | 360.24 | 15230.32 | 25.11 | 0.58 | 0.24 |
| 3500 | 58.70 | 40.13 | 12.89 | 14.68 | 5.38 | 2.05 | 381.84 | 16143.47 | 27.69 | 0.55 | 0.22 |

E10; AA=10;  $\lambda=1$ ; T0+12;  $\varepsilon=7$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 65.10 | 11.12 | 26.31 | 16.27 | 2.56 | 1.01 | 393.59 | 16640.36 | 14.58 | 0.67 | 0.22 |
| 2000 | 68.10 | 16.94 | 21.32 | 17.02 | 3.56 | 1.24 | 348.24 | 14722.84 | 17.99 | 0.62 | 0.24 |
| 2500 | 69.40 | 23.88 | 17.95 | 17.35 | 4.54 | 1.47 | 324.70 | 13727.52 | 21.36 | 0.59 | 0.26 |
| 3000 | 65.70 | 33.10 | 15.25 | 16.43 | 5.16 | 1.74 | 336.42 | 14223.27 | 25.15 | 0.58 | 0.25 |
| 3500 | 58.60 | 40.13 | 13.85 | 14.65 | 5.37 | 1.91 | 355.98 | 15050.14 | 27.69 | 0.55 | 0.24 |

E10; AA=10;  $\lambda=1.069$ ; T0+12;  $\varepsilon=7$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 65.10 | 11.12 | 28.13 | 16.27 | 2.56 | 0.94 | 368.13 | 15563.74 | 14.58 | 0.67 | 0.23 |
| 2000 | 68.00 | 16.94 | 22.79 | 17.00 | 3.56 | 1.16 | 326.26 | 13793.44 | 17.99 | 0.62 | 0.26 |
| 2500 | 69.30 | 23.88 | 19.19 | 17.33 | 4.53 | 1.38 | 304.15 | 12859.01 | 21.36 | 0.59 | 0.28 |
| 3000 | 65.60 | 33.10 | 16.30 | 16.40 | 5.15 | 1.62 | 315.23 | 13327.33 | 25.15 | 0.58 | 0.27 |
| 3500 | 58.60 | 40.13 | 14.80 | 14.65 | 5.37 | 1.79 | 333.13 | 14084.08 | 27.69 | 0.55 | 0.26 |

E10; AA=5;  $\lambda=0.931$ ; T0;  $\varepsilon=7$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.40 | 11.80 | 23.78 | 16.10 | 2.53 | 1.11 | 440.20 | 18610.88 | 15.02 | 0.69 | 0.19 |
| 2000 | 67.50 | 17.83 | 19.35 | 16.88 | 3.53 | 1.37 | 387.10 | 16365.95 | 18.46 | 0.64 | 0.22 |
| 2500 | 68.70 | 24.76 | 16.42 | 17.18 | 4.49 | 1.61 | 358.57 | 15159.54 | 21.75 | 0.60 | 0.24 |
| 3000 | 65.10 | 33.10 | 14.20 | 16.27 | 5.11 | 1.86 | 364.63 | 15415.77 | 25.15 | 0.58 | 0.23 |
| 3500 | 58.20 | 40.91 | 12.77 | 14.55 | 5.33 | 2.07 | 388.74 | 16435.16 | 27.96 | 0.55 | 0.22 |

E10; AA=5;  $\lambda=1$ ; T0;  $\varepsilon=7$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.30 | 11.81 | 25.56 | 16.08 | 2.52 | 1.04 | 410.18 | 17341.74 | 15.02 | 0.69 | 0.21 |
| 2000 | 67.40 | 17.83 | 20.77 | 16.85 | 3.53 | 1.27 | 361.17 | 15269.66 | 18.46 | 0.64 | 0.24 |
| 2500 | 68.70 | 24.76 | 17.63 | 17.18 | 4.49 | 1.50 | 333.96 | 14119.09 | 21.75 | 0.60 | 0.25 |
| 3000 | 65.00 | 33.10 | 15.25 | 16.25 | 5.10 | 1.74 | 340.05 | 14376.44 | 25.15 | 0.58 | 0.25 |
| 3500 | 58.10 | 40.91 | 13.72 | 14.53 | 5.32 | 1.93 | 362.45 | 15323.49 | 27.96 | 0.55 | 0.23 |

