

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



**GİZLİ ISI DEPOLAMALI BİR KATALİTİK  
KONVERTÖRLE BENZİNLİ MOTORUN SOĞUK  
ÇALIŞMA EMİSYONLARINI AZALTMANIN  
ARAŞTIRILMASI**

**Naim DONAT**

**Yüksek Lisans Tezi**  
**Makine Eğitimi Anabilim Dalı**  
**Danışman: Prof. Dr. Mehmet ESEN**

**EYLÜL-2017**

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GİZLİ ISI DEPOLAMALI BİR KATALİTİK KONVERTÖRLE BENZİNLİ  
MOTORUN SOĞUK ÇALIŞMA EMİSYONLARINI AZALTMANIN  
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Naim DONAT

091119110

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 11.08.2017

Tezin Savunulduğu Tarih: 14.09.2017

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet ESEN(F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ(F.Ü.)

Yrd. Doç. Tahsin YÜKSEL (C.Ü.)

EYLÜL - 2017

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve proje çalışmalarım süresince, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen kişiler sayesinde en uygun tezin hazırlanması için gayret ettim.

Bu çalışmamızda; yüksek lisans tez danışmanım hocam sayın Prof.Dr. Mehmet ESEN'e desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Tezimin hazırlanmasında ekipman desteğini esirgemeyen Otomotiv Mühendisliği öğretim üyesi Prof.Dr. Cengiz ÖNER hocama, Fizik Bölümü öğretim üyelerinden Prof.Dr. Niyazi BULUT hocama ve TÜVTÜRK Elazığ Araç Muayene İstasyonu personeline,

Şüphesiz her türlü desteğini sağlayan, sabır gösteren ailem, eşim, iş yoğunluğundan dolayı fazla zaman ayıramadığım biricik oğlum Eşref'ime ve emeği geçen herkese teşekkür ederim.

**Naim DONAT**

**Elazığ - 2017**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                 | Sayfa No |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------|
| ÖNSÖZ.....                                                                      | II       |
| İÇİNDEKİLER .....                                                               | III      |
| ÖZET.....                                                                       | VI       |
| ABSTRACT .....                                                                  | VII      |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....                                                           | VIII     |
| TABLolar LİSTESİ.....                                                           | X        |
| SEMBOLLER LİSTESİ.....                                                          | XI       |
| KISALTMALAR LİSTESİ.....                                                        | XII      |
| 1. GİRİŞ .....                                                                  | 1        |
| 1.1. Hava Kirliliği Ne Olarak Tanımlanmaktadır? .....                           | 1        |
| 1.2. Hava Kirliliğinin Tarihçesi .....                                          | 3        |
| 1.3. Kirletici Maddelerin Oluşma Nedenleri? .....                               | 4        |
| 1.4. Emisyon Standartlarının Çıkış Özeti .....                                  | 5        |
| 1.5. Kirletici Maddeler Nasıl Oluşur? .....                                     | 6        |
| 1.5.1. Karbonmoksit (CO) .....                                                  | 11       |
| 1.5.2. Azotoksitler (NO <sub>x</sub> ) .....                                    | 12       |
| 1.5.3. Hidrokarbonlar (HC).....                                                 | 13       |
| 1.5.4. Partiküller (İs, Duman) .....                                            | 13       |
| 1.5.5. Kükürtdioksit (SO <sub>2</sub> ) .....                                   | 14       |
| 1.5.6. Kurşun ve Kurşunlu Bileşikler (Pb).....                                  | 14       |
| 1.5.7. Aldehitler (R.CHO).....                                                  | 15       |
| 1.6. Egzoz Gazı Kirleticileri İçin Ölçü Birimleri.....                          | 15       |
| 1.7. Sürüş Şartlarının Emisyona Etkisi .....                                    | 16       |
| 1.7.1. Motorun İlk Isınma Durumu .....                                          | 17       |
| 1.7.2. Motorun Rölantide (yüksüz) Çalışması Durumu .....                        | 17       |
| 1.7.3. Motorun Sabit Hızla çalışması .....                                      | 18       |
| 1.7.4. Motorlarda Düşük ve Orta Hızlar (100 km/h hızın altındaki durumlar)..... | 18       |
| 1.7.5. Motorlarda Yüksek Hızlar (100 km/h üstünde) .....                        | 19       |
| 1.7.6. Motorlarda Hızlanma .....                                                | 19       |
| 1.7.7. Taşıtlarda Motor Freni (Hız Kesme).....                                  | 20       |

|           |                                                                    |           |
|-----------|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.7.8.    | Motorun Ağır Yük Durumu .....                                      | 21        |
| 1.7.9     | Gizli Isı Depolamalı Katalitik Konvertörün Kullanılması.....       | 21        |
| <b>2.</b> | <b>TAŞIT KAYNAKLI KİRLETİCİ EMİSYONA GETRİLEN</b>                  |           |
|           | <b>SINIRLAMALAR.....</b>                                           | <b>22</b> |
| 2.1.      | Motorlu Taşıtların Emisyon Kontrolündeki Hedef, Test ve Ölçüm      |           |
|           | Modelleri.....                                                     | 24        |
| 2.1.1.    | Yeni Motorlu Taşıtların Testi .....                                | 24        |
| 2.1.2.    | Tescili Yapılmış Motorlu Taşıtların Egzoz Gazı Emisyonun Periyodik |           |
|           | Kontrolü .....                                                     | 25        |
| 2.1.2.1.  | Motorlu Taşıt Egzoz Emisyonunun Seyir Boyunca Ölçülmesi ve Sınır   |           |
|           | Limitler .....                                                     | 25        |
| 2.2.      | Motorlu Taşıtların Egzoz Emisyon Süreleri .....                    | 35        |
| 2.2.1.    | Türkiye’de Emisyon Kontrol Tarihçesi .....                         | 36        |
| <b>3.</b> | <b>KATALİTİK KONVERTÖRLER.....</b>                                 | <b>38</b> |
| 3.1.      | Katalitik Konvertör Yapısının İncelenmesi .....                    | 38        |
| 3.2.      | Katalitik Konvertör Çeşitleri.....                                 | 41        |
| 3.2.1.    | Seramik Bilyeli Tip Katalitik Konvertörler .....                   | 41        |
| 3.2.2.    | Seramik Petek Tip Katalitik Konvertörler .....                     | 42        |
| 3.2.3.    | Metal Petek Tip Katalitik Konvertörler .....                       | 43        |
| 3.3.      | Katalitik Konvertörlü Sistemi Oluşturan Elemanlar.....             | 45        |
| 3.4.      | Katalitik Atık Gaz Temizlenmesi .....                              | 46        |
| 3.6.      | Katalitik Konvertörlerde Gerçekleşen Reaksiyonlar .....            | 50        |
| 3.7.      | Katalitik Konvertörlerde Verim Hesabı.....                         | 51        |
| 3.8.      | Katalitik Konvertörün Gerekliliği.....                             | 53        |
| <b>4.</b> | <b>İÇTEN YANMALI MOTOR YAKITI OLARAK BENZİN .....</b>              | <b>55</b> |
| 4.1.      | Benzin Yakıtında Aranılan Özellikler.....                          | 55        |
| 4.1.1.    | Soğuk Ortamlarda İlk Hareket ve Uçuculuk.....                      | 55        |
| 4.1.2.    | Buhar Tamponu Özelliği Olmamalı.....                               | 56        |
| 4.1.3.    | Motorun Ani Güç Değişim Ayarlamalı .....                           | 56        |
| 4.1.4.    | Ekonomik Açıdan İyi Olmalı.....                                    | 57        |
| 4.1.5.    | Reçine Özelliği Taşımamalı.....                                    | 57        |
| 4.1.6.    | Korozyona Neden Olmamalı .....                                     | 57        |
| 4.1.7.    | Yağlama Yağının İşlevselliğini Bozmamalı .....                     | 57        |

|           |                                                                                            |           |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5.</b> | <b>MATERYAL ve METOT.....</b>                                                              | <b>59</b> |
| 5.1.      | Egzoz Gazı Ölçüm Cihazı.....                                                               | 59        |
| 5.1.1.    | Gaz Ölçümünün Belirlenmesi.....                                                            | 60        |
| 5.1.2.    | Cihaza Genel Bakış.....                                                                    | 60        |
| 5.1.2.1.  | Önden Görünüşü .....                                                                       | 60        |
| 5.1.2.2.  | Arkadan Görünüşü .....                                                                     | 61        |
| 5.1.2.3   | Cihazın Sol Tarafı .....                                                                   | 61        |
| 5.1.2.4   | Cihazın Sağ Tarafı .....                                                                   | 62        |
| 5.1.2.5   | Cihaza Ait Ekipmalar.....                                                                  | 62        |
| 5.1.2.6.  | Cihaza Ait Teknik Veriler.....                                                             | 63        |
| 5.2.      | Motor Devir Sensörü.....                                                                   | 64        |
| 5.3.      | FDM Olarak Kalsiyum Klorür Hekzahidrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) ..... | 65        |
| 5.4.      | Deney Setinin Hazırlanması .....                                                           | 66        |
| 5.5.      | Motorda Ölçülecek Veriler .....                                                            | 68        |
| <b>6.</b> | <b>BULGULAR.....</b>                                                                       | <b>69</b> |
| 6.1.      | Katalitik Konvertörsüz Ezgoz ve Sıcaklık Değerleri.....                                    | 69        |
| 6.2.      | Katalitik Konvertörlü Ezgoz ve Sıcaklık Değerleri .....                                    | 70        |
| 6.3.      | Gizli Isı Depolamalı Katalitik Konvertörlü Ezgoz ve Sıcaklık Değerleri ...                 | 72        |
| <b>7.</b> | <b>SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....</b>                                                           | <b>74</b> |
| <b>8.</b> | <b>ÖNERİLER .....</b>                                                                      | <b>77</b> |
|           | <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                     | <b>78</b> |
|           | <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                                       | <b>79</b> |

## ÖZET

Araç sayısının son yıllarda artması sonucu, beraberinde çevre kirliliğini de gündeme getirmiştir. Taşıt motorlarına bağlı olarak oluşan kirliliğini en aza indirmek için bazı çalışmalar yapılmıştır. Özellikle motorlu araçların ilk hareketi sırasında soğuk çalışma emisyonları trafik yoğunluğu fazla olan bölgelerde ciddi anlamda atmosferdeki oksijen oranında azalmaya dolayısıyla hava kirliliğinin artmasına sebebiyet vermektedir. Taşıt egzoz gazındaki kirleticileri azaltmak için egzoz sistemine katalitik konvertör montajı yapılmıştır. Katalitik konvertör de egzoz sıcaklığı belli değerlere ulaşmadan devreye girmediğinden ilk hareket aşamasında egzoz salınımında kirletici oran daha fazladır.

Bu tez çalışması dahilinde; FDM olarak kullanılan Kalsiyum Klorür Hekzahidrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) gizli ısı depolamalı katalitik konvertörlerde soğuk çalışma durumunda dört zamanlı ve dört silindirli içten yanmalı benzinli motorun egzoz sistemine uygulanmıştır. Bu çalışmada uygulanan yöntem ile uzun süre stop durumunda kalan aracın ilk hareketinde egzoz gazı içerisindeki zararlı bileşiklerin daha az zararlı hale getirilmesi ve katalitik konvertörün daha erken devreye girmesine olanak olarak gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Katalitik Konvertör, Soğuk Çalışma Emisyonları, Egzoz Emisyon Değerleri.

## **ABSTRACT**

### **Research of Reducing the Cold Working Emissions of Gasoline-Powered Engine by Using Latent Heat Storage Catalytic Converter**

The result of the increase in the number of vehicles in recent years, together with the environmental pollution brought to the agenda. Some work has been done to reduce the pollution caused by vehicle engines. In particular, cold working emissions during the first movement of motor vehicles cause the air pollution to increase, which is seriously reduced in the regions with high traffic intensity, in the rate of atmospheric oxygen. The catalytic converter is mounted on the exhaust system to reduce pollutants in the vehicle exhaust gas. Since the catalytic convertor does not enter the circuit before the exhaust temperature reaches certain values, the pollution rate is higher in exhaust emission during the first movement phase.

Within the scope of this thesis study; Calcium Chloride Hex hydrate ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) used as FDM has been applied to the exhaust system of four-stroke and four-cylinder internal combustion gasoline engine in the case of cold working in catalytic convertors with latent heat storage. In this study, it was observed that, in the first act of the vehicle which is in a state of stopping for a long time, the harmful compounds in the exhaust gas are made less harmful and the catalytic convertor can be activated earlier.

**Key Words:** Catalytic Convertor, Cold Working Emissions, Exhaust Emission Values.



## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                               | <u>Sayfa No</u> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 1.1. Atmosfer bileşenleri .....                                                                         | 2               |
| Şekil 1.2. Egzoz bileşenlerinin kirlilik dereceleri .....                                                     | 7               |
| Şekil 1.3. Benzinli motorlar için hava fazlalık katsayısı ( $\lambda$ ) egzoz kirletici konsatrasyonu .....   | 10              |
| Şekil 1.4. Benzinli araçların atık bileşenleri .....                                                          | 11              |
| Şekil 1.5. Dizel araçların atık bileşenleri .....                                                             | 14              |
| Şekil 1.6. Motorun ilk ısınması durumu .....                                                                  | 17              |
| Şekil 1.7. Motorun rölantide çalışması durumu .....                                                           | 18              |
| Şekil 1.8. Motorlarda düşük ve orta hız durumları .....                                                       | 18              |
| Şekil 2.1 Taşıt kaynaklı kirleticiler .....                                                                   | 23              |
| Şekil 2.2. Motorlu aracın yol şatlarındaki hareketini modelleyen roller ve egzoz emisyon ölçüm düzeneği ..... | 26              |
| Şekil 2.3. FTP-75 çevrimi - hız zama diyagramı .....                                                          | 29              |
| Şekil 2.4. ECE 15.00 şehir içi çevrimi.....                                                                   | 32              |
| Şekil 2.5. EURO 93 test çevrimi.....                                                                          | 34              |
| Şekil 3.1. Üç yollu Katalitik Konvertörün iç yapısı .....                                                     | 40              |
| Şekil 3.2. Komple Katalitik Konvertör Ünitelerinin görüntüsü.....                                             | 40              |
| Şekil 3.3. Eleman olarak değiştirilen ve bağlantı flanşlarına kaynak ile bağlanan Katalitik Konvertörler..... | 40              |
| Şekil 3.4 Üretici firma bilgileri ve emisyon normu işaretlemeleri .....                                       | 41              |
| Şekil 3.5 Katalitik konvertör araç üzerinde bağlantı yeri .....                                               | 41              |
| Şekil 3.6. Seramik bilyeli tip katalitik konvertör. ....                                                      | 42              |
| Şekil 3.7. Seramik (Monolith) tip Katalitik Konvertör. ....                                                   | 43              |
| Şekil 3.8. Metalik Petekli Tip Katalitik Konvertör. ....                                                      | 44              |
| Şekil 3.9. Sistemin parçalarının araç üzerindeki yerleri ( a ve b) .....                                      | 46              |
| Şekil 3.10.Lambda değerlerinin gösterimi .....                                                                | 47              |
| Şekil 3.11. İki adet O <sub>2</sub> yerleştirilmiş yapı.....                                                  | 48              |
| Şekil 3.12.Oksijen (O <sub>2</sub> ) – lambda sensörü .....                                                   | 48              |
| Şekil 3.13.Lambda sensörünün içyapısı.....                                                                    | 49              |
| Şekil 3.14. Monolitik katalitik konvertörün yapısı .....                                                      | 51              |

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.15.</b> Katalitik konvertörün hava/yakıt değişkenlerine bağlı dönüştürme verimi..... | 52 |
| <b>Şekil 3.16.</b> Sıcaklığa bağlı dönüştürme verimi .....                                      | 52 |
| <b>Şekil 3.17.</b> Motorda egzoz gazı dönüşümleri.....                                          | 54 |
| <b>Şekil 5.1.</b> Genel görüntüsü.....                                                          | 59 |
| <b>Şekil 5.2.</b> Yağ sondası.....                                                              | 62 |
| <b>Şekil 5.3.</b> Su yoğunlaşma ayırıcı .....                                                   | 62 |
| <b>Şekil 5.4.</b> Egzoz sondası .....                                                           | 62 |
| <b>Şekil 5.5</b> Devir sensörü .....                                                            | 64 |
| <b>Şekil 5.6.</b> Devir sensörünün motora bağlanma görüntüsü .....                              | 64 |
| <b>Şekil 5.7.</b> Kalsiyum klorür hekzahidrat .....                                             | 65 |
| <b>Şekil 5.8.</b> Deney ortamının genel görüntüsü.....                                          | 66 |
| <b>Şekil 5.9.</b> Deney aracının hazırlama görüntüsü .....                                      | 67 |
| <b>Şekil 5.10.</b> Ekipmanların araca bağlanma görüntüsü .....                                  | 67 |
| <b>Şekil 5.11.</b> FDM’li katalitik konvertör .....                                             | 67 |
| <b>Şekil 5.12</b> GPT100 Gaz kaçak cihazı .....                                                 | 68 |
| <b>Şekil 6.1</b> Motor devir ve Sıcaklıklara Bağlı CO değerleri.....                            | 70 |
| <b>Şekil 6.2</b> Motor devir ve Sıcaklıklara Bağlı CO değerleri.....                            | 71 |
| <b>Şekil 6.3</b> Motor devir ve Sıcaklıklara Bağlı CO değerleri.....                            | 72 |

## TABLÖLER LİSTESİ

|                                                                                                                                                      | <u>Sayfa No</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 2.1.</b> FTP-72 çevrimi hız – zaman diyagramı.....                                                                                          | 27              |
| <b>Tablo 2.2.</b> FTP-75 çevrimi hız – zaman diyagramı.....                                                                                          | 28              |
| <b>Tablo 2.3.</b> ABD’de 1971 ile 1981 arası egzoz sınır değerleri.....                                                                              | 30              |
| <b>Tablo 2.4.</b> ABD’nin Kaliforniya eyaletinde 1981 yılından itibaren uygulanmaya<br>başlanan ve gelecek dönemlerde getirilecek sınırlamalar ..... | 30              |
| <b>Tablo 2.5.</b> Kaliforniya eyaletinde sınır değerlerine uygun olarak trafiğe çıkacak yeni<br>model taşıtların % olarak her yıla ait payları ..... | 31              |
| <b>Tablo 2.6.</b> Avrupa Topluluğu Ülkelerinde Binek Taşıtlar İçin Uygulanan Emisyon<br>Sınır Değerleri .....                                        | 34              |
| <b>Tablo 2.7.</b> Egzoz sınır değerleri .....                                                                                                        | 37              |
| <b>Tablo 2.8.</b> Katalizörlü araçlarda egzoz sınır değerleri .....                                                                                  | 37              |
| <b>Tablo 5.1.</b> Kalsiyum Klorür Hekzahidrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) özellikleri.....                                         | 65              |
| <b>Tablo 6.1.</b> Katalitik Konvertörsüz aracın egzoz değerleri.....                                                                                 | 69              |
| <b>Tablo 6.2.</b> Katalitik Konvertörlü aracın egzoz değerleri.....                                                                                  | 71              |
| <b>Tablo 6.3.</b> Gizli Isı Depolamalı Katalitik Konvertörlü Egzoz ve Sıcaklık Değerleri                                                             | 72              |
| <b>Tablo 7.1.</b> Deneysel çalışmalara ait sonuçların karşılaştırılması .....                                                                        | 75              |

## SEMBOLLER LİSTESİ

|                 |                                          |
|-----------------|------------------------------------------|
| $d/d$           | :Devir / dakika                          |
| $\lambda$       | :Lambda                                  |
| $\eta_{cat}$    | :Kullanılan katalitik konvertörün verimi |
| $\dot{m}_{in}$  | :Konvertöregiren havanın miktarı         |
| $\dot{m}_{out}$ | :Konvertördençıkan emisyon miktarı       |
| s               | :Saniye                                  |



## KISALTMALAR LİSTESİ

|                                         |                                               |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>°C</b>                               | : Santigrat derece                            |
| <b>Ar</b>                               | : Argun                                       |
| <b>C</b>                                | : Karbon                                      |
| <b>CAA1</b>                             | : Temiz hava sözleşmesinin 1.Aşama uygulaması |
| <b>CaCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O</b> | : Kalsiyum Klorür Hekzahidrat                 |
| <b>CO</b>                               | : Karbonmonoksit                              |
| <b>CO<sub>2</sub></b>                   | : Karbondioksit                               |
| <b>FDM</b>                              | : Faz değişim malzemesi                       |
| <b>HC</b>                               | : Hidrokarbon                                 |
| <b>HFK</b>                              | : Hava fazlalık katsayısı                     |
| <b>LEV</b>                              | : Düşük emisyonlu taşıt                       |
| <b>N<sub>2</sub></b>                    | : Nitrojen                                    |
| <b>NO<sub>x</sub></b>                   | : Azotoksit                                   |
| <b>O<sub>2</sub></b>                    | : Oksijen                                     |
| <b>TLEV</b>                             | : Düşük emisyonlu taşıt dönemi geçişi         |
| <b>ULEV</b>                             | : Çok düşük emisyonlu taşıt                   |
| <b>ZEV</b>                              | : Sıfır emisyonu olan taşıtlar                |

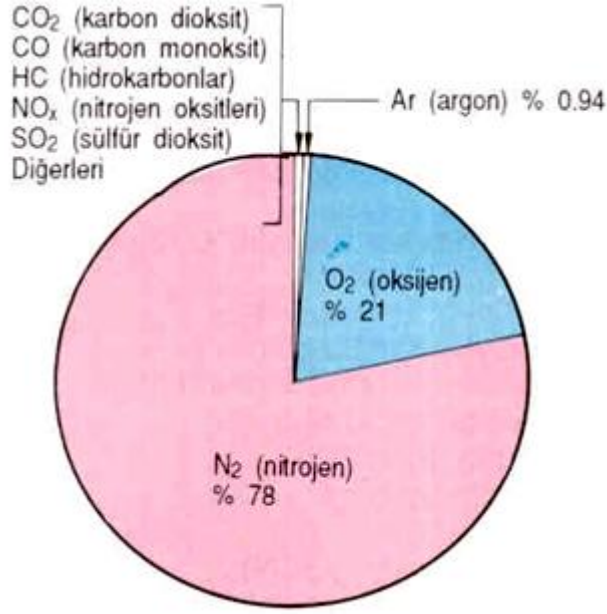
## 1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusuyla birlikte, enerji tüketiminde kişi başına artış, yakın zaman diliminde çevre kirliliği açısından da önemli nedenler oluşturmaya başlamıştır. Hava kirliliği, çevre kirliliğinin en önemli sebeplerinden bir tanesi ve en başında gelmektedir. Hava kirliliğinin sebep olarak ortaya çıkmasından bugüne kadar çok aşamalar neticesinde bu duruma gelinmiştir. Sanayileşen ülkelerde ekonomik kaygılardan dolayı bu durum hep göz ardı edilen bir durum olmuştur.

