

**BUJULE ATELEMELBR MOTORDA FARKLI OKTANLI YAKIT  
KULLANIMININ PERFORMANS VE EM SYONLARA ETK S**

**Selçuk KORKMAZ**

**YÜKSEK L SANS TEZ  
MAK NE E T M**

**GAZ ÜN VERS TES  
FEN B L MLER ENST TÜSÜ**

**EYLÜL 2008  
ANKARA**



**BUJULE ATE LEMEL B R MOTORDA FARKLI OKTANLI YAKIT  
KULLANIMININ PERFORMANS VE EM SYONLARA ETK S**

**Selçuk KORKMAZ**

**YÜKSEK L SANS TEZ  
MAK NE E T M**

**GAZ ÜN VERS TES  
FEN B L MLER ENST TÜSÜ**

**EYLÜL 2008  
ANKARA**

Selçuk KORKMAZ tarafından hazırlanan “BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA FARKLI OKTANLI YAKIT KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İsmet ÇELİKTEN .....  
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mustafa Sahir SALMAN .....  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. İsmet ÇELİKTEN .....  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Serdar YÜCESU .....  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Yakup İÇİNGÜR .....  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK .....  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi

Tarih : 25/09/2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN .....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

Selçuk KORKMAZ

**BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA FARKLI OKTANLI YAKIT  
KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Selçuk KORKMAZ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Haziran 2008**

**ÖZET**

İçten yanmalı benzinli motorların termik verimlerinin artırılması motorun sıkıştırma oranını artırmakla gerçekleştirilebilir. Sıkıştırma oranlarının artırılması için kullanılan benzinin oktan sayısı artırılmalıdır. Bu çalışmada günümüzde piyasada satılan değişik oktan sayılı benzinlerin buji ile ateşlemeli bir motorda incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 95-97-100 oktanlı benzinler kullanılmıştır. Motorun özellikleri değiştirilmeden, aynı sıkıştırma oranında motorun ihtiyaç duyduğundan yüksek oktanlı benzinler kullanılarak motor performans ve emisyon davranışları gözlemlendi. Deneyler %25-%50-%75-%100 gaz keleşi açıklıklarında 1500 1/min ile 4500 1/min arasında 500 er devir aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 4 silindirli, 4 zamanlı ve 8,8 sıkıştırma oranına sahip buji ateşlemeli bir motor kullanılmıştır. Deney sonunda motorun standart yakıtı olan 95 oktanlı benzinin en iyi performans ve egzoz emisyonları değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, NOx emisyonları diğer benzinlerle kıyaslandığında daha yüksek değerlerde çıkmıştır. Bunun nedeninin yüksek yanma sonu sıcaklıklarının olduğu düşünülmektedir.

**Bilim Kodu** :708. 3. 026

**Anahtar Kelimeler** :Benzin motorları, Performans ve emisyonlar, Oktan sayısı  
Yakıtlar

**Sayfa Adedi** :65

**Tez Yöneticisi** :Doç. Dr. İsmet ÇELİKTEN

**EFFECT OF USING FUEL WITH DIFFERENT OCTANE NUMBERS ON  
PERFORMANCE AND EMISSIONS IN A SPARK IGNITION ENGINE**

**(M.Sc. Thesis)**

**Selçuk KORKMAZ**

**GAZİ UNIVERSITY**

**INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**September 2008**

**ABSTRACT**

**Thermal efficiency of internal combustion spark ignition engines can be increased by increasing compression ratio. To increase compression ratio, quality of gasoline especially octane number of gasoline fuel should be increased. In this study, different octane number fuels were investigated in a spark ignition engine. In the experiments, 95, 97 and 100 octane gasoline fuels were used. Without changing design parameters, performance and emission behaviors of the engine were observed by using higher octane number fuels at the same compression ratio. The experiments were performed between 1500 rpm and 4500 rpm engine speeds with 500 rpm increments and four different engine loads (25%, 50%, 75% and WOT). In the tests, a four-stroke and four-cylinder spark ignition engine having 8.8 compression ratio was used. Optimum performance and emission parameters were obtained with 95 octane gasoline which is standard fuel of the test engine. However, higher NO<sub>x</sub> emissions were observed with 95 octane gasoline. This result was thought higher combustion temperatures.**



**Science Code : 708 .3. 026**

**Key Words : Gasoline Engines, Performance and Emissions, Octane Number,  
Fuels**

**Page Number:65**

**Adviser :Assoc. Prof. Dr. İsmet ÇELİKTEN**

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Doç. Dr. İsmet ÇELİKTEN hocama, laboratuvar çalıőmalarımda kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Prof. Dr. Mustafa Sahir SALMAN hocama, deneylerde kullandığımız yakıtların testinde bize yardımcı olan ODTÜ PAL başkanı Prof. Dr. Ender OKANDAN hocama ve deney çalıőmalarımda maddi manevi destekleriyle beni yalnız bırakmayan arkadaşım Murat TAMER' e teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

|  | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| ÖZET.....  | iv           |
| ABSTRACT.....  | vi           |
| TEŞEKKÜR.....  | viii         |
| İÇİNDEKİLER.....   | ix           |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....  | xi           |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....  | xii          |
| RESİMLERİN LİSTESİ.....  | xiv          |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....   | xv           |
| 1.GİRİŞ.....   | 1            |
| 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....  | 6            |
| 2.1. Benzinli Motorlar İçin İdeal Çevrim (Otto Çevrimi).....                             | 6            |
| 2.2. İçten Yanmalı Motorlar İçin Oktan Sayısının Önemi.....                              | 14           |
| 2.2.1.Benzin motorlarında vuruğu.....  | 14           |
| 2.2.2.Kullanılan yakıtların kimyasal ve fiziksel özelliklerinin<br>vuruntuya etkisi..... | 17           |
| 2.2.3.Oktan sayısı.....  | 19           |
| 2.2.4.Oktan sayısı ölçümü.....   | 21           |
| 2.3. Egzoz Gazlarından Kaynaklanan Kirleticiler.....                                     | 25           |
| 2.3.1 Kirleticilerin oluşumu.....  | 26           |
| 2.3.2 Kirletici maddelerin insan ve çevre sağlığına etkileri.....                        | 29           |
| 3. MATERYAL VE METOT.....  | 32           |
| 3.1. Materyal.....   | 32           |
| 3.1.1. Deney yeri.....   | 32           |

|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| 3.1.2. Denev seti.....                  | 32           |
| 3.2. Metot.....                         | 38           |
| 3.2.1. Denevin Yapılışı.....            | 38           |
| 3.2.2. Hesaplama metotları.....         | 39           |
| 4.DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME..... | 43           |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....               | 57           |
| 6. KAYNAKLAR.....                       | 59           |
| EKLER.....                              | 61           |
| EK-1.....                               | 62           |
| ÖZGEÇMİŞ.....                           | 65           |

**ÇİZELGELERİN LİSTESİ**

| <b>Çizelge</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Çizelge 2.1. Sıkıştırma oranlarına göre oktan sayısı ihtiyacı.....          | 20           |
| Çizelge 2.2. Egzoz gazı içerisindeki önemli zehirli bileşikler.....         | 25           |
| Çizelge 3.1. Sun MGA 1500 emisyon test cihazı ölçme hassasiyet değerleri... | 36           |
| Çizelge 3.2. Deney motorunun teknik özellikleri.....                        | 37           |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil   | Sayfa |
|---|-------|
| Şekil 2.1 Dört zaman sırasında pistonun silindir içindeki konumları.....  | 6     |
| Şekil 2.2 Benzinli dört zamanlı motorun gerçek p-v diyagramı.....   | 7     |
| Şekil 2.3. İdeal Otto Çevriminin piston silindir düzeneğinde gerçekleşmesi  | 8     |
| Şekil 2.4. İdeal Otto Çevriminin P-v diyagramı.....   | 9     |
| Şekil 2.5. İdeal Otto Çevriminin T-s diyagramı.....   | 9     |
| Şekil 2.6 İdeal Otto çevriminin ısı veriminin sıkıştırma oranıyla değişimi  | 12    |
| Şekil 2.7 Yüksek sıkıştırma oranlarında, hava yakıt karışımının sıcaklığı,<br>sıkıştırma işlemi sırasında, yakıtın kendiliğinden tutuşma<br>sıcaklığının üzerine çıkar..... | 13    |
| Şekil 2.8. Silindir içerisinde yanmanın ve vuruntulu yanmanın<br>oluşumu.....   | 15    |
| Şekil 2.9. İzo-oktan ( $C_8H_{18}$ ) ve normal heptan ( $C_7H_{16}$ ) yakıtlarının açık<br>Kimyasal formülleri.....   | 18    |
| Şekil 2.10. Hava fazlalık katsayısının yanma sonu ürünlerine etkisi<br>görülmemektedir.....   | 27    |
| Şekil 2.11. Karbonmonoksit gazının insan sağlığı üzerindeki etkisi.....   | 30    |

| <b>Şekil</b>   | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Şekil 4.1. %100 gaz kelebeği açıklığındaki tork, güç ve özgül yakıt tüketimi değişimleri.....        | 45           |
| Şekil 4.2. %100 gaz kelebeği açıklığındaki CO, HC ve NO <sub>x</sub> emisyonlarının değişimleri..... | 46           |
| Şekil 4.3. %75 gaz kelebeği açıklığındaki tork, güç ve özgül yakıt tüketimi değişimleri.....         | 48           |
| Şekil 4.4. %75 gaz kelebeği açıklığındaki CO, HC ve NO <sub>x</sub> emisyonlarının değişimleri.....  | 49           |
| Şekil 4.5. %50 gaz kelebeği açıklığındaki tork, güç ve özgül yakıt tüketimi değişimleri.....         | 51           |
| Şekil 4.6. %50 gaz kelebeği açıklığındaki CO, HC ve NO <sub>x</sub> emisyonlarının değişimleri.....  | 52           |
| Şekil 4.7. %25 gaz kelebeği açıklığındaki tork, güç ve özgül yakıt tüketimi değişimleri.....         | 55           |
| Şekil 4.8. %25 gaz kelebeği açıklığındaki CO, HC ve NO <sub>x</sub> emisyonlarının değişimleri.....  | 56           |

**RESİMLERİN LİSTESİ**

| <b>Resim</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Resim 2.1. Vuruntulu yanına sonucunda, vuruntunun piston üzerin de<br>yapmış olduğu tahribat..... | 16           |
| Resim 3.1. Cussons P8602 Multi-Cylinder Engine Test dinamometre<br>seti.....                      | 32           |
| Resim 3.2. Sun MGA 1500 egzoz gaz ölçüm cihazı.....   | 34           |



## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

| <b>Simgeler</b>  | <b>Açıklama</b>                     |
|------------------|-------------------------------------|
| <b>C</b>         | Karbon                              |
| <b>CO</b>        | Karbondiyoksit                      |
| $C_p$            | Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kg.K)  |
| $C_v$            | Sabit hacimde özgül ısı (kJ/kg.K)   |
| <b>HC</b>        | Hidrokarbon                         |
| <b>H</b>         | Hidrojen                            |
| $k$              | Özgül ısıların oranı ( $C_p/C_v$ )  |
| <b>kW</b>        | Kilowatt                            |
| <b>1/min</b>     | Dakikadaki devir sayısı             |
| $\eta_{th,Otto}$ | Otto Çevrimi Isıl Verimi            |
| <b>Nm</b>        | Newtonmetre                         |
| <b>NO</b>        | Azotoksit                           |
| <b>Pb</b>        | Kurşun                              |
| <b>P</b>         | Basınç (kPa)                        |
| $q$              | Birim kütle için ısı geçişi (kJ/kg) |
| $r$              | Sıkıştırma oranı                    |

|                       |                                |
|-----------------------|--------------------------------|
| <b>SO<sub>2</sub></b> | Kükürtdioksit                  |
| <b>S</b>              | Toplam Entropi (kJ/kg)         |
| <b>T</b>              | Sıcaklık (K)                   |
| $\Delta u$            | İç enerji değişim miktarı      |
| $u$                   | Özgül iç enerji kJ/kg          |
| <b>V</b>              | Toplam Hacim (m <sup>3</sup> ) |
| $w$                   | Birim kütle için iş (kJ/kg)    |
| $W$                   | Toplam iş (kJ)                 |
| $\lambda$             | Hava fazlalık katsayısı        |

**Kısaltmalar****Açıklama**

|             |                               |
|-------------|-------------------------------|
| <b>ATDC</b> | Üst Ölü Noktadan Sonra        |
| <b>ABDC</b> | Alt Ölü Noktadan Sonra        |
| <b>AÖN</b>  | Alt Ölü Nokta                 |
| <b>BTDC</b> | Üst Ölü Noktadan Önce         |
| <b>BBDC</b> | Alt Ölü Noktadan Önce         |
| <b>HFK</b>  | Hava Fazlalık Katsayısı       |
| <b>KMA</b>  | Krank Mili Açısı              |
| <b>MGA</b>  | Moduler Gas Analyser          |
| <b>ODTÜ</b> | Orta Doğu Teknik Üniversitesi |
| <b>Ppm</b>  | Particulated per million      |

## 1.GİRİŞ

İnsanlar petrolü keşfettikten sonra çeşitli amaçlarda kullanmaya başlamışlardır. Petrolün en önemli kullanım alanı mekanik enerji elde etmek için kullanılması olmuştur. İçten yanmalı motorların icadı ile petrolün kimyasal enerjisini mekanik enerjiye çevirmek yaygın hale gelmiştir.

Petrolü çeşitli katkıları kullanarak içten yanmalı motorlarda en yüksek verimi elde edebilecek farklı yakıt dönüşüm çalışmaları her geçen gün artarak sürdürülmektedir. Bu çalışmaların yanında motorlarda da en verimli çalışmayı sağlamak için geliştirmeler sürekli devam etmektedir. İlk benzinli motorun icadından sonra günümüze kadar yaklaşık yüz yıldan fazla zamandır büyük gelişme gerçekleştirilmiştir. Günümüz şartlarında benzinli motorlar için üretilen benzin çeşitleri ile en verimli enerji dönüşümünün sağlanması amaçlanmaktadır. Bu amaçla benzinli motorlarda verimi artırmak için en önemli değişken olan sıkıştırma oranı sürekli artırılmaya çalışılmaktadır. Kullanılan benzinlerin sıkıştırma oranının artırılmasına doğru tepki vermesi için özelliklerinin buna uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bu sebepten benzinin oktan sayısı da sıkıştırma oranı ile orantılı olarak artırılmalıdır.

Motorların sıkıştırma oranı ve benzinli motorlarda kullanılan yakıtların kimyasal ve fiziksel özellikleri, benzinli motorların verimini ve performansını önemli derecede etkiler. İdeal benzin motorunun (otto motoru) verimi incelendiğinde, motor ısı veriminin direkt olarak sıkıştırma oranına bağlı olduğu görülmektedir. Motorun sıkıştırma oranının artırılması ile birlikte motor performansını ve verimini arttırmak mümkün olmaktadır. Kullanılan yakıtın kimyasal ve fiziksel özelliği nedeniyle motorun sıkıştırma oranı, belli bir sıkıştırma oranına kadar yükseltilebilmektedir. Çünkü aynı yakıt numunesi için, motorun sıkıştırma oranı giderek arttırılırsa belli bir sıkıştırma oranında vuruntulu yanma meydana gelmektedir. Benzin motorlarında vuruntulu yanma istenmeyen bir yanma türüdür. Benzin motorlarında vuruntu, motor elemanlarında kısa bir süre zarfında büyük tahribatlara neden olabilmektedir. Aynı zamanda vuruntulu yanma sonucunda motor performansı, verimi ve gücünde önemli

derecede düşüşler olmaktadır. Bu nedenle yakıtların oktan sayısı, motorun sıkıştırma oranının artırılması dolayısıyla motorun veriminin ve performansının artırılması önündeki en büyük engeldir. Vuruntulu yanmanın oluşmasında en önemli etken, motorun sıkıştırma oranı olduğu için, yakıtların oktan sayıları, sıkıştırma oranına göre ölçülmektedir

Günümüzde ülkemizde benzin üretici firmalar çeşitli oktan sayılarında benzinler üreterek kullanıma sunmaktadırlar. Yaygın kullanılan benzinler 95–97 oktanlı benzinlerdir. Ayrıca benzin üreticileri yüksek performans yakıtı olarak 100 oktan benzinini de kullanıma sunmaktadırlar.

Bu çalışmada günümüz şartlarında kullanıma sunulan yakıtların aynı cins motorda kullanılmasında motor performanslarına ve egzoz emisyonlarına etkileri araştırılmaktadır. Böylece şu sorulara cevap bulunabilecektir;

1. Benzin motorlu otomobil kullanıcıları kendi otomobilinde sürekli kullandıkları benzini değiştirmeleri yani oktan sayısı yüksek veya düşük benzin kullanmaları durumunda motor performans ve egzoz emisyon değişimlerinde ne derece farklılıklar elde edeceklerdir?
2. Hangi yakıtları kullanmaları durumunda avantajlı olabileceklerdir?
3. Oktan sayısı artırılmış benzin bütün motorlar için yüksek performans düşük emisyon ve yüksek ekonomi anlamına gelir mi?

Bu cevaplar için 95–97–100 oktan değerli olduğu belirtilerek kullanıma sunulan benzinler 1300 cc FORD marka bir motorda kullanılarak motor performansı ve egzoz emisyonları grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

#### Yakıt Kalitesi İle İlgili Çalışmalar

Literatürde yakıt kalitesi ve oktan sayısı üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Bunların başlıca bir kısmına burada yer verilmiştir.

Japonya da son on dokuz yıl içerisinde kullanılan yakıtların (benzin ve mazot) oktan sayısı, setan sayısı, Reid buhar basıncı, sülfür miktarı, kinematik viskozite gibi özelliklerini inceleyerek dünyadaki yakıt standartlarıyla karşılaştırılması yapılmıştır. Oktan sayısı ve reid buhar basıncı özelliklerinin hemen hemen hiç değişmediği, sülfürün ise yakıtın kimyasal yapısında yapılan değişim sonucu normal benzinde %30 süper benzinde %7 oranında azaldığı belirtilmiştir. Fakat yapıldan bu çalışma, sadece literatür araştırması kapsamında kalmıştır. Yakıt özelliklerinin performans ve emisyon etkileri deneysel ya da teorik olarak incelenmemiştir [1].

İki farklı yakıt (izo oktan ve n-heptan)'ın değişken oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen yakıt kompozisyonunun motor ve araştırma oktan sayısının belirlenmesi için matematiksel bir model oluşturulmuştur. Güncel olarak kullanılan benzin yakıtının oktan sayısının bulunması için teorik bir model geliştirilmiştir. Ancak bu çalışma yalnızca oktan sayısının belirlenmesi kapsamındadır. Oktan sayısının yanma karakteristikleri (performans, yakıt tüketimi, egzoz emisyonları) üzerine etkileri deneysel ve teorik olarak incelenmemiştir [2].

Deneysel çalışmalarla dizel yakıtı setan sayısının emisyonlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ölçümler dört farklı setan sayılı dizel yakıtı ile dört silindirli, dört zamanlı, direk püskürtmeli dizel motorunda gerçekleştirilmiştir. Setan sayısının artmasıyla  $NO_x$ ,  $SO_2$ , ve CO emisyonlarında %10-25 oranında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Fakat setan sayısının artmasıyla duman miktarında ortalama %6 oranında artış olduğu belirlenmiştir. Setan sayısının değişmesiyle oluşan tüm emisyon değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Bu çalışmada da dizel yakıt kalitesi (setan sayısı)'nin sadece emisyonlar üzerindeki etkileri incelenmiştir, motor performansı üzerindeki etkilerine değinilmemiştir [3].

Yapılan bir literatür araştırması çalışmasında oktan sayısı, motorun oktan ihtiyacı, detenasyon ve vuruntu sensörleri üzerine bilgi verilmiştir. Motorun ihtiyacı olan oktan sayısının belirlenmesi için deneysel bir çalışma yapılmamıştır [4].

Oktan sayısının artırılmasında polimerlerde kullanılmıştır. 1990 model Briggs Ec Stratton marka iki zamanlı, tek silindirli ve 245 cc'lik benzin motoru üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda oktan sayısını artırmak için kullanılan polimerlerin egzoz emisyonları ve motor gücü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Motor gücünün %2 arttığı, özgül yakıt tüketiminin %4 azaldığı, HC ve CO emisyonlarında (HC:%61, CO:%84) düşme olduğu grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu çalışmada deneyler, sabit çıkış gücü üreten ve genellikle çim biçme makinelerinde kullanılan bir benzin motorunda yapılmıştır. Otomotiv sektöründe kullanılan gerçek motorlar üzerinde çalışılmadığı için bilimsel ölçülerde geçerliliği de sınırlı kalmaktadır [5].