E10; AA=5;  $\lambda=1.069$ ; T0;  $\varepsilon=7$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.30 | 11.82 | 27.31 | 16.08 | 2.52 | 0.97 | 383.90 | 16230.50 | 15.03 | 0.70 | 0.22 |
| 2000 | 67.30 | 17.84 | 22.21 | 16.83 | 3.52 | 1.19 | 338.26 | 14300.86 | 18.46 | 0.64 | 0.25 |
| 2500 | 68.60 | 24.76 | 18.86 | 17.15 | 4.49 | 1.40 | 312.63 | 13217.52 | 21.75 | 0.60 | 0.27 |
| 3000 | 65.00 | 33.12 | 16.30 | 16.25 | 5.10 | 1.62 | 318.14 | 13450.35 | 25.16 | 0.58 | 0.27 |
| 3500 | 58.00 | 40.91 | 14.67 | 14.50 | 5.31 | 1.89 | 339.56 | 14355.88 | 27.96 | 0.55 | 0.25 |

E20; AA=10;  $\lambda=0.931$ ; T0;  $\varepsilon=7$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.40 | 12.89 | 22.83 | 16.10 | 2.53 | 1.16 | 458.52 | 18595.28 | 15.64 | 0.72 | 0.19 |
| 2000 | 67.40 | 18.90 | 18.59 | 16.85 | 3.53 | 1.41 | 398.23 | 16190.83 | 19.01 | 0.66 | 0.22 |
| 2500 | 68.60 | 25.88 | 16.05 | 17.15 | 4.49 | 1.65 | 368.91 | 14880.10 | 22.23 | 0.62 | 0.24 |
| 3000 | 65.00 | 33.10 | 13.88 | 16.25 | 5.10 | 1.84 | 373.61 | 15151.71 | 25.73 | 0.59 | 0.24 |
| 3500 | 58.10 | 41.84 | 12.83 | 14.53 | 5.32 | 2.10 | 403.73 | 15967.55 | 28.27 | 0.56 | 0.23 |

E20; AA=10;  $\lambda=1$ ; T0;  $\varepsilon=7$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.30 | 12.90 | 24.55 | 16.08 | 2.52 | 1.08 | 427.06 | 17319.37 | 15.64 | 0.72 | 0.21 |
| 2000 | 67.30 | 18.90 | 20.19 | 16.83 | 3.52 | 1.31 | 372.10 | 15090.53 | 19.01 | 0.66 | 0.24 |
| 2500 | 68.50 | 25.83 | 17.27 | 17.15 | 4.48 | 1.55 | 341.92 | 13866.37 | 22.23 | 0.62 | 0.26 |
| 3000 | 65.00 | 34.63 | 14.91 | 16.25 | 5.10 | 1.77 | 347.80 | 14105.02 | 25.73 | 0.59 | 0.26 |
| 3500 | 58.10 | 41.83 | 13.57 | 14.53 | 5.32 | 1.95 | 366.45 | 14861.47 | 28.27 | 0.56 | 0.24 |

E0; AA=5;  $\lambda=1.069$ ; T0;  $\varepsilon=7$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.40 | 13.61 | 25.42 | 16.10 | 2.53 | 1.04 | 411.80 | 16019.11 | 16.13 | 0.75 | 0.22 |
| 2000 | 67.40 | 19.78 | 21.09 | 16.85 | 3.53 | 1.25 | 355.69 | 13836.45 | 19.44 | 0.67 | 0.26 |
| 2500 | 68.10 | 26.81 | 18.11 | 17.02 | 4.45 | 1.46 | 327.97 | 12758.08 | 22.64 | 0.63 | 0.28 |
| 3000 | 64.60 | 35.79 | 15.68 | 16.15 | 5.07 | 1.69 | 332.77 | 12944.68 | 26.15 | 0.60 | 0.28 |
| 3500 | 58.00 | 42.20 | 14.44 | 14.50 | 5.31 | 1.83 | 344.97 | 13419.24 | 28.40 | 0.56 | 0.27 |