### 1.1. Hava Kirliliği Ne Olarak Tanımlanmaktadır?

Temel anlamda hava kirliliği, havanın yapısında bulunan temel bileşenlerin değişmesi ya da yabancı maddelerin yapıya girmesi neticesinde, insan sağlığına ve insanın huzur yapısını etkileyecek, bitki, hayvan ve insan soyunun zarar göreceği şekilde bozulması olarak adlandırılır. Bu havanın yapısal bozukluğa evrilmesi toz, kül, kurum, is, duman, pus, buhar, kum, gaz veya rahatsız edici koku çevre atmosferinin yapısından dolayı havada varlığını göstermektedir. Bu tanımlama içerisinde bulunan tüm bileşenlerin kirlletici olarak etki etmeleri hava içerisindeki oran düzeyleri ve var olma süreleri ile alakalıdır.

Atmosferde bulunan havayı oluşturan gazların karışımından meydana geldiği kabul edilir. Kuru hava içerisinde bulunan gazların ağırlıkça oranı şu şekilde izah edilmiştir. Şekil 1.1.'de gösterildiği gibi ifade edilmiştir. Nitrojen gazından( $N_2$ ), %78.09, Oksijen ( $O_2$ ) %20.946, Argon (Ar) %0.93 ve Karbondioksit ( $CO_2$ ) %0.033[1].



**Şekil 1.1.** Atmosfer bileşenleri

Hava kirliliğinin oluşma nedenlerinde; hava sıcaklığı, var olan rüzgâr, havada bulunan nem, enveresiyon gibi meteorolojik farklılıklar (atmosferde belirli kademedede bulunan sıcaklığın yukarıya doğru çıkarken azalmasının tersine artması olayı) doğal etkenler etkin olsa da kirlenmenin ana kaynağı yanma olayıdır. Enerjinin elde edilmesinde özellikle elektrik üretiminde, ısınmada, motorlu araçlarda ve enerjinin sanayide kullanımında yanma olayı ön plandadır. Dünyadaki enerji üretiminin yalnız %30' u kadar dumansız bir yöntemle hidrolik ve nükleer santrallerde, diğer %70 oranında fosil yakıtı olarak tarif edilen kömür, gaz, petrol veya bunların türevleri olarak belirtilen yakıtlar ile elde edilmektedir.

Yakıtlar temelde karbonlardan (C) ve hidrojenlerden (H<sub>2</sub>) meydana gelmektedir. Yanma olayı yanıcı maddenin oksijen ile birleşme olarak tarif edilebilir. Bir yakıtın yanması, yakıt içerisinde bulunan yanma eğilimi yüksek bileşenlerin havanın içerisinde bulunan oksijen ile aralarında yüksek hız seviyesinde oluşan kimyasal reaksiyon durumudur. Tam yanma ya da ideal yanma olarak bilinen durum hava içerisindeki oksijen (O<sub>2</sub>), karbonla reaksiyona girerek (birleşerek) karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve hidrojenle tepkimeye girerek de su buharı (H<sub>2</sub>O) meydana getirmesidir. Havadaki azot (N<sub>2</sub>) ile tepkimeye girmez.

Yanma olayı bu tepkime sonucunda açığa çıkan ısı ve ışık olayına denir. Bu tepkime olayında açığa çıkan su buharı (H<sub>2</sub>O) zararlı özelliği bulunmamaktadır ve kirlletici bir

özellik de taşımamaktadır. Hava da buluna azot ( $N_2$ ) ise tepkimeye girmemekte ve alındığı gibi atmosfere geri verilmektedir. Karbondioksit ( $CO_2$ ) direkt çevre ve insan sağlığı üzerinde etkisi zararlı boyutta değildir. Ancak yanma dolayısıyla atmosfere en fazla salınımı gerçekleşen ve atmosferde sera etkisi yapan özelliğe sahiptir. Bu gazın atmosferde birikme miktarı arttıkça güneşten dünyamıza gelen ışınların tekrar uzaya yansımalarını etkileyen veya engelleyen tabakaya dönüşür. Bu tabaka arttıkça dünyanın ısınması da artar ve bunun sonucunda iklimlerin değişmesine (aşırı sıcaklık, buna bağlı kuraklık, buzulların erimesi ve deniz seviyelerinin yükselmesi) sebep olacağı belirtilmiştir. Bu durumda enerji santrallerinin özellikleri değiştirilip verimliliği artırılarak ihtiyaç duyulan yakıt tüketimi minimum seviyeye düşürülmelidir. Bununla birlikte motorlu taşıtlarda kullanılan yakıt tüketimlerinin de sınırlandırılarak  $CO_2$  üretiminin kısıtlanmasına gidilmektedir (Ergenemanvd 1998). Bu durum birçok ülkenin fosil kaynaklı yakıtlarla çalışan araç üretiminde gelecek yıllarda sınırlama getirileceği anlamına gelmektedir.

## **1.2. Hava Kirliliğinin Tarihçesi**

Hava kirliliği enerji tüketiminin yoğun olduğu bölgelerde insan ve çevre sağlığı üzerinde etkili olmuştur. İnsan ve çevre sağlığını etkilemeye başlaması 19. yüzyıl başından itibaren Avrupada kömür üretiminin yapıldığı ve sanayinin yoğunlaşmaya başladığı dar ve küçük yerleşimlerde etkisini göstermiştir. 1910'lu yıllarlardan itibaren hava kirliliğinin insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkilerinin bilimsel araştırmaya ve incelemeye başlanması olarak ifade edilir. Bu dönemde ilk kez karbonmonoksit ( $CO$ ) ve diğer kirletici gazların insan sağlığı üzerinde ve şehir merkezlerinde solunan havanın zehirleyici özelliği olduğu belirlenmeye başlanmıştır.

Belçika'nın Meuse vadisinde 1930'da 3 gün yaşanan yoğun sis bulutu yüzlerce insanın hastalanmasına ve bu hastalananların 60'nın da ölmesine sebep olmuştur. Bir yıl sonra yani 1931'de İngiltere'nin Manchester kentinin sanayi bölgesinde de 9 gün süren yoğun sis bulutunun ardında ölen insan sayısı 600 civarındadır. ABD'nin Pennsylvania eyaletinde 1948 yılında, küçük sanayi yerleşim yeri olan Donora'da 4 gün süren sis bulutlarından sonra bu kentte 14000 dolayında kişinin hastalandığı tespit edilmiş ve bu hastalanan insanlar içerisinde 20 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu sis bulutlarından hastalanan insanlar uzun süre gözlemlenmiş ve bu grup içerisinde erken ölümler diğer bölge halkına nazaran fazlalaşmıştır.



İngiltere'nin Londra şehrinde 1956 yılının ocak ayında uzun süre devam eden sis bulutu olayından etkilendiği düşünülen çok fazla sayıda ölümlerin meydana geldiği hemen bu olayların akabinde Britanya parlamentosundan temiz hava yasası geçirilerek, linyit kömürünün üretimine kısıtlamalar getirilmiştir.

Günümüzde insan ölümlerinin sebepleri araştırmalarına hava kirliliği etkisinin araştırma konusu olması düşünülmektedir. Ayrıca hava kirliliğini bağışıklık sistemini zayıflattığı, bu nedenle hastalık ve ölümleri tetiklediği ayrı bir araştırma konusu olması gerekir. Artan motorlu taşıtlarda getirilen egzoz emisyon gazı sınırlarına riayet etmeyen veya suistimal sonucu değerleri uygunmuş gibi gösterilmesi en büyük hava kirliliği etkenlerinden biridir.

### **1.3. Kirletici Maddelerin Oluşma Nedenleri?**

Gelişen sanayi teknolojisindeki ilerlemeler, endüstri kuruluşlarındaki artan sayı ve her dönem bir önceki dönemin artış rekorunu kıran motorlu araçlar insan yaşam kalitesini artırıp ve kolaylaştırırken, diğer boyutuyla çevreye zarar veren durumlara sebep olmaktadır. Yoğun şehir yaşamlarında hava kirliliğinin temel sebeplerinden birincisi ve de en önemlisi buji ateşlemeli motorlu araçlardır (Çevre vakfı, 1995)[2].

Kutlar O.A vd.[1], yaptığı çalışmalar ile bugün yaşadığımız dönemde üretilen buji ateşlemeli içten yanmalı motorların üretimi sırasında hava kirliliğine neden olacak durumlar söz konusu ise tedbirler alınarak üretim zorunlulukları getirilmiştir. Emisyon kontrol teknolojisindeki gelişmeler kentlerdeki hava kalitesinin iyileştirilmesine olanak sağlamaktadır. Emisyon kontrol testleri tatbik edilerek üretilen bir araç ile emisyon kontrolü olmayan bir araç arasındaki oranlar % 95 daha az karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) yaymakta ve yaklaşık % 90 daha az azotoksit (NO<sub>x</sub>) yaymaktadır.

Teknolojinin insan yararına daha çok kullanan gelişen ve gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, yasa, standart ve yönetmeliklerle egzoz emisyon gazının zararlı, zehirli ve insan yaşamına etki eden duman koyuluğuna sınırlamalar getirmişlerdir. Motorlu araçlardan kaynaklanan kirleticilere getirilen düzenleme Amerika Birleşik Devletler'in de 1963 yılında yasalaşarak yürürlüğe girmiştir. Temiz hava yasası 1970'de gündeme gelmesi ile emisyon kaynaklı kirleticilere kısıtlama getirilmiştir. Sırasıyla 1977,1990 yıllarına kadar

gelişen teknolojiye paralel olarak emisyon sınırlamalarının aşağıya çekilmesine devam edilmiştir.

#### **1.4. Emisyon Standartlarının Çıkış Özeti**

-Hava kirliliğine karşı ilk yasa 15 Ekim 1810 yılında Fransa’da çıkartılan yasa ile başlamıştır.

-1821 yılında buhar makinelerinin insan sağlığına zararlı etkileri İngiltere’de belirlenmiş olup, yine aynı ülkede 1857 yılında hava kirlenmesini önlemek amacıyla bir yasa çıkarılmıştır.

-Hava kirliliğinin insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkileri 20.yüzyılın başlarında başlanılmasına rağmen bu alan ile ilgili çalışmalar coğrafi konumu gereği ve enerji tüketimi açısından yoğun olan Amerika Birleşik Devletlerinin Los Angeles kentinde 2. dünya savaşından sonra başlamıştır.

##### **1943**

Bu şehirde hızlı yerleşim alanların açılması ve nüfusun artması ile birlikte fotokimyasal duman sisi de beraberinde artmıştır. Bu durum gösteriyor ki, otomobil taşıtlarının devreye girmesiyle hava kirliliğinin bir problem olarak ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

##### **1947**

1943 yılında belirlenen kirlilik aratarak devam ederken önlem olarak çelik endüstrisi ve rafineri gibi temel hava kirletici özelliği olan yerlere partikül tutucu emisyon kontrolüne yönelmişlerdir.

##### **1952**

Güneş ışınlarının motorlu araçların egzoz gazı üzerindeki etkisinden dolayı fotokimyasal sis dumanının oluştuğu Kaliforniya üniversitesinden A.J.HaagenSmit tarafından belirtilmiştir.

##### **1960**

Kaliforniya’da taşıt kaynaklı egzoz gazı emisyonları hidrokarbon (HC) ve karbonmonoksit (CO) için yasal düzenleme yapılmıştır.

##### **1961**

Motorlu taşıtlarda motor yağlama yağının bulunduğu karter ile silindir alt kısmında bulunan hacimde biriken yakıt ve yağ buharının atmosfere atılmayıp (karter

havalandırması) yeniden emme manifold kanalından yanma odasına gönderilmesi çalışmaları başlatılmıştır. Bu olay pozitif karter havalandırması olarak tanımlanır.

### **1963**

Kaliforniya eyaletinde geliştirilen pozitif karter havalandırma sistemi bütün taşıtlarda uygulama zorunluluğu getirilmiştir.

### **1966**

Trafiğe yeni çıkacak taşıtlara hidrokarbon ve karbonmonoksit için belirlenen sınır değerlerinin altında olma zorunluluğu getirilmiştir.

### **1971**

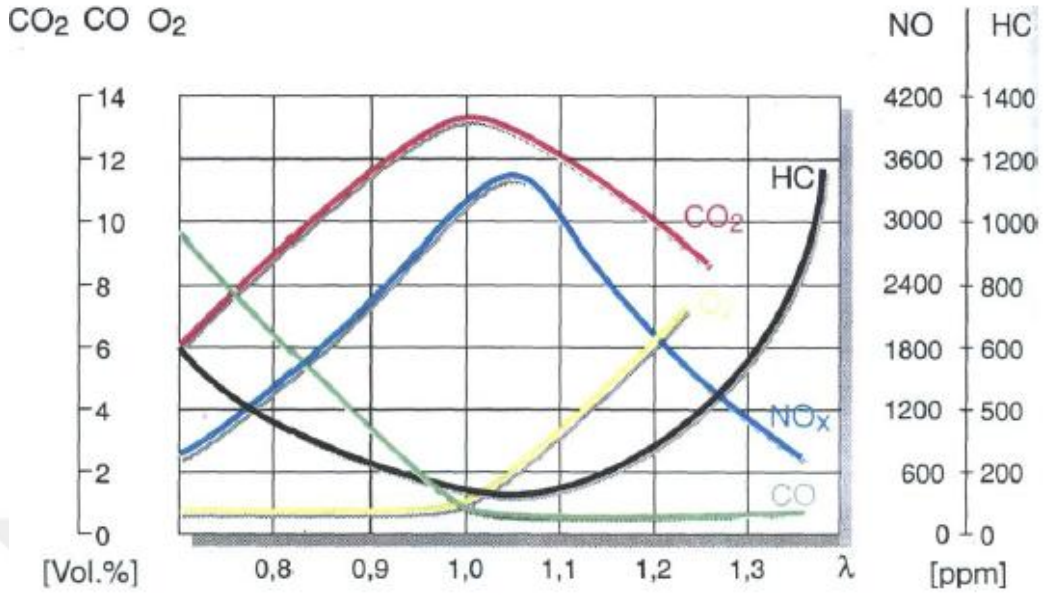
Çıkarılan motorlu araçlar için egzoz kanununda HC, CO ile beraber üçüncü bir bileşen olarak NO<sub>x</sub> tanımlanmış ve sınırlama getirilmiştir.

## **1.5. Kirletici Maddeler Nasıl Oluşur?**

Benzin ve dizel araç yakıtlarının bileşenlerinden dolayı egzoz emisyon değerleri farklılık göstermektedir. Önlem alınmamış her iki araç grubundan emisyon mukayesesi açısından dizel araç, çevre kirliliği açısından benzinli araca göre daha az kirleticidir. Tedbirler alınarak bir benzinli araç daha az kirletici emisyon salınımı sağlayabilir. Bu nedenle çevre kirliliği açısından benzinli araçlar üzerinde çalışmalar daha yoğunluk kazanmaktadır (Çevre Vakfı, 1995)[2].

Egzoz emisyon ölçümü hava kirliliği açısından değerlendirildiğinde motorlu araçlar önemli bir alan oluşturmaktadır. Egzoz emisyon ölçümü değerlendirmelerinde görülür boyutta ve görülmez seviyede olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür (Ganesan, 1996)[3].

Egzoz emisyon bileşenlerinin kirlilik dereceleri Şekil1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Egzoz bileşenlerinin kirlilik dereceleri

Taşıt motor egzozundan çıkan emisyonları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

1. Su buharı
2. Karbon dioksit
3. Azot oksitler
4. Karbon monoksit
5. Yanmamış hidrokarbonlar
6. Isı ya da duman

Bunlardan görülmezler ilk beşini sayabiliriz. Ancak ısı, görülen bir emisyon bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Görülmez olarak değerlendirilenler içerisinde su buharı ve karbon dioksit, zararsız bir bileşen olarak kabul edilmektedir (Ganesan, 1996) [3].

Yukarıda sayılan kirleticilere ek olarak;

- Kükürtdioksit
- Aldehitler
- Kurşun bileşenleri de eklemek gerekmektedir.

Almanya'nın birkaç büyük şehrinde 1990 yılında yapılan bir araştırma neticesinde;

hava kirliliği içerisinde bulunan taşıt egzoz emisyon değerleri aşağıdaki gibi ölçülmüştür.

|                |                    |       |
|----------------|--------------------|-------|
| Karbondioksit  | (CO <sub>2</sub> ) | %18.6 |
| Karbonmonoksit | (CO)               | %71.3 |
| Hidrokarbon    | (HC)               | %47.1 |
| Azotoksitler   | (NO <sub>x</sub> ) | %63.5 |

Benzinli motorların dört aksamından çevreye kirletici bileşen yayılması söz konusudur. Bu aksamlar egzoz, karter havalandırması, yakıt depo havalandırması ve araç karbüratörlü ise karbüratörden yayılma olmaktadır.

Karter havalandırmasından dolayı çevreye yayılan kirleticiler; çevrimler devam ederken iş zamanı sırasında segmanlar- özellikle deforme olmuş ise – arasında kaçak olması durumunda silindir kısmından karter alanına geçmektedir ve karter alanında oluşan yağ buharı ile atmosfere atılmaktadır. Bu alandaki kaçaklardan kaynaklı bileşenlerin çoğunu hidrokarbon (HC) oluşturmaktadır. Taşıt motor kısmından atmosfere atılan toplam hidrokarbon (HC) oranının yaklaşık %20 kadarı karter havalandırması aracılığıyla oluşmaktadır.

Yakıt deposu havalandırması kaynaklı atılan emisyonlar; artan hava sıcaklığına bağlı olarak buharlaşmadan dolayı kayıplar oluşmaktadır. Bu buharlaşma sonucunda oluşan emisyonların tamamı hidrokarbonlardan (HC) oluşmaktadır. Motorun bu kısmındaki hidrokarbon emisyonlarının %5-10 kadarı yakıt deposundaki buharlaşmadan kaynaklanmaktadır.

Karbüratör kaynaklı kirleticiler; hava sıcaklığına bağlı olarak yakıt içerisindeki bileşenlerin kolay buharlaşması aracın dururken veya ilk hareketi sırasında çevreye atılmaktadır. Karbüratör eksenli tüm emisyonların tamamı hidrokarbonlardan (HC) oluşmaktadır. Ancak bu durum enjeksiyonlu araçlarda olmamaktadır. Aynı şekilde motor toplam hidrokarbon (HC) emisyon miktarının yaklaşık %5 – 10'u kadar ifade edilebilir.

Egzoz gazı içerisinde bulunan kirleticiler ise; silindir içerisine alınan karışımın tam veya eksik olarak yanması sonucu yanma ürünlerinden oluşmaktadır. Motor emisyonundaki toplam veri; kurşun bileşikler (Pb), karbonmonoksit (CO), azotoksit (NO<sub>x</sub>) vb. emisyonların %100'lük kısmını , hidrokarbon (HC) emisyonlarının %60 -70 kısmını oluşturan egzoz gazından dolayı meydana gelmektedir(Kurtlarvd.1998)[1].

Egzoz emisyon açısından tedbir alınmamış bir benzinli araç için kirleticilerin değeri motor uygun yük, sıcaklık ve devirde çalışırken kirletici gaz oranı %1 olarak belirlenmiştir.