Son yıllarda düşük yakıt tüketimli araçların geliştirilmesi çabaları direk enjeksiyonlu ve hibrit araçların oluşmasını sağlamaktadır, fakat bu araçlarda kullanılan yakıt özelliklerinin geleneksel kullanılan araçlardakinden daha iyi olması gerekmektedir. Bu çalışmada araç sahiplerinin hangi tip yakıtları tercih ettiği sorgulanmıştır. Yapılan araştırmada araç sahiplerinin %55'inin araçlarına uygun yakıt seçimi konusunda yeterli bilgiye sahip olmadıkları görülmüştür. Yapılan istatistikî çalışmada tüketicilerin hangi tip yakıtları tercih ettiği grafiksel olarak sunulmuştur. Bu çalışmada karbüratörlü araçlarla ilgili araştırma yapılmamıştır [6].

Yakıt kalitesini artırmak için kullanılan metanol, etanol, tetra bütül alkol, isopropil alkol, metil tetra ve bütül eter'in araçta kullanım koşulları ve emisyon etkileri üzerine araştırma yapılmıştır. Oktan sayısını artırmak için hangi tip ürünün kullanılabileceği hangisinin yasaklandığı "Avustralya Çevre Komisyonu" ile yapılan ortak çalışmalarla belirlenmiştir. Yapılan çalışmada, yakıt kalitesini artırmak için kullanılan kimyasalların sadece egzoz emisyonlarına etkileri incelemiş olup yanma performansına etkileri araştırılmamıştır. Türkiye'de ise kurşun tetraetil kullanılarak oktan sayısının artırılması yöntemi yakın bir zamana kadar sürdürülmüştür [7].

Metanol-benzin karışımlarında görülen faz ayrışması sorununu çözmek amacıyla çift şamandıralı bir karbüratör geliştirilerek, metanol ve metanol-benzin karışımı yakıtların, performans etkileri ile mevcut bir taşıtta kullanılabilirliği incelenmiştir. Sonuç olarak, metanol ve metanol-benzin karışımları kullanıldığında, emme

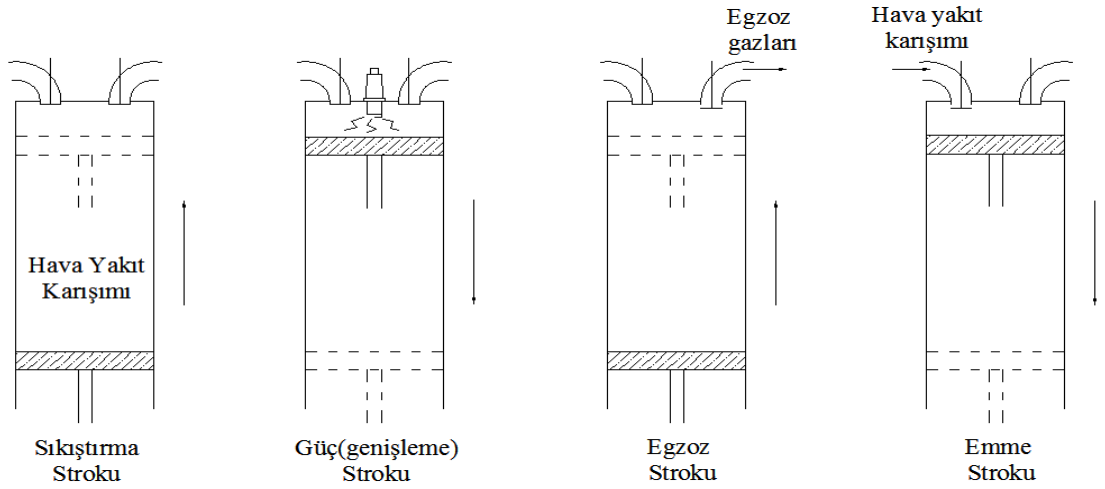
dolgunun sıcaklığı (metanol ün buharlaşma ısısı; 1167,7 kJ/kg, benzinin buharlaşma ısısı; 490 kJ/kg) düşmekte ve volümetrik verimin artması ile motorun gücünde ortalama %10 artmaktadır. Fakat metanol ün alt ısı değeri (20110 kJ/kg) benzinin alt ısı değerinin (39800 kJ/kg) yaklaşık yarısı olması nedeniyle özgül yakıt tüketimi %14 artmıştır. Uygulanan çift yakıtlı çalışmada motor gücü artmasına karşın, özgül yakıt tüketimi de artmıştır. Test motoru için optimizasyonu oluşturacak yakıt kombinasyonu gerçekleştirilememiştir [8].

Benzin motorlarında yakıt kalitesi (oktan sayısı)' nin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerinin deneysel ve teorik olarak ayrıntılı bir şekilde incelenmesinde FIAT DKS marka 8/1 sıkıştırma oranına sahip bir motorda 91–93–95–95,3 oktanlı benzinler kullanıldığında en iyi motor performans değerleri 91 oktanlı benzinden elde edilmiştir. En düşük egzoz emisyonları değerleri de 95,3 oktanlı benzinden elde edilmiştir [9].

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

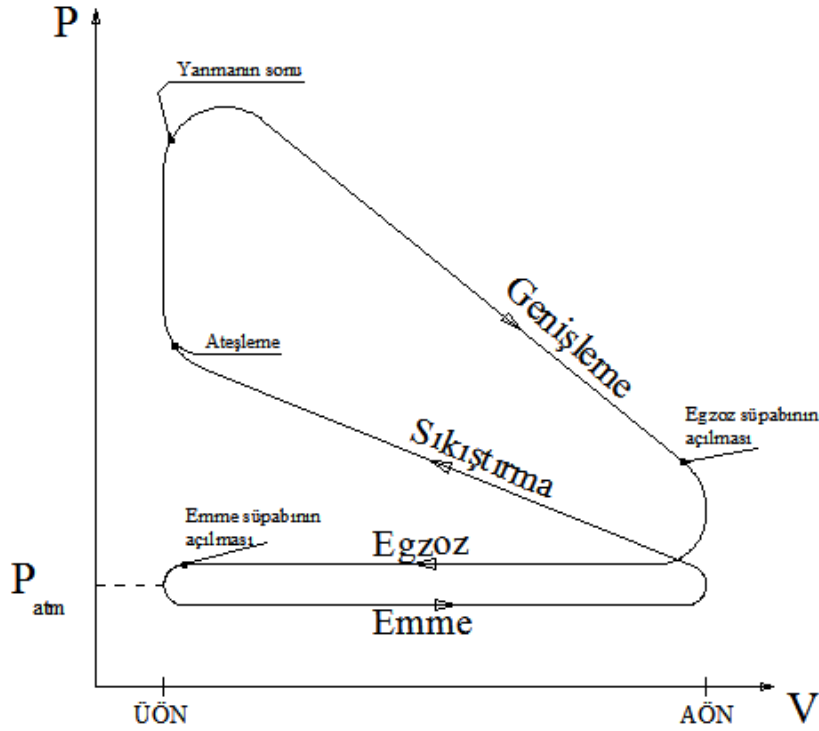
### 2.1. Benzinli Motorlar İçin İdeal Çevrim (Otto Çevrimi)

Otto çevrimi benzinli motorlar için ideal çevrimdir. Fransız bilim adamı Beau de Rochas tarafından önerilen çevrimi kullanarak 1876'da ilk dört zamanlı motoru başarıyla gerçekleştiren Nikolaus A. Otto'nun adını taşımaktadır. Benzinli motorların çoğunda, piston her termodinamik çevrim için silindir içinde dört zaman (iki mekanik çevrim) gerçekleştirir. Bu sırada krank mili de iki devir yapmış olur. Bu motorlar dört zamanlı içten yanmalı motorlar diye bilinmektedir. Dört zaman sırasında pistonun silindir içindeki konumunu gösteren çizimler Şekil 2.1'de ve benzinli dört zamanlı motorun gerçek p-v diyagramı Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Dört zaman sırasında pistonun silindir içindeki konumları





Şekil 2.2 Benzinli dört zamanlı motorun gerçek p-v diyagramı

Başlangıçta emme ve egzoz supapları kapalıyken piston en alt konumdadır (AÖN). Sıkıştırma zamanı sırasında, piston yukarı hareket ederek yakıt-hava karışımını sıkıştırır. Piston, en üst konumu olan üst ölü noktaya gelmeden az önce bujinin oluşturduğu kıvılcım karışımı ateşler, yanma başlar ve hızla gelişir. Bu sırada sistemin basınç ve sıcaklığı artar. Yüksek basınçlı gazlar pistonu aşağıya iter, krank milinin dönmesini sağlar ve yararlı iş elde edilir. Bu zaman, genişleme veya güç zamanı diye adlandırılır. Genişleme zamanının sonunda piston en alt konumdadır, birinci mekanik çevrim tamamlanmıştır ve silindir yanma sonu gazlarıyla doludur. Daha sonra piston yeniden yukarı doğru hareket eder, yanma sonu gazları egzoz supabından dışarı atılır. Bu zaman egzoz zamanıdır. Piston yeniden aşağı inerken emme supabı açılır ve taze yakıt-hava karışımı silindire emilir. Bu zaman emme zamanıdır. Silindir içindeki basınç egzoz zamanı sırasında atmosfer basıncının biraz üzerinde emme zamanı sırasındaysa atmosfer basıncının biraz altındadır.

Yukarıda açıklanan gerçek dört zamanlı motorların çözümlenmesi kolay değildir. Fakat hava standart çevrime göre kabulleri yapıldığı zaman çözümlenme önemli ölçüde kolaylaşır. Bu kabullerle elde edilen çevrim gerçek çalışma koşullarını yakından andıran ideal Otto çevrimidir. Bu çevrim dört tersinir hal değişiminden oluşur:

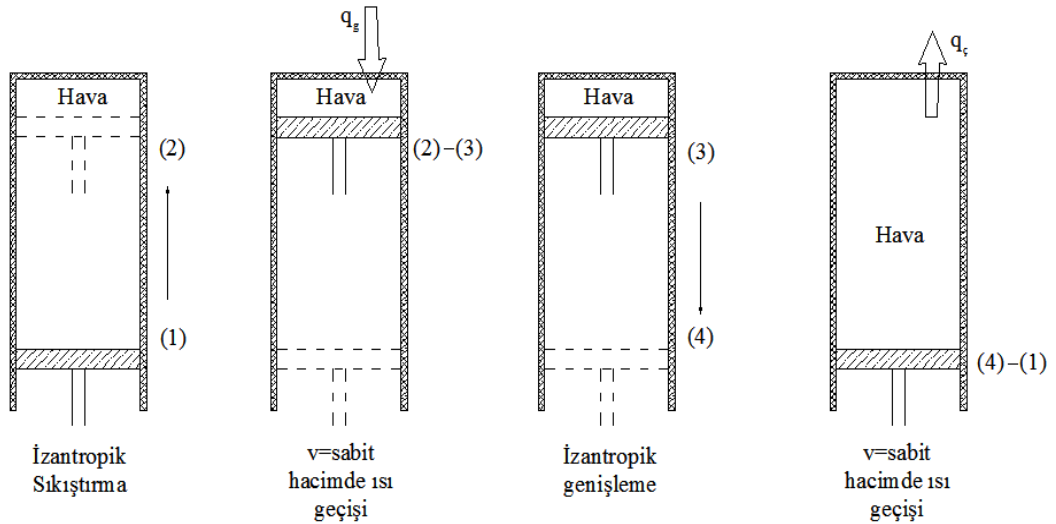
1-2 izantropik sıkıştırma

2-3 çevrime sabit hacimde ( $v=\text{sabit}$ ) ısı geçişi

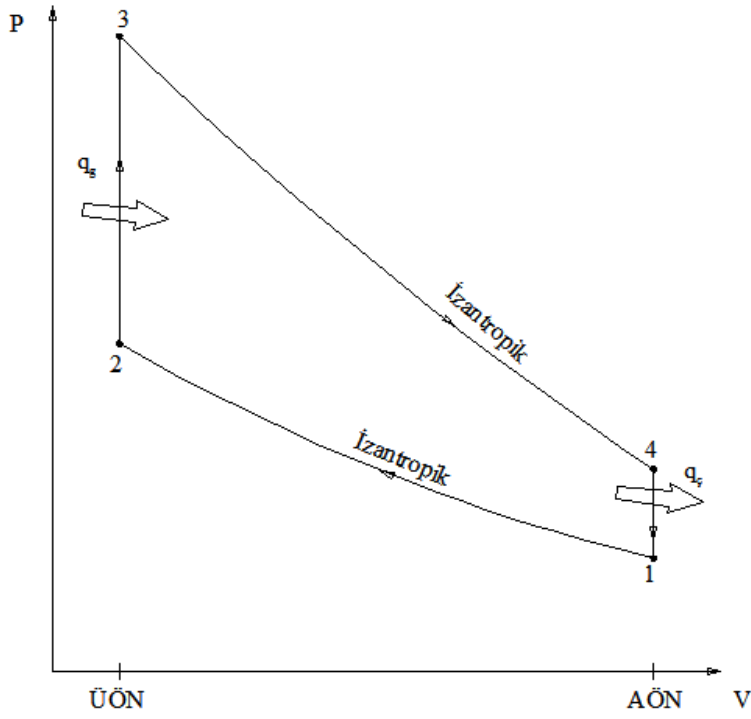
3-4 izantropik genişleme

4-1 çevrimden sabit hacimde ( $v=\text{sabit}$ ) ısı geçişi

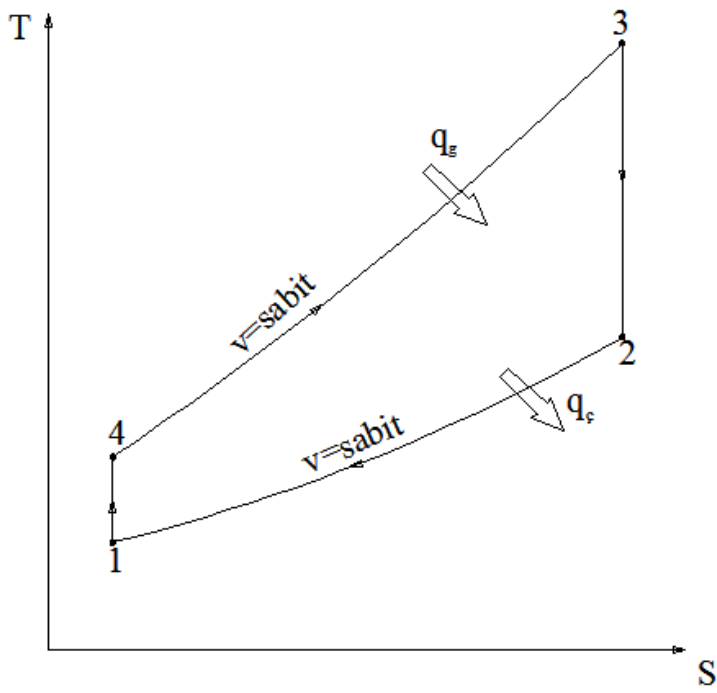
İdeal otto çevriminin bir piston-silindir düzeneğinde nasıl gerçekleştiği Şekil 2.3'de ve çevrimin P-v diyagramı Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Otto çevriminin T-s diyagramı Şekil 2.5' de verilmiştir.



Şekil 2.3. İdeal Otto Çevriminin piston silindir düzeneğinde gerçekleşmesi



Şekil 2.4. İdeal Otto Çevriminin P-v diyagramı



Şekil 2.5. İdeal Otto Çevriminin T-s diyagramı

Otto çevrimi kapalı bir sistemde gerçekleşir, bu nedenle çevrimi oluşturan hal değişimlerine birinci yasa uygulanırsa, aşağıda birim kütle için ifade edilen denklem elde edilir:

$$q - w = \Delta u \quad (\text{kJ/kg}) \quad (2.1)$$

Isı geçişinin olduğu hal değişimleri sırasında iş yoktur, çünkü her iki hal değişimi sabit hacimde gerçekleşir. Bu nedenle, sisteme ve sistemden ısı geçişleri, soğuk hava standardı kabulleriyle şöyle yazılabilir:

$$q_g = q_{23} = u_3 - u_2 = C_v(T_3 - T_2) \quad \text{ve} \quad (2.2a)$$

$$q_\zeta = -q_{41} = -(u_1 - u_4) = C_v(T_4 - T_1) \quad (2.2b)$$

Bu durumda ideal otto çevriminin ısıl verimi,

$$\eta_{th,Otto} = \frac{W_{net}}{q_g} = 1 - \frac{q_\zeta}{q_g} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1 \left( \frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left( \frac{T_3}{T_2} - 1 \right)}$$

biçimini alır. 1–2 ve 2–3 hal değişimlerinin izantropik  $u_2 = u_3$ ,  $u_4 = u_1$  olduğu göz önüne alınırsa,

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{u_2^{k-1}}{u_1^{k-1}} = \frac{u_3^{k-1}}{u_4^{k-1}} = \frac{T_4}{T_3} \quad (2.3)$$

olur. Bu bağıntılar ısıl verim denkleminde yerine konur ve basitleştirilirse,

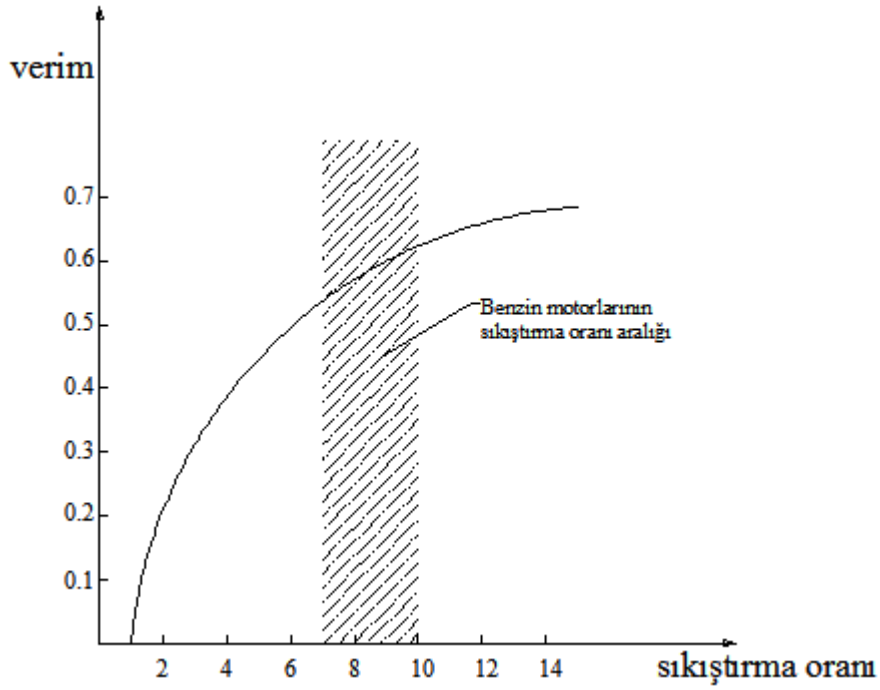
$$\eta_{thOtto} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \quad (2.4)$$

elde edilir. Burada,

$$r = \frac{V_{maks}}{V_{min}} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{u_1}{u_2} \text{ sıkıştırma oranı} \quad (2.5)$$

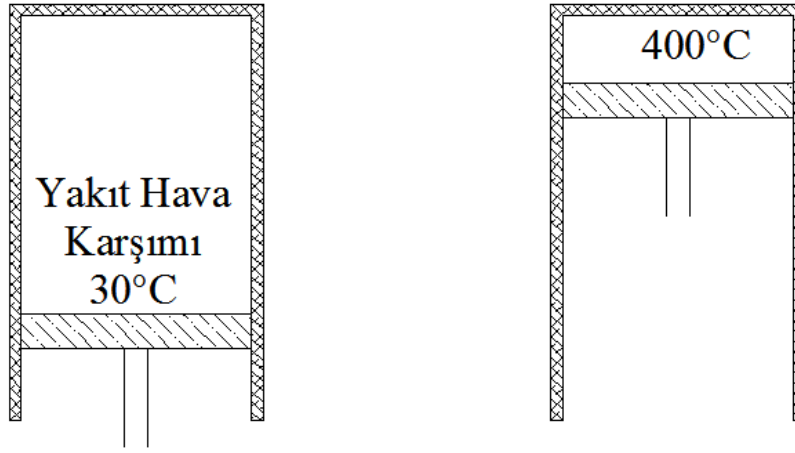
$$k = \frac{C_p}{C_v} \text{ özgül ısıların oranıdır.}$$

2-4 numaralı denklem, soğuk hava standardı kabulleri altında, ideal Otto çevriminin ısı veriminin motorun sıkıştırma oranına ve akışkanın ( eğer hava değilse ) özgül ısılarının oranına bağlı olduğunu göstermektedir. İdeal Otto çevriminin ısı verimi, sıkıştırma oranı ve özgül ısılarının oranı yükseldikçe artar. Bu sonuç, gerçek kıvılcım ateşlemeli içten yanmalı motorlar için de geçerlidir. Şekil 2.6'da, havanın oda sıcaklığında özgül ısılarının oranı olan  $k = 1.4$  için, ısı veriminin sıkıştırma oranına göre değişimi gösterilmiştir. Belirli bir sıkıştırma oranında, gerçek kıvılcım ateşlemeli motorun ısı verimi, ideal Otto çevriminin veriminden daha düşük olacaktır. Bunun nedeni, sürtünme, tamamlanmamış yanma ve benzer tersinmezliklerdir.