E0; AA=10;  $\lambda=0.931$ ; T0;  $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.60 | 10.40 | 25.33 | 16.15 | 2.54 | 1.04 | 411.99 | 18127.38 | 14.10 | 0.65 | 0.20 |
| 2000 | 67.40 | 16.50 | 20.11 | 16.85 | 3.53 | 1.32 | 373.03 | 16413.16 | 17.76 | 0.62 | 0.22 |
| 2500 | 68.70 | 23.39 | 16.89 | 17.18 | 4.49 | 1.57 | 348.59 | 15337.96 | 21.14 | 0.59 | 0.23 |
| 3000 | 64.90 | 32.41 | 14.35 | 16.23 | 5.09 | 1.84 | 361.93 | 15924.88 | 24.89 | 0.58 | 0.23 |
| 3500 | 57.80 | 39.39 | 13.01 | 14.45 | 5.29 | 2.03 | 384.21 | 16905.22 | 27.44 | 0.54 | 0.21 |

E0; AA=10;  $\lambda=1$ ; T0;  $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.70 | 10.40 | 27.21 | 16.18 | 2.54 | 0.97 | 382.93 | 16848.84 | 14.10 | 0.65 | 0.21 |
| 2000 | 67.50 | 16.50 | 21.60 | 16.88 | 3.53 | 1.23 | 346.78 | 15258.32 | 17.76 | 0.62 | 0.24 |
| 2500 | 68.80 | 23.39 | 18.14 | 17.20 | 4.50 | 1.46 | 324.10 | 14260.29 | 21.14 | 0.59 | 0.25 |
| 3000 | 64.90 | 32.41 | 15.39 | 16.23 | 5.09 | 1.72 | 337.47 | 14848.74 | 24.89 | 0.58 | 0.24 |
| 3500 | 57.80 | 39.39 | 13.98 | 14.45 | 5.29 | 1.89 | 357.55 | 15732.26 | 27.44 | 0.54 | 0.23 |

E0; AA=10;  $\lambda=1.069$ ; T0;  $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.60 | 10.40 | 29.09 | 16.15 | 2.54 | 0.91 | 358.74 | 15784.35 | 14.10 | 0.65 | 0.23 |
| 2000 | 67.40 | 16.50 | 23.09 | 16.85 | 3.53 | 1.15 | 324.88 | 14294.87 | 17.76 | 0.62 | 0.25 |
| 2500 | 68.80 | 23.39 | 19.39 | 17.20 | 4.50 | 1.36 | 303.20 | 13340.98 | 21.14 | 0.59 | 0.27 |
| 3000 | 64.90 | 32.41 | 16.47 | 16.23 | 5.09 | 1.61 | 315.34 | 13875.05 | 24.89 | 0.58 | 0.26 |
| 3500 | 57.80 | 39.39 | 14.94 | 14.45 | 5.29 | 1.77 | 334.58 | 14721.35 | 27.44 | 0.54 | 0.24 |

E0; AA=10;  $\lambda=0.931$ ; T0+6;  $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.90 | 10.29 | 25.47 | 16.23 | 2.55 | 1.04 | 407.83 | 17944.41 | 14.02 | 0.65 | 0.20 |
| 2000 | 67.80 | 16.08 | 20.37 | 16.95 | 3.55 | 1.30 | 366.09 | 16108.07 | 17.53 | 0.61 | 0.22 |
| 2500 | 69.00 | 23.11 | 16.99 | 17.25 | 4.51 | 1.56 | 345.03 | 15181.39 | 21.02 | 0.58 | 0.24 |
| 3000 | 65.20 | 32.16 | 14.40 | 16.30 | 5.12 | 1.84 | 359.01 | 15796.57 | 24.79 | 0.57 | 0.23 |
| 3500 | 58.10 | 39.20 | 12.09 | 14.53 | 5.32 | 2.19 | 411.31 | 18097.71 | 27.37 | 0.54 | 0.20 |