Bu bileşenler % olarak aşağıda gösterilmiştir.

|                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| Partiküller                     | %0.005 |
| Hidrokarbonlar (HC)             | %0.05  |
| Karbonmonoksit (CO)             | %0.85  |
| Azotoksitler (NO <sub>x</sub> ) | %0.08  |

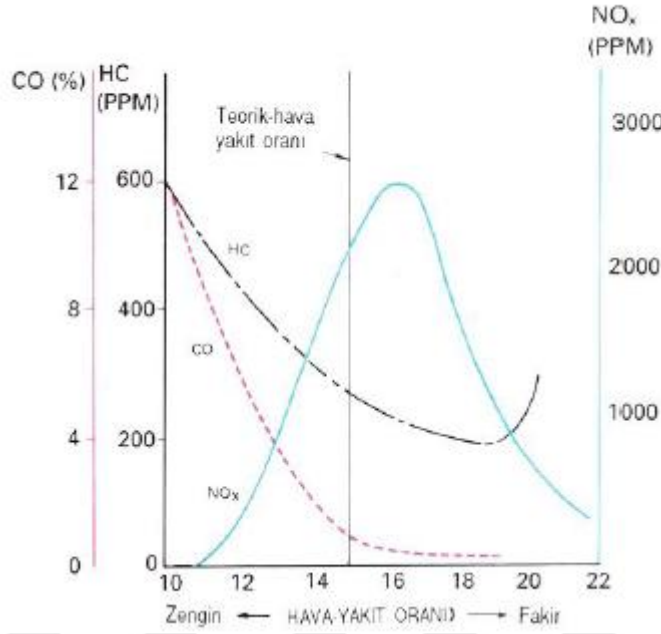
Pozitif ateşlemeli benzin ile çalışan bir motorun egzoz gazında bulunan azotoksitlerin- azotoksiti (NO<sub>x</sub>) oluşturan bileşenler azotmonoksit (NO) ve az miktarda azotdioksit (NO<sub>2</sub>) meydana gelir. - yanı sıra karbonmonoksit (CO) ve kısmen tam yanma gerçekleşmemiş hidrokarbon (HC) bileşiklerden meydana gelmektedir.

Karbon (C<sub>9</sub>) ve hidrojen (H<sub>2</sub>) yakıt bileşenlerinde olduğu var sayılırsa, tam yanmanın olması için 1 kg 'lık yakıt için yeterli miktarlarda hava ve oksijen olması gerekir. 1kg'lık otomobil yakıtı olan benzinin yanması için, var olan karbonun CO<sub>2</sub> 'e ve var olan hidrojenin H<sub>2</sub>O' ya dönüşmesi için, yaklaşık 14,6 kg hava miktarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yanma olayının gerçekleşmesi durumunda var olan hava miktarı bu değerin altında ve üzerinde olabilir. Yanma olayının gerçekleşmesi anında gerekli hava miktarı öngörülen değer ile aynı ise bu karışım **Stokiyometrik** karışım olarak adlandırılır.

Yanma olayının gerçekleşmesi durumundaki hava miktarının belirlenmesi için, yani teorik gerekli hava miktarından az ya da çok olması durumu, Hava Fazlalık Katsayısı (HFK) olarak ifade edilen değer kullanılmaktadır. Hava fazlalık katsayısı; gerçek hava değerinin teorik hava değerine oranı olarak bulunur. Ve  $\lambda$  olarak gösterilir.

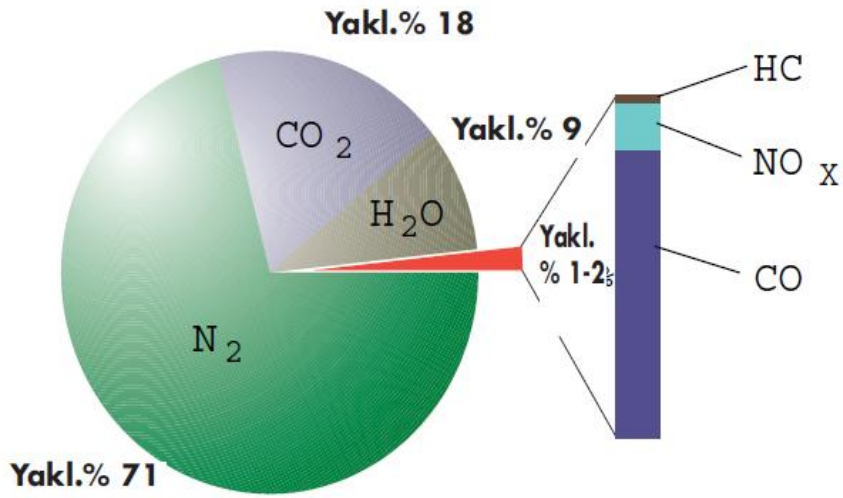
$$\lambda = \frac{\text{Gerçek Hava Değeri}}{\text{Teorik Hava Değeri}} \quad (1.1)$$

Bu denklemde de görüldüğü üzere hava miktarlarının eşit olması durumunda HFK= 1 ( $\lambda=1$ ) olacaktır. Bu da tam yanma yani stokiyometrik karışım yanması olarak belirtilir. Hava fazlalık katsayısı 1'den küçük olması  $\lambda<1$ , gerçek hava miktarındaki azlığa tekabül eder. Bu durum zengin karışım olarak ifade edilir. Hava fazlalık katsayısının 1'den büyük olması  $\lambda>1$ , gerçek hava miktarındaki fazlalığa tekabül eder. Bu durum" fakir karışım olarak ifade edilir. Şekil 1.3'te benzinli motorlar için HFK'ya göre egzoz emisyon konsantrasyonu görülmektedir.



Şekil 1.3. Benzinli motorlar için hava fazlalık katsayısı ( $\lambda$ ) egzoz kirletici konsantrasyonu

Yanma olayının gerçekleşmesi durumunda gerekli hava miktarı eksik (zengin hava – yakıt karışımı) veya fazla (fakir hava – yakıt karışımı) olabilmektedir. Yanması istenilen 1 kg benzin için gerekli hava miktarı yaklaşık olarak 14,6 kg’dır. Karbüratörlü sistemde benzin ile hava karışımı oluşturulurken gerekenden fazla benzin yakıtı karışıyorsa fazla karışan benzinin tam yanması olmayacak ve yanma sonucu karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) ve suyun ( $\text{H}_2\text{O}$ ) yanında karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbonlar (HC) oluşacaktır. Ayrıca gereken hava miktarından fazla hava miktarı olursa yanma odasında homojen karışım tam olmayacağından fakir ve zengin karışım bölgeleri oluşmaya başlayacaktır. Ancak yanmanın tam olması durumunda bile kimyasal olaylar sonucu bir miktar kirleticiler meydana gelecektir. Yakıt içerisine katılan katkı maddeleri de kirlilik miktarlarını etkilemektedirler. Şekil 1.4’de benzinli bir aracın egzoz emisyon bileşenleri % olarak ifade edilmiştir.



Şekil 1.4. Benzinli araçların atık bileşenleri

#### 1.5.1. Karbonmonoksit (CO)

Zehir derecesi yüksek olan karbonmonoksit renksiz ve kokusuz bir gazdır. Bu zehirli gazın kan içerisinde bulunan hemoglobinle bağlanma konsantrasyonu oksijenin bağlanma durumundan yaklaşık 200 kat daha fazladır. Karbonmonoksit gazının yoğun olduğu yerlerde solunum yapan bir kişi aldığı bu gaz, kan içerisinde bulunan hemoglobinle bağlanarak bozar ve vücut için gerekli olan oksijenin alınmasını engeller, zehirlenme durumunu oluşturur ve boğulmaya neden olur. Karbonmonoksitli ortamda bulunulması durumunda karaciğerden vücut dokularına taşınması gereken oksijeni engeller ve vücut dengesini bozar. Kalp yetmezliği olan kişilerde etki derecesi daha yüksektir.

Yanma olayının gerçekleşmesi durumunda, karbonmonoksit miktarı fazla ise o ortamda oksijen miktarında eksiklik var anlamına gelmektedir. 1 kg benzin yakıtının yanması için gerekli hava miktarı yaklaşık 14,6 kg olarak ifade edilmiştir. Şayet bu yanmada hava fazlalık katsayısı 1'den küçük ise karışım miktarı içerisinde bulunması gerekenden daha az hava var ise yanma tam gerçekleşmeyecektir ve yetersiz yanma olayı denilen durum olacaktır. Bu durumda yanmayan karbonun tümü CO<sub>2</sub>'ye dönüşmeyerek karbonmonoksit olarak kalacaktır. Silindir içerisinde yanmanın tam olabilmesi için gerekli hava her zaman olmayabilir. Ancak karbonmonoksit oluşmasının en etkin belirleyicisi hava fazlalık katsayısıdır.



Karbüratörlü araç kullanımında bu durum vuku bulurken enjeksiyonlu motorlu araçlarda durum biraz daha farklılık göstermektedir. Katalitik konvertör kullanılan araçlarda oksijen sensörü diğer adıyla lambda sensörü egzoz dumanı içerisindeki oksijen miktarını belirleyerek araç kontrol ünitesine sinyal olarak göndermektedir. Kontrol ünitesi de bu değerler doğrultusunda karışımı ayarlayarak silindire göndermektedir. Bu şekilde uygun değer yanmanın gerçekleşmesi sağlanmış olur. Ancak katalitik konvertör de deforme ya da darbelerden dolayı tıkanıklık olması bu durumu değiştirmektedir. Trafikte araç kullananlar oksijen sensörü veya katalitik konvertörün bu duruma gelmesi sonucunda değiştirmek yerine içi boşaltılarak kullanımına devam etmektedirler. Bu da yakıt tüketiminin fazla olması ve egzoz gazındaki kirleticilere tedbir alınmasının önündeki en büyük engeldir.

### **1.5.2.Azotoksitler (NO<sub>x</sub>)**

NO, NO<sub>2</sub> vb. bileşenlerin tümü NO<sub>x</sub> olarak bilinen gazı meydana getirirler. Bu gaz da karbonmonoksit gazında olduğu gibi kan içerisinde hemoglobinle birleşerek zarar vermektedir. Ancak azotoksitlerin en etkili olduğu yer ciğerlerde nemle birleşerek nitrik asit oluşturup zehirli hale gelmeleridir. Bu ciğerde birikme özelliğinden dolayı miktarca az olmasına rağmen solunum hastalığı olan kişilerde ileri derecede tehlikeli olmaktadır. Azotoksitler kimyasal sisin meydana gelmesinde etkili olmaktadırlar. Atmosfer ortamında mevcut su ile birleşerek nitrik asitin meydana gelmesinde önemli rol oynarlar. Bu da yağın yağmurda nitrik asit miktarının çok olmasına ve doğada mevcut ve canlılara zarar vermesine neden olmaktadır.

Azotoksit bileşenleri içerisinde var olan NO rengi ve kokusu olmayan bir gazdır. Yine azotoksit bileşenleri içerisinde bulunan NO<sub>2</sub> gazı ise kırmızı – kahverengi renkli olup kötü kokuları olan, tahriş etme özelliği bulunan etkili bir gazdır. Yanma sonucu oluşan yanma ürünleri içerisinde NO bulunmasına rağmen, havaya bırakıldıktan sonra bir kısmı NO<sub>2</sub>'ye dönüşmektedir. NO gazı felç yapma özelliklerini de içerisinde barındırmaktadır.

Var olan hava içerisindeki N<sub>2</sub> gazı tepkimeye girmez. Ancak motor içerisinde yanma sonucu meydana gelen sıcaklığın 1600 °C'nin üzerine çıkması hava içerisindeki oksijen ile reaksiyona girmesi azotoksitlerin meydana gelmesine sebep olmaktadır. NO bileşeni azotoksitler içerisinde ana eleman olarak bulunmaktadır. İçten yanmalı motorların egzoz emisyon gazları atmosfere atılması neticesinde oksijen ile temasında NO'nun belli bir

bölümü  $\text{NO}_2$  ve diğer kalan kısmı  $\text{NO}_x$  gazlarına dönüşüm yapmaktadırlar. Motorlu araçların silindir içi sıcaklığı azotoksitlerin oluşumunda etkin olduğu ve artar sıcaklığın değerlerine bağlı olarak azotoksitlerin artışından da sayısal olarak gözlemlenilmektedir.

Hava fazlalık katsayısı azotoksitlerin oluşumunda etken bir diğer nedendir. Hava fazlalık katsayısı ( $\lambda=1.1$ ) dolayında bulunması yani fakir karışım ortamlarında azot ile oksijen birleşmesi olacağından azotoksit meydana gelir. Hava fazlalık katsayısı 1.1 den fazla olması yani daha da fakir karışımın olması halinde içten yanmalı silindir içi sıcaklık düşerek reaksiyona girecek karışımda gaz miktarı azalacak ve  $\text{NO}_x$  oluşmasına neden olacaktır.

### **1.5.3. Hidrokarbonlar (HC)**

Tam olarak yanmanın olmadığı yani stokiometrik yanmanın olmadığı durumlarda egzoz gazları içerisinde hidrokarbon gazlarının oluşmasına sebebiyet vermektedir. Silindir içerisindeki sıcaklık ve hava içerisindeki oksijenin yetersizliği hidrokarbonların oluşmasının en temel etkenlerindendir. Hava fazlalık katsayısı ( $\lambda=1$ )'dan küçük olması yani zengin karışımın olması tam yanmanın olmadığı durumlarda hidrokarbonlar meydana gelir.

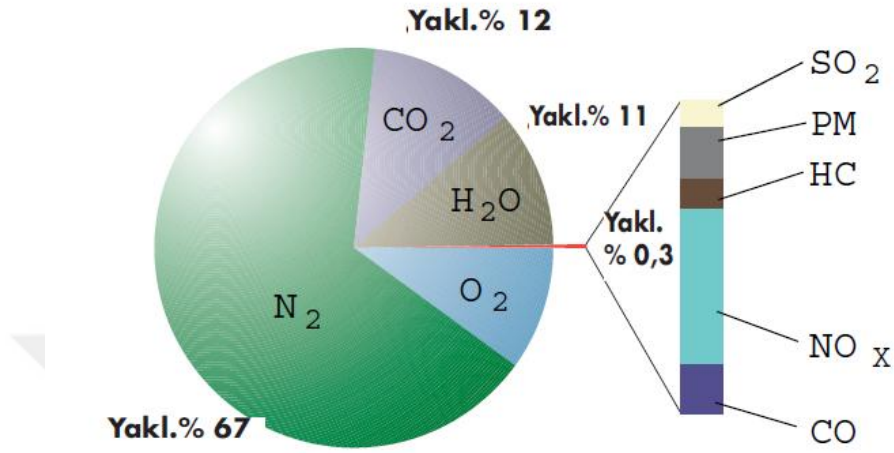
Bu nedenle;

- 1- Silindir içerisinde homojen karışım olmadığı durumlarda yani bazı yerlerinde fakir bazı yerlerinde zengin karışım olması kimyasal reaksiyonların yavaşlamasına ve tam yanmanın gerçekleşmesine engel olur.
- 2- Silindir cidarlarının soğuk olması alev cephesinin iyi yayılmasına engel olacağından tam yanma meydana gelmesini engeller
- 3- Piston – silindir arasındaki bölümlerde alevin etkin bir şekilde ilerlemesini engel olur ve alevin sönmesine neden olur.

### **1.5.4. Partiküller (İs, Duman)**

İçten yanmalı motorlar tarafından üretilen egzoz gazlarını içerisinde büyük miktarlarda is yani küçük partikül tanecikleri olduğu bilinmektedir. Bu is, tam yanmamış karbon partiküllerinden oluşmaktadır. Bu partikül benzinli araçlardan ziyade dizel yakıtı ile çalışan içten yanmalı motor gaz ürünleridir. İs veya duman tüm zararlı bileşenleri

içerisinde bulundurarak solunum sistemine zarar vermektedirler. Şekil 1.5’de dizel bir aracın egzoz emisyon bileşenleri % olarak ifade edilmiştir.



Şekil 1.5. Dizel araçların atık bileşenleri

#### 1.5.5.Kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>)

Akciğer, karaciğer ve solunum yollarında hastalıklara neden olan renksiz, sert kokulu bir gazdır. Su buharı ile birleşerek sülfirik asit meydana getirmesi sonucu insan sağlığı ve bitkiler üzerinde zarar verici özelliklere sahiptir. Yakıtın kükürt miktarına bağlı olarak yanma sonucu havada bulunan oksijen ile birleşerek SO<sub>2</sub> oluşmasına sebep olur. Su buharının etki etmesi sonucu kükürt dioksit sülfirik aside ( H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dönüşür. Buda insan sağlığı açısından olumsuz etkenleri meydana getirir.

#### 1.5.6. Kurşun ve Kurşunlu Bileşikler (Pb)

Benzin yakıtında bulunan oktan sayısını artırmak için yakıt içerisine eklenen kurşun tetraetil benzeri katkı maddeleri, egzoz emisyon gazı içerisinde yanma sonucu çıkan ürünlerde kurşun bileşenlerinin olmasına neden olmaktadır. Bu egzoz bileşenlerindeki kurşun değerleri atmosfere atıldığında yol kenarlarındaki bitkiler üzerinde birikmesi sonucu direkt ya da dolaylı yollardan tüketilmesi sebebiyle insan vücuduna geçmektedir.

İnsan vücudu içerisinde birikerek yüksek etki seviyesinde zehirli bir madde olarak ortaya çıkar. İnsan metabolizması üzerinde ve beyin fonksiyonlarının işlevselliği açısından zararlı duruma gelmektedir. Bu nedenle egzoz ölçüm istasyonlarında ve benzinli araç bakım onarım çalışmalarında bulunan insanları kurşun bileşen zararlarından kendilerini muhafaza etmeleri açısından tedbirlerin alınmasında çalışmalar yapılmalıdır.

Benzin ile çalışan taşıt motorlarında, vuruntulu çalışmayı önlemek amacıyla yakıt oktan sayısını artırmak için kullanılan katkı maddesi yani kurşun tetraetil  $Pb(C_2H_5)_4$ , yanmasının gerçekleşmesinden sonra egzoz gazı emisyonları içerisinde kurşun ve kurşun bromür benzeri bileşenlerin oluşmasına sebep olmaktadır.

Süper benzini oluşturmak için oktan sayısını artırmaya yönelik çalışmalarda gereğinden fazla kurşun bileşenleri kullanılmakta ve söz konusu süper benzin kullanılan araçların egzoz emisyon yanma ürünlerinde kurşun bileşenlerin fazla olduğu görülmektedir. Oktan sayısını artırmak, benzin ısı işlem değerlerini artırmamakta ancak buna karşın yüksek sıcaklık ve basınçlarda kendi kendine tutuşma isteğini azaltmaktadır. Bu da vuruntu olayının oluşmasının önüne geçmiştir. Bu özelliğinden dolayı süper benzinlerde tutuşma eğilimi zordur. Benzindeki oktan sayısının yüksekliği benzin motorlarındaki sıkıştırma oranını artırarak motor verim ve performansını artırmaktadır. Motorlu araçlarda kullanılan bu yakıt araç yakıtından da tasarrufa dönüşmektedir.

#### **1.5.7. Aldehitler (R.CHO)**

Hidrokarbonların kısmi oksidasyonu sonucu meydana gelen bileşiklerdir. Düşük sıcaklıklarda meydana gelen kimyasal tepkimelerin sonucu aldehitler meydana gelir. Formaldehit (HC.HO) ve akrolein ( $C_2H_3CHO$ ) denilen bileşenlerden oluşur. Dizel yakıtı ile çalışan motorların egzoz gazlarında kötü koku, göz ve solunum yollarındaki tahriş edici özelliği olan bileşenler formaldehitler olarak adlandırılır.

#### **1.6. Egzoz Gazı Kirleticileri İçin Ölçü Birimleri**

Atmosfer kirleticilerin, baca ve motorlu araç egzoz gazları içerisindeki miktarını ölçme tiplerine göre;

1 – Yüzdelik İfade (%) (örneğin % 6.5 CO)

2- Milyonda Birim (ppm), ( örneğin motor havuzunda buharlaşan yakıtı gaz kaçak cihazı ölçme sonucu algılanan değer 35 ppm HC)

3-Belirlenen Birim Hacimdeki Kütlesel Miktar ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) (örneğin 120 mg CO)

olarak tanımlanabilirler.  $1 \text{ m}^3$  havadaki  $\text{cm}^3$  olarak ifade edilen bileşenler hacimsel olarak miktarı ifade edilmesine ppm (partspermillion) olarak adlandırılır. Kirletici madde ve bileşenlerin miktarları % veya ppm olarak değerlendirilirler. Ancak bazı durumlarda farklı ölçüler kullanılır. Atmosfer havasını veya yüksüz yani rölantide çalışan bir motorun kirletici oranlarını izah ederken farklılıklar gösterebilir. Yüksüz çalışan bir araçta karbonmonoksit (CO) kirlilik oranı % 6 olarak ifade edilsin. Bu değeri ppm olarak ifade etmek için kullanılacak değer 60000 ppm'dir. Atmosfer içerisindeki hava kirliliğine neden olan karbonmonoksit (CO) değeri 35 ppm olsun. Bu değer % olarak ifadesi 0.0035 gibi bir ifadedir. Bu iki değerden hangisinin durumu izahat konusunda karmaşıklıktan uzak ise o değer ile ifade edilir. Yani yüksek değerler %, düşük değerler ppm olarak ifade edilir. Partikül ifadesi de ağırlık durumunu göstermektedir ve  $\text{mg}/\text{m}^3$  olarak ifade edilir.

### **1.7. Sürüş Şartlarının Emisyona Etkisi**

Egzoz gazlarındaki kirletici üretiminin hava – yakıt bileşeni arasındaki ilişkiyi Şekil 1.2'de görülmektedir. Bu şekilde ifade edilen grafikte motor üzerindeki yük ve devir sabit olduğu kabul edilmiştir. Bu şekilde görüleceği üzere gerçek hava – yakıt oranının teorik hava – yakıt oranına kıyasla çok az fakirleştiği sürede  $\text{NO}_x$  bileşeni değer olarak yükselmektedir. Buna karşın karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon(HC) bileşenlerinde azalma görülmektedir[5].