Şekil 2.6 İdeal Otto çevriminin ısı veriminin sıkıştırma oranıyla değişimi ( $k=1,4$ ).

Şekil 2.6 incelendiği zaman, ısı verim eğrisinin düşük sıkıştırma oranlarında daha dik olduğu, fakat sıkıştırma oranı yükseldikçe,  $r=8$  yakınlarında düzleştiği görülmektedir. Böylece, ısı verimdeki artış yüksek sıkıştırma oranlarında daha azdır. Ayrıca yüksek sıkıştırma oranlarında, hava yakıt karışımının sıcaklığı, tutuşma sıcaklığının üzerine çıkabilir. Bu durum gerçekleştiği zaman alev cephesinin önünde bir veya birkaç noktada yanma başlar ve karışımın geri kalan bölümü bir anda tutuşur (Şekil 2.7). Yakıtın erken kendiliğinden tutuşması, duyulabilen bir motor gürültüsüne yol açar ve vuruntu adıyla bilinir. Benzin motorlarında vuruntu, verimi düşürdüğü ve hasara yol açtığı için istenmez. Vuruntu olgusu, kıvılcım ateşlemeli içten yanmalı motorların sıkıştırma oranlarına bir üst sınır getirir.



Şekil 2.7 Yüksek sıkıştırma oranlarında, hava yakıt karışımının sıcaklığı, sıkıştırma işlemi sırasında, yakıtın kendiliğinden tutuşma sıcaklığının üzerine çıkmaktadır.

Benzin motorlarının ısı verimlerini, sıkıştırma oranını yükselterek fakat vuruntuya yol açmadan artırmak ( $r \cong 12$  ye kadar), tetraetil kurşunla karıştırılmış benzin gibi daha uygun yakıtlar kullanarak yapılabilmektedir. Tetraetil kurşun 1920'li yıllardan beri benzine katılmaktadır, çünkü oktan sayısını artırmanın, başka bir deyişle benzinin daha yüksek sıcaklıklarda tutuşmasını sağlamanın en ucuz yolu budur. Fakat kurşunlu benzinin istenmeyen önemli bir yan etkisi, yanma sırasında sağlığa ve çevreye zararlı bileşimlerin oluşmasına yol açmasıdır. Hava kirliliğiyle yürütülen savaşım çerçevesinde, 1970'li yılların ortalarından başlayarak, ABD'de kurşunlu benzinin kullanımı giderek azaltılmıştır. Kurşun kullanamayan benzin üreticileri, benzinin vuruntuya karşı özelliklerini iyileştirecek başka teknikler geliştirmişlerdir. 1975'ten sonra yapılan otomobiller kurşunsuz benzin kullanacak biçimde tasarlanmaktadır ve sıkıştırma oranları vuruntuyu önlemek için düşürülmüştür. Buna bağlı olarak otomobil motorlarının ısı verimleri biraz daha düşmüştür. Otomobil ağırlığının azalması, daha iyi aerodinamik tasarım gibi etkenlerden dolayı günümüz otomobillerinin yakıt tüketimi iyileşmiştir [10].

## 2.2. İçten Yanmalı Motorlar İçin Oktan Sayısının Önemi

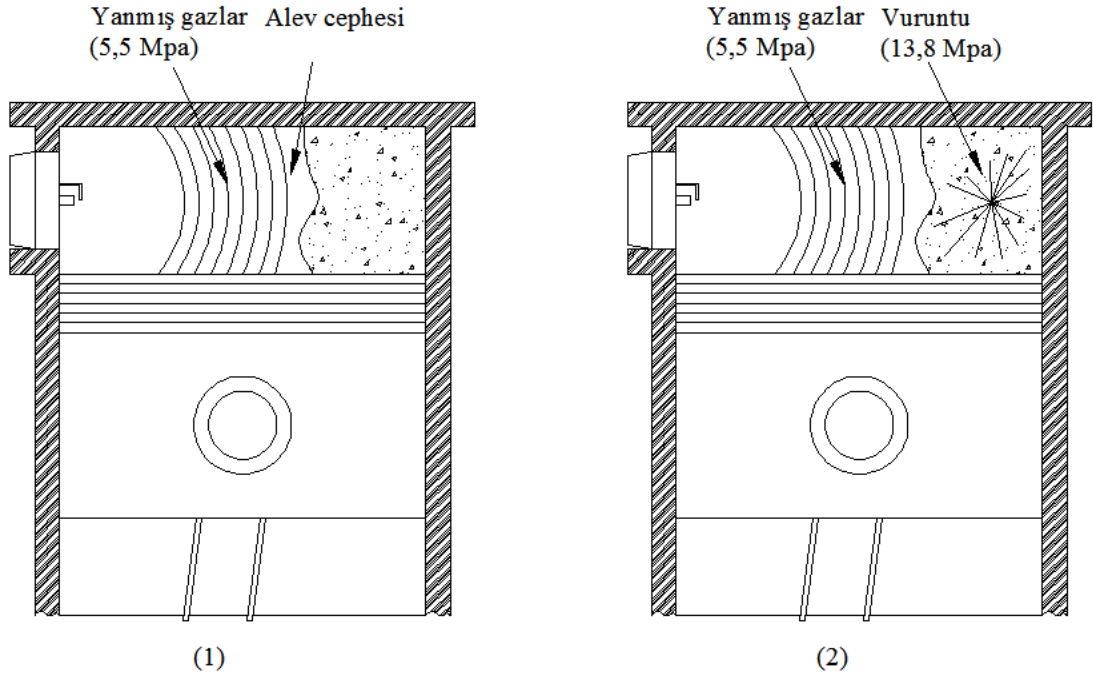
Benzin motorlarında motorun, yakıtın oktan sayısı ile sınırlanan vuruntulu yanma sınırında çalıştırılması motordan alınacak ısı veriminin maksimum olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle motor veriminin ve diğer performans parametrelerinin önündeki en büyük engel motorun vuruşu sınırına en yüksek sıkıştırma oranında ulaşması olacaktır. Aşağıdaki bölümlerde vuruş oluşumundan ve yakıt kalitesinin (oktan sayısı) etkilerinden bahsedilecektir.

### 2.2.1. Benzin motorlarında vuruş

Yanma, yakıtın oksijenle birleştiği ve büyük miktarda enerjinin açığa çıktığı bir kimyasal reaksiyondur. Açığa çıkan bu enerji, ısı enerjisidir. İçten yanmalı benzin motorlarında silindir içerisinde yanma sonucu açığa çıkan bu ısı enerjisi, öteleme veya dönme hareketi yapan piston-biyel-krank mekanizması vasıtasıyla mekanik enerjiye çevrilmektedir.

İçten yanmalı benzin motorlarında yanma, emme supabının açılmasıyla silindir içerisine emilen yakıt-hava karışımının sıkıştırma işlemiyle basıncı ve sıcaklığı artırılarak sıkıştırma zamanı sonunda motorun buji elemanında oluşturulan yüksek enerjili [50–100 mJ] elektrik kıvılcımı ile bir noktada başlatılmaktadır. Yanmanın başlamasıyla alev cephesi yayılmaya başlar. Bu alev cephesi yanma odasının diğer bölgelerindeki yani yayılan alev cephesinin önünde bulunan yanmamış karışımı sıkıştırmakta ve ısınmasına sebep olmaktadır. Bu, karışımı tutuşma sıcaklığına getirir ve yanmamış bu karışım aniden kendi kendine tek veya çok sayıda alev çekirdeği ile tutuşur. Yanmanın başlamasıyla alev yüksek hızla yayılır. Bu yanma odakları karşılıklı dalgalar şeklinde ilerleyerek yanma odası basıncı 9-12 Mpa ve yanma hızını 300–350 m/s gibi normal olmayan değerlere ulaşmasını sağlar. Bu olaya benzin motorlarında vuruş veya vuruntulu yanma denilmektedir. Şekil 2.8'de silindir içerisinde yanma ile birlikte vuruntulu yanmanın oluşumu görülmektedir.





Şekil 2.8. Silindir içerisinde yanmanın ve vuruntulu yanmanın oluşumu [11].

Benzin motorlarında vuruntu, yanma odasında ani ve yüksek basınç artışlarına neden olmaktadır. Bu yüksek ve ani basınç artışları yaygın bir basınç olmayıp, çeperlerden çeperlere yansıyan veya gidip gelen basınç dalgaları şeklindedir ve yanma odasının dışında, çevreye duyulabilecek derecede seslerin çıkmasına sebep olur. Vuruntu sesinin frekansı otomobil motorlarında yaklaşık olarak 5000 Hz civarındadır. Aynı zamanda vuruntu sonucu yanma odası sıcaklığının da artmasıyla aşırı türbülanslar oluşmakta ve ısı iletimi artmaktadır. Artan sıcaklıkların ve basıncın neticesinde motor gücünde artma olmadığı gibi tersine güç kaybı olmaktadır. Ayrıca yanma odasındaki karışımın sıcaklığının artması, buji ve supapların aşırı ısınmasına neden olarak yanma öncesi istenmeyen erken ateşlemeye de yol açmaktadır. Vuruntu, yanına sonucunda piston kafası gibi elemanlarda erimelere yol açmaktadır. Bu nedenlerle vuruntulu yanma, benzin motorlarında istenmeyen bir yanma şeklidir [12,13,14]. Resim 2.1’de vuruntulu yanma sonucunda pistondaki erimeler gözükmemektedir.



Resim 2.1. Vuruntulu yanma sonucunda, vuruntunun piston üzerin de yapmış olduğu tahribat [13].

Vuruntulu yanma olayında, henüz yanmanın başlamadığı bölgelerdeki karışımın kendi kendine tutuşma sıcaklığına gelerek bir veya daha fazla noktada alev çekirdeği oluşturarak yanmaya başlaması tam olarak bilinmemektedir. Fakat yanmanın başlaması vuruntunun ve zincir reaksiyon teorileri ile açıklanmaya çalışılmıştır. İnce ve uzun bir tüp şeklindeki yanma odasında, şok dalgası şeklindeki alev cephesi ile birlikte yüksek basınç dalgasının ses hızı ile ilerlemesi olayına vuruntu denir. Burada ilerleyen basınç dalgaları, ulaştıkları noktalardaki sıcaklıkları yükselterek kimyasal reaksiyonları hızlandırır ve dolayısıyla alev cephesinin hızını, ses hızına arttırmasına neden olmaktadır. Fakat içten yanmalı motorlarda, ince ve uzun tüp şeklinde bir yanına odası bulunmadığından, bu teoriyi geçersiz kılmaktadır.

Yakıtın kendi kendine tutuşma aşaması kimyasal olarak zincir reaksiyonlar teorisi ile de açıklanmaya çalışılmıştır. Zincir reaksiyon teorisi, reaksiyona giren yakıtın, ısınması ve ön reaksiyonlarla parçalanması ile ortaya çıkan aktif ögelerin, zincir şeklinde çoğalmasıyla ürün doğuş hızını arttırmasıdır. Burada aktif ögelerin sayısı, reaksiyonların etkinliğine göre azalmakta veya giderek artmaktadır. Reaksiyonların etkinliği fazla ise aktif ögeler azalmakta ve buda zincir reaksiyonu yavaşlatmaktadır. Fakat kurşuntetraetil gibi bazı katkı maddeleri aktif ögelerin azalmasına neden olarak zincir reaksiyonları yavaşlatır ve dolayısıyla da vuruntuyu önler. Yapılan deneylerle vuruntulu yanmanın zincir reaksiyonlarla meydana geldiği desteklenmektedir. Vuruntulu yanma sonrasında, motorun yanma odasında, alev cephesinin önündeki bölgelerden alınan yanma ürünlerindeki aktif öge sayısının, normal yanma sırasında oluşan aktif ögelerin sayısına göre çok artmış olduğu görülmüştür. Ayrıca deney sırasında, alev cephesinin önündeki bölgelere, aktif ögelerin gönderilmeleri sonucunda vuruntunun arttığı gözlenmiştir. Vuruntulu yanma olayında silindir içi basıncın, krank mili açısına göre incelenmesi ile elde edilen sonuçlar, zincir reaksiyonlar teorisini doğrular niteliktedir [12].

Sıkıştırma oranı arttıkça vuruntunun oluşmaması için ya daha yüksek oktan sayılı yakıt kullanılmalı veya kritik efektif basıncın azaltılması gerekmektedir. Buda motorun gücünü azaltacaktır.

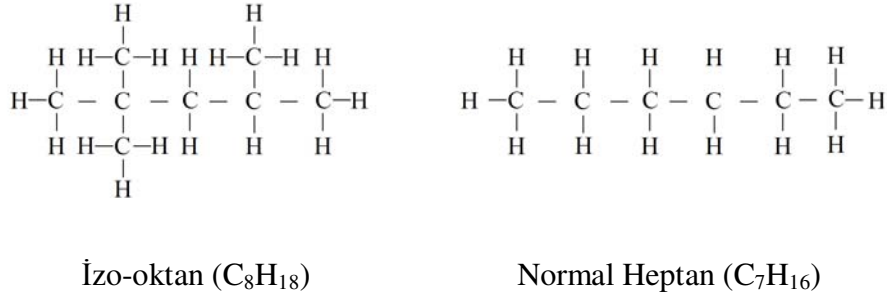
### **2.2.2. Kullanılan yakıtların kimyasal ve fiziksel özelliklerinin vuruntuya etkisi**

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlar birçok değişik fiziksel ve kimyasal özellikteki hidrokarbonların birleşiminden oluşur. Motorların istenilen koşullarda çalışması ve istenilen verimin artmasında yakıtlarda birçok özellikler aranmaktadır. Kullanılan yakıtta istenilen en önemli özelliklerden biri vuruntuya karşı dirençli bir yapıya sahip olmalarıdır.

Yakıtları oluşturan hidrokarbonların kimyasal bağları, hidrojen ve karbon atom sayıları yakıtları birbirinden ayırır. Sıvı yakıtların genel kimyasal formülü  $C_nH_m$  şeklindedir. Yakıtların vuruntuya karşı dirençleri, yapısındaki hidrojen (H) ve karbon

(C) atomlarının bağlantı şekillerine bağlıdır. Çatallı zincir grubu yapısına sahip olan yakıtların parçalanmaları zor ve tutuşma meyilleri düşüktür. Bu nedenle bu yapıya sahip olan yakıtların vurutuya karşı dirençleri yüksektir. Örneğin izo-oktan ( $C_8H_{18}$ ), aromalar ve alkoller gibi yakıtlar çatallı zincir grubu yapısında oldukları için parçalanmaları zor ve tutuşma meyilleri de düşük oldukları için vurutuya karşı dirençli yakıtlardır. Bu yakıtlar benzin motoru yakıtı olarak kullanılabilirler.

Düz zincir grubuna sahip olan yakıtların parçalanmaları kolay ve tutuşma meyilleri yüksek olduğu için bu yapıdaki yakıtların vurutuya karşı dirençleri çok azdır [12,13,14]. Örneğin normal-heptan ( $C_7H_{16}$ ) yakıtı kolayca parçalanabilir bir yakıttır ve vurutuya karşı direnci düşüktür. Bu nedenle tek başına benzin motoru yakıtı olarak kullanılamaz. Çatallı zincir grubuna ait izo-oktan ( $C_8H_{18}$ ) ve düz zincir grubundaki normal heptan ( $C_7H_{16}$ ) yakıtlarının açık kimyasal formülleri Şekil 2.9'da gösterilmiştir [15].



Şekil 2.9. İzo-oktan ( $C_8H_{18}$ ) ve normal heptan ( $C_7H_{16}$ ) yakıtlarının açık kimyasal formülleri [15].

### 2.2.3. Oktan sayısı

Oktan sayısı, yakıtların vuruntuya karşı direncinin bir ölçüsüdür. Oktan sayısı skalası, yakıtların vuruntulu yanmaya karşı göstermiş oldukları vuruntu meyline göre düzenlenmektedir.

Genel olarak karbon atomları, çatalı zincir şeklinde bağlanmış yakıtların oktan sayıları yüksektir. Çünkü karbon atomları arasındaki bağların ısıya karşı mukavemetlerinin yüksek olması nedeniyle kolayca parçalanamazlar ve bu tip yapıdaki yakıtların vuruntu meyilleri azdır. Karbon atomları düz zincir şeklinde bağlanmış yakıtların ise oktan sayıları düşüktür. Bu yakıtların karbon atomları arasındaki bağların ısıya karşı mukavemetleri zayıftır ve kolayca parçalanabilirler. Düz zincir grubundaki yakıtlar, vuruntuya karşı meyillidirler ve oktan sayıları da dolayısıyla düşüktür.

Benzin motorlarında kullanılan yakıtlar, motorun verimini ve performansını önemli derecede etkilemektedir, İdeal benzin motorunun (Otto motorunun) verimi,

$$\eta_{th,Otto} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

olup, sıkıştırma oranına bağlıdır. Burada sıkıştırma oranını yükselterek verimi arttırmak mümkün olabilir. Ancak kullanılan yakıtın özelliği nedeniyle belli bir sıkıştırma oranına kadar yükseltilebilir. Çünkü bilindiği üzere aynı yakıt için motorlarda sıkıştırma oranı giderek arttırılırsa belli bir sıkıştırma oranından sonra vuruntulu yanma meydana gelir. Vuruntulu yanma motorların gücünün düşmesine neden olduğu gibi motor elemanlarında kısa bir süre zarfında büyük zararlar verir. Bu yüzden motorların yapımında sıkıştırma oranları hesaplanırken kullanılacak yakıtların oktan sayılarının da düşünülmesi ve buna göre yapılması gerekir.

Yakıtların oktan sayılarını arttırmak için bir takım ilave katkı bileşikleri katılmaktadır. Bunlar kurşuntetraetil [ $Pb(C_2H_5)_4$ ] ve demirpentakarboksit [ $Fe(CO)_5$ ] gibi katkı maddeleridir [16].

Otomobillerde kullanılan motorlarda benzinin oktan sayısı 85–95 arasında değişir. Sıkıştırma oranlarına uyan oktan sayısı ihtiyacı Çizelge 2.1’de verilmiştir[17].

Çizelge 2.1. Sıkıştırma oranlarına göre oktan sayısı ihtiyacı[17].

| Sıkıştırma oranı | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10  | 11  | 12  |
|------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| Oktan sayısı     | 68 | 78 | 85 | 91 | 96 | 100 | 103 | 106 |

Oktan sayısı birçok hallerde benzini tam karakterize etmez. Buna ayıca benzinin özelliklerini belirleyen eğrilerle benzinin değerlendirilmesi yoluna gidilir.

#### Oktan Sayısının Artırılması

Benzinin oktan sayısının artırılması için çeşitli yöntemler maddeler halinde aşağıda belirtilmiştir[17].