E0; AA=10;  $\lambda=1$ ; T0+6;  $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 65.00 | 10.29 | 27.36 | 16.25 | 2.55 | 0.97 | 379.07 | 16679.13 | 14.02 | 0.65 | 0.22 |
| 2000 | 67.90 | 16.08 | 21.88 | 16.98 | 3.55 | 1.21 | 340.33 | 14974.32 | 17.53 | 0.61 | 0.24 |
| 2500 | 69.10 | 23.11 | 18.25 | 17.27 | 4.52 | 1.45 | 320.75 | 14112.80 | 21.02 | 0.58 | 0.26 |
| 3000 | 65.20 | 32.16 | 15.47 | 16.30 | 5.12 | 1.71 | 334.18 | 14703.98 | 24.79 | 0.57 | 0.24 |
| 3500 | 58.10 | 39.20 | 14.01 | 14.53 | 5.32 | 1.89 | 354.94 | 15617.51 | 27.37 | 0.54 | 0.23 |

E0; AA=10;  $\lambda=1.069$ ; T0+6;  $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.90 | 10.29 | 29.24 | 16.23 | 2.55 | 0.90 | 355.25 | 15630.79 | 14.02 | 0.65 | 0.23 |
| 2000 | 67.80 | 16.08 | 23.39 | 16.95 | 3.55 | 1.13 | 318.82 | 14028.27 | 17.53 | 0.61 | 0.26 |
| 2500 | 69.00 | 23.11 | 16.51 | 17.25 | 4.51 | 1.60 | 355.06 | 15622.77 | 21.02 | 0.58 | 0.23 |
| 3000 | 65.20 | 32.16 | 16.54 | 16.30 | 5.12 | 1.60 | 312.56 | 13752.76 | 24.79 | 0.57 | 0.26 |
| 3500 | 58.10 | 39.20 | 14.35 | 14.53 | 5.32 | 1.84 | 346.53 | 15247.48 | 27.37 | 0.54 | 0.24 |

E0; AA=10;  $\lambda=0.931$ ; T0+12;  $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.80 | 9.94  | 25.91 | 16.20 | 2.54 | 1.02 | 401.52 | 17666.90 | 13.78 | 0.64 | 0.20 |
| 2000 | 67.80 | 15.91 | 20.48 | 16.95 | 3.55 | 1.29 | 364.13 | 16021.55 | 17.44 | 0.60 | 0.22 |
| 2500 | 69.00 | 22.73 | 17.13 | 17.25 | 4.51 | 1.54 | 342.21 | 15057.32 | 20.84 | 0.58 | 0.24 |
| 3000 | 65.00 | 31.71 | 14.51 | 16.25 | 5.10 | 1.82 | 357.39 | 15725.05 | 24.62 | 0.57 | 0.23 |
| 3500 | 58.00 | 38.69 | 13.13 | 14.50 | 5.31 | 2.02 | 379.39 | 16692.96 | 27.19 | 0.54 | 0.22 |

E0; AA=10;  $\lambda=1$ ; T0+12;  $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 65.00 | 9.94  | 27.83 | 16.25 | 2.55 | 0.95 | 372.67 | 16397.45 | 13.78 | 0.64 | 0.22 |
| 2000 | 68.00 | 15.91 | 22.00 | 17.00 | 3.56 | 1.20 | 337.97 | 14870.74 | 17.44 | 0.60 | 0.24 |
| 2500 | 69.20 | 22.73 | 18.40 | 17.30 | 4.53 | 1.44 | 317.67 | 13977.52 | 20.84 | 0.58 | 0.26 |
| 3000 | 65.30 | 31.71 | 15.58 | 16.33 | 5.13 | 1.70 | 331.31 | 14577.81 | 24.62 | 0.57 | 0.25 |
| 3500 | 58.20 | 38.69 | 14.10 | 14.55 | 5.33 | 1.88 | 352.07 | 15491.16 | 27.19 | 0.54 | 0.23 |

E0; AA=10;  $\lambda=1.069$ ; T0+12;  $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.90 | 9.94  | 29.75 | 16.20 | 2.54 | 0.89 | 349.69 | 15386.54 | 13.78 | 0.64 | 0.23 |
| 2000 | 67.80 | 15.91 | 23.51 | 16.95 | 3.55 | 1.13 | 317.20 | 13956.67 | 17.44 | 0.60 | 0.26 |
| 2500 | 69.00 | 22.75 | 19.67 | 17.25 | 4.51 | 1.35 | 298.02 | 13112.96 | 20.84 | 0.58 | 0.27 |
| 3000 | 65.20 | 31.75 | 16.65 | 16.30 | 5.12 | 1.59 | 310.50 | 13661.90 | 24.63 | 0.57 | 0.26 |
| 3500 | 58.10 | 38.69 | 15.08 | 14.53 | 5.32 | 1.75 | 329.76 | 14509.37 | 27.19 | 0.54 | 0.25 |