Gerçek hava – yakıt karışımı istenilen yani teorik hava – yakıt karışımından daha zengin ise karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) değerlerinde yükselme olur,  $\text{NO}_x$  değerinde azalma meydana gelir. Araçlardaki hava – yakıt oranlarına bağlı olarak egzoz gazlarındaki kirleticilerin hava kirliliğine neden olan bu üç bileşenin azaltılıp kontrol altına alınması oldukça zor olduğu görülmektedir.

Motorlu araçların değişik kullanım şartlarına bağlı olarak Şekil 1.2'deki grafikte görüldüğü gibi egzoz emisyon gazlarındaki bileşenler hava – yakıt birleşim oranları ile yakından alakalıdır. Bu grafikte araçların değişik yol şartlarına göre ve havaya salınımı yapılan kirletici egzoz gazları esas alınarak aşağıda tarifler yapılmıştır.

### 1.7.1. Motorun İlk Isınma Durumu

Uzun bir süre stop durumunda bekleyen bir araç motorunun ilk çalışması sırasında, araç soğutma suyunun normal araç çalışma sıcaklığına gelmesi için geçen süreye “motor ısınma” süresi olarak adlandırılır. Yani motor sıcaklığı 70 -80 °Cdolayına ulaşması demektir. Araç motoru yeteri derecede ısınmadığından dolayı benzin buharlaşması istenilen seviyede olmadığından hava – yakıt karışım oranı zengin olarak ifade edilir. Bu oran 5:1 kadardır. İlk hareket aşamasında bu zengin karışımın neden olduğu yanma ürünleri içerisinde CO ve HC üretimi oldukça yüksek olduğu Şekil 1.6’da da görülmektedir.



Şekil 1.6. Motorun ilk ısınması durumu

### 1.7.2. Motorun Rölantide (yüksüz) Çalışması Durumu

Motor yüksüz konumda çalışırken yanma odasına sıkışmış yakıtın sıcaklığı düşer bu nedenle benzin yakıtında buharlaşma iyi seviyede olamaz. Ancak bu durumun önüne geçmek için silindir içerisine zengin karışım gönderilirse yanma olayının düzensiz gerçekleşmesine neden olur. Bu durumdaki hava yakıt oranı istenilen oran içerisindeki yakıt miktarından daha fazladır. Bu oran yaklaşık 11:1 oranı kadardır. Şekil1.7’de görüldüğü üzere, bu durumda yanma sıcaklığı düşeceğinden NO<sub>x</sub> bileşeni 0’a kadar iner. Bununla birlikte CO ve HC yanmamış yakıtın fazlalığından dolayı artar.



**Şekil 1.7.** Motorun rölantide çalışması durumu

### 1.7.3. Motorun Sabit Hızla çalışması

Yüksek hız seviyesine çıkan bir aracın hava – yakıt oranı ile düşük hıza sahip bir aracın hava – yakıt oranı farklılık göstermektedir. Bu nedenle egzoz gazındaki bileşenlerin oluşturmuş olduğu kirlilik durumları da farklılık arz etmektedir. Bu nedenle farklı ivmelenmelerin veya farklı devir durumlarında kullanılan araçlarda egzoz gaz bileşenlerinden farklı zarar seviyelerine rastlanılmaktadır.

### 1.7.4 Motorlarda Düşük ve Orta Hızlar (100 km/h hızın altındaki durumlar)

Bu hızlanma durumlarında hava – yakıt karışımı benzin için öngörülen hava – yakıt miktarına kıyasla daha fakir bir karışımdır. Bu durum her araç motoru için farklılıklar gösterir. En çok var olan motor tiplerinde bu değer 16:1- 18:1 oranları arasındadır. Şekil 1.8’de görüldüğü üzere, fakir karışıma bağlı olarak, yanma odasındaki sıcaklık yükselmelerindeki nedenden dolayı  $\text{NO}_x$  üretiminde büyük artış meydana gelmektedir.



**Şekil 1.8.** Motorlarda düşük ve orta hız durumları

### 1.7.5. Motorlarda Yüksek Hızlar (100 km/h üstünde)

Motorlu araç hızları 100 km/h hızın üzerine ulaştığı durumlarda, araç motoru yüksek bir güç üreterek çalışmaya devam eder ve bu gücün elde edilmesi için hava – yakıt oranı her zaman zengindir. Bu motor tipindeki karışım oranı 12:1 -14:1 arasında değişmektedir.

Bu durumda çalışan motorlarda CO ve HC bileşenlerinde artış gözlemlenmektedir ve yanma için gerekli oksijen silindire alınmadığından dolayı yanma sıcaklığının düşmesine bağlı olarak NO<sub>x</sub> bileşeninde düşmeler gözlemlenmektedir. Bu durum Şekil 1.9’da gösterilmiştir.



Şekil 1.9 Motorlarda yüksek hız durumu

### 1.7.6. Motorlarda Hızlanma

Gaz pedalına yüklenme yapılmaya başladığı andan itibaren emme manifoldu içerisine emilen hava miktarında artma meydana gelecektir. Buna bağlı olarak silindir içerisine alınan yakıtta da artış olacaktır bu da zengin karışım oluşmasına sebep olacaktır. Bu durumdaki karışım miktarı 8:1 oranı dolayındadır. Zengin karışım nedeniyle CO ve HC bileşenlerinde artış meydana gelecektir. Gaz pedalına yüklenme devam ettikçe motor devrinde de artış meydana gelecektir, ve yanma hızı da artar. Yanma odası içerisindeki sıcaklık artışından dolayı NO<sub>x</sub> miktarında da büyüme olacaktır. Motorun hızlanma durumu Şekil 1.10’da gösterilmiştir.





**Şekil 1.10.** Motor hızlanma durumu

#### **1.7.7. Taşıtlarda Motor Freni (Hız Kesme)**

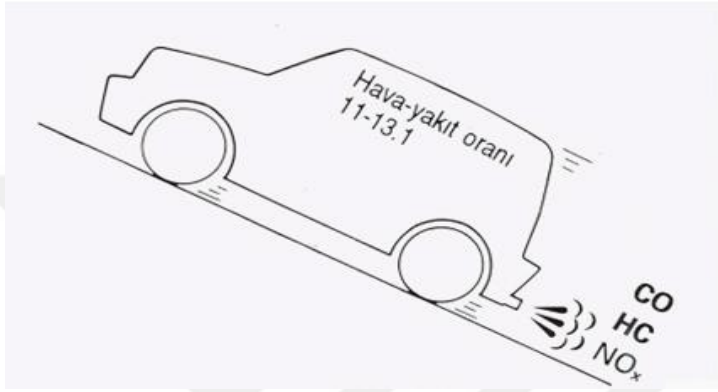
Bu aşamada motor devri oldukça yüksektir ve gaz keleşi tamamen kapalıdır. Yanma odası ile emme manifoldu arasında basınç farkından dolayı bir vakum oluşur. Bu vakum yanma odasındaki alevin karışımın tam yanmadan sönmesine neden olur. Bu sönme olayından sonra HC gazı açığa çıkar ve atmosfere HC gazları atılır. Bu durumda hava – yakıt birleşimi zengin seviyededir. Zengin karışım da yanma tam olmadığı durumlarda CO ve HC gazları artar ve silindir içerisinde yanma kesildiğinden dolayı sıcaklık düşer bu nedenle  $\text{NO}_x$  gazında sıfıra yakın bir değeri olduğu Şekil 1.11’de gösterilmektedir.



**Şekil 1.11.** Taşıt freni durumu

### 1.7.8. Motorun Ağır Yük Durumu

Dik yokuşu çıkmaya başlayan araç, üzerine gelen yükten dolayı ağırlaşır. Bu durumda en zengin karışım oluşması için gaz kelebeği tamamen açılma durumundadır. Bu durumdaki karışım miktarı Şekil 1.12’de görüldüğü üzere 11:1 – 13:1 oranı arasındadır. Zengin karışımdan dolayı CO ve HC gazlarında artış, NO<sub>x</sub> gazında düşüş gözlemlenmektedir.



Şekil 1.12 Motorun ağır yük durumu

### 1.7.9 Gizli Isı Depolamalı Katalitik Konvertörün Kullanılması

İçten yanmalı benzinli bir motorda ilk hareket yani soğuk çalışma esnasında motor ve onun katalitik konvertörü düzenli alışma sıcaklığına gelirken, püskürtülen yakıtın bir kısmı buharlaşmaz ve hava/yakıt oranı yetersiz karışım oranında kalır. Böylesi bir durum da tamamlanmamış yanma ve neticede aşırı egzoz emisyonu neden olur. Bu nedenle motorun soğuk çalışma (ya da ilk hareket) egzoz emisyonlarını düşürmek önemlidir. Yapılacak olan bu çalışmada, benzinli bir içten yanmalı motorun katalitik konvertörüne eklenecek olan faz değiştirecek madde (FDM) içeren bir gizli ısı depolama ünitesi ile soğuk çalışma esnasında ve motor çalışmazken katalizörün ön ısıtması yapılarak, katalizörün reaksiyon sıcaklığına ulaşma süresinin kısaltılması ve böylece yüksek değerlerdeki ilk çalışma (soğuk çalışma) egzoz emisyonlarının düşürülmesi amaçlanmaktadır.

## 2. TAŞIT KAYNAKLI KİRLETİCİ EMİSYONA GETİRİLEN SINIRLAMALAR

Atmosferdeki hava kirliliğine karşı ilk yasal tedbirler 19. yüzyıl başlarında alınmaya başlanmıştır. 1810 yılında Fransa'da çıkarılan bir kanunla uygulanmaya başlanmıştır. 1821'de İngiltere'de buhar makinelerinin insan sağlığına zararlı etkileri tespit edilip, 1857'de de hava kirliliğini, artmasını önlemek için yasal düzenlemeler oluşturulmaya başlanılmıştır.

Hava kirliliğinin canlı organizma ve çevre sağlığı üzerinde etkileri 19. yüzyıl sonunda incelemeye başlanmasına rağmen bu çalışma ile ilgili geniş ve teferruatlı akademik çalışma ve araştırmalar daha çok enerji sarfıyatı yüksek ve coğrafi özelliği nedeniyle ABD'nin Los Angeles şehrinde 2. Dünya savaşıdan sonra başlamıştır. 1943'lü yılların başında bu şehirde ağaç ve bitki yapraklarında solma, kuruma ve yanık lekeleri, insanlarda boğaz ve göz bölgelerinde yanma hisleri, görme yetisinde azalma, ayrıca gerilme uygulanan elastik malzemelerde deforme durumlar gözlemlenmiştir. Bu duruma benzer olumsuz özellikler 1947'de de görülünce bu kirlenmeye karşı alınan tedbirler çelik endüstrisi ve rafineri gibi kirleticilerle membaların parçalarına partikül emisyonlarının tutulması için tedbirler almaya yönelmişlerdir.

1953 yılında hava kirleticilerle kaynaklar tarafından atmosfere atılmamasına rağmen şehir atmosferinde ozon ( $O_3$ ) yoğunluğu standartların üzerinde olduğu tespit edilmiştir. HC ve  $NO_x$ 'lerin güneş ışığı etkisiyle vuku bulduğu belirlenmiştir.

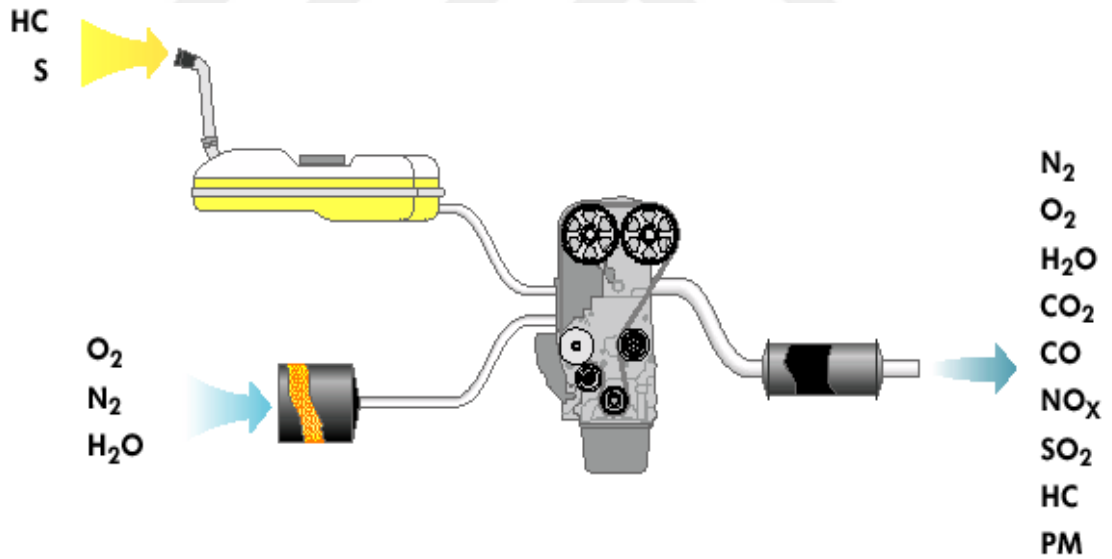
HC ve  $NO_x$ 'lerin kaynağı temelde motorlu taşıtlardır. Motorlu taşıtlarda salınımı gerçekleşen egzoz emisyon gazlarının düşürülmesine yönelik çalışma ilk 1960 yılında ABD'nin Los Angeles şehrinin de bağlı bulunduğu Kaliforniya eyaletinde başlamıştır.

1961 senesinde motorlu taşıtlarda, yağın bulunduğu karter ile silindir alt kısmında bulunan bölümde biriken kompresyon kaçağı ve yağ buharı atmosfere açık alana atılmayıp (karter havalandırması) yeniden emme manifolduna kanal aracılığıyla gönderilmesi ile ilgili çalışmalar başlamış (pozitif karter havalandırması), ayrıca 1963 yılında Kaliforniya eyaletinde yeni trafiğe çıkan bütün araçlara uygulama zorunluluğu getirilmiştir.

1966 yılında ikinci kademe tedbir olarak motorlu taşıtların egzoz emisyonlarında çıkan karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) değerlerine sınır getirilmiştir ve trafiğe çıkan ya da çıkacak motorlu taşıtların da bu limit değerlerin altında olma veya üzerinde

olmama zorunluluğu belirlenmiştir. Bu uygulama Kaliforniya eyaletinde 1968 yılına kadar devam etmiştir.

Motorlu araçları üretenler, bu limit değerleri sağlamak hedefine ulaşmak için hava fazlalık katsayısını 1 -1.05 sınırlarında tutmaya başlamış, bu da egzozdan çıkan CO ve HC emisyonlarını minimize etmiştir. Ancak bu değerleri yakalamak adına yapılan araç üzerindeki iyileştirmeler nüfus ve motorlu taşıt yoğunluğu fazla olan şehir atmosferinde yapılan ölçümler  $O_3$  ve  $NO_x$  değerlerin normalin üzerinde bir artış vuku bulduğu görülmüştür. Hava fazlalık katsayısının (HFK) 1-1.05 arasında bir değere çekilmesi içten yanmalı motorların yanma sonucundaki sıcaklığını yükseltmiş, bu nedenle  $NO_x$  emisyonu artmıştır. Ayrıca  $NO_x$  ve HC'nın gün ışığı etkenine bağlı olarak (fotokimyasal)  $O_3$  oluşumunda da belirgin bir artma gözlemlenmiştir. Tüm bu nedenler 1970 ve 1971 yıllarında ABD'de çıkarılan motorlu taşıtlar egzoz emisyon bileşenlerinden HC, CO ve  $NO_x$  üçlemesini bir arada kontrolünün sağlanması öngörülmüştür. Şekil 2.1'de taşıt kaynaklı kirletici bileşenler gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Taşıt kaynaklı kirleticiler

Yukarıda bahsedilen hava fazlalık katsayısı ülkemizde katalitik konvertörün kullanıldığı motorlu taşıtlarda  $1 \pm 0.03$  olarak öngörülmüştür.

## **2.1.Motorlu Taşıtların Emisyon Kontrolündeki Hedef, Test ve Ölçüm Modelleri**

İçten yanmalı motorlu araçların egzoz emisyon gazlarından çıkan zehirli değerleri azaltmak için, motor performans yönetimi ve egzoz kısmında olmak üzere iki etken kullanılarak sağlanabilir. Düşük düzeyde emisyon değerlerinin sürdürülebilmesi o aracın bütün kullanım ömrü boyunca devam etmesi gerekmektedir. Bu sebeple içten yanmalı motorlu araç menşeli atmosfer kirletici emisyonlara getirilen limit sınırlamalara uyup uymadığını anlamak için gereken egzoz emisyon gazı ölçümleri, yukarıda da belirtildiği üzere iki farklı hedefe göre belirlenmiştir. Bu hedefler için ifa edilen test metotları ve kullanılan teknik donanımlar birbirinden farklıdır. Bu test metotları ve ölçüm teknikleri iki ana başlıkta incelenen bilirliliği mümkündür.

Test metotları ve ölçüm teknikleri,

1-Yeni motorlu taşıtların testi

2-Tescilli yapılmış motorlu taşıtların egzoz gazı emisyonun periyodik kontrolü

### **2.1.1. Yeni Motorlu Taşıtların Testi**

Trafiğe yeni çıkacak motorlu araçlarda tatbik edilir. Test edilecek motorlu araçtan bir numune seçilerek bu motorlu aracın normal bir egzoz emisyon salınım gazı ölçülür. Bu numunenin ölçülmesi için hassas veri analizine tabi düzenek ve standart normlar ile belirlenmiş egzoz gazı emisyon ölçüm ekipmanları kullanılır. Yetkili egzoz gazı emisyon ölçümü yapan istasyonlar da bulunan ölçüm cihazları bu tür deneyler için yetersizdir.

Azami yüklü ağırlığı (AYA) 3500 kg'ın altında olan motorlu taşıtlar bir deney setine bağlamak suretiyle trafik seyir şartları oluşturularak bir seyir çevrimi süresince egzozdan çıkan toplam emisyon değerleri analiz edilerek belirlenir. Azamı yüklü ağırlık 3500 kg'ın üzerinde olan motorlu taşıtlarda ise; motorlu taşıtlara bir motor freni bağlanarak farklı çeşitlerde yük verilerek ( gaz pedalına basılarak) ve farklı devir sayısı oluşturularak egzoz gazı emisyonlarının değerleri analiz edilerek belirlenir.

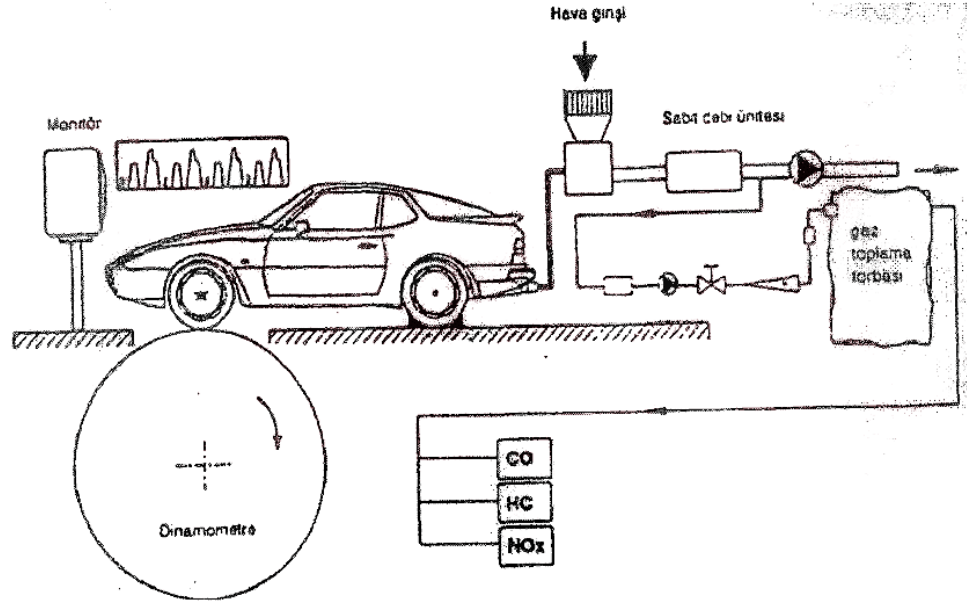
Bu analiz sonuçlarında motorlu taşıtların egzoz gazı emisyonu önceden standardı oluşturulmuş sınır limitlerini geçip geçmediği test edilmiş olup, üretimine başlanması veya ithal edilmesine müsaade edilir. Ayrıca analiz sonucu bu aracın atmosfere salınım değerleri tüketiciye araç uygunluk belgesi veya AT Araç Tip Onay belgesi aracılığıyla taahhüt edilir.

## **2.1.2. Tescilli Yapılmış Motorlu Taşıtların Egzoz Gazı Emisyonun Periyodik Kontrolü**

### **2.1.2.1. Motorlu Taşıt Egzoz Emisyonunun Seyir Boyunca Ölçülmesi ve Sınır Limitler**

Kara yollarında kullanılan içten yanmalı taşıt motorundan, gerçek yol sürüş şartlarında egzoz emisyonunda çıkan zararlı bileşenlerin miktarını tespit etmek için 1960'lı yılların ikinci yarısından itibaren ABD'de başlayarak laboratuvar koşullarında bir şasi dinamometresi ile aracın yol şartlarında hareketini modelleyen deney ortamında önceden belirlenmiş bir harekete tabii tutulur. Bu amaçla egzoz emisyonunu ölçülecek taşıtın motordan hareketi alan (tahrikli dingil) tekerlekleri roller ya da tambur üzerine gelecek şekilde hazırlanır ve araç test edilmek üzere sabitlenir. Söz konusu roller ya da tambur sistemi, taşıtın dingil ağırlığına göre hızlanma direncine ek olarak yol koşullarındaki sürtünmeler ve rüzgar dirençlerini gerçek sürüş şartlarına uygun olacak şekilde hesaplanarak taşıta uygulanır.