1. *Katık ilavesi*: Oktan sayısının iyileştirilmesi için benzinin içersine bazı madensel bileşikler katılır. Bunların en önemlisi kurşuntetraetil dir. Bir Amerikan galonuna (3875 lt) 3 mililitre kadar kurşuntetraetil ilave edilir. Bu miktardan fazla ilave edilen kurşuntetraetil oktan sayısını pek artırmamaktadır.
2. *Kraking (parçalanma)*: Bu sistemde işlemler termal katalitik olmak üzere iki ayrı yöntemle yapılır. Buradan elde edilen benzinin oktan sayısı yüksektir. Ancak benzin içinde olefin grubu çok olduğundan oktan sayısı çok fazla yükseltilememektedir.

3. *Reforming (yeniden şekil verme)*: Sıcaklık, basınç ve katalizör etkisi altında bulunan benzini oluşturan hidrokarbon moleküllerinin vuruntu mukavemeti düşüktür. Ancak bu olay esnasında, benzinden hafif olan ürünlerde çıktığı için miktarında bir azalma olmaktadır ve oktan sayısı çok yükseltilememektedir.

#### 2.2.4. Oktan sayısı ölçümü

Benzin motorlarında vuruntu, normal alev cephesinin henüz ulaşamadığı yanma odasının diğer bölgelerindeki karışımın kendi kendine tutuşma sıcaklığına erişip tutuşmaya başlamasıyla oluştuğu için, silindir içindeki karışımın yanmaya başlamadan veya karışımın, motorun sıkıştırma zamanı sonunda belli bir sıcaklık ve basınç değerlerine sahip olması gerekir. İdeal benzin motoru çevriminde sıkıştırma zamanı sonu sıcaklığı T2,

$$T2 = T1 \times r^{k-1} \quad (r = \text{sıkıştırma oranı})$$

olduğuna göre, sıkıştırma oranının artırılması sıkıştırma zamanı sonunda sıcaklığın ve basıncın artmasına neden olur bu da ön reaksiyonları hızlandırır. Bu bakımdan sıkıştırma oranı vuruntuya etki eden en önemli parametredir. Benzin motorlarında sıkıştırma oranı giderek arttırılırsa belli bir sıkıştırma oranında vuruntu başlar ve bu sıkıştırma oranına kritik sıkıştırma oranı denir.

Oktan sayısı ölçümü, sıkıştırma oranı sürekli olarak değiştirilebilen tek silindirli motorlarda yapılmaktadır. Bu motorlarda sıkıştırma oranı bir sonsuz dişli sistemi vasıtasıyla silindirin aşağı yukarı hareketi ile ayarlanmaktadır. Bu motorlar özel deney motorları olup Amerikan CFR (Cooperative Fuel Research) ve Alman BASF motorlarında yapılmaktadır [12].

Bu motorların özellikleri:

CFR motoru:

Silindir çapı : 82,55 mm

Strok : 114,3 mm

Sıkıştırma oranı : 4-12

BASF motoru

Silindir çapı : 65 mm

Strok : 100 mm

Sıkıştırma oranı : 4-12

Oktan sayısı ölçümünde iki farklı metot kullanılır. Bunlar Motor metodu ve Araştırma metodudur.

#### Motor metodu ile oktan sayısı ölçümü

Bu metotta ölçülen oktan sayısına Motor oktan sayısı (MOS veya MON) denir. Motor metodu deney şartları, araştırma metodu deney şartlarına göre ağırdır. Çünkü motor metodunda emme hava sıcaklığı, motor devir sayısı ve ateşleme avansı araştırma metoduna göre oldukça yüksektir. Bu deney metodu, motor üreticileri, petrol rafineleri, ürün pazarlayıcıları ve ticari olarak motor şartları için en uygun yakıtın tespitinde de kullanılır [18].



Motor metodu deney şartları:

Emme hava sıcaklığı : 149°C

Motor devir sayısı : 900 1/min

Ateşleme avansı : 14-26° KMA (Sıkıştırma oranına bağlıdır.)

Motor yağı sıcaklığı : 57 °C

Hava nem oranı : 3,56-7,12 g H<sub>2</sub>O/kg kuru hava

#### Araştırma metodu ile oktan sayısı ölçümü

Bu metotta ölçülen oktan sayısına Araştırma oktan sayısı (AOS veya RON) denir. Araştırma metodu, deney şartlarına göre motor metodundan kolaydır. Bu deney metodu, motor üreticileri, petrol rafinerileri, pazarlayıcılar ve yakıtın vuruntu yapmama kalitesinin motor şartları ile uygunluğundan emin olmak amacıyla önemli özelliklerin ölçülmesinde ticarete de kullanılabilir [19].

Araştırma metodu deney şartları:

Emme hava sıcaklığı : 19,4-52,2°C (Barometrik basınca bağlıdır.)

Motor devir sayısı : 600 1/min

Ateşleme avansı : 13° KMA

Motor yağı sıcaklığı : 57°C

Hava nem oranı : 3,56-7,12 g H<sub>2</sub>O/kg kuru hava

Bu iki deney metodu arasındaki fark motor hızı, emme hava sıcaklığı ve ateşleme avansıdır. Bu farklılıklar nedeniyle aynı yakıt için yapılan her iki deney sonucunda fark olabilir.

Oktan sayısı ölçümünde oktan sayısı bilinen iki referans yakıt kullanılır. Bunlar izo-oktan ( $C_8H_{18}$ ) ve n-heptan ( $C_7H_{16}$ ) dir. Saf halde izo-oktan yakıtının oktan sayısı 100 ve n-heptan için 0 kabul edilmiştir. İzo-oktan yakıtı vurutuya karşı çok dirençli, n-heptan yakıtı ise vurutuya karşı çok meyillidir. İzo-oktan ve n-heptan yakıtlarının birlikte değişik oranlarda karıştırılmalarıyla farklı oktan sayılarında yakıtlar elde edilebilir. Karışımın oktan sayısı karışımdaki izo-oktan yakıtının hacimce yüzdesine eşittir. Yani % 80 izo-oktan ve % 20 n-heptandan oluşan karışımın oktan sayısı 80 dir.

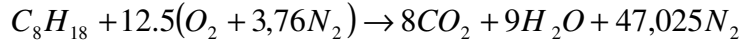
### 2.3. Egzoz Gazlarından Kaynaklanan Kirleticiler

İçten yanmalı motorlarda yanma, tam yanma (ideal yanma) veya tam olmayan yanma olarak gerçekleşir. Tam yanma ürünleri karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ), su ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ve azottur ( $\text{N}_2$ ). Bu gazlar çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek zararsız gazlardır. Fakat içten yanmalı motorlarda yanma tam olarak tamamlanamaz ve yakıt kısmen yanar. Bunun sonucu olarak da egzoz gazları esas emisyonlar olan karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ), su buharı ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ve azot ( $\text{N}_2$ )'un yanı sıra zehirli zararlı bileşiklerde içerirler. Zehirli bileşiklerden önemli olanlar Çizelge 2.2 de verilmiştir [20].

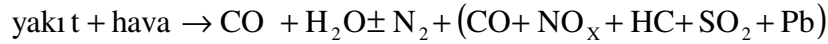
Çizelge 2.2. Egzoz gazı içerisindeki önemli zehirli bileşikler [20].

| Ürünler            | 100 litre yakıt tüketimi için ürün miktarları |
|--------------------|---|
| Karbonmonoksit     | 1,0-1,5 kg                                    |
| Hidrokarbonlar     | 0,3-0,6 kg                                    |
| Nitrojen oksitler  | 0,3-1,5 kg                                    |
| Aldehitler         | 0 - 60 g                                      |
| Sülfür oksitler    | 0 - 30g                                       |
| Karbosilik asitler | 0 - 24g                                       |
| Amonyak            | 0 -24g  |
| İnorganik asitler  | 30–60 g                                       |

Benzin referans yakıt olarak ele alınırsa teorik tam yanma halindeki yanma ürünleri aşağıdaki denklemde görüldüğü gibidir [21].



Taşıtın egzozundan oluşan kirletici emisyonlar; (CO) karbon monoksit, azot oksit ( $NO_x$ ), yanmamış hidrokarbonlar (HC) ve ( $SO_x$ ) kükürt oksitlerle aldehitler ( $C_aH_bCHO$ ), karbositik asitler, amonyak ve inorganik katıkların izlerine de rastlanmaktadır. Bu nedenle yanma denklemi, aşağıdaki gibi olmaktadır.



#### Tam Yanma Ürünleri +Kirletici Maddeler

İçten yanmalı motorlarda kirleticilerin çok büyük miktarını yanma sonucundaki egzoz gazları oluşturmaktadır. Bu gazlar, toplam kirletici emisyonların % 65-85'i miktarındadır.

### 2.3.1 Kirleticilerin oluşumu

İnsan ve çevre sağlığına zararlı emisyonlar, içten yanmalı motorlardan yanma sonucu oluşan egzoz gazlarıdır. Egzoz gazlarındaki kirleticilerin oluşumunu ve miktarlarını etkileyen en önemli faktör hava fazlalık katsayısı (HFK) dır  $\lambda$  ile de gösterilmektedir.

$\lambda$ , yanmaya katılan hava miktarının teorik hava miktarı oranına denir. Hava fazlalık katsayısı değerine bakılarak yakıt-hava karışımı içindeki havanın ve yakıt miktarlarını aynı zamanda yanmanın tam veya kısmen olduğu belirlenebilir.

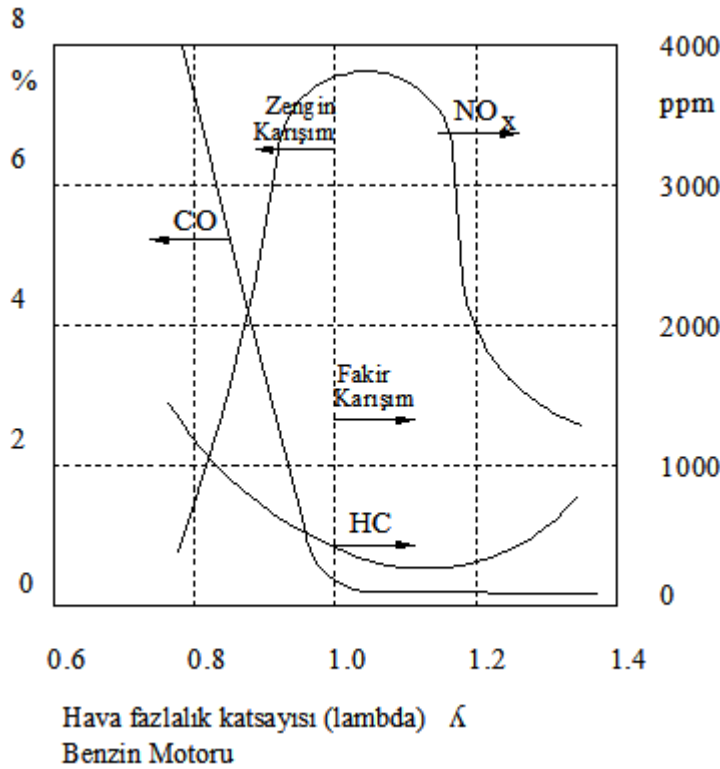
Bu duruma göre;

$\lambda=1$  ise karışım oranı stokiyometrik orandır, bu oranda tam yanma meydana gelmektedir.

$\lambda > 1$  ise yakıt-hava karışımında hava miktarı fazla, yakıt miktarı azdır ve fakir karışım olarak isimlendirilir.

$\lambda < 1$  ise yakıt-hava karışımında hava miktarı az, yakıt miktarı fazladır ve zengin karışım olarak isimlendirilir.

Şekil 2.10 da görüldüğü gibi hava fazlalık katsayısı kirleticilerin oluşumunda etkili bir parametredir. Motorlarda yanma sonucu oluşan egzoz gazları içinde bulunan hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO), azot oksit (NO), kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>) ve kurşun bileşiklerinin nasıl oluştuğu aşağıda açıklanmaktadır.



Şekil 2.10. Hava fazlalık katsayısının yanma sonu ürünlerine etkisi [22].

### Hidrokarbonlar (HC)

Hidrokarbonlar (HC), özellikle yakıtın tam olarak yakılamamasından meydana gelmektedir. Yakıtın tam olarak yakılamama nedeni yani hidrokarbonların oluşma

nedeni özellikle yanma sırasında oksijenin yetersiz oluşu ve karışım sıcaklığının yanma odasının bazı kısımlarında düşük olmasındandır. Şekil 2.10 de hidrokarbon miktarları, hava fazlalık katsayısının birden büyük ve küçük olduğu bölgelerde artmaktadır.

$\lambda < 1$  olduğu durumlarda karışım, zengin karışım olup yakıt miktarı fazla oksijen miktarı azdır, Oksijenin ( $O_2$ ) az olmasıyla yakıt kısmen yandığı için hidrokarbon emisyonları artmaktadır. Bu nedenle hava fazlalık katsayısı azaldıkça hidrokarbon emisyonları artmaktadır.

$\lambda > 1$  olduğu durumlarda hidrokarbon emisyonlarında tekrar artış olmaktadır. Bu durumda karışımın fakirleşmesiyle, yanma kötüleşmekte ve hidrokarbon emisyonları yine artmaktadır.

#### Karbonmonoksit (CO)

Motorlarda yanma sonucu karbonmonoksit gazının oluşmasının nedeni, oksijenin yeteri kadar alınamamasındandır. Yanma sırasında oksijenin, yetersiz olması nedeniyle yakıtın içindeki karbon, karbondioksite ( $CO_2$ ) dönüşmemekte ve karbonmonoksit (CO) olarak kalmaktadır.

Şekil 2.10 'de görüldüğü gibi karışım fakirleştikçe ( $\lambda > 1$ ) yani oksijen miktarının artmasıyla karbonmonoksit emisyonu düşmektedir. Karışım zenginleştikçe ( $\lambda < 1$ ) yani oksijen miktarı azaldıkça karbonmonoksit emisyonu artmaktadır. Buradan anlaşılacağı gibi, karbonmonoksit oluşumu hava fazlalık katsayısına bağlıdır.

#### Azot oksitler ( $NO_x$ )

Yanma sonucu azot oksitler oluşması, motor içindeki sıcaklık değerine bağlıdır. Azot ( $N_2$ ), yanma sonucu reaksiyona girmez. Ancak azot oksitler reaksiyon sıcaklığının yüksek olmasıyla oksijenle ( $O_2$ ) reaksiyona girerek azot oksitleri (NO) oluştururlar. Bu nedenle azot oksitlerin oluşumu motor içindeki sıcaklıklara bağlıdır.

### Kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>)

Özellikle dizel motorlarında yanma sonucu oksijenle, yakıtın içindeki kükürt birleşerek kükürtdioksitleri (SO<sub>2</sub>) oluştururlar.

### Kurşun bileşikleri

Benzin motorlarında yakıtların oktan sayılarını arttırmak vuruntulu yanmayı önlemek için benzine kurşuntetraetil (Pb(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>) katılmaktadır. Kurşuntetraetil yanma sonucu kurşun ve kurşun bromür olarak atmosfere atılmaktadır [22].

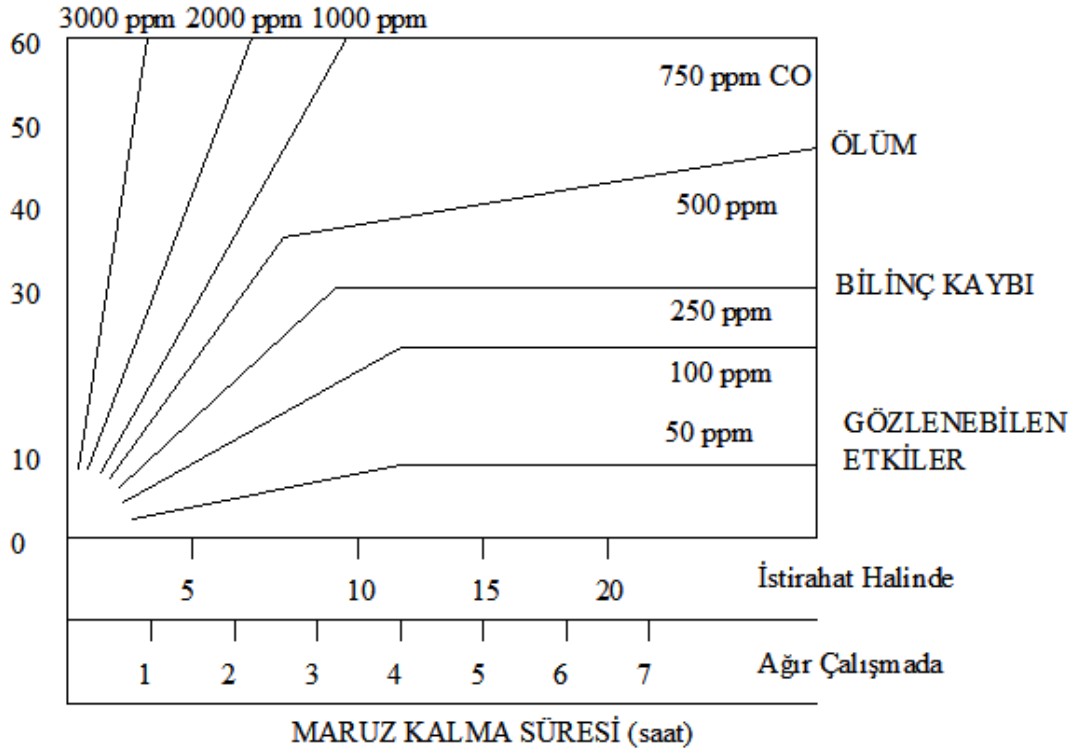
### **2.3.2 Kirletici maddelerin insan ve çevre sağlığına etkileri**

İçten yanmalı motorlardan kaynaklanan, insan ve çevre sağlığına zararlı kirleticiler karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC), azot oksit (NO<sub>2</sub>), kurşun (Pb) ve kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>)'ler dir. Bunların insan ve çevre sağlığına olan etkileri aşağıda açıklanmıştır.

### Karbonmonoksit (CO)

İçten yanmalı motorlarda yanma sonucu oluşan karbonmonoksit, yanma sırasında oksijenin yeteri kadar bulunmaması sonucu oluşmaktadır. Karbonmonoksit gazı renksiz, kokusuz, tatsız ve çok zehirli bir gazdır. Hava da % 0,03 sınır değerinde öldürücü olmaktadır. Karbonmonoksit gazının, kandaki oksijeni taşıma görevine sahip olan hemoglobine bağlanma yeteneği oksijene oranla yaklaşık 200 kere daha fazladır. Bu nedenle karbonmonoksit gazı ortamında bulunan bir kişinin solunum yoluyla aldığı karbonmonoksit, kandaki normal hemoglobini bozar. Vücut hücrelerinin oksijen alma olanağını engelleyerek zehirlenmeye ve boğulmaya neden olmaktadır. Şekil 2.11'de karbonmonoksitin insan sağlığı üzerindeki etkileri görülmektedir. Özellikle motorun boşa çalışması yani rölanti sırasında yaklaşık olarak 10 000-20 000 ppm dir. Şekil 2.11'deki etki sınırları ile rölanti durumunda

çalışan motorlu taşıtın egzozundan çıkan karbonmonoksit gazının miktarı karşılaştırılırsa ne kadar tehlikeli olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2.11. Karbon monoksit gazının insan sağlığı üzerindeki etkisi [23].

#### Yanmamış hidrokarbonlar (HC)

Hidrokarbonlar, motorlarda yanma sonucu yanmanın tam olarak tamamlanamaması durumunda egzoz gazları ile birlikte, karter havalandırması, yakıt deposu havalandırması ve karbüratörden buharlaşma yoluyla atmosfere atılmaktadır. Hidrokarbonlar kötü kokuludurlar. Bazı hidrokarbonlar mukozada tahrişe yol açarlar. Bazıları ise kanserojen etkiye sahiptirler.

#### Azot oksitler (NO<sub>x</sub>)

Motor içindeki yüksek sıcaklık nedeniyle ortaya çıkan NO renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. NO'lar genellikle havanın oksijeni ile birleşerek azot oksitleri (NO<sub>2</sub>)



oluştururlar. Azot oksitler kahverengi renkli ve kötü kokulu gazlardır. Azot oksitler akciğer dokusunda hasara ve felce neden olmaktadır.

### Kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>)

Kükürtdioksit gazı renksiz ve sert kokulu bir gazdır. İnsan sağlığı üzerine genellikle akciğer, karaciğer ve solunum yolları hastalıklarına sebep olurlar.