E0; AA=5;  $\lambda=0.931$ ; T0;  $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.10 | 10.41 | 25.32 | 16.02 | 2.52 | 1.05 | 415.36 | 18276.00 | 14.11 | 0.65 | 0.20 |
| 2000 | 67.00 | 16.50 | 20.11 | 16.75 | 3.51 | 1.32 | 375.25 | 16511.15 | 17.76 | 0.62 | 0.22 |
| 2500 | 68.50 | 23.39 | 16.89 | 17.13 | 4.48 | 1.57 | 349.61 | 15382.75 | 21.14 | 0.59 | 0.23 |
| 3000 | 64.80 | 32.41 | 14.35 | 16.20 | 5.09 | 1.84 | 362.49 | 15949.46 | 24.89 | 0.58 | 0.23 |
| 3500 | 57.70 | 39.39 | 13.01 | 14.43 | 5.26 | 2.05 | 384.88 | 16934.52 | 27.44 | 0.54 | 0.21 |

E0; AA=5;  $\lambda=1$ ; T0;  $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.10 | 10.41 | 27.20 | 16.02 | 2.52 | 0.97 | 386.65 | 17012.80 | 14.11 | 0.65 | 0.21 |
| 2000 | 67.10 | 16.50 | 21.60 | 16.77 | 3.51 | 1.23 | 348.85 | 15349.27 | 17.76 | 0.62 | 0.23 |
| 2500 | 68.50 | 23.39 | 18.14 | 17.15 | 4.48 | 1.46 | 325.52 | 14322.74 | 21.14 | 0.59 | 0.25 |
| 3000 | 64.80 | 32.41 | 15.41 | 16.20 | 5.09 | 1.72 | 337.55 | 14852.35 | 24.89 | 0.58 | 0.24 |
| 3500 | 57.70 | 39.39 | 13.98 | 14.43 | 5.28 | 1.89 | 358.17 | 15759.52 | 27.44 | 0.54 | 0.23 |

E0;AA=5  $\lambda=1.069$ ;T0; $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.10 | 10.41 | 29.07 | 16.02 | 2.52 | 0.91 | 361.78 | 15918.41 | 14.11 | 0.65 | 0.23 |
| 2000 | 67.00 | 16.50 | 23.09 | 16.75 | 3.51 | 1.15 | 326.82 | 14380.22 | 17.76 | 0.62 | 0.25 |
| 2500 | 68.50 | 23.39 | 19.39 | 17.13 | 4.48 | 1.36 | 304.53 | 13399.41 | 21.14 | 0.59 | 0.27 |
| 3000 | 64.80 | 32.41 | 16.47 | 16.20 | 5.09 | 1.61 | 315.83 | 13896.46 | 24.89 | 0.58 | 0.26 |
| 3500 | 57.70 | 39.39 | 14.94 | 14.43 | 5.28 | 1.77 | 335.16 | 14746.86 | 27.44 | 0.54 | 0.24 |

E10;AA=10;  $\lambda=0.931$ ;T0; $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.70 | 11.53 | 24.06 | 16.18 | 2.54 | 1.10 | 433.06 | 18309.00 | 14.84 | 0.69 | 0.20 |
| 2000 | 67.70 | 17.59 | 19.80 | 16.93 | 3.54 | 1.34 | 377.19 | 15946.74 | 18.34 | 0.64 | 0.23 |
| 2500 | 68.90 | 24.46 | 16.52 | 17.23 | 4.51 | 1.60 | 355.36 | 15024.04 | 21.62 | 0.60 | 0.24 |
| 3000 | 65.50 | 32.80 | 14.26 | 16.38 | 5.14 | 1.86 | 360.88 | 15257.16 | 25.04 | 0.58 | 0.24 |
| 3500 | 58.40 | 39.80 | 12.95 | 14.60 | 5.35 | 2.04 | 382.02 | 16151.22 | 27.58 | 0.55 | 0.22 |