Taşıtın yol sürüş şartlarını sağlayabilmesi için roller veya tambura etki eden elektriksel motor – jeneratör ya da elektriksel motorun tatbik edeceği güç, elektronik olarak ayarlanmaktadır. Deneyin başlaması için motorlu araç çalıştırılır ve daha önceden belirlenmiş sürüş şartlarına uygun koşullarda kullanılır. Motorun egzoz borusu ile egzoz gazı emisyonunun örnek alınması için hazırlanan düzeneğe hava ve gaz giriş – çıkışı olmayacak şekilde bağlanır. Aracın egzoz borusundan çıkan bütün gazları toplamak çok büyük hacim gerektirdiğinden bunun yerine egzoz gazları sabit debili pompa yardımı ile absorbe edilen hava ile seyreltilir ve bu seyreltilen egzoz emisyon gazının bir kısmı Şekil 2.2'deki gibi deney boyunca bir gaz toplama torbasına doldurulur.



**Şekil 2.2.** Motorlu aracın yol şatlarındaki hareketini modelleyen roller ve egzoz emisyon ölçüm düzeneği

Deney bitiminden sonra örnek torbada toplanan seyreltik egzoz emisyon gazının içindeki kirletici ve zararlı maddelerin hacimsel oranları ölçülür. Bu hacimsel miktardan, çevrim boyunca egzozdan atılan kirletici maddelerin ağırlığı kayıt altına alınır. Tatbik edilen test çevriminin uzunluğu (km)bu taşıtın gerçek yol sürüş koşullarında egzozdan alınan birim yol başına (gr/km) kadar kirletici yaydığı tespit edilmiş olur.

Motorlu kara araçların egzoz emisyonları ölçmek için kullanılmak üzere çeşitli çevrimler hazırlanmıştır.

### 1- Amerika Birleşik Devletlerindeki Uygulama

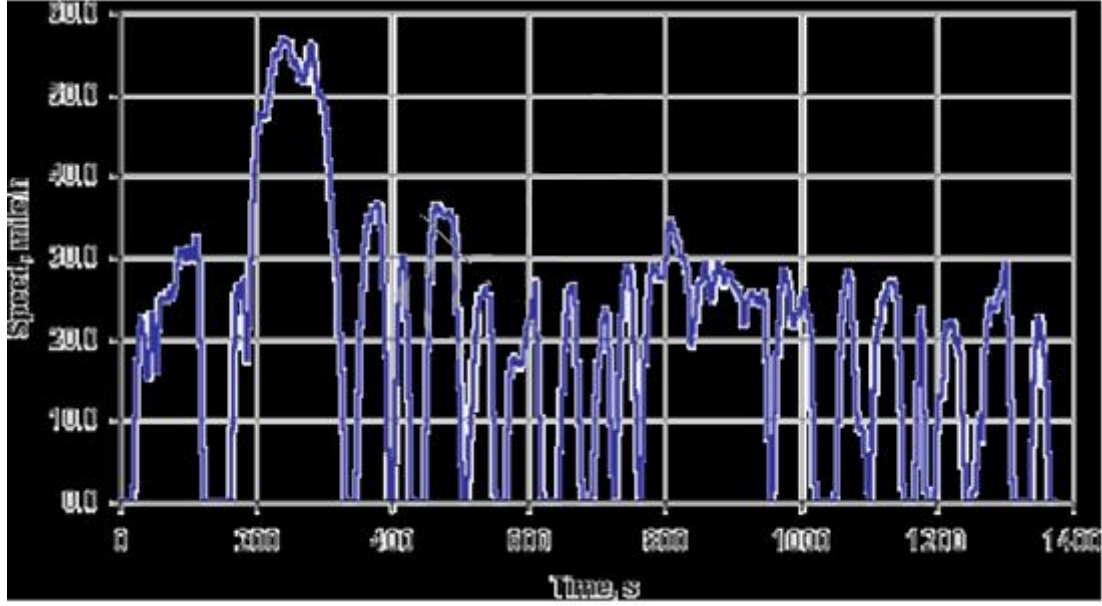
(Taşıt boş ağırlığı – Net 3500 kg altında olanlar için)

#### a) FTP-72 veya LA-4 Çevrimi

Bu çevrimde 12.07 km'lik farklı çeşitlerde start – stoplar (dur kalk) olan, hızı 0'dan başlayarak farklı kademelerle 91.2 km/h 'e kadar değişerek artan bir gerçek şehir içi seyir yada sürüş durumu referans alınarak hazırlanmıştır. Bu taşıtın ortalama hızı 31.5 km/h olarak belirlenmiştir ve 22 dakika 52 saniye sürüş durumu devam etmektedir. Bu sürenin %17.8'i durma zaman dilimidir. Çevrim iki aşamadan meydana gelmiştir. Birinci aşama 505 s ve ikinci aşama 867s olarak belirlenmiştir. Tablo 2.1'de belirtildiği üzere, araç ilk

aşamaya gece sıcaklığı ortalama 20 °C civarında araç durduktan sonra başlamıştır. Birinci ve ikinci aşama arasındaki ayırım motorun 10dk durdurulmasıyla olur. Her iki aşamada da egzoz kirleticilerin ağırlıkları birinci aşama için 0.43(gr/mil) ve ikinci aşama için 0.57 (gr/mil) olarak belirlenmiştir.

**Tablo 2.1.** FTP-72 çevrimi hız – zaman diyagramı

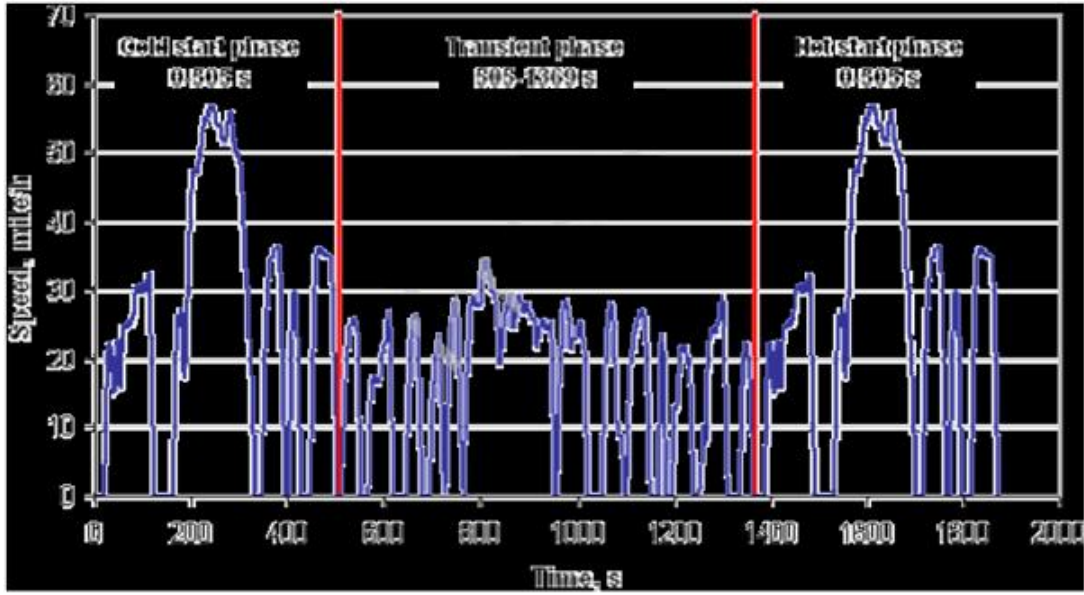


#### **b) FTP-75 Çevrimi**

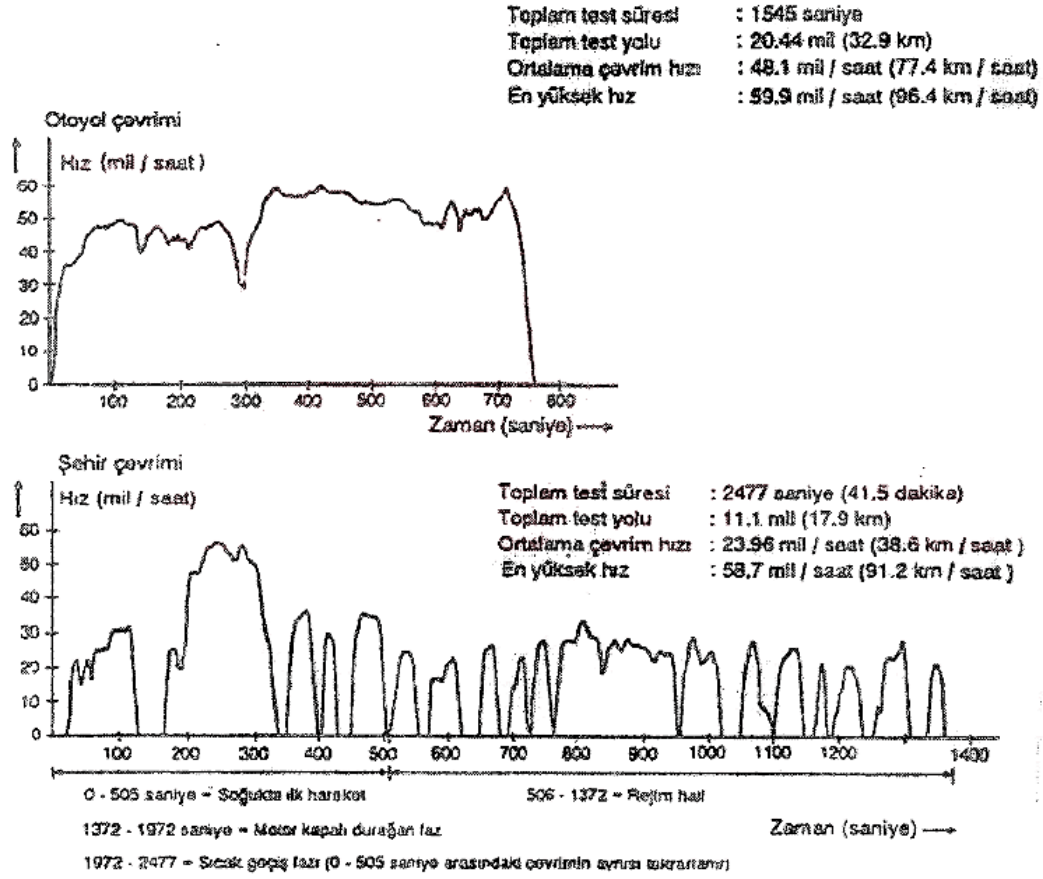
Bu çevrimde FTP-72 çevrimine ilave olarak üçüncü bir aşama daha vardır. FTP-72 çevriminin ikinci aşaması bitiminde motor 10 dakikalık stop durumundan sonra 505 saniyelik üçüncü aşama başlar. Bu aşamada saatte ortalama 34,3 km/h hızla 17,86kilometrelik yol kat edilir. Her üç aşamada egzoz emisyon değerleri ayrı ayrı ölçülür. Hava kirliliğine sebep olan kütleler (gr/mil olarak ölçülür.) her bir aşama için farklı olan ağırlıklarla ayar yapılır.0,43gr/mil soğuk aşama,1000 gr/mil için ikinci aşama ve son olarak da üçüncü aşama için 0,57 gr/mil kullanılır. Bu durum Tablo 2.2’de de ifade edilmiştir.



**Tablo 2.2.** FTP-75 çevrimi hız – zaman diyagramı



Amerika Birleşik Devlet'lerinde 1975 yılından itibaren kullanılan bu FTP-75 (Federal Test Procedure) olarak isimlendirilen standart bir şehir içi çevrimi uygulamaya başlanmıştır. Günümüzde de bu çevrim kullanılmaya devam edilmektedir. Bu FTP-75 çevrimi Brezilya, Meksika, Avustralya, Suudi Arabistan vb. birçok ülkesinde araçların üretmiş olduğu egzoz emisyon kirleticilerin tespitinde uygulanmaktadır.



Şekil 2.3. FTP-75 çevrimi - hız zama diyagramı

FTP-75 çevrimi testi gerçekleştirilen taşıtın egzoz emisyon gazlarından çıkan kirleticilere getirilen sınırlamalar belirli zaman dilimlerinde gittikçe düşürülmüş ve motorlu araç üretkenlerin bu değerleri baz alarak motorlu taşıt üretimi zorunlu hale gelmiştir. Şekil 2.3'de de ifade edilmektedir. ABD'nin 49 eyaletinde EPA (Environmental Protection Agency) motorlu taşıt egzoz gazlarına getirilen sınır limitleri zamanla aşağıdaki tabloya göre değişimi göstermiştir.

**Tablo2.3.** ABD’de 1971 ile 1981 arası egzoz sınır değerleri

| Uygulamaya<br>başlangıç yılı | CO<br>(g/mil) | HC<br>(g/mil) | NO <sub>x</sub><br>(g/mil) | Partikül<br>(g/mil) |
|------------------------------|---------------|---------------|----------------------------|---------------------|
| 1975                         | 15            | 1.5           | 3.1                        | -                   |
| 1977                         | 15            | 1.5           | 2                          | -                   |
| 1980                         | 7.0           | 0.41          | 2                          | 0.373               |
| 1981-                        | 3.4           | 0.41          | 1                          | 0.2                 |

İçten yanmalı motorlarda egzoz emisyonlarına getirilecek sınırlamaların en iyi örneğini ABD’nin Kaliforniya eyaletini baz alarak değerlendirmek en iyi örneklendirme olacaktır. ABD’nin Kaliforniya eyaletinde 1981 yılından itibaren uygulanmaya başlanan ve gelecek dönemlerde getirilecek sınırlamalar aşağıdaki Tablo 2.4 de belirtilmiştir.

**Tablo 2.4.** ABD’nin Kaliforniya eyaletinde 1981 yılından itibaren uygulanmaya başlanan ve gelecek dönemlerde getirilecek sınırlamalar

| Uygulamaya<br>Başlangıç yılı | CO<br>(g/mil) | HC<br>(g/mil)        | NO <sub>x</sub><br>(g/mil) | Partikül <sup>(3)</sup><br>(g/mil) | HCHO <sup>(4)</sup><br>(g/mil) | Uygulama<br>tanımı |
|------------------------------|---------------|----------------------|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 1981                         | 7.0           | 0.41                 | 0.4                        | 0.08                               | -                              | -                  |
| 1993                         | 3.4           | <sup>(1)</sup> 0.25  | 0.4                        | 0.08                               | -                              | CAA1               |
| 1994                         | 3.4           | <sup>(2)</sup> 0.125 | 0.4                        | 0.08                               | 0.015                          | TLEV               |
| 1997                         | 3.4           | <sup>(2)</sup> 0.075 | 0.2                        | 0.08                               | 0.015                          | LEV                |
| 1997                         | 1.7           | <sup>(2)</sup> 0.04  | 0.2                        | 0.04                               | 0.008                          | ULEV               |
| 1998                         | -             | -                    | -                          | -                                  | -                              | ZEV                |

<sup>(1)</sup> Sadece metan içermeyen HC miktarı ölçülür. Metan reaktif HC olmadığı için atmosferde ozon oluşmasını etkilemez ve bu yüzden gözardı edilebilir.

<sup>(2)</sup> Ozon oluşumu açısından reaktif olmayan bütün HC’ ler gözardı edilerek oksijenli ve oksijensiz olan toplam HC miktarı ölçülür.

<sup>(3)</sup> Sadece dizel motorlu taşıtlarda ölçülür.

<sup>(4)</sup> Daha önce tanımlanan aldehitlere (HCHO) getirilen sınır değerler.

Tablo 2.4’de son sütunda belirtilen tanımların belirtmiş olduğu anlamlar aşağıda kısaca tarif edilmiştir.

**CAA1 (Clean Air Act Stage1):** Temiz havanın korunması için yapılan ”Temiz havasözleşmesi”nin 1. Aşama uygulanması

Diğer aşamadakiler de şu şekilde ifade edilir.

**TLEV (Transitional Low Emission Vehicle) :**Düşük emisyonlu taşıt dönemi geçişi

**LEV (Low Emission Cehicle) :** Düşük emisyonlu taşıt

**ULEV (Ultra Low Emission Cehicle):**Çok düşük emisyonlu taşıt

**ZEV (Zero Emission Vehicle):**Hiç emisyonu olmayan taşıtlar

Tablo 2.5’de ise kademe kademe Tablo 2.4’de gösterilen sınır değerlerin 2003 yılına kadar miktarlarda üretim olacağını göstermiştir.

**Tablo 2.5.** Kaliforniya eyaletinde sınır değerlerine uygun olarak trafiğe çıkacak yeni model taşıtların % olarak her yıla ait payları

| Uygulama yılı | 1982 | 1993<br>(CAA 1) | 1994<br>(TLEV) | 1997<br>(LEV) | 1997<br>(ULEV) | 1998<br>(ZEV) |
|---------------|------|-----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| 1990          | 100  |                 |                |               |                |               |
| 1991          | 100  |                 |                |               |                |               |
| 1992          | 100  |                 |                |               |                |               |
| 1993          | 60   | 40              |                |               |                |               |
| 1994          | 10   | 80              | 10             |               |                |               |
| 1995          |      | 85              | 15             |               |                |               |
| 1996          |      | 80              | 20             |               |                |               |
| 1997          |      | 73              |                | 25            | 2              |               |
| 1998          |      | 48              |                | 48            | 2              | 2             |
| 1999          |      | 23              |                | 73            | 2              | 2             |
| 2000          |      |                 |                | 96            | 2              | 2             |
| 2001          |      |                 |                | 90            | 5              | 5             |
| 2002          |      |                 |                | 85            | 10             | 5             |
| 2003          |      |                 |                | 75            | 15             | 10            |

### c) AT (Avrupa Topluluğu)'daki Uygulama

(Net Ağırlığı 3500 kg altındaki motorlu araçlar)

Avrupa Topluluğuna müntesip ülkelerde motorlu araçların egzozunda çıkan kirleticilere karşı ilk tedbir ve sınırlama 1972 yılından itibaren başlamıştır. Avrupa Topluluğunun almış olduğu kararları ifade eden kısaltmalar aşağıdaki gibidir.

**ECE** : Ecomomic Commission for Europa

(Avrupa ekonomik komisyonu)

**R** : Regulation (yönetmelik / düzenleme)

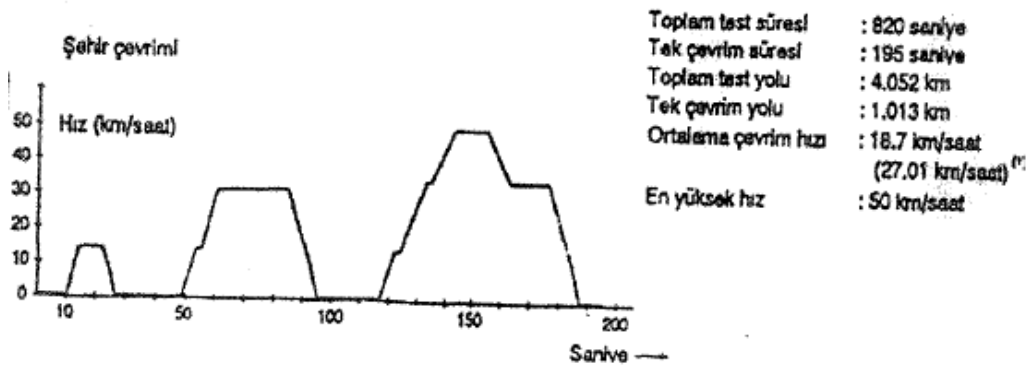
**EEC** : European Economic Community

(Avrupa ekonomik topluluğu)

**70/220** : Yayınlama tarihi /Yayın Sayısı

Avrupa Ekonomik Topluluğun (EEC) yayınları direktif olarak adlandırılır, tavsiye değerli değildir, kesin uygulama kistası vardır. Ancak uygulamaya başlama tarihi yayın tarihinden daha ileri bir tarih olabilmektedir. Yani bir direktif yayınlandıktan itibaren 3 ya da 6 ay sonra yürürlüğe girebilir. Egzoz emisyon ölçüm uygulamaları prensip olarak ABD'de uygulanan yöntemin aynısıdır. Şehir içi trafik akışı modellenmesi yapılarak, yol hareketine benzer şekilde çevrime dahil edip, hız, ivme ve alınan yol hesapları yapılmıştır.

Net ağırlığı 3500 kg'nin altında olan taşıtlara bu modelleme uygulanmıştır. Bu modelleme art arda dört kez tekrarlaması sonucu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.4. ECE 15.00 şehir içi çevrimi

Tarihsel gelişle ile Avrupa Topluluğu yönetmelikleri aşağıda verilmiştir.

#### **ECE-R.15.00**

Binek olarak tanımlanan azmi yüklü ağırlığı (AYA) değeri 3500 kg'ın altında olan araçlara 1972 yılından itibaren egzoz emisyon bileşenlerinden hidrokarbon (HC) ve

karbonmonoksit (CO) değerlerine sınırlama getirilmiştir. Şekil 2.4’de ECE-R.15.00 gösterilmektedir.

#### **ECE-R.15.01**

Hidrokarbon (HC) ve karbonmonsik (CO) değerleri bir önceki 1975 yılı itibariyle daha aşağı bir değere indirgenmiştir.