### Kurşun bileşikleri

Benzin motorlarında, yakıtların oktan sayılarını arttırarak vuruntuyu önlemek için benzine katılan kurşuntetraetil (Pb(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>) gibi katkı maddelerinin yanmasıyla oluşan kurşun bileşikleri egzoz gazları ile birlikte atmosfere atılmaktadır. Çeşitli yollarla vücuda alınan kurşun bileşenleri belli bir seviyeden sonra özellikle beyin olmak üzere merkezi sinir sistemi, kan yapan organlar ve böbreklerde önemli derecede olumsuz etkilere sahiptirler [23].

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Deney yeri

Deneyler Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı, İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarındaki P8602 Multi-Cylinder Engine Test cihazına bağlı bulunan Ford motorunun üzerinde gerçekleştirilmiştir.

##### 3.1.2. Deney seti

###### Dinamometre



Resim 3.1. Cussons P8602 Multi-Cylinder Engine Test dinamometre seti

P8602 motor test dinamometresi (Resim 3.1) istenildiğinde 160 kW'a kadar yükleme yapabilmektedir. 3500–8000 devir arasında 475 Nm'ye kadar tork ölçümü yapılabilmektedir. Cihaz yüklemeyi "Eddy Akımı" ile gerçekleştirmektedir. Cihazın çalışma gerilimi  $240\text{ V} \pm \%10$ , (50 Hz) ve çektiği akım 16 A'dir.

Dinamometre sistemi panosunda;

1. Motor devri göstergesi (1/min),
2. Motor torku göstergesi (Nm),
3. Motor yağı sıcaklığı, ortam sıcaklığı gibi sistemin on farklı noktasındaki sıcaklık değerlerini görebileceğimiz dijital gösterge ( $^{\circ}\text{C}$ ),
4. Dinamometre yükleme gücü göstergesi,
5. Hava akış basıncı için eğik manometre,
6. Yakıt ölçümü için 50 ml ve 100 ml bölümlü cam tüp,
7. Motor yükleme anahtarı,
8. Marş anahtarı,
9. Acil durdurma butonu,
10. Gaz kelebeği kumanda kolu bulunmaktadır.

### Egzoz emisyon test cihazı



Resim 3.2. Sun MGA 1500 egzoz gaz ölçüm cihazı

Deneylerde Sun MGA 1500 gaz analizörü, motorun egzozundan çıkan değişik gazların analizinde kullanılmıştır. Cihaz dijital göstergelidir. Bu cihaz;

1. İnfrared yöntemle ölçüm yapar.
2. TSE 11366 ve Avrupa'da kullanılan ISO 3930, OIML class 0 standartlarına uygundur.
3. Cihaz CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> ve NO gazlarını, AFR ve LAMBDA değerini ölçer.
4. İstenirse ilave olarak Motor devri - Yağ sıcaklığı üniteleri ilave edilebilir.
5. Sonuçlar için cihazın kendi üzerine monte edilmiş yazıcı bulunmaktadır. Ayrıca cihaza A4 boyutunda printer bağlanabilir. Printer çıktısı Türkçe'dir. Printer çıktısında alt- üst limit değerleri, ölçüm değerleri, ölçümü yapan kurumun unvanı ve tarih, plaka ve km yazmak için yerler bulunur.
6. Cihazı korumak amacıyla cihazın girişinde iki yollu filtre sistemi vardır.

7. Gaz ölçme süresinin kısa olması amacıyla cihazın pompası yüksek verimli ve iki yolludur.
8. Cihazın filtreleri dolduğu zaman veya hortumu tıkanıldığında “az hava” uyarısı verir.
9. Normal ve süper benzin kullanan veya LPG ile çalışan araçların gaz analizi için cihazda seçim yapılabilir.
10. Ölçümlerin her coğrafi bölgede aynı hassasiyetle yapılabilmesi için ölçüm yapılan yerin rakım değeri cihaz tarafından otomatik olarak algılanır veya rakım değeri cihaza girilebilir.(Otomatik algılama kiti aksesuardır)
11. Periyodik kalibrasyonlarının hassas olması amacıyla cihazın içini açmadan kalibrasyon gazı ile otomatik kalibrasyon yapılabilir. (AUTO CAL ve ZERO CAL den farklı olarak)
12. Bilgisayara veya başka motor test cihazlarına bağlantı için RS 232 interface bulunur. Cihaz bilgisayara bağlanırsa araç seçimi yapılabilir ve diognastik mesaj alınabilir.
13. Arızalarını ekrandan uyarıcı mesajlar ile verebilir.
14. Cihazın ölçüm sınırları ve hassasiyeti Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Sun MGA 1500 emisyon test cihazı ölçme hassasiyet değerleri

| PARAMETRE | ÖLÇME ARALIĞI | HASSASİYET |
|-----------|---------------|------------|
| HC        | 0 – 9999 ppm  | 1ppm       |
| CO        | 0 – 15 %      | 0,001 %    |
| CO2       | 0 – 20 %      | 0,1 %      |
| O2        | 0 – 25 %      | 0.01 %     |
| LAMBDA    | 0,6 – 1,2     | 0.001      |
| NOx       | 0 – 5000 ppm  | 1 ppm      |

#### Deney motoru

Deneylerde dört silindirli dört zamanlı buji ile ateşlemeli tek nokta enjeksiyonlu Ford marka 1300 cc'lik motor kullanılmıştır. Motorun teknik özellikleri aşağıda Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deney motorunun teknik özellikleri

| Motorun Teknik Özellikleri |                |
|----------------------------|----------------|
| Motorun Markası            | Ford VSG 413   |
| Yakıt Sistemi              | Enjeksiyonlu   |
| Motor gücü                 | 43 kW 5000 rpm |
| Motor torku                | 98 Nm 2500 rpm |
| Silindir çapı              | 73,96 mm       |
| Kurs boyu                  | 75,48mm        |
| Silindir hacmi             | 1297 cc        |
| Sıkıştırma oranı           | 8,8 : 1        |
| Ateşleme sırası            | 1—2—4—3        |
| Kompresyon basıncı         | 13—16 bar      |
| Rölanti devri              | 750 rpm        |
| Supap Zamanları            |                |
| Emme açılması              | 12° BTDC       |
| Emme kapanması             | 48° ABDC       |
| Egzoz açılması             | 47° BBDC       |
| Egzoz kapanması            | 13° ATDC       |

Deneylerde kullanılan benzinler:

Deneylerde kullanılan benzinler 95–97 ve 100 oktan numaralı olarak “SHELL” marka temin edilmiştir. Fakat Orta Doğu Teknik Üniversitesi Petrol Araştırma Merkezinde deney benzinlerinden alınmış numunelerin testinde benzinlerin oktan sayılarının farklılık gösterdiği görülmüştür. Bu sonuçlara göre 95 Oktan olarak

satılan benzinin 96 Oktan olduğu, 97 Oktan olarak satılan benzinin 96,9 oktan olduğu, 100 Oktan olarak satılan benzinin ise 100,6 Oktan olduğu belirlenmiştir. ODTÜ Petrol Araştırma Merkezi Deney Raporları Ek.1 de verilmiştir.

### Kronometre

Yakıt sarfiyatı süresinin tespitinde “SAMSUNG” marka bir kronometre kullanılmıştır. Kronometre hassasiyeti 0,01 saniyedir.

## **3.2. Metot**

### **3.2.1. Deneyin Yapılışı**

#### Dinamometre testi

Deneylere başlamadan önce benzin motoru dinamometreye (hareketli) ve yere (sabit) bağlantıları yapılmıştır. Cihaz ile ilgili yakıt borusu gaz kelebeği, hava metre gibi diğer bağlantıları da tamamlanarak motor yağı ve radyatör suyu seviyeleri tamamlanmıştır.

Deneye hazırlık sahasında dinamometre soğutma sistemi aktif hale getirilmiş ve elektrik bağlantısı yapılmıştır. Bu arada motorun akü kutup başları da bağlanarak deney seti hazır hale getirilmiştir. Deneye başlamadan önce tüm bağlantılar son kez kontrol edilerek motor çalıştırılmıştır. Deney için motora yükleme yapılmadan önce motorun çalışma sıcaklığına gelmesi için bir süre boşta ve rölanti devrinde çalıştırma uygulanmıştır.

Motor çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra gaz kelebek kumanda kolu 1/2 kelebek açıklığına getirilerek motor yükleme anahtarı aracılığı ile yüklenmeye başlamıştır. Yükleme yaparken motor devrinin 1500 d/d'nin altına düşmemesine dikkat edilmiştir. Deney, %25, %50, %75 ve %100 gaz kelebeği açıklıklarında ve 1500–4500 d/d arasında 500 devir aralıklarla her bir yakıt için toplam yirmi sekiz



kademede gerçekleştirilmiştir. Alınan değerler tablolara kayıt edilmiştir. Deneyler arasında motor bir süre dinlenmeye bırakılmıştır. Ayrıca deney sonuçlarının doğruluğunu arttırmak amacı ile deneyler üçer kez tekrarlanarak deney sonuçlarının ortalaması alınmıştır.

### Emisyon testi

Cihaz ile ölçüme başlanmadan önce cihaz 220 V şehir şebekesine bağlanmış ve cihazın ısınması için 15 dakika beklenmiştir. Cihaz hazır hale geldikten sonra motor egzoz borusuna bir aparat ile cihazın egzoz girişi bağlanmıştır. Dinamometre testiyle aynı zamanda emisyon değerleri her kademe test için cihazın üzerinde takılı bulunan yazıcıdan yazdırılarak tablolara kayıt edilmiştir.

### **3.2.2. Hesaplama metotları**

#### Tork düzeltme faktörünün hesaplanması

Deney sırasında ortam basınç ve sıcaklık değerleri alınarak motorun normal şartlar altındaki tork değerini bulabilmek için düzeltme katsayısı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$Kd = \left[ \frac{100}{P} \right]^{0.5} \times \left[ \frac{T}{298} \right]^{0.5}$$

Burada;

Kd =Tork düzeltme faktörü,

P =Deney ortam basıncı (kPa),

T =Deney ortam sıcaklığı (K)'dir.

Bu deneyde ortam basıncı Ankara için 91,1 kPa, ve deney laboratuvarı ortam sıcaklığı 36°C dir. Tork düzeltme faktörü;

$$Kd = \left[ \frac{100}{P} \right]^{0.5} \times \left[ \frac{T}{298} \right]^{0.5}$$

$$Kd = \left[ \frac{100}{91,1} \right]^{0.5} \times \left[ \frac{309}{298} \right]^{0.5}$$

$$Kd = 1,066$$

olur.

#### Düzeltilmiş torkun hesaplanması

Dinamometreden okunan değerler düzeltme faktörü dikkate alındığında düzeltilmiş tork aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$Me = Md \times Kd$$

Burada;

Me =Düzeltilmiş motor torku (Nm),

Md =Dinamometreden okunan tork değeri (Nm),

Kd =Tork düzeltme faktörüdür.

#### Motor gücünün hesaplanması

Deney aşamasında ölçülen devir ve o devirde hesaplanan düzeltilmiş tork değeri dikkate alınarak motor gücü aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$N_e = \frac{M_e \times n}{9549}$$

Burada;

$N_e$  =Motor gücü (kW),

$M_e$  =Düzeltilmiş motor torku (Nm),

$n$  =Motor devri (1/min) dir.

#### Yakıt tüketiminin ve özgül yakıt tüketiminin hesaplanması

Deneylerde 95-97 ve 100 oktanlı üç farklı benzin kullanılmıştır. Deney koşullarında 50 ml'lik ölçme borusu dikkate alınmıştır. Motorun 50 ml'lik ölçme borusundaki yakıtı ne kadar sürede tükettiği kronometre ile ölçülmüş, yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır. Hesaplamalarda benzinin yoğunluğu 0,735 kg/lt olarak alınmıştır.

$$B = \frac{50}{t} \times 0,735 \times 3,6$$

Burada;

$B$  =Birim zamandaki yakıt tüketimi (kg/h),

$t$  =Yakıt akış süresi (s)'dir.

$$b_e = \frac{B}{N_e} \times 1000$$

Burada;

$b_e$  =Özgül yakıt tüketimi (g/kWh),

$B$  =Birim zamandaki yakıt tüketimi (kg/h),

$N_e$  =Motor gücü (kW)'dür.

#### 4.DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Günümüzde otomobil kullanıcılarının ülkemizde bulabileceği üç farklı benzin bulunmaktadır. Bu benzinler oktan sayılarına göre sınıflandırılarak satışa sunulmaktadır. Deneylerimizde kullanılan benzinler ‘Shell’ marka 95-97-100 oktan sayılı benzinlerden temin edilmiştir. Bu benzinler ODTÜ Petrol Araştırma Laboratuvarında test edilmiş ve benzinlerin gerçek oktan sayıları belirlenmiştir. Buna göre 95 oktanlı benzinin 96 oktanlı, 97 oktanlı benzinin 96,9 oktanlı, 100 oktanlı benzinin ise 100,6 oktanlı olduğu görülmüştür. Gerçek oktan sayısı bu şekilde belirlenen benzinler deney sonuçlarında satışa sunuldukları oktan sayılı isimleriyle belirtilmiştir. Deneylerde dinamometre de motor devirleri sabit tutularak o devre karşılık motordan elde edilen tork değişim miktarları dikkate alınmıştır.

Deney motorunda tam gaz kelebeği açıklığında sabit motor devirlerine bağlı olarak tork, güç, özgül yakıt sarfiyatı grafikleri Şekil 4.1 de görülmektedir. Buna göre motorun ihtiyacından düşük oktanlı benzin kullanıldığında motorda vurunlu oluşmaktadır. Motorun ihtiyacından yüksek oktanlı benzin kullanıldığında ise ateşleme ile yanmanın başlaması arasında geçen süre uzadığından yanma sonu maksimum basınç istenen zamandan daha geç ortaya çıkmaktadır. Bu gecikmede piston genişleme zamanına başlayacağından motor çıkış gücü azalmaktadır. Grafiklerden de görüldüğü gibi 95 oktanlı benzin, motorun ihtiyaç duyduğu oktan sayısına en yakın oktan sayısı olduğundan maksimum tork değeri en yüksek çıkmıştır.

Maksimum tork elde edilen 2500 1/min için sırasıyla 95–97 ve 100 oktanlı benzinde tork değerleri 99,6-98,2-95,1Nm dir. Buna göre 95 oktanlı benzinin 97 oktanlı benzinden %1,4 ve 100 oktanlı benzinden ise % 3,6 daha yüksek maksimum torka sahip olduğu görülmektedir.

Maksimum gücün elde edildiği 4500 1/min değerinde sırasıyla 95-97 ve 100 oktan için 40,4-39,9-39,1 kW güçler elde edilmiştir. Buna göre 95 oktanlı benzin 97 oktanlı benzinden %1,4 ve 100 oktanlı benzinden %3,2 daha yüksek güç üretmektedir.

Özgül yakıt sarfiyatı değeri aynı maksimum tork devirlerinde diğer yakıtlara göre en düşük 95 oktanlı yakıtta bulunmuştur. Özgül yakıt sarfiyatları sırasıyla 95-97 ve 100 oktan için 217,8-221,9-247,3 g/kWh dir. Buna göre 95 oktanlı benzinin 97 oktanlı benzinden %1,8 ve 100 oktanlı benzinden %13,5 daha düşük değerde özgül yakıt tüketimine sahip olduğu görülmektedir.

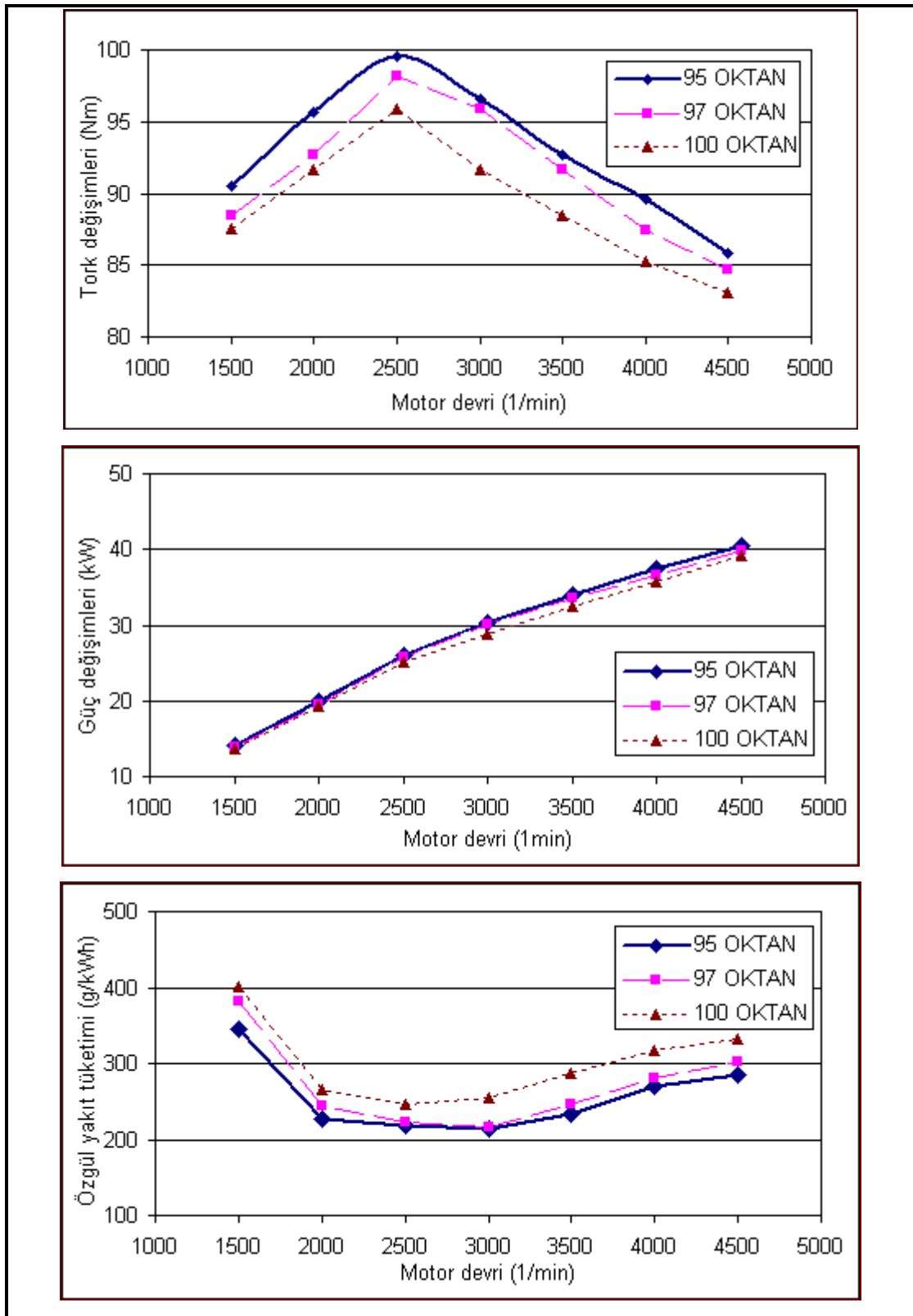
Aşağıda tam gaz kelebeği açıklığına göre motor performans grafikleri her üç yakıt için karşılaştırılmalı olarak verilmiştir (Şekil 4.1).

Şekil 4.2 de %100 gaz kelebeği açıklığında egzozdan kaynaklanan kirletici emisyonların deney benzinleri için karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir. Motor performans grafiklerinde de görüldüğü gibi 95 oktanlı benzinin yanma reaksiyonu diğerlerinden daha iyidir. Yanmanın iyi olması sayesinde yanmamış HC ve CO emisyonları 95 oktanlı benzinde daha iyi değerlerdeyken, yanma sonu sıcaklığı diğer yakıtlardan daha yüksek olması sebebiyle NO<sub>x</sub> emisyonları diğerlerinden yüksek çıkmıştır. Burada 95 oktanlı benzinin bütün deney devirlerinde HC ve CO miktarının 97 ve 100 oktanlı benzinlere göre daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda NO<sub>x</sub> emisyonları miktarı 97 ve 100 oktanlı benzinlerden bütün deney devirlerinde daha yüksek değerlerde çıkmıştır. Örneğin; 3000 1/min için sırasıyla 95-97 ve 100 oktanlı benzinlerin CO emisyon değerleri % 0,32-0,36-0,45 olarak ölçülmüştür.