E10;AA=10;  $\lambda=1$ ;T0; $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.70 | 11.53 | 24.84 | 16.18 | 2.54 | 1.07 | 419.46 | 17734.08 | 14.84 | 0.69 | 0.20 |
| 2000 | 67.70 | 17.59 | 20.92 | 16.93 | 3.54 | 1.26 | 356.99 | 15093.00 | 18.34 | 0.64 | 0.24 |
| 2500 | 68.80 | 24.46 | 17.74 | 17.20 | 4.50 | 1.49 | 331.41 | 14011.15 | 21.62 | 0.60 | 0.26 |
| 3000 | 65.40 | 32.80 | 15.32 | 16.35 | 5.13 | 1.73 | 336.42 | 14223.23 | 25.04 | 0.58 | 0.25 |
| 3500 | 58.20 | 39.80 | 13.91 | 14.55 | 5.33 | 1.90 | 356.88 | 15088.21 | 27.58 | 0.55 | 0.24 |

F10;AA=10;  $\lambda=1.069$ ;T0; $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |       |         |           |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|---------|-----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.60 | 11.53 | 27.60 | 16.15 | 2.54 | 0.96  | 378.10  | 15985.38  | 14.84 | 0.69 | 0.23 |
| 2000 | 67.60 | 17.39 | 22.36 | 16.90 | 3.54 | 1.18  | 334.50  | 14141.89  | 18.23 | 0.63 | 0.25 |
| 2500 | 68.70 | 24.46 | 18.96 | 17.18 | 4.49 | 1.40  | 310.53  | 13128.67  | 21.62 | 0.60 | 0.27 |
| 3000 | 65.30 | 32.82 | 1.63  | 16.33 | 5.13 | 16.23 | 3166.79 | 133885.59 | 25.04 | 0.58 | 0.03 |
| 3500 | 58.10 | 39.80 | 14.87 | 14.53 | 5.32 | 1.78  | 334.42  | 14138.42  | 27.58 | 0.55 | 0.25 |

F10;AA=10;  $\lambda=0.931$ ;T0+6; $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 65.10 | 14.09 | 25.53 | 16.27 | 2.56 | 1.04 | 405.62 | 17148.76 | 16.41 | 0.76 | 0.21 |
| 2000 | 67.90 | 17.11 | 19.75 | 16.98 | 3.55 | 1.34 | 377.03 | 15940.03 | 18.08 | 0.63 | 0.23 |
| 2500 | 69.20 | 24.00 | 16.67 | 17.30 | 4.53 | 1.59 | 350.64 | 14824.30 | 21.42 | 0.59 | 0.24 |
| 3000 | 65.30 | 33.12 | 14.19 | 16.33 | 5.13 | 1.86 | 363.77 | 15379.39 | 25.16 | 0.58 | 0.23 |
| 3500 | 58.20 | 40.11 | 12.90 | 14.55 | 5.33 | 2.05 | 384.82 | 16269.53 | 27.69 | 0.55 | 0.22 |

E10;AA=10;  $\lambda=1$ ;T0+6; $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 65.00 | 11.09 | 26.35 | 16.25 | 2.55 | 1.00 | 393.60 | 16640.66 | 14.56 | 0.67 | 0.22 |
| 2000 | 67.80 | 17.11 | 21.21 | 16.95 | 3.55 | 1.25 | 351.59 | 14864.68 | 18.08 | 0.63 | 0.24 |
| 2500 | 69.10 | 24.00 | 17.91 | 17.27 | 4.52 | 1.48 | 326.83 | 13817.91 | 21.42 | 0.59 | 0.26 |
| 3000 | 65.10 | 33.12 | 15.24 | 16.27 | 5.11 | 1.74 | 339.75 | 14363.78 | 25.16 | 0.58 | 0.25 |
| 3500 | 58.00 | 40.12 | 13.85 | 14.50 | 5.31 | 1.91 | 359.66 | 15205.83 | 27.69 | 0.55 | 0.24 |