#### **ECE-R.15.02**

Hidrokarbon (HC) ve karbonmonsik (CO) değerleri yanında 1977 yılı itibariyle azotoksit (NO<sub>x</sub>) değerine de sınırlama getirilmiştir.

#### **ECE-R.15.03**

Hidrokarbon (HC), karbonmonsik (CO) ve azotoksit (NO<sub>x</sub>) değerleri 1977 regülasyonuna göre sınır limitleri daha da aşağıya çekilmiştir.

#### **ECE-R.15.04**

1984 yılı başından itibaren Hidrokarbon (HC), Karbonmonsik (CO) ve Azotoksit (NO<sub>x</sub>) emisyonları azami yüklü ağırlığı 3500 kg altında olan benzinli motorlu araçların yanında dizel motorlu araçlara da egzoz emisyon gazındaki partiküllere de sınırlama getirilmiştir.

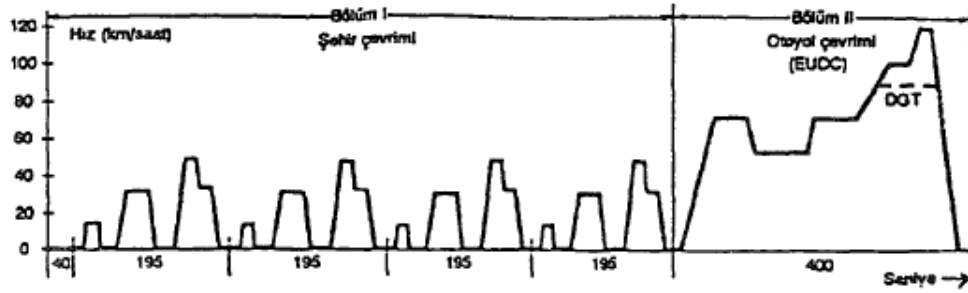
#### **ECE-R.15.05**

Bu regülasyon ile 1989 yılından itibaren motorlu taşıtların motor hacmine göre değişik sınır değerleri uygulanmasına başlanmıştır. 2 litre ve üstü, 1.4 litre ve 2 litre arası ve 1.4 litre den küçük motor hacmine sahip araçlar olarak üç farklı sınırlama tablosu oluşturulmuştur.

Bu uygulamanın temelinde getirilen en büyük değişiklik motor hacmi büyük olan taşıtların egzoz emisyon sınır değerlerine indirgenmeleri için taşıtın egzoz emisyon sistemine katalizör takılmasının kaçınılmaz bir duruma geldiğidir.

#### **EURO 93**

1991 yılı itibariyle şehir içi 120 km/hıza kadar çıkılan bir taşıtın otoyol çevrimine tabi tutulmasıdır ve egzoz emisyon limit değerleri gr/test yerine gr/km olarak ifade edilmiştir. Bu euro normuna istinaden bütün benzin ile çalışan motorlu taşıtlar egzoz emisyon sistemlerini limit değerlere uyarlaya bilmek için üç yollu katalitik konverter kullanmaları bir zorunluluk hali almıştır. Bununla birlikte benzin yakıt deposunda ve yakıt sisteminden dolayı oluşan Hidrokarbon (HC) emisyon değerlerine de sınırlama getirilmiştir. EURO 93 çevrimi şekil 2.5’de gösterilmektedir.



Şekil 2.5. EURO 93 test çevrimi

Avrupa Topluluğuna mensup ülkelerde tarihsel gelişim baz alınarak oluşturulan egzoz emisyon yönetmeliklerine bağlı getirilen sınır değerleri tablo 2.6 ile belirtilmiştir.

**Tablo 2.6.** Avrupa Topluluğu Ülkelerinde Binek Taşıtlar İçin Uygulanan Emisyon Sınır Değerleri

| Uygulama Başlangıç Yılı | Uygulanan Yönetmelik             | CO      | HC       | NOx      | HC+NOx  | Partikül | Yakıt tüketimi <sup>(8)</sup> |
|-------------------------|----------------------------------|---------|----------|----------|---------|----------|-------------------------------|
| 1972 <sup>(1)(9)</sup>  | ECE-R.15.00 (EEC 70/229)         | 100-220 | 8.0-12.8 |          |         |          |                               |
| 1975 <sup>(1)(9)</sup>  | ECE-R.15.01 (EEC 74/239)         | 80-176  | 6.8-10.9 |          |         |          |                               |
| 1977 <sup>(1)(9)</sup>  | ECE-R.15.02 (EEC 77/101)         | 80-176  | 6.8-10.9 | 10.0-16  |         |          |                               |
| 1979 <sup>(1)(9)</sup>  | ECE-R.15.03 (EEC 79/665)         | 65-143  | 6.0-9.6  | 8.5-13.6 |         |          |                               |
| 1984 <sup>(1)(9)</sup>  | ECE-R.15.05 (EEC 82/531)         | 58-110  |          |          | 19-28   |          |                               |
| 1989 <sup>(1)(9)</sup>  | ECE-R.15.05 (EEC 89/66) Benzinli | 25-45   |          |          | 6.5-15  |          |                               |
|                         | Ön yanma odalı diesel            | 30      |          |          | 8       | 1.5      |                               |
|                         | Direkt püskürtmeli diesel        | 58-110  |          |          | 19-28   | 2.1      |                               |
| 1991 <sup>(1)(9)</sup>  | EURO 93 (EEC 91/441) Benzinli    | 2.72    |          |          | 0.97    |          | 2                             |
|                         | Ön yanma odalı diesel (91)       | 2.72    |          |          | 1.36    | 0.14     |                               |
|                         | Direkt püskürtmeli diesel (95)   | 2.72    |          |          | 1.36    | 0.14     |                               |
| 1996 <sup>(1)(9)</sup>  | EURO 96                          | 2.2     |          |          | 0.7-0.9 | 0.08-0.1 | 2                             |

Daha ileriki yıllarda sınır değerleri gelişen teknolojiye bağlı olarak kullanılan çevrimler ve taşıt sınıflarında değişiklikler referans alınarak oluşturulmuştur.

ABD'deki farklı uygulamalara rağmen AT'de azami yüklü ağırlığı 3500kg'nin altında kalan taşıtlar ağırlıkları, motor hacimleri ve araç cinsleri ile değerlendirilerek sınıflandırılmalar yapılmıştır ve bu sınıflar çerçevesinde sınır değerleri belirlenmiştir.

## **2.2. Motorlu Taşıtların Egzoz Emisyon Süreleri**

Önceki bölümlerde anlatılan çevrimler baz alınarak egzoz emisyon kontrol periyotları belirlenmemektedir. Karayollarında seyreden taşıtların motor cinslerine bağlı olarak egzoz emisyon kontrolleri iki sınıfa ayrılmaktadır.

- 1- Sıkıştırılmalı Ateşlemeli dizel yakıtı ile çalışan araçların egzoz emisyon kontrolü
- 2- Pozitif Ateşlemeli benzin ile çalışan araçların egzoz emisyon kontrolü

Benzin ile çalışan motorlu araçlarda ve optimum çalışma sıcaklığına ulaşması sağlanır. Bu ortalama bir aracın motor sıcaklığı 80 °C civarında olmalıdır. Taşıt park durumunda boş vites konumunda gaz pedalına basılmadan alınan bir ölçüm değeri ayrıca 2000 dev/dak cinsinde gaz pedalına basılarak alınan ölçüm değeri ile egzoz gazındaki aşağıdaki bileşenler ölçüm miktarları belirlenir.

- 1) Oksijen (O<sub>2</sub>)
- 2) Karbondioksit (CO<sub>2</sub>)
- 3) Karbonmonoksit (CO)
- 4) Hidrokarbon (HC)

Egzoz fazı ölçümünde kullanılan cihazlarda ölçülen değerler, egzoz gazındaki bileşenlerin % miktarı ya da PPM olarak toplam egzoz gazındaki hacimsel oranı ifade eder.

Yüksüz durumda yani rölanti konumunda egzoz gazı ölçümü ile motor devrini belirten bir aygıt ile ölçüm alınırsa, motorun ateşleme sistemi ve yakıt sistemi hakkında bilgi sahibi olunabilir. Ölçüm esnasında motor sıcaklığının belirlenmesi, sıcaklık ve devir farklarından dolayı araç üreticilerin doğru mukayese değerlerine sahip olması üretim kalitesini, yakıt tüketim bilgisi vb. veriler ile üretim gerçekleşir.

Egzoz emisyonlarında hidrokarbon (HC) ve karbonmonoksit (CO) bileşenlerinin belirlenen standardın üzerinde çıkması, araç yakıt tüketiminde düzensizliğe ( genelde



hidrokarbonun (HC) yüksek olması zengin karışım) neden olur. Bu durumun oluşmasına da ateşleme sisteminin ayarsızlığı, kıvılcım yetersizliği ya da hava filtresindeki kirlenme ve tıkanıklıktan kaynaklı olabilir.

Egzoz emisyon gazında sadece hidrokarbon (HC) bileşeninin standarttan fazla olması, üst kapaktan veya yağ segmanının deforme olmasından dolayı yanma odasına motor yağının karışmasından veya silindirlerde ateşlemenin tam ve doğru zamanlı yapılmadığından kaynaklıdır.

Egzoz gazı emisyonundaki O<sub>2</sub> bileşeninin artışı buna bağlı CO<sub>2</sub> bileşeninin azalışı ise egzoz borusundan kaçak olduğuna işaret eder. Bu kaçak durumunda havanın egzoz sistemine girmesi sonucu dolayısıyla egzoz gazlarının bir bölümünün bu kaçaklardan atmosfere atılmasına sebep olur.

Özetle bu tür testler karayolunda seyreden motorlu araçların ayar düzeneğinin bozulmaması ve bakım kontrollerinin kayıt altına alınması ile neticelenir. Ancak bu test yöntemleri tek başına, bir aracın trafikte oluşturduğu kirlilik derecesi hakkında detaylı bir bilgiye sahip olmamıza olanak sağlamaz.

### **2.2.1. Türkiye’de Emisyon Kontrol Tarihçesi**

Avrupa ve dünyada hava ve egzoz emisyonlarına getirilen sınırlamalar ile birlikte ülkemizde de bu konuda çalışmalar yapılmıştır. Hava kirliliği konusunda 1961 yılında sağlık bakanlığı bünyesinde 2 adet yarı otomatik kükürdioksit ve duman ölçer cihazı kullanılmaya başlanılmıştır. 9.08.1983 tarihinde 2873 sayılı çevre kanunu yürürlüğe girmiştir.

Egzoz emisyon ölçümleri Sanayi ve Ticaret Bakanlığının isteği üzerine 1993 yılında İ.T.Ü Makine Fakültesi Otomotiv Ana Bilim Dalında ölçümler alınmaya başlanmıştır.

Ülkemizde egzoz muayene süreleri aşağıdaki belirlenmiştir

- 1- Hususi otomobiller ilk üç yaş sonunda ve devamında 2 yılda bir
- 2- Resmi otomobiller ilk üç yaş sonunda ve devamında 2 yılda bir
- 3- Diğer motorlu taşıtlar ilk bir yaş sonunda ve devamında yılda bir

Ülkemizde benzinli / LPG’li araçlar için istenilen sınır değerleri; Tablo 2.7’de gösterildiği üzere sınırlamalar getirilmiştir.

**Tablo 2.7.** Egzoz sınır değerleri

| Rölantide                                     | % CO (hacmen) |
|-----------------------------------------------|---------------|
| 1/10/1975'den önce trafiğe çıkanlar           | En fazla 6    |
| 1/10/1975-1/10/1986 arasında trafiğe çıkanlar | En fazla 4,5  |
| 1/10/1986'dan sonra trafiğe çıkanlar          | En fazla 3,5  |

Katalitik Konvertörlü araçlarda ise; sınır değerleri Tablo 2.8'de belirtilmiştir.

**Tablo 2.8.** Katalizörlü araçlarda egzoz sınır değerleri

| Rölantide (<2000 min <sup>-1</sup> )                                                                           | % CO (hacmen) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Taşıt üreticisinin belirlediği bir CO miktarı yok ise                                                          | En fazla 0,5  |
| 70/220/AT Yönetmeliğinin 98/69/AT değişikliğine göre tip onayı alan taşıtlar veya 2003 model yılından itibaren | En fazla 0,3  |
| Yüksek Rölantide (≥ 2000 min <sup>-1</sup> )                                                                   | % CO (hacmen) |
| Taşıt üreticisinin belirlediği bir CO miktarı yok ise                                                          | En fazla 0,3  |
| 70/220/AT Yönetmeliğinin 98/69/AT değişikliğine göre tip onayı alan taşıtlar veya 2003 model yılından itibaren | En fazla 0,2  |

Lambda değeri, üreticinin belirlediği şartlara göre **1+/- 0,03** olmalıdır.

### 3. KATALİTİK KONVERTÖRLER

Kutlar O.A, vd. [1], Pozitif ateşlemeli motor dizaynına sahip taşıtların egzoz gazı emisyon sıcaklığı rölantide yaklaşık 300-400 °C seviyesinde, yüksek devirlere çıktıkça oluşan güç sonucunda egzoz gazı sıcaklığı 900 °C dolaylarında değişmektedir. Motor egzoz gaz sıcaklığı en fazla 400 -600 °C arasında değişmektedir. Pozitif ateşlemeli içten yanmalı motorlar genellikle yakıt hava oranları 0.9 – 1.2 arasında çalışmaktadır. Bu nedenle egzoz gazı fakir karışım seviyesinde belli bir oranda oksijen veya zengin karışım seviyesinde fazla miktarda karbonmonoksit (CO) içermektedir. Pozitif ateşlemeli motorlu araçların tersine, dizel motorlarda kontrol püskürtme seviyesinde yapıldığı için karışım genellikle fakir seviyededir.

Hetwood vd.[2], İş yada genişleme zamanından sonra gelen yakıt ürünlerinin silindirden atılması sonrası egzoz gazlarının içerisinde bulunan kirleticileri temizleme durumu termal veya katalitik olarak yapılabilir. Hidrokarbonları oksitlemek için katalizör kullanmadan 600 °C'nin üzerinde bir sıcaklığa ulaşmak gerekir. Karbonmonoksitleri oksitlemek için gerekli sıcaklık 700 °C'nin üzerinde olması lazımdır. Egzoz gazları içerisinde bulunan hidrokarbon ve karbonmonoksit katalitik oksidasyonları için sıcaklık 250 °C kadar düşük olması mümkündür. Bu nedenle egzoz gazındaki bu kirleticilerin temizlenmesi olayı termal oksidasyonda olduğundan daha fazla geniş sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir. Egzoz gazı içerisinde bulunan azotoksitleri temizlemek için tek geçerli yol ve yöntem katalitik proses olma zorunluluğudur. Katalitik yöntemin tercih edilmesinin nedeni NO'nin (azotmonoksit) egzoz gazındaki CO, HC veya H<sub>2</sub> kullanılarak indirgeme neticesinde N<sub>2</sub> üretimidir. Gelişen teknolojiye bağlı olarak egzoz gazından dolayı kirlenmeyi azaltmak için katalitik konvertörler yaygın ve zorunlu olacak şekilde kullanılmaktadır.

#### 3.1. Katalitik Konvertör Yapısının İncelenmesi

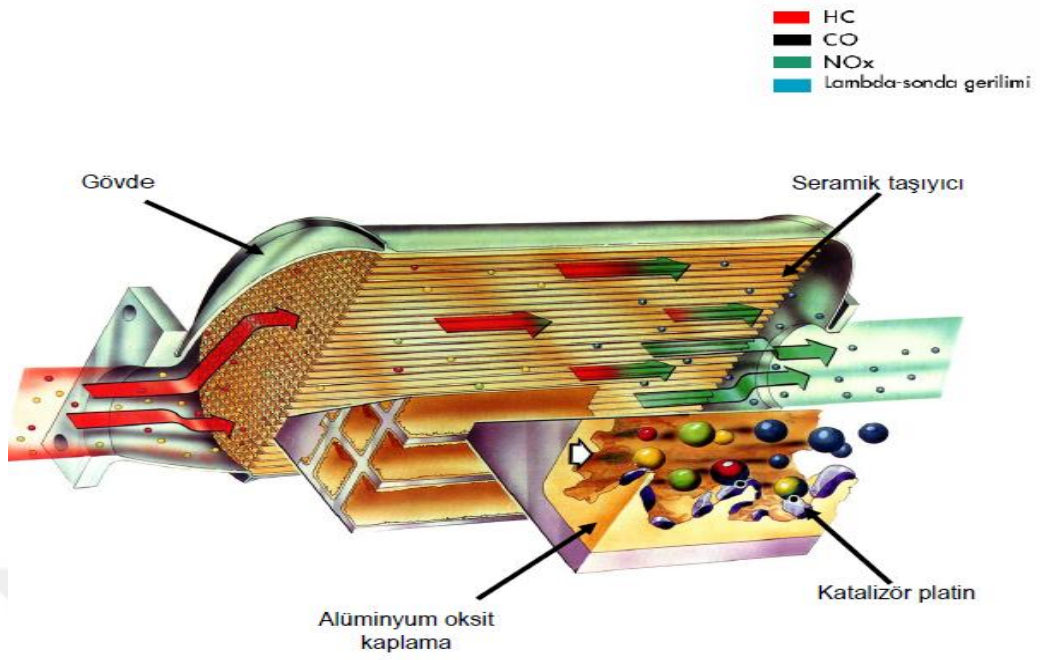
Söz konusu olan katalitik konvertörler, özel muhafazası içerisinde aktif katalitik malzeme içeren kompakt bir dizayna sahip parçadır. Egzoz borusu üzerinde susturucu olarak ifade edilen parçaya benzemektedir. Katalitik konvertörlerin yüzey alanların çok geniş olması için petek şeklinde, seramik (magnezyum –alüminyum silikat) veya metalden

tek parça şeklinde yapılmış taşıyıcı eleman bulunmaktadır. Petek şeklinde olanların kanal sayısı 30-60 kanal/cm<sup>2</sup> kadar olabilmektedir. Bu petekli taşıyıcının yüzeyi 20 µm kadar kalınlığa sahip gözenekli (poroz) tabakayla, washcoat, kaplıdır. Normal bir monolith, kare yapıda 1mm kalınlığında kesit yapıya sahip kanallardan oluşur. Bu kanallar ince gözenekli 0,1 – 0,15 mm kalınlığındaki duvarlarla birbirinden ayrılırlar. Bu monolith tipindeki katalitik konvertör kanal sayısı 400 – 600 adet/inç<sup>2</sup> kadardır. Bu kanal sayısı metal özelliği olan taşıyıcılarda 1200 adet/inç<sup>2</sup> kadar olabilmektedir. Washcoat monolith ağırlığının toplam ağırlığın %5 – 15 ‘i kadardır. Genel itibarla Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’den meydana gelmektedir. Yüzey alanı yaklaşık 100 – 120 m<sup>2</sup>/g’dır. Bu yapının oluşturduğu yüzey alanı 1 litre hacimde 20000 m<sup>2</sup> kadar olabilmektedir. Gözeneği olan bu ara tabakalar katalizör özelliği olan değerli soy metaller ile kaplanmıştır. Bu soy metaller platin (Pt), paladyum (Pd) ve rodyum (Rh) olarak ifade edilirler. Bu metaller direkt egzoz gazlarıyla reaksiyona girmezler. Sadece egzoz borusunda geçen gazların reaksiyonların gerçekleşmesi için katalizör etkisi yaparlar. Katalitik konvertör başına bu metallerin ağırlıkça miktarları 1 -2 g civarındadır. Bu metallerden rodyum (Rh) NO<sub>x</sub>gazının indirgenmesinde kullanılır. Diğerleri ise Pt, Pd hidrokarbon (HC) ve karbonmonoksit (CO) oksidasyonunda kullanılır. Bu soy metaller direkt egzoz gazları ile reaksiyona girmezler ancak normal düşük egzoz sıcaklığı şartlarında, kısa bir zaman diliminde oluşmayan reaksiyonların oluşmasını sağlarlar (Heywood,1988; Koltsakisand Stamelenos,1997; kutlar vd.;1998)[1].

Şekil 3.1’de katalitik konvertörün iç yapısı, Şekil 3.2’de dış yapısı ve Şekil 3.3’de bağlantı flanşlarıyla görülmektedir.

Platin (Pt) ve rodyum (Rd) elementleri aktif katalizör metalleri olarak kullanılmaktadır. Genel anlamda platin yerine paladyum elementinin kullanımına doğru bir yönelme söz konusudur. Katalizör üretimindeki maliyeti düşürmek için paladyum platin yerine tercih edilmektedir(Koltsakisand Stamelenos,1997)[1].