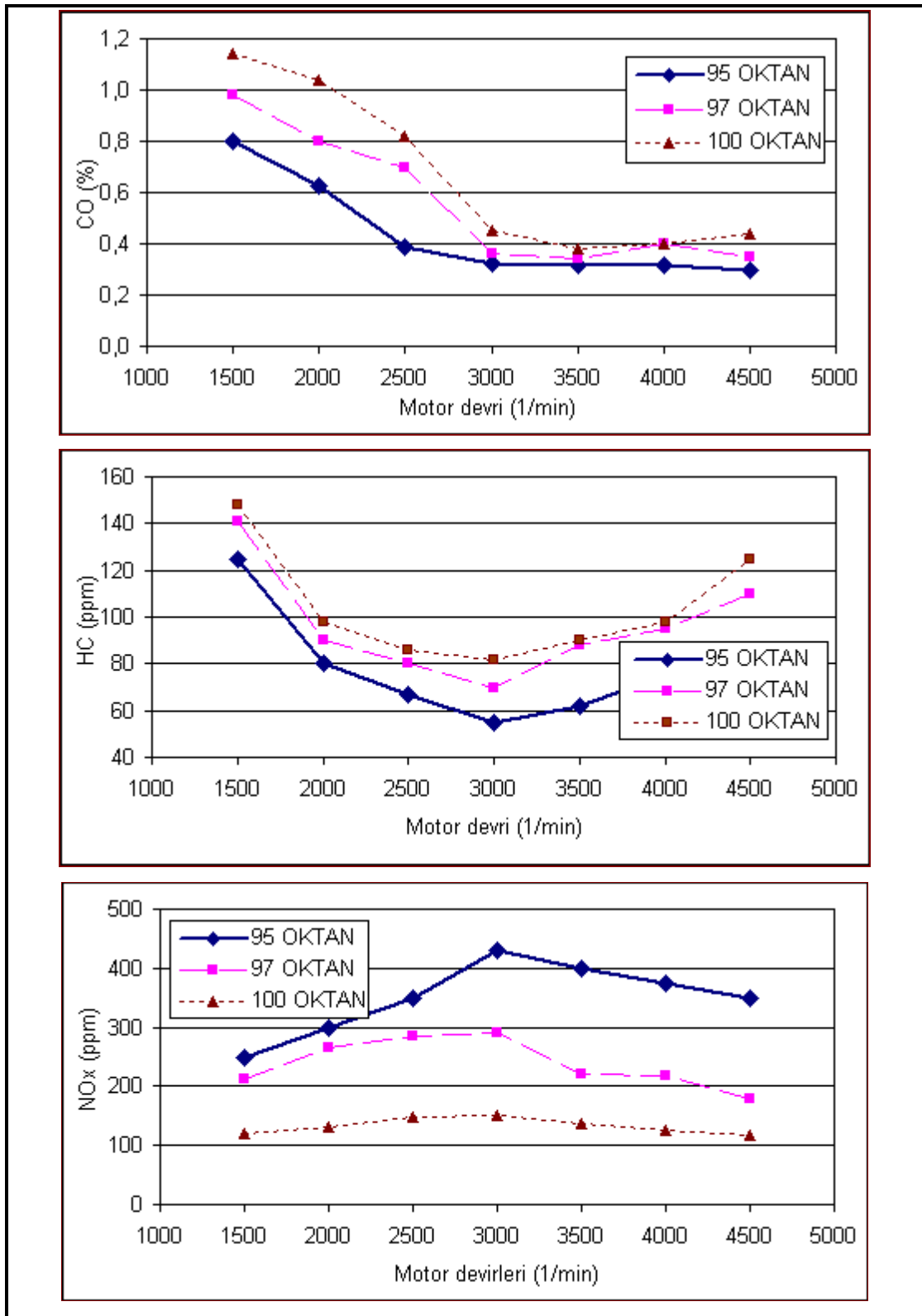
Yine aynı devirde 95-97 ve 100 oktanlı benzinlerin HC emisyonları sırasıyla 55-70-82 ppm ölçülmüştür.

NO<sub>x</sub> emisyonlarının en yüksek olduğu 3000 1/min kademesinde 95-97 ve 100 oktanlı benzinlerde sırasıyla 430-290-151 ppm NO<sub>x</sub> emisyonları ölçülmüştür.

%100 gaz kelebeği açıklığı için egzozdan kaynaklanan kirletici emisyonların deney benzinleri için karşılaştırmalı grafikleri Şekil 4.2 de verilmiştir.



Şekil.4.1. %100 gaz kelebeği açıklığındaki tork, güç ve özgül yakıt tüketimi değişimleri



Şekil 4.2. %100 gaz keleşği açıklığındaki CO, HC ve NOx emisyonlarının değişimleri



Diğer gaz kelebeği açıklıklarında da tekrar edilen deneylerden de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.3 de % 75 gaz kelebeği açıklığındaki motor performans grafikleri her üç yakıt için karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Şekil 4.3 de görülen %75 gaz kelebeği açıklığı için maksimum tork un elde edildiği 2500 1/min değerinde 95-97 ve 100 oktanlı benzinlerden sırasıyla 94,2-93,4-92,4 Nm tork elde edilmiştir. Buna göre 95 oktanlı benzin, 97 oktanlı benzinden %0,9 ve 100 oktanlı benzinden %1,9 daha yüksek tork değerine ulaşılmıştır.

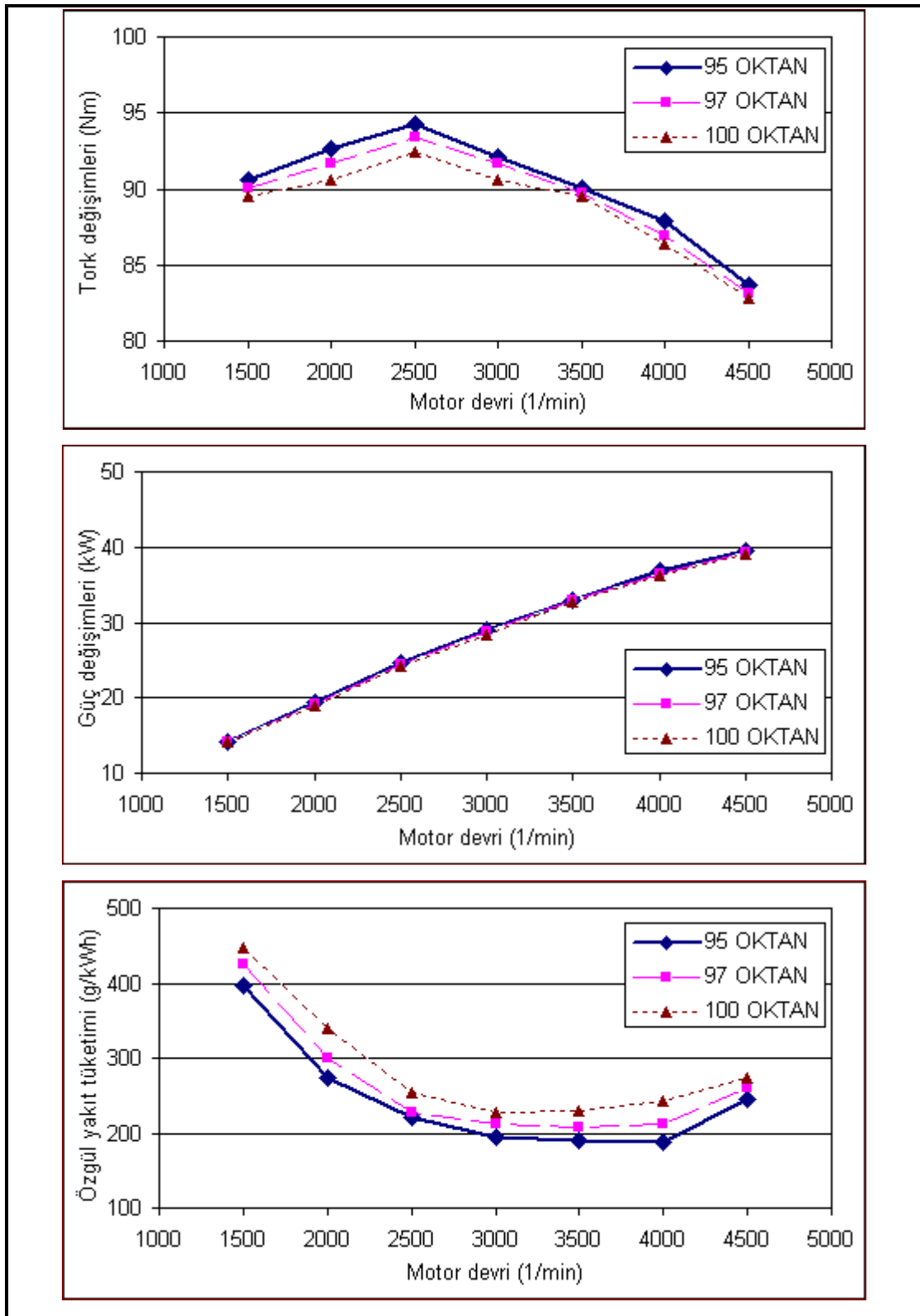
Her üç yakıt için %75 gaz kelebeği açıklığında elde edilen maksimum güç devri 4500 1/min dir. Bu devirde 95 oktanlı benzinden 39,4 kW, 97 oktanlı benzinden 39,2 kW, 100 oktanlı benzinden de 39 kW güç elde edilmiştir. Buna göre 95 oktanlı benzin 97 ve 100 oktanlı benzinden sırasıyla % 0,6 ve %1 daha fazla güç üretmiştir.

Aynı tork devri için 95 oktanlı benzin 221,6 g/kWh özgül yakıt tüketimine sahipken 97 ve 100 oktanlı benzinlerle sırasıyla 227,4 ve 253,1 g/kWh özgül yakıt tüketimi değerlerine ulaşılmıştır. Buna göre 95 oktanlı benzin, 97 oktanlı benzinden %2,6, 100 oktanlı benzinden ise %14,2 daha düşük özgül yakıt tüketimine sahip olduğu belirlenmiştir.

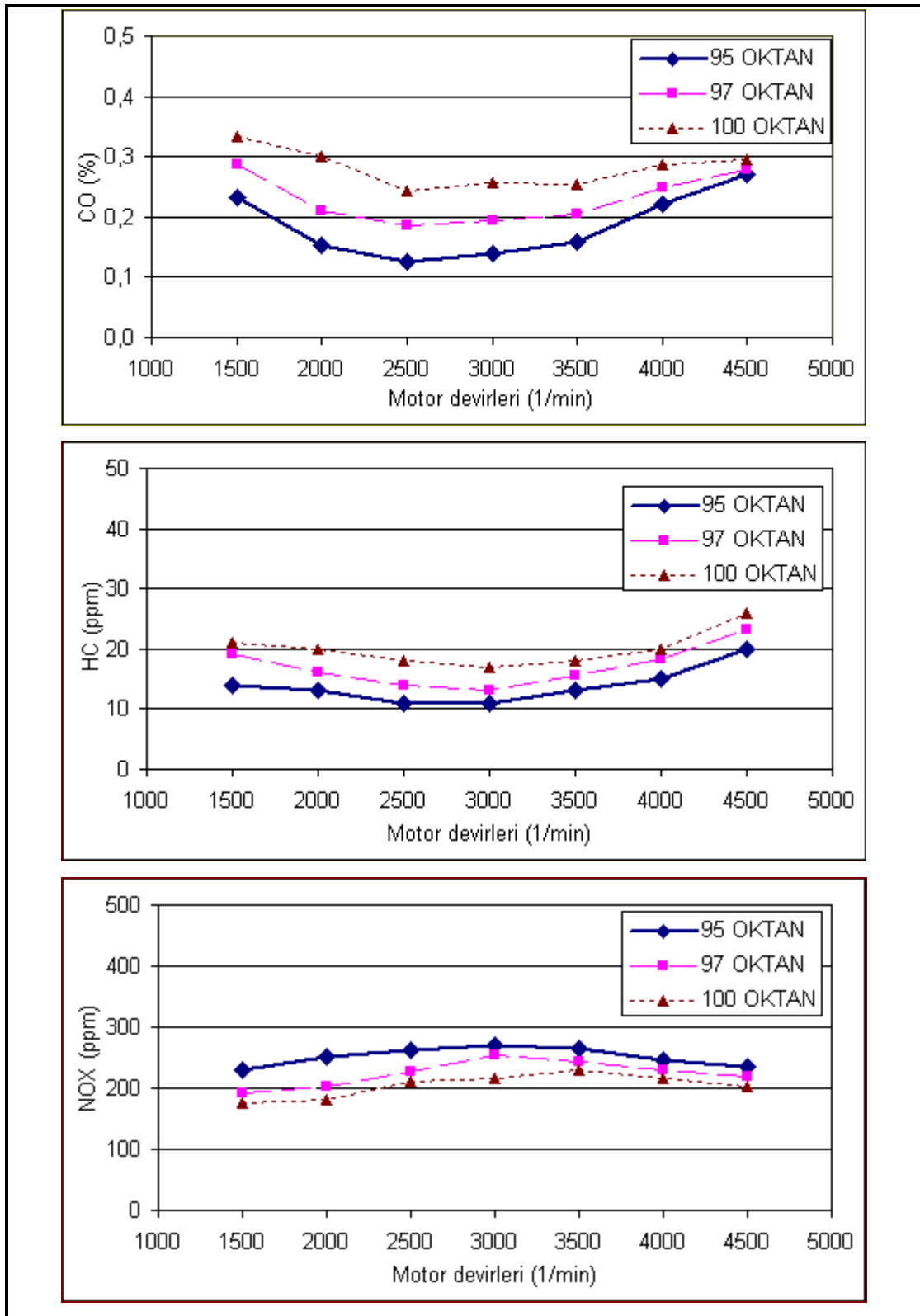
Şekil 4.4 de %75 gaz kelebeği açıklığında egzozdan kaynaklanan kirletici emisyonların deney benzinleri için karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir. Örneğin; 3000 1/min için 95-97 ve 100 oktanlı benzinlerin CO emisyon değerleri sırasıyla % 0,14-0,19-0,26 olarak ölçülmüştür.

Yine aynı devirde 95-97 ve 100 oktanlı benzinlerin HC emisyonları ise sırasıyla 11-13-17 ppm ölçülmüştür.

NO<sub>x</sub> emisyonlarının en yüksek olduğu 3000 1/min kademesinde 95-97 ve 100 oktanlı benzinlerden sırasıyla 270-254-216 ppm NO<sub>x</sub> emisyonları ölçülmüştür.%75 gaz kelebeği açıklığı için egzozdan kaynaklanan kirletici emisyonların deney benzinleri için karşılaştırmalı grafikleri Şekil 4.4 de verilmiştir.



Şekil.4.3. %75 gaz keleşi açıklığındaki tork, güç ve özgül yakıt tüketimi değişimleri



Şekil 4.4. %75 gaz keleşliği açıklığındaki CO, HC ve NOx emisyonlarının değişimleri

Şekil 4.5 de görülen %50 gaz kelebeği açıklığı için maksimum tork un elde edildiği 2500 1/min değerinde 95-97 ve 100 oktanlı benzinlerde sırasıyla 80,2-78,9-77,4 Nm tork alınmıştır. Buna göre 95 oktanlı benzin, 97 oktanlı benzinden %1,6 ve 100 oktanlı benzinden %3,5 daha yüksek tork değerine ulaşmıştır.

Her üç yakıt için %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilen maksimum güç devri 4500 1/min dir. Bu devirde 95 oktanlı benzinden 25,9 kW, 97 oktanlı benzinden 25,4 kW, 100 oktanlı benzinden de 24,6 kW güç elde edilmiştir. Buna göre 95 oktanlı benzin 97 ve 100 oktanlı benzinden sırasıyla %1,9 ve %4,9 daha yüksek güç üretmiştir.

Aynı tork devri için 95 oktanlı benzin 251,1 g/kWh özgül yakıt tüketimine sahipken 97 ve 100 oktanlı benzinler sırasıyla 264,7 ve 276,7 g/kWh özgül yakıt tüketimi değerlerine ulaşmışlardır. Buna göre 95 oktanlı benzin, 97 oktanlı benzinden %5,4, 100 oktanlı benzinden ise %10,2 daha düşük özgül yakıt tüketimine sahiptir.

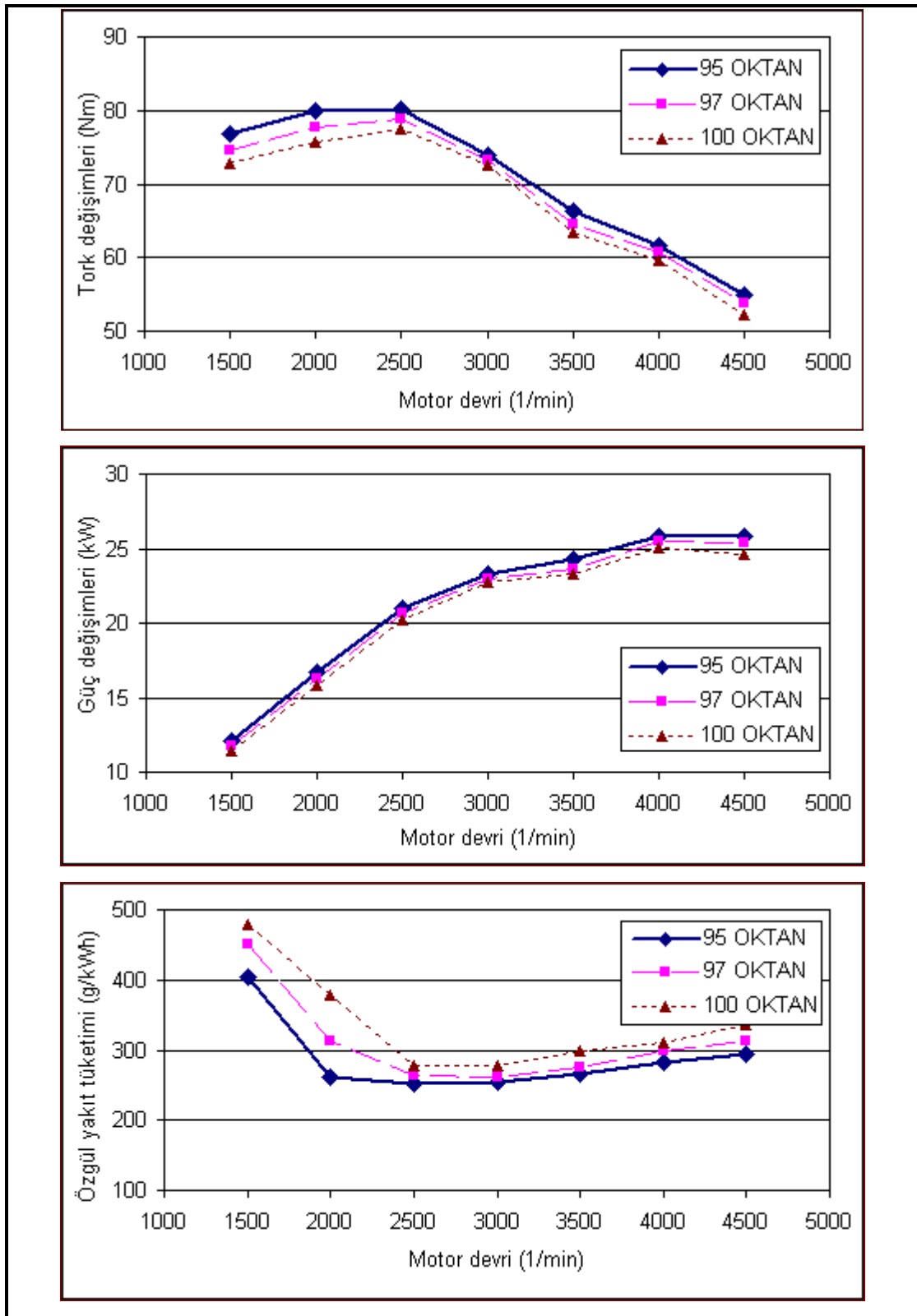
Şekil 4.5 de %50 gaz kelebeği açıklığında 95-97 ve 100 oktanlı benzinler için motor performans değişimlerinin grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Şekil 4.6 da %50 gaz kelebeği açıklığında egzozdan kaynaklanan kirletici emisyonların deney benzinleri için karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir. Örneğin; 3000 1/min için 95-97 ve 100 oktanlı benzinlerin CO emisyon değerleri sırasıyla % 0,51-0,67-0,78 olarak ölçülmüştür.