E10;AA=10;  $\lambda=1.069$ ;T0+6; $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 65.00 | 11.09 | 28.17 | 16.25 | 2.55 | 0.94 | 368.17 | 15565.55 | 14.56 | 0.67 | 0.23 |
| 2000 | 67.80 | 17.11 | 22.68 | 16.95 | 3.55 | 1.17 | 328.81 | 13901.23 | 18.08 | 0.63 | 0.26 |
| 2500 | 69.10 | 24.00 | 19.14 | 17.27 | 4.52 | 1.38 | 305.85 | 12929.92 | 21.42 | 0.59 | 0.28 |
| 3000 | 65.20 | 33.12 | 16.30 | 16.30 | 5.12 | 1.62 | 317.16 | 13409.09 | 25.16 | 0.58 | 0.27 |
| 3500 | 58.00 | 40.12 | 14.81 | 14.50 | 5.31 | 1.79 | 336.35 | 14220.17 | 27.69 | 0.55 | 0.25 |

E10;AA=10;  $\lambda=0.931$ ;T0+12; $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 65.30 | 10.83 | 24.82 | 16.33 | 2.56 | 1.07 | 415.94 | 17585.29 | 14.39 | 0.67 | 0.20 |
| 2000 | 68.20 | 16.71 | 19.98 | 17.05 | 3.57 | 1.32 | 371.05 | 15687.22 | 17.87 | 0.62 | 0.23 |
| 2500 | 69.50 | 23.24 | 16.84 | 17.38 | 4.55 | 1.57 | 345.60 | 14611.30 | 21.08 | 0.58 | 0.25 |
| 3000 | 65.60 | 32.76 | 14.27 | 16.40 | 5.15 | 1.85 | 350.07 | 15223.23 | 25.02 | 0.58 | 0.24 |
| 3500 | 58.40 | 39.82 | 12.91 | 14.60 | 5.35 | 2.04 | 382.32 | 16163.70 | 27.59 | 0.55 | 0.22 |

E10;AA=10;  $\lambda=1$ ;T0+12; $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 65.20 | 10.83 | 26.66 | 16.30 | 2.56 | 0.99 | 387.83 | 16396.72 | 14.39 | 0.67 | 0.22 |
| 2000 | 68.10 | 16.71 | 21.46 | 17.02 | 3.56 | 1.23 | 345.97 | 14626.79 | 17.87 | 0.62 | 0.25 |
| 2500 | 69.40 | 23.54 | 18.08 | 17.35 | 4.54 | 1.46 | 322.36 | 13628.81 | 21.21 | 0.59 | 0.26 |
| 3000 | 65.40 | 32.76 | 15.33 | 16.35 | 5.13 | 1.73 | 336.20 | 14213.95 | 25.02 | 0.58 | 0.25 |
| 3500 | 58.20 | 39.82 | 13.90 | 14.55 | 5.33 | 1.90 | 356.77 | 15885.13 | 27.59 | 0.55 | 0.24 |

E10;AA=10;  $\lambda=1.069$ ;T0+12; $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 65.10 | 10.83 | 28.50 | 16.27 | 2.56 | 0.93 | 363.35 | 15361.68 | 14.39 | 0.67 | 0.23 |
| 2000 | 68.00 | 16.71 | 22.95 | 17.00 | 3.56 | 1.15 | 323.98 | 13697.28 | 17.87 | 0.62 | 0.26 |
| 2500 | 69.30 | 23.54 | 19.34 | 17.33 | 4.53 | 1.37 | 301.95 | 12765.88 | 21.21 | 0.59 | 0.28 |
| 3000 | 65.30 | 32.36 | 16.54 | 16.33 | 5.13 | 1.61 | 314.94 | 13315.04 | 24.67 | 0.58 | 0.25 |
| 3500 | 58.10 | 39.82 | 14.86 | 14.53 | 5.32 | 1.78 | 334.64 | 14147.93 | 27.59 | 0.55 | 0.25 |