Şekil 3.4’de görüldüğü üzere, üzerinde zorunlu bilgilerin olduğu etiket montaj yeri gösterilmektedir. Şekil 3.5’de katalitik konvertörün araç üzerine bağlanma yeri gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Üç yollu Katalitik Konvertörün iç yapısı



Şekil 3.2. Komple Katalitik Konvertör Ünitelerinin görüntüsü



Şekil 3.3. Eleman olarak değiştirilen ve bağlantı flanşlarına kaynak ile bağlanan Katalitik Konvertörler



**Şekil 3.4** Üretici firma bilgileri ve emisyon normu işaretlemeleri



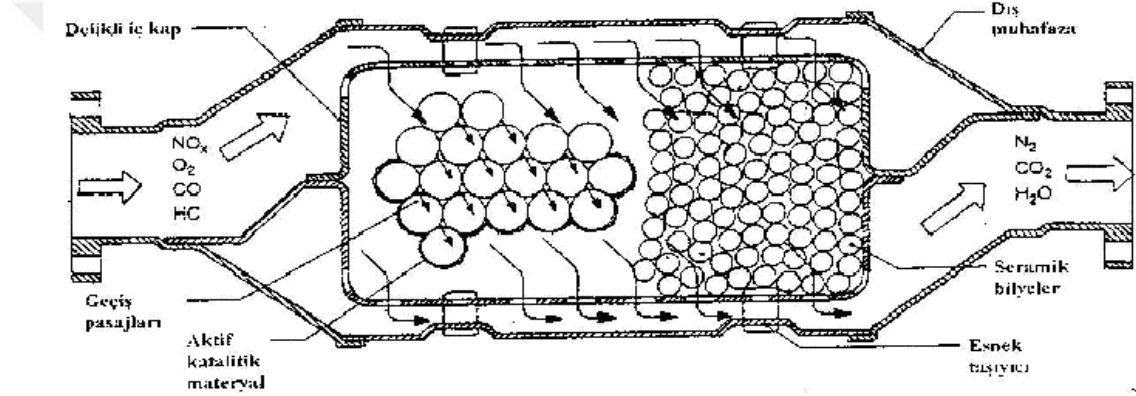
**Şekil 3.5** Katalitik konvertör araç üzerinde bağlantı yeri

## **3.2. Katalitik Konvertör Çeşitleri**

### **3.2.1. Seramik Bilyeli Tip Katalitik Konvertörler**

Linder D.[4], Bu tür katalitik konvertörler birbirleri üzerinde duran küresel bilye tabakalarında meydana gelmektedirler. Bu bilyeler aşırı yüksek sıcaklığa karşı mukavemetli alüminyum silikat seramiklerden oluşmuşlardır. Egzoz emisyon gazlarındaki yüksek sıcaklığa maruz kalan geniş yüzeyler ve bu gazların geçiş yolları, etkin durumdaki katalitik madde ile kaplanmış bilyelerin yüzeyine temas edecek şekilde çevrelenmiştir. Bilye yüzeyinde bulunan aşırı ısınma neticesinde kullanılamaz hale gelen katalitikler, bu yüzeyden yaklaşık olarak 3 mm çapındaki bu gözenekli alüminyum ( $Al_2O_3$ ) bilyeleri

$20 \cdot 10^{-6}$  m derinliğine kadar aktif soy metal olarak Radyum (Rd) ve platin (Pt) emdirilmesi sonucu olarak absorbe edilmiştir. Bu seramik tip katalitik konvertörler,  $1000^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerindeki sıcaklıklara kadar etki etmeye tabi tutulduklarında daha iyi bir direnç ve absorbe dayanımına sahip olurlar. Katalitik muhafazasının iç tarafında seramik bilyeler bulunurlar. Kabin belli bir bölümü reaksiyona girmemiş egzoz gazlarına maruz kalırken kabin diğer bölümü temizlenmiş egzoz gazının etkisinde olur. Bu farklı şekillerde yerleştirilen bilyeler yol konumunda gelecek ani etkili darbelere karşı zarar görmeleri önlenmiş olur. Bu etkilere maruz kalan paketler aşırı yüksek sıcaklıklara dahi dayanıklılığını koruyan magnezyum alüminyum silikat seramik malzemelerden meydana gelir. Şekil 3.6'da seramik bilyeli tip katalitik konvertör gösterilmiştir.

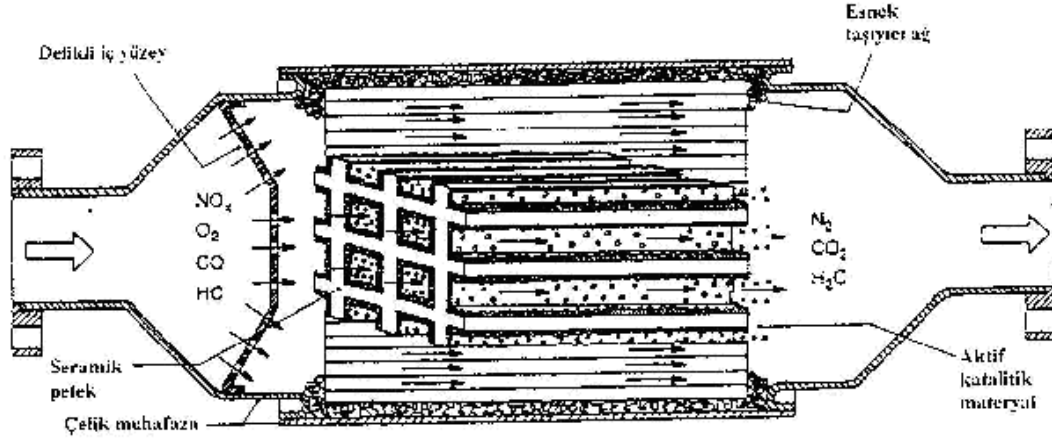


Şekil 3.6. Seramik bilyeli tip katalitik konvertör.

### 3.2.2. Seramik Petek Tip Katalitik Konvertörler

Dhara S.[4], Birbirine paralel binlerce petek kanaldan oluşan ve bu kanallar arasında egzoz gazlarının geçtiği bir yapıdır. Bu paralel petek kanalların  $20 \cdot 10^{-6}$  m derinliğine kadar alüminyum ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) kaplama malzemesi absorbe edilmiştir. Bu eminilen malzeme katalitiğin etkinliğini 650-700 kat daha etkili duruma getirmiştir. Daha sonra bu peteklere ayrıca platin (Pt) ve radyum(Rd) giydirilir. Petek kanalların  $1 \text{ mm}^2$  'sinde yaklaşık  $0.15 - 0.30 \text{ mm}$  kalınlığına kadar gözenekli yüzeyler mevcuttur. Bu petekli katalitiğin her  $1 \text{ cm}^2$  'de 30 -60 arasında kanal bulunmaktadır. Kaplama maddesinin  $1 \text{ g}$  'da  $100 -200 \text{ m}^2$ 'lik bir alanı kapatacak durumdadır ve bu miktar tek eğimle petek maddesini %5 - %15'i kadarını oluşturur. Bu yapıdaki yani seramik yapılı katalitikler kırılğan özelliği fazladır ve bu dezavantajının düzeltilmesi için tel ağ oluşturulmuştur. Bu yapısı sayesinde ısının petek

üzerinde genleşme veya büzülme oluşturma engellenmiştir. Seramik petekli katalitik konvertör Şekil 3.7’de gösterilmiştir.

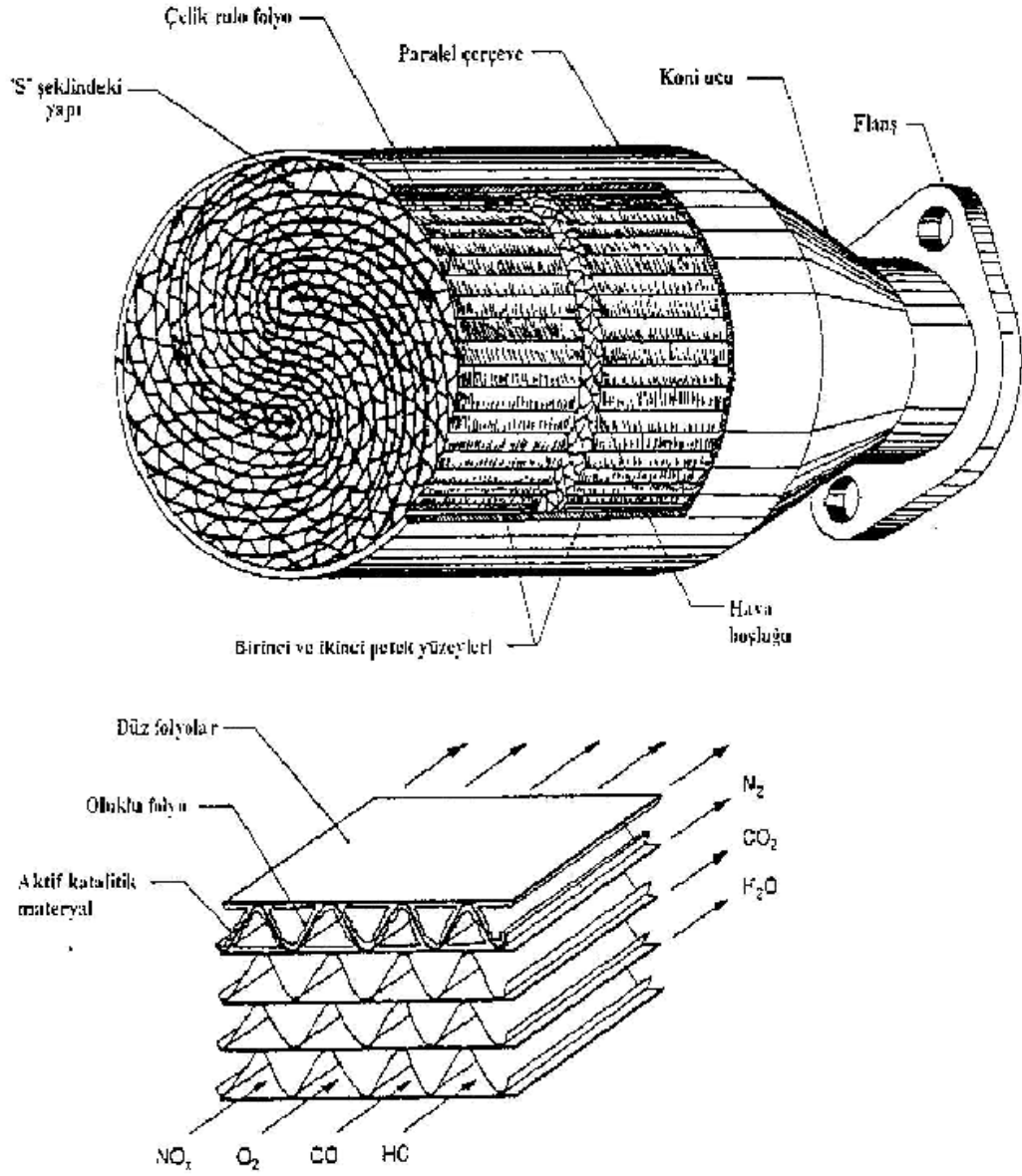


Şekil 3.7. Seramik petekli (Monolith) tip Katalitik Konvertör.

### 3.2.3. Metal Petek Tip Katalitik Konvertörler

Lindner D. Vd [5], Oluk şeklinde veya üst üste bindirilmiş ince çelik folyolardan meydana gelen ve petek yüzeyini oluşturan tabakanın kalınlığı 0.04 - 0.05 mm arasında değişen bir yapıdadır. Bu folyo şekilli rolular “s” biçimini de almaktadır. Bunların petek yüzeyi iki farklı biçimdedir. Bu farklı durumların arasında küçük bir boşluk bulunmaktadır. Bu boşluğun asli görevi ikinci tabaka için laminar bir akış oluşturmak ve egzoz gazların akışını kolaylaştırmaktır. Bu durum katalitik konvertör içerisinde gazların daha kolay zararsız hale gelmesini sağlar. “S” yüzeyinin faydası termal genleşme durumunda ısı dağılımını daha iyi sağlar ve bu da katalitik konvertörün ömrünün daha fazla olmasına olanak tanır. Düz ve kanallı folyo bölgesinde yüksek sıcaklıkla temas eden bölgede katı lehimleme mevcuttur. Şekil3.8’de metalik petekli katalitik konvertör gösterilmiştir.





Şekil 3.8. Metalik Petekli Tip Katalitik Konvertör.

Mevcut kullanımı yaygın olan katalitik konvertörleri şu şekilde sınıflandırmak olanaklıdır.

Taşıyıcı kısımlarına göre;

- Seramik Tip
- Metalik Tip
- Küresel Parçacıklı Tip

İcra etkileri yada fonksiyonlarına göre;

- Üç yollu Katalitik Konvertör (CO, HC ve NO<sub>x</sub>)

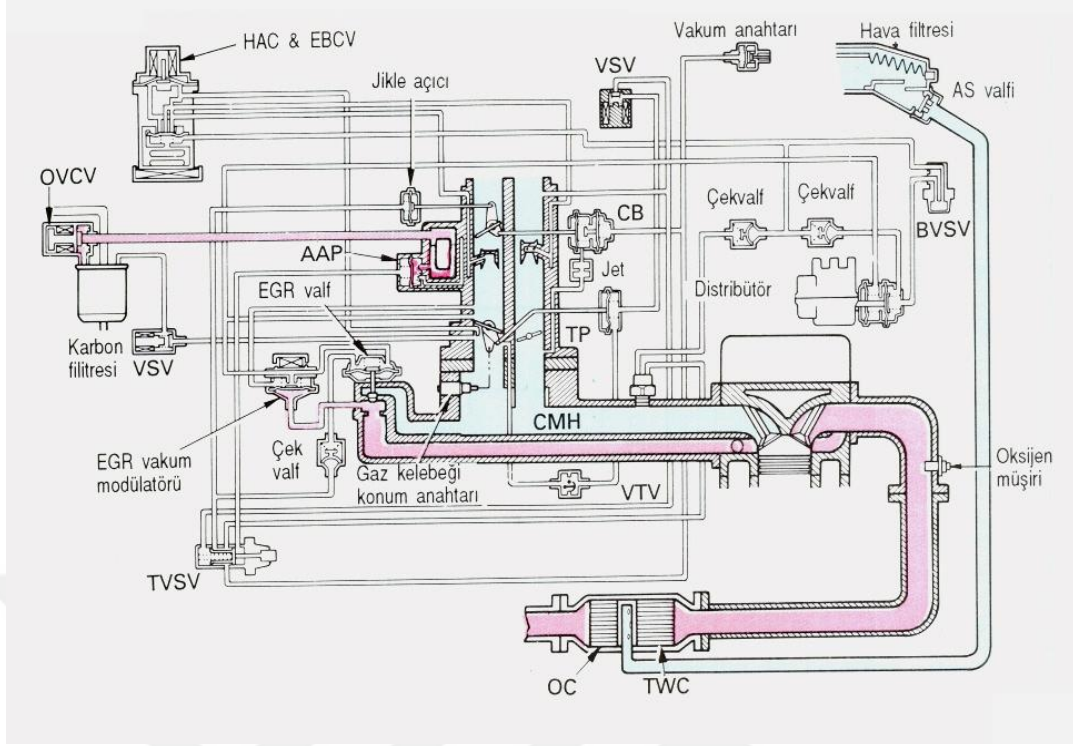
- İki yollu Katalitik Konvertörler (CO ve HC)
- İndirgeme Konvertörler (NO<sub>x</sub>)

Angelidis, T.N ve Papadakis, [6], İlk etaplarda katalitik konvertörler öncelikle oksitleyici özelliği olmaları (karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonları için) ve indirgeme (NO<sub>x</sub>) emisyonları için kullanılmaktaydılar. Bir tek katalitik konvertör ile tam yanma oranında her üç emisyon için eş zamanlı azaltma durumu olduğundan dolayı üç yollu katalitik konvertörler yaygın olarak kullanılmaya başlanmışlardır.

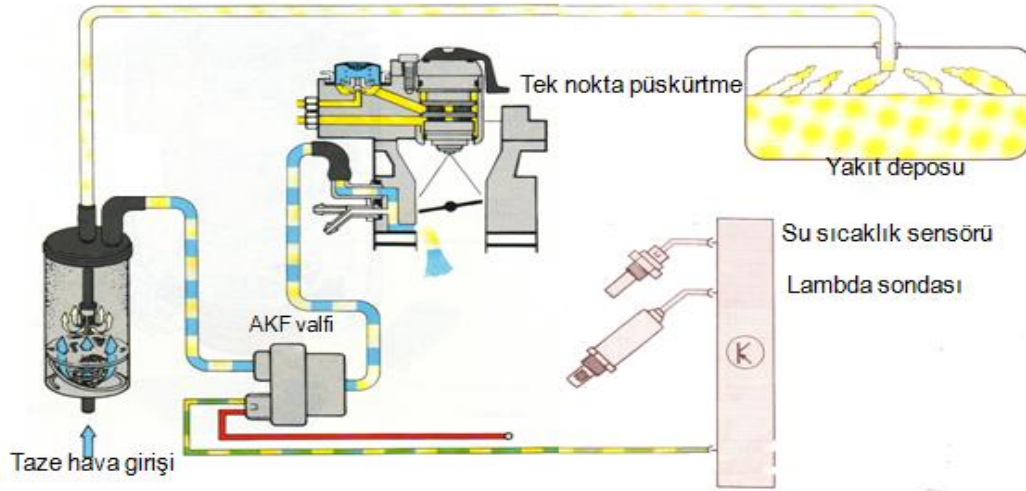
Meretei, T.vd [6], Bu üç yollu katalitik konvertörleri ile ısı reaktörlerin en önemli işletme nedenlerinden biri uygun değer sıcaklığa erişimleri olmadan devreye girmemeleridir. Bunun için ön ısıtma gerekmektedir.

### **3.3.Katalitik Konvertörlü Sistemi Oluşturan Elemanlar**

Bu sistemin en önemli parçası hiç şüphesiz lambda( $\lambda$ ) sensörüdür. Katalitik konvertörün kullanıldığı egzoz emisyon sisteminin en etkin elemanı  $\lambda$  sensörüdür. Bu sensör egzoz gazları içerisinde geçen oksijen miktarını belirleyerek bir çıkış gerilimi meydana getirmektedir. Bu gerilim küçük tolerans limitinde  $\lambda > 1$  için 0,  $\lambda < 1$  için ise 800 mV (millivolt) seviyelerindedir. Egzoz gazı içerisinde okunan oksijen miktarı yakıt sistemini oluşturan elektronik kontrol ünitesine (ECU) ileterek yakıt ayarlaması yapmaktadır. ECU iletilen sinyal aracılığıyla  $\lambda = 1$  olacak şekilde püskürtülen yakıt miktarını ayarlayarak silindirlere gönderir. Bu döngü göstermektedir ki  $\lambda$  sensörü ile ECU'nun oluşturduğu kapalı sisteme kapalı sistem katalitik konvertör sistemi olarak adlandırılırlar. Şekil 3.10'da lambda değeri gösterilmektedir. Basit karbüratörlü veya gelişmemiş karbüratörlü sisteme uygulanması mümkün değildir. Tek veya çok noktadan, gelişmiş özel karbüratörlü motorlarda uygulanması araç yakıt tüketimi ve çevre kirleticisi emisyonların azaltılması için uygun bir sistemdir(Kutlar.,vd.,1998). Şekil 3.9'da a ve b olarak ifade edilen durumlarda araç üzerinde sistem parçalarının yerleştirilmesi yer almaktadır.



(a)



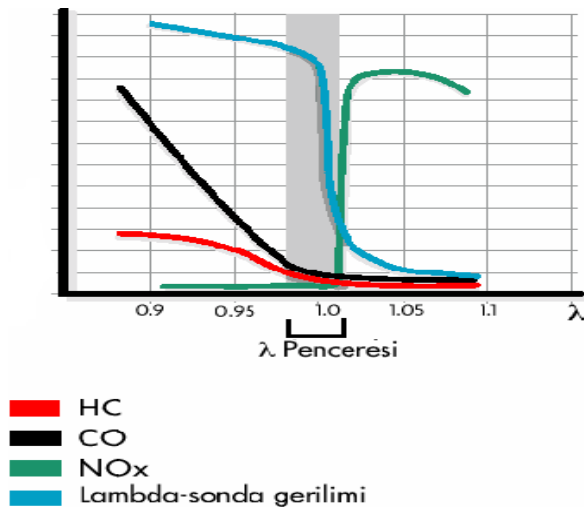
(b)

Şekil 3.9. Sistemin parçalarının araç üzerindeki yerleri ( a ve b)

### 3.4. Katalitik Atık Gaz Temizlenmesi

Katalitik konvertörler içerisinde birbirine temel de zıt olan iki tepkime vuku bulmaktadır. Bunlardan karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbonlar (HC), karbon dioksit ve suya okside olarak dönüştürler. Azotoksitlerde suya redükte olurlar. Oksijen miktarının

düşük olması redüksiyonu meydana getirirken, oksijen miktarının fazlalığı oksidasyon meydana gelmesine sebep olmaktadır. İçten yanmalı benzinli motorlar için en uygun egzoz gazı temizleme yöntemi olarak katalitik kovertör kullanılmasıdır. Çünkü üç yollu katalitik konvertör denilmesinin amacı, üç zehirli gazı (HC, CO ve NO<sub>x</sub>) süzerek zararsız ya da daha az zararlı hale getirilmesini sağlamaktır. Bunun temel olarak egzoz gazı içerisindeki oksijen miktarını belirleyerek hava-yakıt karışımını ayarlamasına olanak sağlamaktır.