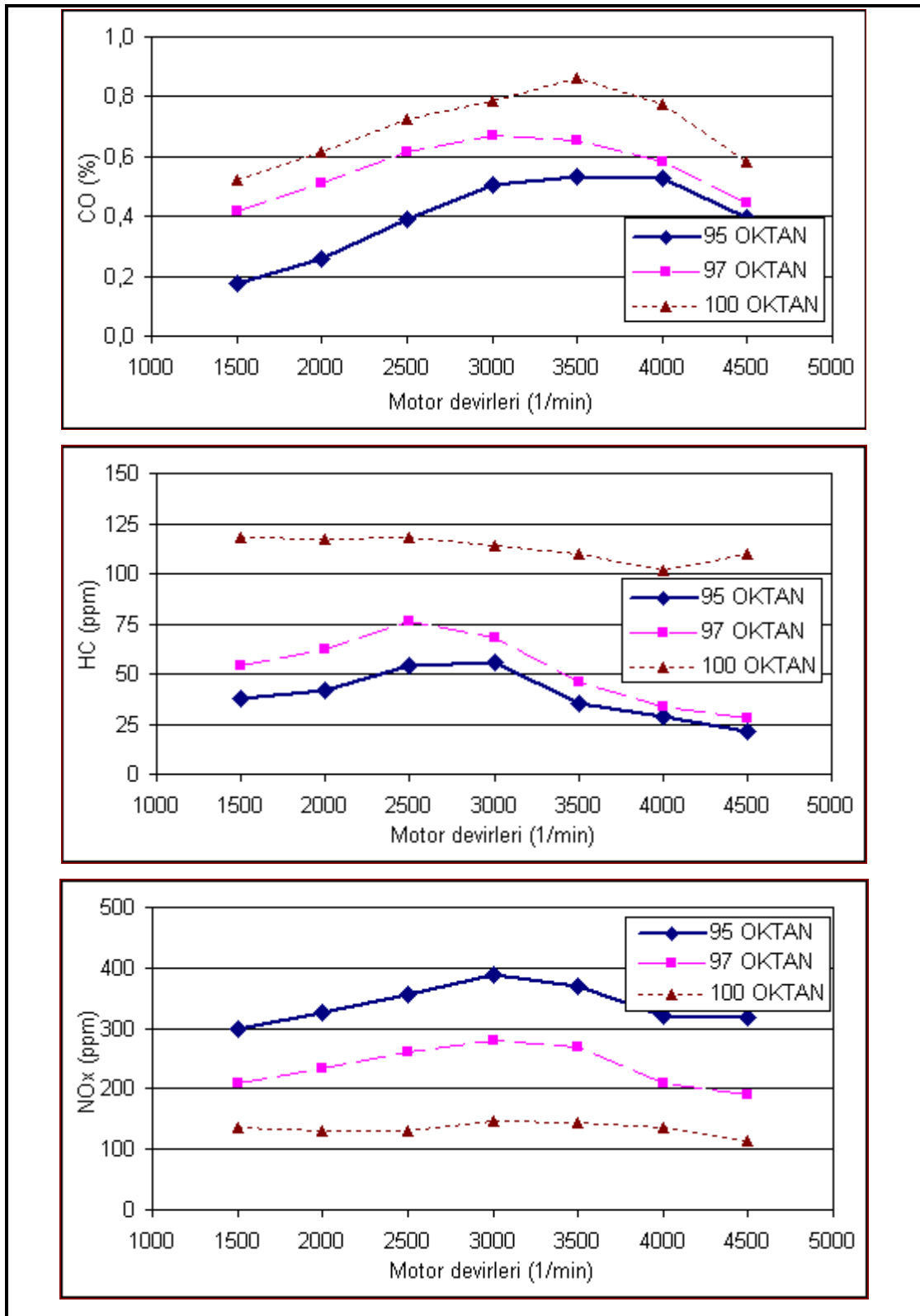
Yine aynı devirde 95-97 ve 100 oktanlı benzinlerin HC emisyonları sırasıyla 56-68-114 ppm ölçülmüştür.

NO<sub>x</sub> emisyonlarının en yüksek olduğu 3000 1/min kademesinde 95-97 ve 100 oktanlı benzinlerden sırasıyla 389-280-148 ppm NO<sub>x</sub> emisyonları ölçülmüştür.

%50 gaz kelebeği açıklığı için egzozdan kaynaklanan kirletici emisyonların deneyde kullanılan benzinler için karşılaştırmalı grafikleri Şekil 4.6 da verilmiştir.



Şekil 4.5. %50 gaz keleşi açıklığındaki tork, güç ve özgül yakıt tüketimi değişimleri



Şekil 4.6. %50 gaz keleşi açıklığındaki CO, HC ve NOx emisyonlarının değişimleri

Şekil 4.7. de görülen %25 gaz kelebeği açıklığı kademesindeki deney sonuçları grafiklerinde motor 4500 1/min değerine yüksüz dahi olsa çıkartılamadığı için bu gaz kelebeği açıklığında değerler 4000 1/min ile sınırlandırılmıştır. %25 gaz kelebeği açıklığı için maksimum tork un elde edildiği 1500 1/min değerinde 95-97 ve 100 oktanlı benzinlerde sırasıyla 56,5-52,2-48 Nm tork elde edilmiştir. Buna göre 95 oktanlı benzin, 97 oktanlı benzinden %7,5 ve 100 oktanlı benzinden %15,1 daha yüksek tork değerine ulaşmıştır.

Her üç yakıt için %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilen maksimum güç devri 1500 1/min dir. Bu devirde 95 oktanlı benzinden 8,9 kW, 97 oktanlı benzinden 8,2 kW, 100 oktanlı benzinden de 7,5 kW güç elde edilmiştir. Buna göre 95 oktanlı benzin 97 ve 100 oktanlı benzinden sırasıyla %7,5 ve %15,1 daha yüksek güç üretmiştir.

Aynı tork devri için 95 oktanlı benzin 310,6 g/kWh özgül yakıt tüketimine sahipken 97 ve 100 oktanlı benzinler sırasıyla 325,7 ve 342,6 g/kWh özgül yakıt tüketimi değerlerine ulaşmışlardır. Buna göre 95 oktanlı benzin, 97 oktanlı benzinden %4,9, 100 oktanlı benzinden ise %10,3 daha düşük özgül yakıt tüketimine sahiptir.

Şekil 4.7. de %25 gaz kelebeği açıklığındaki tork, güç ve özgül yakıt tüketimi değişimleri verilmiştir.

%100 gaz kelebeği açıklığında olduğu gibi diğer kademe gaz kelebeği açıklıklarında da motorun sıkıştırma oranı 95 oktanlı benzin için daha uygun olduğundan 95 oktanlı benzin için motor performans değerleri daha iyi çıkmıştır.

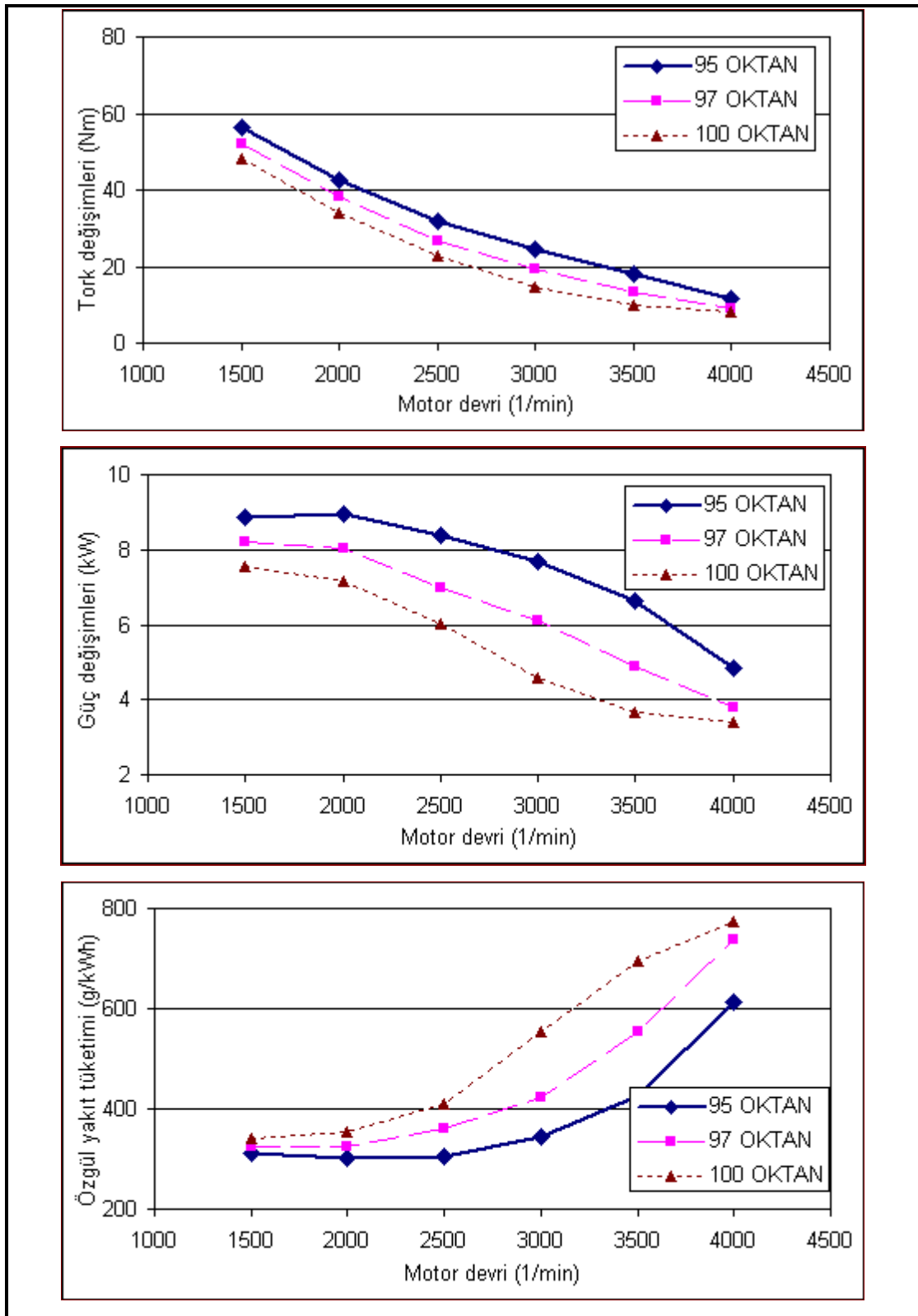
Şekil 4.8 de %25 gaz kelebeği açıklığında egzozdan kaynaklanan kirletici emisyonların deney benzinleri için karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir. Bu kademe deneylerde gaz kelebeği açıklığı çok az olduğu için motor kararlı bir çalışma göstermemiştir. Bu şartlarda kirletici emisyon değerleri grafiklerdeki gibi sapmalar göstermiştir. Örneğin; 3000 1/min için 95-97 ve 100 oktanlı benzinlerin CO emisyon değerleri sırasıyla % 0,81-0,98-0,41 olarak ölçülmüştür.

Yine aynı devirde 95-97 ve 100 oktanlı benzinlerin HC emisyon değişimleri sırasıyla 44-46-12 ppm ölçülmüştür.

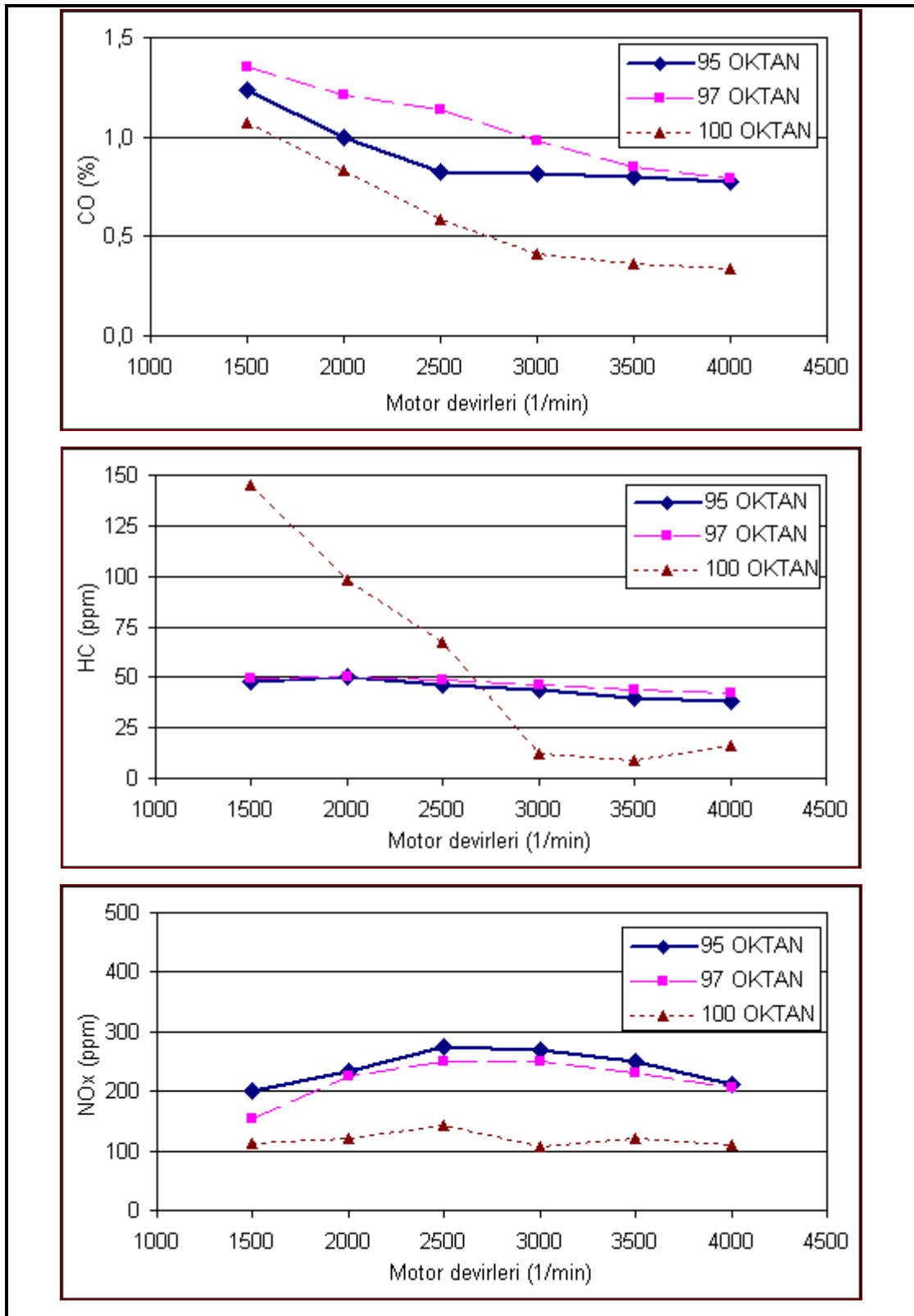
NO<sub>x</sub> emisyonlarının en yüksek olduğu 3000 1/min kademesinde 95-97 ve 100 oktanlı benzinlerde sırasıyla 269-250-107 ppm NO<sub>x</sub> emisyonları ölçülmüştür.

%25 gaz kelebeği açıklığı için egzozdan kaynaklanan kirletici emisyonların deney benzinleri için karşılaştırmalı grafikleri Şekil 4.8 de verilmiştir.





Şekil 4.7. %25 gaz kelebeği açıklığındaki tork, güç ve özgül yakıt tüketimi değişimleri



Şekil 4.8. %25 gaz keleşği açıklığındaki CO, HC ve NOx emisyonlarının değişimleri

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde otomobil kullanıcılarına sunulan değişik oktan sayılı yakıtların farklı fiyatları vardır. Oktan sayısı arttıkça yakıtın satış fiyatı artmaktadır. Kullanıcılar kendi araçlarında, araçlarının motorlarının ihtiyaç duyduğu oktan sayısından yüksek oktanlı benzin kullandıklarında avantaj elde edebilirler mi? Bu sorunun cevabı olması için yapılan deneysel ve teorik çalışmaların sonunda elde edilen veriler aşağıda değerlendirilmiştir.

Yapılan teorik çalışmalarda motorun ihtiyaç duyduğu oktan sayısının motorun sıkıştırma oranına bağlı olduğu görülmüştür. Sıkıştırma oranı arttıkça yakıtın oktan sayısının da artırılması gerektiği bilinmektedir. Deneylerimizde kullandığımız FORD VSG 413 marka motorun sıkıştırma oranı 8,8/1 dir. Çizelge 2.1 de görüldüğü gibi motorun sıkıştırma oranına göre ihtiyaç duyduğu oktan sayısı yaklaşık 95 oktan dir.

Deneyler sonucunda da 95 oktanlı benzin motor torku ve motor gücü değişimlerinde 97 ve 100 oktanlı benzine göre daha yüksek değerlere ulaşmıştır. %25-%50-%75 ve tam gaz kelebeği açıklıklarında da tekrar edilen deneylerin sonuçları aynı çıkmıştır. Dolayısıyla tüm kullanım şartlarında motor gücü ve motor torku 95 oktanlı benzinde 97 ve 100 oktanlı benzine göre daha iyidir. Buna bağlı olarak özgül yakıt sarfiyatı değerleri de 95 oktanlı benzinde 97 ve 100 oktanlı benzine göre daha düşük çıkmıştır.

Yüksek oktanlı benzin kullanıldığında yakıtın tutuşması için gerekli olan sıcaklık arttığından tutuşma daha geç gerçekleşmektedir. Tutuşmanın gecikmesi ile yanma sonu maksimum basınç oluşması gereken zamandan daha geç oluşmaktadır. Bu da pistonun genişleme zamanında yanmanın hala devam etmesine sebep olmaktadır. Piston genişleme zamanına başladığında yanma tam tamamlanamadan sönmeye başlamakta ve yanmamış HC ve CO emisyonları açığa çıkmaktadır. 95 oktanlı benzinde ise NO<sub>x</sub> emisyonlarının daha yüksek çıktığı görülmektedir. Teorik çalışmalara göre NO<sub>x</sub> emisyonlarının yüksek olması yanma sonu sıcaklığının yüksek olmasına bağlıdır. Bu durumda daha iyi bir yanma reaksiyonuna sahip olan 95

oktanlı benzin için yanma sonu sıcaklıklarının yüksek olması  $\text{NO}_x$  emisyonlarına neden olmaktadır. 95-97 ve 100 oktanlı benzinler kullanılarak yapılan deneylerde dört farklı gaz kelebeği açıklığı kullanılmıştır. Bunlar %25-%50-%75 ve %100 gaz kelebeği açıklıklarıdır. Bu kademelerde yapılan deneylerin tamamında 95 oktanlı benzinin 97 ve 100 oktanlı benzine göre CO ve HC emisyon değerlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.  $\text{NO}_x$  emisyonları ise diğerlerine göre daha yüksek değerlerde bulunmuştur.

Elde edilen bu bilgiler doğrultusunda otomobil kullanıcıları otomobillerinin motorları için üretici tavsiyesi olan oktan sayılı benzini kullanmalıdırlar. Daha fazla bedel ödenerek temin edilen yüksek oktanlı benzinlerin motor performansı ve emisyonlar yönünden herhangi bir avantajının bulunmadığı görülmektedir.

İleride yakıtların oktan sayılarının motor performansı ile ilişkisi üzerine yapılacak çalışmalarda günümüzde bulunabilen benzinlerin oktan sayılarının hangi sıkıştırma oranlarına uygun olduğu değişken sıkıştırma oranlı deney motorları ile tespit edilebilir. Ayrıca yüksek oktanlı benzin kullanıldığında motorda yanmanın maksimum sıcaklıkları tespit edilerek emisyonların sebepleri ortaya konacak olursa daha sağlıklı bir bilgiye ulaşılmasının sağlanacağı düşünülmektedir.