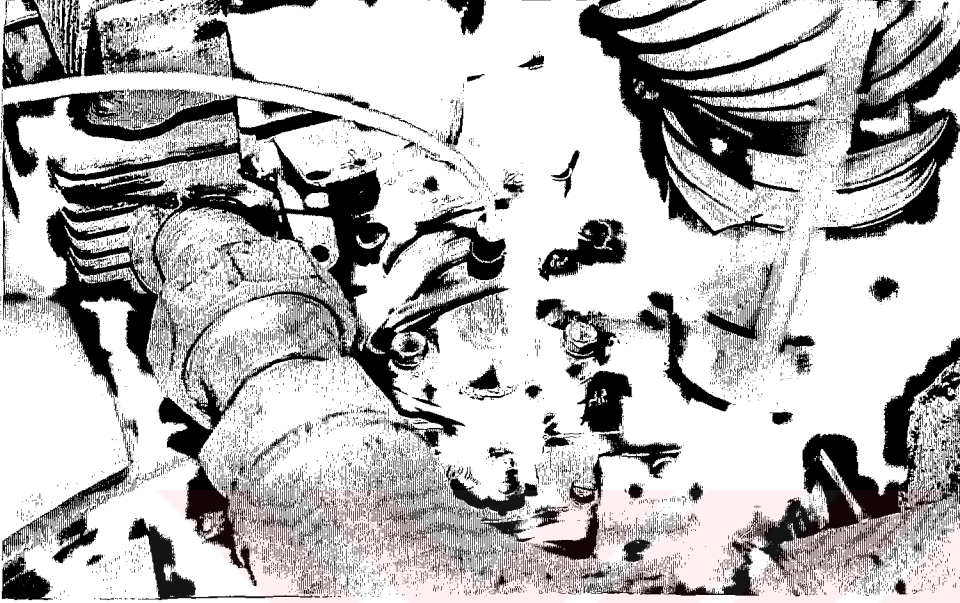
E10;AA=5;  $\lambda=0.931$ ;T0; $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.90 | 11.53 | 24.06 | 16.23 | 2.55 | 1.10 | 431.73 | 18252.58 | 14.84 | 0.69 | 0.20 |
| 2000 | 67.80 | 17.59 | 19.48 | 16.93 | 3.55 | 1.36 | 382.62 | 16184.60 | 18.34 | 0.64 | 0.23 |
| 2500 | 69.00 | 24.46 | 16.52 | 17.25 | 4.51 | 1.60 | 354.66 | 15002.26 | 21.62 | 0.60 | 0.24 |
| 3000 | 65.50 | 32.80 | 14.26 | 16.38 | 5.14 | 1.86 | 360.88 | 15257.16 | 25.04 | 0.58 | 0.24 |
| 3500 | 58.50 | 39.80 | 12.95 | 14.60 | 5.36 | 2.04 | 382.02 | 16123.61 | 27.58 | 0.55 | 0.22 |

E10;AA=5;  $\lambda=1$ ;T0; $\varepsilon=8$

|      |       |       |       |       |      |      |        |          |       |      |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------|-------|------|------|
| 1500 | 64.80 | 11.53 | 25.84 | 16.20 | 2.54 | 1.02 | 402.61 | 17021.47 | 14.84 | 0.69 | 0.21 |
| 2000 | 67.80 | 17.59 | 20.92 | 16.95 | 3.55 | 1.26 | 356.17 | 15070.74 | 18.34 | 0.64 | 0.24 |
| 2500 | 68.90 | 24.46 | 17.11 | 17.23 | 4.51 | 1.54 | 342.51 | 14480.58 | 21.62 | 0.60 | 0.25 |
| 3000 | 65.40 | 32.80 | 15.32 | 16.35 | 5.13 | 1.73 | 336.42 | 14223.23 | 25.04 | 0.58 | 0.25 |
| 3500 | 58.30 | 39.80 | 13.91 | 14.58 | 5.34 | 1.90 | 356.27 | 15062.33 | 27.58 | 0.55 | 0.24 |

**Ek-2 Emme Manifoldunun Egzoz Kalorimetresi Suyu İle Isıtılması**



T.C. YÜKSEK İHTİŞİM KURULU  
DOĞRULAMA VE KONTROL MERKEZİ

**Ek-3 İmal Edilen Silindir Üst Kapağı (Yanma Odası)**