## KAYNAKLAR

1. Nagai, K., Seko, T., "Trends of Motor Fuel Quality in Japan", *JSAE Review*, 21: 457-462, (2000).
2. Chong, T., Coon, J., "A Generalized Interaction Method for The Prediction of Octane Numbers for Gasoline Blends" *Simulation Sciences Inc.*, USA, (CA 92621):1-18, (2000).
3. Altıparmak, D., İcingür, Y., "Influence of Cetane Number on Exhaust Emission in A DI Engines." *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14 (3):1-2, (2001).
4. Wusz, T., "How Much Octane." *Reprinted with Permission from National Dragster*, USA, 1-3, (1997).
5. Waters, P., Thrippe, C., "New Concept in Octane Boosting" *Fuels for International Conference on Reactive Processing of Polymers*, Pittsburgh,11-22, (1982).
6. Sakaguchi, T., "Influence of Diffusion of Fuel-Efficient Motor Vehicles on Gasoline Demand for Individual User Owned Passenger Cars." *Energy Policy, The Institute of Energy Economics*, 895-903. (2000).
7. *Setting National Fuel Quality Standards*, "Proposed Management of Petrol Octane Enhancing Additives/Products", Australia, 7-26 (2000).
8. Çetinkaya, S. ve Çelik, B., "Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Olarak Metanol-Benzin Karışımlarının Kullanılması", *5. Uluslar arası Yanma Sempozyumu*, Bursa, 252-264, (1998).
9. Sayın, C., "Oktan Sayısı ve LPG Karışımının Buji Ateşlemeli Bir Motorun Performans ve Emisyonuna Etkisinin Deneysel İncelenmesi",Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 2-4 (2004).
10. Çengel. A. Y., Boles. A. M., "Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik", *İ.T.Ü. Makine Fakültesi*, İstanbul, 413-416,(1996).
11. Rogowski, S.M.," Elements of Internal-Combustion Engines", *McGraw-Hill Book Company*, New York, 97-114, (1953)
12. Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H.E., Soruşbay, C., "İçten Yanmalı Motorlar", *İ.T.Ü. Makine Fakültesi*, İstanbul, 43-137 (1995).
13. Taylor, C.F., "The Internal Combustion Engine in Theory and Practice", *The M.I.T. Press*, Cambridge, Massachusetts, 2: 34-85, (1984).

14. Maleev, V.L., "Internal-Combustion Engines", *McGraw-Hill Book Company*, Oklahoma, 69-101, (1973).
15. "The Internal Combustion Engine in Theory and Practice", *The M.I.T. Press*, Cambridge, Massachusetts, 2:34-85, (1984).
16. Hamilton, B., "Automotive Gasoline Technical", *FAQ: Automotive Gasoline*, parts 1-4, (1995).
17. Safgönül, B., "Pistonlu Motorlar Cilt 1", *İ.T.Ü. Makine Fakültesi*, İstanbul, 82-83 (1989).
18. ASTM D 2700-92.IP236/83, "Standard Test Method for Knock Characteristic of Motor and Aviation Fuels by the Motor Method", *Annual Book of ASTM Standards v.05.04 Petroleum Products and Lubricants*, 8-32 (1994).
19. ASTM D 2699-92.IP237/69, "Standard Test Method for Knock Characteristic of Motor Fuels by the Research Method", *Annual Book of ASTM Standards v.05.04. Petroleum Products and Lubricants*, 38-56 (1994).
20. Çetinkaya, S., "Dört Zamanlı Buji İle Ateşlemeli Bir Motor Performansının Bilgisayar Yardımı İle Simulasyonu", Doktora Tezi, *G.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 28-46, (1987).
21. Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., "Yanma Aerotermokimya Bilgisi", *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları-4*, İstanbul, Ankara, Bursa, 20-80, (1992).
22. Kutlar, O.A., Ergeneman, M., Arslan, H., Mutlu, M., "Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler", *İ.T.Ü. Makine Fakültesi*, İstanbul, 40-53, (1998).
23. Ergün, Ö., Mengi, A., "Egzoz Gazlarının Çevreye Etkileri", *İ.T.Ü. Vakfı*, İstanbul, 69-79, (1996).

**EKLER**

## EK-1. ODTÜ PAL Deney benzinleri test sonuçları



**ODTÜ Petrol Araştırma Merkezi**  
İnönü Bulvarı 06531 Ankara  
**PETROL ÜRÜNLERİ DENETİM ANALİZLERİ**  
**DENEY RAPORU**

AB-0022T  
08-15-534  
14-04-08

**Talep Eden\*\*:** G.Ü.Teknik Eğitim Fakültesi  
**İl / İlçe:** Ankara / Belirsiz  
**Şirket:** Belirsiz  
**PAL'e Geliş Tarihi:** 03.04.2008  
**Dön.Ser.No / Ref. No:** 08-16-25-3-00-15 / 534  
**Rafineri/Depo/Ülke:** Belirsiz/

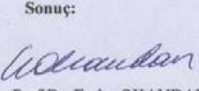
**Bayii/Firma Adresi:** 97 Oktan Süper  
**Rapor Tarihi:** 14.04.2008  
**Numune Yeri:**  
**Numune Tarihi:**

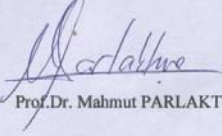
**Kurşunsuz Benzin** 1 Nisan - 31 Ekim (+/- 4 hafta)

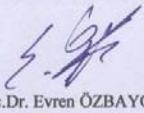
|   | YÖNTEM              | TS EN 228/Aralık 2005 Ölçüm Belirsizliği | PAL Sonuç           |
|---|---------------------|--|---------------------|
| <b>Görünüş</b>                                | Gözle Muayene       | Berrak ve Parlak                         | Yeşil Berrak Parlak |
| * <b>Distilasyon, % (v/v)</b>                 | TS 1232 EN ISO 3405 |  |                     |
| 70 °C   |                     | %15-48 ±                                 |                     |
| 100 °C  |                     | %40-71 ±                                 |                     |
| 150 °C  |                     | %75 (en az) ±                            |                     |
| Kaynama Noktası Sonu, °C                      |                     | 210 (en fazla) ±                         |                     |
| Distilasyon Kalıntısı, % (v/v)                |                     | 2 (en fazla) ±                           |                     |
| * <b>Yoğunluk, kg/m<sup>3</sup>, 15 °C'da</b> | ISO 12185           | 720-775 ±                                |                     |
| <b>Reid Buhar Basıncı, kPa</b>                | ASTM D 323          | 45-60 ±                                  |                     |
| * <b>Kurşun, mg/L</b>                         | IP 352              | 5 (en fazla) ±                           |                     |
| * <b>Kükürt, mg/kg</b>                        | ISO 20846           | 500 (en fazla) ±                         |                     |
| * <b>Kükürt, mg/kg</b>                        | TS EN ISO 8754      | 500 (en fazla) ±                         |                     |
| * <b>Araştırma Oktan Sayısı (RON)</b>         | FTIR                | 95 (en az) ± 0.04                        | <b>96</b>           |
| * <b>Motor Oktan Sayısı (MON)</b>             | FTIR                | 85 (en az) ±                             |                     |
| <b>Buhar Kilitlenme İndisi (VLI)</b>          | TS EN 228           | 1150 (en fazla) ±                        |                     |
| <b>Oksidasyon Kararlılığı, dk</b>             | TS 2646 EN ISO 7536 | 360 (en az) ±                            |                     |
| <b>Mevcut Gom, mg/100 mL</b>                  | TS EN ISO 6246      | 5 (en fazla) ±                           |                     |
| * <b>Bakır Şerit Kor., 3 saat, 50°C</b>       | TS 2741 EN ISO 2160 | 1  |                     |
| <b>Buhar Basıncı, kPa</b>                     | TS EN 13016-1       | 45 - 60 ±                                |                     |
| * <b>Olefinler, %(v/v)</b>                    | ASTM D 5134         | 18 (en fazla) ±                          |                     |
| * <b>Aromatikler, %(v/v)</b>                  | ASTM D 5134         | 50 (en fazla) ±                          |                     |
| * <b>Benzen, %(v/v)</b>                       | ASTM D 5134         | 2,5 (en fazla) ±                         |                     |
| * <b>Oksijen Miktarı, %(m/m)</b>              | ASTM D 4815         | 2,7 (en fazla) ±                         |                     |
| * <b>Oksijenli Bileşikler, %(v/v)</b>         | ASTM D 4815         |  |                     |

**Not:** Numune şişesinin ağzının koli bantı ile kapatıldığı görüldü.

**Sonuç:**

  
Prof. Dr. Ender OKANDAN

  
Prof. Dr. Mahmut PARLAKTUNA

  
Yrd. Doç. Dr. Evren ÖZBAYOĞLU

\*\* İşaretili deneyler akreditasyon kapsamı dahilindedir. \*\*\* Numune, analizi talep eden kurum/kişi tarafından alınıp merkezimize gönderilmiştir. Bu rapor, laboratuvarımızın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürlü raporlar geçerlidir. Analiz sonuçları getirilen numuneye aittir.


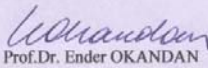
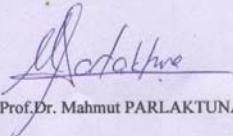
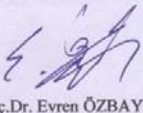
PAL, Petroleum Research Center, Middle East Technical University, 06531 Ankara-Türkiye  
PAL, Petrol Araştırma Merkezi, ODTÜ, 06531 Ankara-Türkiye Tel: (90)(312) 210 28 97, Fax: 210 56 68

Petrol Araştırma Merkezi  
ODTÜ 2/2

Resim 1.1. 95 oktan benzin için test raporu




## EK-1.(Devam) ODTÜ PAL Deney benzinleri test sonuçları

|  |  |   |                    |
|--|--|---|--------------------|
|   | <b>ODTÜ Petrol Araştırma Merkezi</b><br>İnönü Bulvarı 06531 Ankara<br><b>PETROL ÜRÜNLERİ DENETİM ANALİZLERİ</b><br><b>DENEY RAPORU</b> |   | AB-0022T           |
|  |  |   | 08-15-535          |
|  |  |   | 14-04-08           |
| <b>Talep Eden**:</b>   | G.Ü.Teknik Eğitim Fakültesi  |   |                    |
| <b>İl / İlçe:</b>  | Ankara / Belirsiz  | <b>Bayii/Firma Adresi:</b>  |                    |
| <b>Şirket:</b>   | Belirsiz   | 97 Oktan  |                    |
| <b>PAL'e Geliş Tarihi:</b>   | 03.04.2008   |   |                    |
| <b>Dön.Ser.No / Ref. No:</b>   | 08-16-25-3-00-15 / 535   |   |                    |
| <b>Rafineri/Depo/Ülke:</b>   | Belirsiz/  |   |                    |
|  |  | <b>Rapor Tarihi:</b>  | 14.04.2008         |
|  |  | <b>Numune Yeri:</b>   |                    |
|  |  | <b>Numune Tarihi:</b>   |                    |
| <b>Kurşunsuz Benzin</b>  | 1 Nisan - 31 Ekim (+/- 4 hafta)  |   |                    |
|  | <b>YÖNTEM</b>  | <b>TS EN 228/Aralık 2005 Ölçüm Belirsizliği</b>                                       | <b>PAL Sonuç</b>   |
| <b>Görünüş</b>   | Gözle Muayene  | Berrak ve Parlak  | Sarı Berrak Parlak |
| * <b>Distilasyon, % (v/v)</b>  | TS 1232 EN ISO 3405  |   |                    |
| 70 °C  |  | %15-48  | ±                  |
| 100 °C   |  | %40-71  | ±                  |
| 150 °C   |  | %75 (en az)   | ±                  |
| Kaynama Noktası Sonu, °C   |  | 210 (en fazla)  | ±                  |
| Distilasyon Kalıntısı, % (v/v)   |  | 2 (en fazla)  | ±                  |
| * <b>Yoğunluk, kg/m<sup>3</sup>, 15 °C'da</b>  | ISO 12185  | 720-775   | ±                  |
| <b>Reid Buhar Basıncı, kPa</b>   | ASTM D 323   | 45-60   | ±                  |
| * <b>Kurşun, mg/L</b>  | IP 352   | 5 (en fazla)  | ±                  |
| * <b>Kükürt, mg/kg</b>   | ISO 20846  | 500 (en fazla)  | ±                  |
| * <b>Kükürt, mg/kg</b>   | TS EN ISO 8754   | 500 (en fazla)  | ±                  |
| * <b>Araştırma Oktan Sayısı (RON)</b>  | FTIR   | 95 (en az)  | ± 0.04             |
| * <b>Motor Oktan Sayısı (MON)</b>  |  | 85 (en az)  | ±                  |
| <b>Buhar Kilitleme İndisi (VLI)</b>  | TS EN 228  | 1150 (en fazla)   | ±                  |
| <b>Oksidasyon Kararlılığı, dk</b>  | TS 2646 EN ISO 7536  | 360 (en az)   | ±                  |
| <b>Mevcut Gom, mg/100 mL</b>   | TS EN ISO 6246   | 5 (en fazla)  | ±                  |
| * <b>Bakır Şerit Kor., 3 saat, 50°C</b>  | TS 2741 EN ISO 2160  | 1   |                    |
| <b>Buhar Basıncı, kPa</b>  | TS EN 13016-1  | 45 - 60   | ±                  |
| * <b>Olefinler, % (v/v)</b>  | ASTM D 5134  | 18 (en fazla)   | ±                  |
| * <b>Aromatikler, % (v/v)</b>  | ASTM D 5134  | 50 (en fazla)   | ±                  |
| * <b>Benzen, % (v/v)</b>   | ASTM D 5134  | 2,5 (en fazla)  | ±                  |
| * <b>Oksijen Miktarı, % (m/m)</b>  | ASTM D 4815  | 2,7 (en fazla)  | ±                  |
| * <b>Oksijenli Bileşikler, % (v/v)</b>   | ASTM D 4815  |   |                    |
| <b>Not:</b>  | Numune şişesinin ağzının koli bantı ile kapatıldığı görüldü.   |   |                    |
| <b>Sonuç:</b>  |  |   |                    |
|   |   |  |                    |
| Prof. Dr. Ender OKANDAN  | Prof. Dr. Mahmut PARLAKTUNA  | Yrd. Doç. Dr. Evren ÖZBAYOĞLU   |                    |
| <small>** İşaretili deneyler akreditasyon kapsamı dahilindedir. ** Numune, analizi talep eden kurum/kiji tarafından atılmı merkezimize gönderilmiştir. Bu rapor, laboratuvarımızın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz raporlar geçersizdir. Analiz sonuçları getirilen numuneye aittir.</small> |  |   |                    |
| <small>PAL, Petroleum Research Center, Middle East Technical University, 06531 Ankara-Turkey<br/>         PAL, Petrol Araştırma Merkezi, ODTÜ, 06531 Ankara-Türkiye Tel: (90)(312) 210 28 97, Fax: 210 56 68</small>   |  |   |                    |
|  |  |   | 2/2                |

Resim 1.2. 97 oktan benzin için test raporu

## EK-1.(Devam) ODTÜ PAL Deney benzinleri test sonuçları



**ODTÜ Petrol Araştırma Merkezi**  
İnönü Bulvarı 06531 Ankara  
**PETROL ÜRÜNLERİ DENETİM ANALİZLERİ**  
**DENEY RAPORU**

AB-0022T  
08-15-536  
14-04-08

**Talep Eden\*\*:** G.Ü.Teknik Eğitim Fakültesi  
**İl / İlçe:** Ankara / Belirsiz  
**Şirket:** Belirsiz  
**PAL'e Geliş Tarihi:** 03.04.2008  
**Dön.Ser.No / Ref. No:** 08-16-25-3-00-15 / 536  
**Rafineri/Depo/Ülke:** Belirsiz/

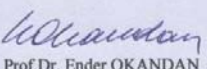
**Bayii/Firma Adresi:** 98+2 VIP Racing  
**Rapor Tarihi:** 14.04.2008  
**Numune Yeri:**  
**Numune Tarihi:**

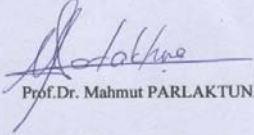
**Kurşunsuz Benzin** 1 Nisan - 31 Ekim (+/- 4 hafta)

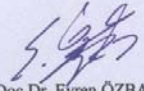
|   | YÖNTEM              | TS EN 228/Aralık 2005 Ölçüm Belirsizliği | PAL Sonuç          |
|---|---------------------|--|--------------------|
| <b>Görünüş</b>                                | Gözle Muayene       | Berrak ve Parlak                         | Sarı Berrak Parlak |
| * <b>Distilasyon, % (v/v)</b>                 | TS 1232 EN ISO 3405 |  |                    |
| 70 °C   |                     | %15-48 ±                                 |                    |
| 100 °C  |                     | %40-71 ±                                 |                    |
| 150 °C  |                     | %75 (en az) ±                            |                    |
| Kaynama Noktası Sonu, °C                      |                     | 210 (en fazla) ±                         |                    |
| Distilasyon Kalıntısı, % (v/v)                |                     | 2 (en fazla) ±                           |                    |
| * <b>Yoğunluk, kg/m<sup>3</sup>, 15 °C'da</b> | ISO 12185           | 720-775 ±                                |                    |
| <b>Reid Buhar Basıncı, kPa</b>                | ASTM D 323          | 45-60 ±                                  |                    |
| * <b>Kurşun, mg/L</b>                         | IP 352              | 5 (en fazla) ±                           |                    |
| * <b>Kükürt, mg/kg</b>                        | ISO 20846           | 500 (en fazla) ±                         |                    |
| * <b>Kükürt, mg/kg</b>                        | TS EN ISO 8754      | 500 (en fazla) ±                         |                    |
| * <b>Araştırma Oktan Sayısı (RON)</b>         | FTIR                | 95 (en az) ± 0.04                        | <b>100,6</b>       |
| * <b>Motor Oktan Sayısı (MON)</b>             |                     | 85 (en az) ±                             |                    |
| <b>Buhar Kilitlenme İndisi (VLI)</b>          | TS EN 228           | 1150 (en fazla) ±                        |                    |
| <b>Oksidasyon Kararlılığı, dk</b>             | TS 2646 EN ISO 7536 | 360 (en az) ±                            |                    |
| <b>Mevcut Gom, mg/100 mL</b>                  | TS EN ISO 6246      | 5 (en fazla) ±                           |                    |
| * <b>Bakır Şerit Kor., 3 saat, 50°C</b>       | TS 2741 EN ISO 2160 | 1  |                    |
| <b>Buhar Basıncı, kPa</b>                     | TS EN 13016-1       | 45 - 60 ±                                |                    |
| * <b>Olefinler, % (v/v)</b>                   | ASTM D 5134         | 18 (en fazla) ±                          |                    |
| * <b>Aromatikler, % (v/v)</b>                 | ASTM D 5134         | 50 (en fazla) ±                          |                    |
| * <b>Benzen, % (v/v)</b>                      | ASTM D 5134         | 2,5 (en fazla) ±                         |                    |
| * <b>Oksijen Miktarı, % (m/m)</b>             | ASTM D 4815         | 2,7 (en fazla) ±                         |                    |
| * <b>Oksijenli Bileşikler, % (v/v)</b>        | ASTM D 4815         |  |                    |

**Not:** Numune şişesinin ağzının kolu bantı ile kapatıldığı görüldü.

**Sonuç:**


  
Prof. Dr. Ender OKANDAN

  
Prof. Dr. Mahmut PARLAKTUNA

  
Yrd. Doç. Dr. Evren ÖZBAYOĞLU

\*\* İşaretili deneyler akreditasyon kapsamı dahilindedir. \*\*\* Numune, analizi talep eden kurum/kişi tarafından alınıp merkezimize gönderilmiştir. Bu rapor, laboratuvarımızın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İzinsiz ve müberruz raporlar geçerlidir. Analiz sonuçları getirilen numuneye aittir.

PAL, Petroleum Research Center, Middle East Technical University, 06531 Ankara-Türkiye  
PAL, Petrol Araştırma Merkezi, ODTÜ, 06531 Ankara-Türkiye Tel: (90)312) 210 28 97, Fax: 210 56 68



Resim 1.3. 100 oktan benzin için test raporu

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, ad : KORKMAZ, Selçuk

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 03.03.1981 ANKARA

Medeni hali : Bekar

Telefon : 0 (312) 815 47 85

Faks : 0 (312) 815 44 68

e-mail : [selcuk@yukseleasansor.com.tr](mailto:selcuk@yukseleasansor.com.tr)

### Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi                                  | Mezuniyet tarihi |
|--------|--|------------------|
| Lisans | G.Ü./ Makine Eğitimi<br>Otomotiv Anabilim Dalı | 2003             |
| Lise   | Sincan Lisesi                                  | 1998             |

### İş Deneyimi

| Yıl       | Yer              | Görev          |
|-----------|------------------|----------------|
| 2004-2008 | Yükseliş Asansör | Fabrika Müdürü |

**Yabancı Dil** : İngilizce