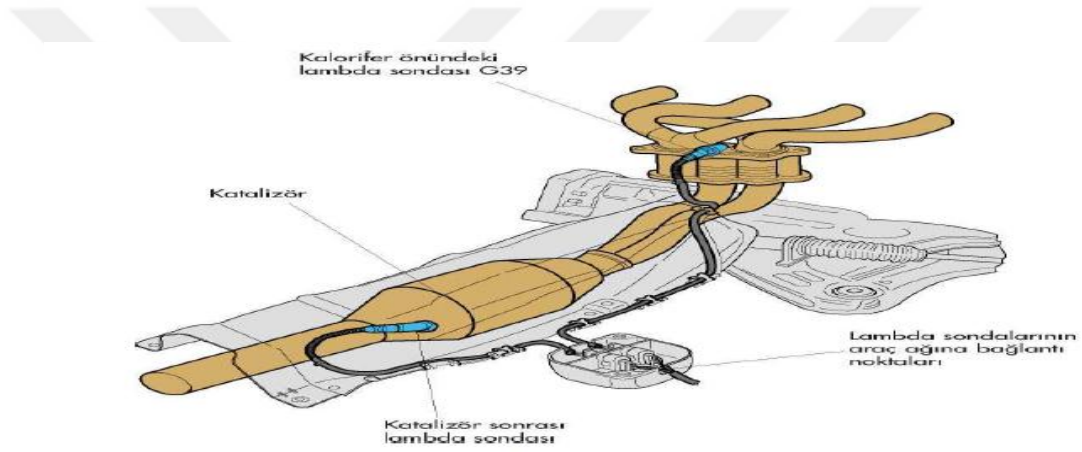


Şekil 3.10.Lambda değerlerinin gösterimi

### 3.5. Katalitik Sistemde Kullanılan Lambda(Oksijen-O<sub>2</sub>)Sensörü

Egzoz gazının atmosfere atılma aşamasında, bu gazdaki oksijen miktarının belirlenmesi açısından ölçüm yapılarak yanma odasına oradan silindirlerin içerisine giden hava-yakıt bileşiminde belirlemeler yaparak yanmanın tam olması için sinyalleri kontrol ünitesine gönderir. Katalitik konvertörde kullanılan oksijen sensöründen alınan verileri mukayese ederek katalistin doğru çalışıp çalışmadığı ve verimin uygun değerde olduğunu sağlar. Bu aynı zamanda katalitik konvertörde arıza olup olmadığını belirlenmesinde kullanılmaktadır. Egzoz borusu içerisinde almış olduğu ölçümü kablolar aracılığıyla motor kontrol ünitesine göndererek burada çeşitli hesaplamalar çerçevesinde hava ve yakıt miktarının belirlenmesinde etkin önem arz etmektedir. Egzoz emisyon sisteminde iki farklı kullanımda oksijen sensörleri bulunabilmektedir. Bu lambda sensörlerine zirkonyum dioksit ve titanyum dioksit adı ile anılmaktadırlar. Kısa aralıklı ölçeklerle çalıştırılmaktadırlar. İkili grup olarak ta anılmaktadırlar. Bu sensörlerde sinyaller iki değer

arasında çalışmaktadır. Bu sensör grubu egzoz içerisindeki oksijen değerlerini algılaması sonucu mukayese ederek hava –yakıt oranının belirlenmesinde rol alırlar. Bu da silindir içerisine gönderilen karışımın zengin ya da fakir olması gerektiğini belirlemektedir. Bu ikili grup sensörüne HEGO olarak isimlendirilirler. Diğer sensör gruplarında algılama oldukça geniş olarak belirlenmiştir. Silindirlere gönderilen karışımın farklı geçiş durumlarını ölçebildikleri ve algılayabildikleri için “lineer” (doğrusal) sensörler olarak adlandırılmaktadırlar. Bu sensör tiplerinde UHEGO olarak isimlendirilirler. Bu sensör tipi diğerlerinin aksine oksijen oranını doğrudan sayısal olarak belirler ve bu veri kontrol ünitesine gönderilir [8]. Araç üzerine yerleştirilmiş iki adet sensör bağlantı durumu Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Şekil 3.12’de ise oksijen sensörü gösterilmiştir.

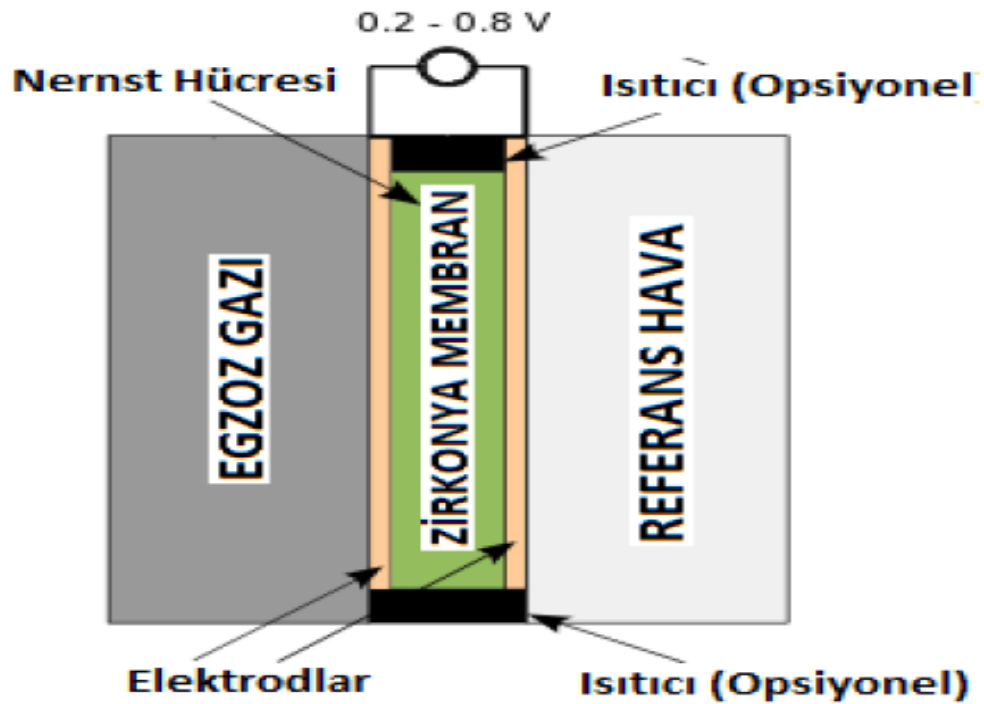


**Şekil 3.11.** İki adet O<sub>2</sub> yerleştirilmiş yapı



**Şekil 3.12.** Oksijen (O<sub>2</sub>) – lambda sensörü

Sensörü oluşturan elemanlar Şekil 3.13’de gösterildiği gibi platinyum elektrodların iç kısmına ve dış kısmına monte edilen seramik silindirin ve tüm yapısını koruyan metal bir kutu şeklinde çerçeveden meydana gelmiştir. Lambda sensörleri egzoz emisyonları içerisinde bulunan oksijen miktarı ile hava arasındaki sayısal farkı ölçerek ve bu nedenle direnç değişmesi meydana getirerek veya voltaj üretimiyle algılama yoluna gitmektedir. Bu sensörlerin yüksek verilere ulaşması için gerekli bir sıcaklık mevcuttur ve bu sıcaklığın oluşması için yeni tip üretilen sensörlerde seramik kısmı ısıtmaya yarayan bir aksam mevcuttur. Eski tip sensörlerde bu sıcaklığa ulaşması zaman aldığı için ilk alınan ölçüm değerleri araç için hava – yakıt oranı açısından sağlıklı bir bilgi edinmemize olanak sağlamaz. Motorun çalışma süresi ve sensör verimliliği açısından egzoz borusu yapısının şekli ve atmosfer yani iklim sıcaklığı da etkin rol almaktadır. Yeterince ısıtma olmadığında, bu işlem uzun sürebilir ve lambdasensörü doğru değer alamadığında katalitik konvertör verimi doğru ölçülememekte ve egzoz emisyonlarındaki zararlı bileşen miktarı kontrol edilmesi zorlaşmaktadır[9].



**Şekil 3.13.** Lambda sensörünün iç yapısı

Şekil 3.13’de görüldüğü üzere lambda sensörü iç yapısı, zirkonyum dioksit (zirkonya) diye isimlendirilen oksijen sensörü Nernst hücresi olarak adlandırılan, katı durumdaki

elektrokimyasal yakıt hücresine dayalı çalışır. İki elektrodu arasındaki egzoz emisyon gazındaki oksijen miktarı ve havadaki oksijen miktarına bağlı olarak bir voltaj oluşmasını sağlar. 0,2 V'luk bir voltaj çıkışı fakir karışımın olması için silindirlere gönderilen hava – yakıt karışımına olanak sağlar. 0,8 V'luk bir yeteri kadar hava emiliminin olmadığı fakir bir karışıma tekabül eder. İdeal çıkış voltaj değeri yaklaşık 0,45 V dolayındadır. Bu voltaj değerinde tam yanma gerçekleşir. Sensörün iç ve dış bölümleri paslanmaz çelikten meydana geldiği için korozyon etkeni çok zayıftır [10].

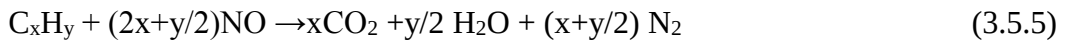
### 3.6.Katalitik Konvertörlerde Gerçekleşen Reaksiyonlar

Angelidis T.N, Skourake E. [11], Üç yollu katalitik konvertörlerde gerçekleşen karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) oksidasyonu ile beraber CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub> indirgemesi ile N oluşumunda belirli aşamalarda çok sayıda reaksiyonu olmakla beraber temelde şunlar meydana gelir.

Temel oksidasyon tepkilemeleri:



Azotoksit (NO<sub>x</sub>) indirgenmesi:

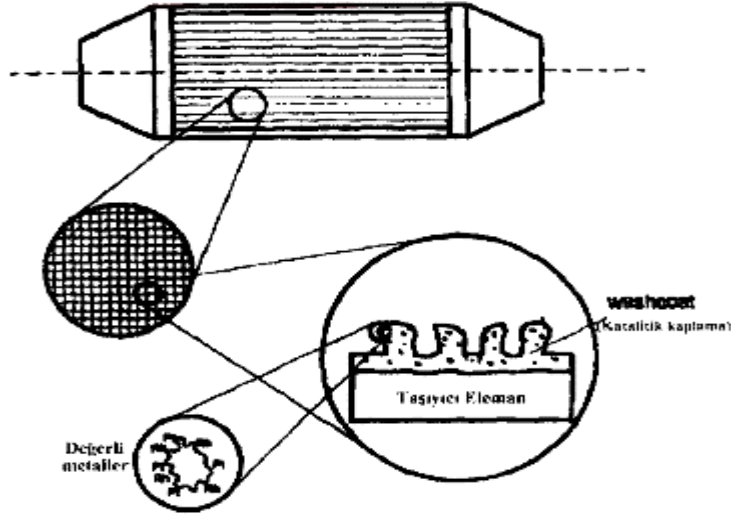


Temelsu gaz değişimi:



Buhar konsantrasyonu:





**Şekil 3.14.** Monolitik katalitik konvertörün yapısı

Monolit yapıdaki katalitik konvertörün yapısı Şekil 3.14’de gösterilmektedir.

### 3.7. Katalitik Konvertörlerde Verim Hesabı

Angelidis,T.N.;Sklavounos [12], Egzoz emisyon sisteminde kullanılan katalitik konvertörler için kullanılan verim hesabı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\eta_{cat} = \frac{\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out}}{\dot{m}_{in}}$$

$\eta_{cat}$  = kullanılan katalitik konvertörün verimi

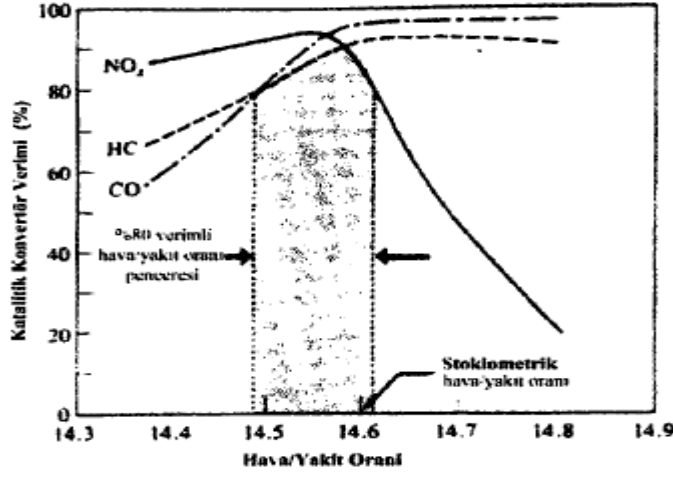
$\dot{m}_{in}$  = konvertöre giren havanın miktarı

$\dot{m}_{out}$  = konvertörden çıkan emisyon miktarı

Bu denklemde karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve NO<sub>x</sub> ayrı ayrı hesaplamak mümkündür.

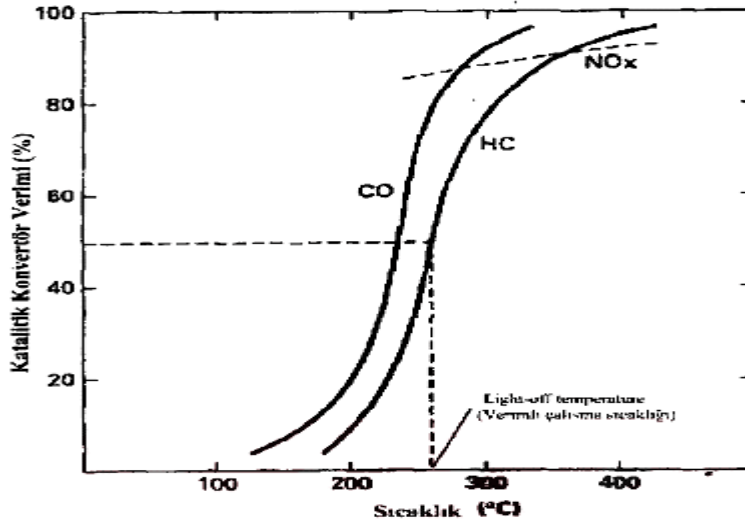
Katalitik konvertörlerde HC, NO<sub>x</sub> ve CO gazlarının dönüşüm verimleri hava/yakıt miktarının şekillenmesi ile de belirlenir. Üç yollu katalitik konvertörün dönüştürme veriminin hava/yakıt miktarına bağlı olarak şekil 3.16’da verilmiştir. Hava/yakıt miktarının tam yanmaya yakın olduğu az bir dilim üç kirleticinin dönüşümünün en fazla olduğu bölümdür. Katalitik konvertörün hava / yakıt değişkenine bağlı durumu Şekil 3.15’de gösterilmiştir.





Şekil 3.15. Katalitik konvertörün hava/yakıt değişkenlerine bağlı dönüştürme verimi (Heywood, 1998)

Katalitik konvertörün verimini etkileyen etkenlerden biride sıcaklıktır. Katalitik konvertör veriminin optimum seviyede olması için iç sıcaklığın 400 °C veya üzerinde olması gerekmektedir. Katalitik konvertör sıcaklık değişimi Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Araç ilk çalıştırmaya başladığında katalitik konvertör uygun olan sıcaklığa erişemediğinden verimsiz çalışır. Katalitik konvertörün %50 verim seviyesine ulaşması çalışma sıcaklığı olarak tarif edilir. Katalitik konvertörün hızlı devreye girmesi için sıcaklığa bağlı çeşitli çalışmalar geliştirilmiştir ( Pulkrabek, 1997)[13].



Şekil 3.16. Sıcaklığa bağlı dönüştürme verimi

### 3.8. Katalitik Konvertörün Gerekliliği

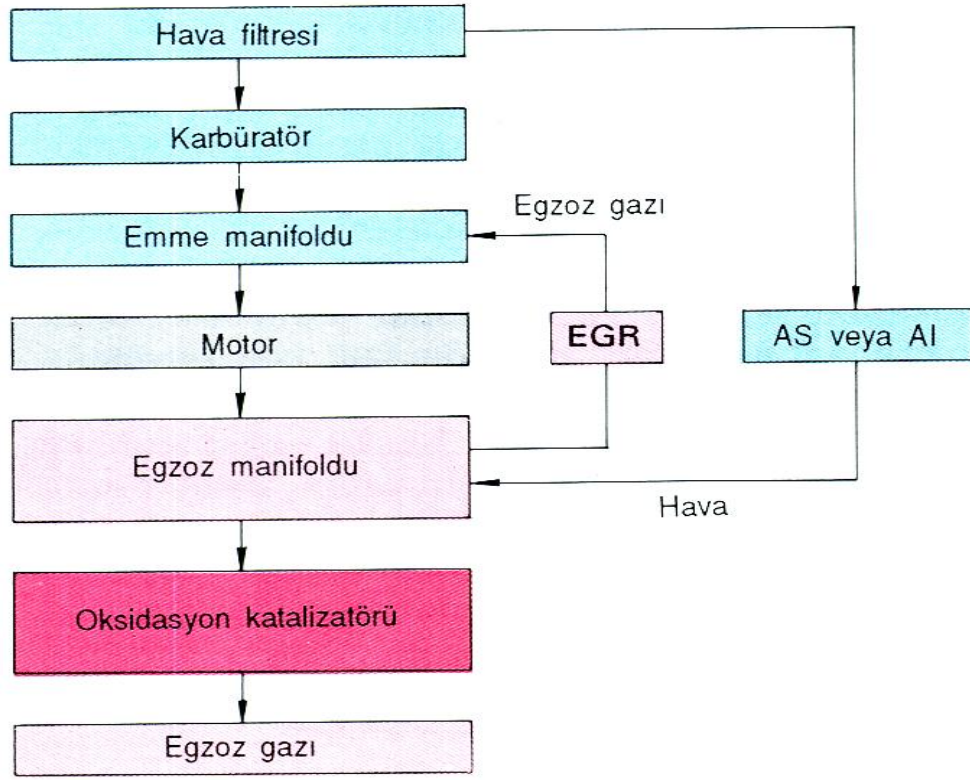
İthal yoluyla veya ülkemizde üretilen benzinle çalışan motorlu araçların, Avrupa Birliği ülkelerinin uygulamakta oldukları EURO – 93 egzoz emisyon standartlarını gerekliliklerini sağlayabilmesi ve yalnızca kurşunsuz benzin kullanımı gerektiren çevre kirliliğinin olmasını engelleyen katalitik konvertör ile desteklenmiş egzoz sisteminin olmasını zorunlu hale getiren ve otomotiv sektörünün gerekli teknolojik değişiklikleri tamamlaması hedefiyle 1993 yılında Türk Otomotiv sanayini temsilen Otomotiv Derneği ve Çevre Bakanlığı arasında “Otomotiv Sanayi Çevre Deklarasyonu” ve “Uyum Programı” imzalanarak kayıt altına alınmıştır [13].

Bu uyum yasaların gerekliliği doğrultusunda;

- 1) 01.01.1995 yılı itibariyle – 1800 cc ve üzeri benzinli araçlarda,
- 2) 01.01.1996 yılı itibariyle – 1600 cc ve üzeri benzinli araçlarda,
- 3) 01.01.1997 yılı itibariyle – 1400 cc ve üzeri benzinli araçlarda ( %30 oranında),
- 4) 01.01.1998 yılı itibariyle - 1400 cc ve üzeri benzinli araçlarda ( %60 oranında),
- 5) 01.01.1999 yılı itibariyle - 1400 cc ve üzeri benzinli araçlarda ( %100 oranında),
- 6) 01.01.2000 yılı itibariyle – 1400 cc ve altı benzinli araçlarda

Katalitik kullanımı uygulaması başlanılmıştır.

Motorlarda egzoz gazı dönüşümleri Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Motorda egzoz gazı dönüşümleri

#### **4. İÇTEN YANMALI MOTOR YAKITI OLARAK BENZİN**

Kaynama sıcaklığı 32 – 204 °C arasında değişen, renksiz ve kendine has kokusu olan özgül ağırlığı 0,680 – 0,760 g/cm<sup>3</sup> arasında değişen hidrokarbon(HC) bileşenlerden oluşmaktadır. Bu hidrokarbon (HC) sayısı 4 -10 arasında değişmektedir. Ağır ve hafif hidrokarbonlar (HC) ile birlikte petrolün ham yapısından gelen kükürt (S) ve azot (N)'da bulundurmaktadır. Normal şartlar altında sıvı molekül hidrokarbonlardan (HC) meydana gelmektedir. Bu hidrokarbonlar parafinik, benzenik, naftalik ve etilenik yapılar taşımaktadır [14].

İçten yanmalı motorlarda benzin, ilk otto çevrimine göre çalışan araçlarda IX. yüzyıl sonlarına doğru kullanılmaya başlanmıştır. Petrol damıtma işlemlerinde elde edilen bir yakıt türüdür.

##### **4.1. Benzin Yakıtında Aranılan Özellikler**

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtın bazı özellikleri taşınması istenmektedir. Bunlardan bir kısmı motor performansına yardımcı olmak, bir kısmı motor ömrünü uzatmak açısından korumak, bir kısmı da motor emniyeti açısından önem arz etmektedir. Bunların başlıcaları;

- 1) Motorun ilk çalışmasında (soğuk) kolaylık sağlamalıdır.
- 2) Buhar tamponu özelliği olmamalı
- 3) Motorun ani güç değişimlerine yardımcı olmalıdır.
- 4) Ekonomik açıdan bütçe dostu olmalıdır.
- 5) Reçine özelliği taşımamalı
- 6) Yanma ürünlerinde korozyon yapma özellikleri taşımamalıdır.
- 7) Yağlama yağının işlevselliğini bozmamalı
- 8) Vuruntu mukavemeti yüksek olmalıdır.

##### **4.1.1. Soğuk Ortamlarda İlk Hareket ve Uçuculuk**

Sıvıların belli bir sıcaklık aldıktan sonra gaz haline geçme özelliklerine uçuculuk denir. Her sıvının uçuculuk sıcaklığı farklılıklar göstermektedir. Suyun uçuculuk özelliği

kaynama noktasına yaklaştıkça artar. Ancak suya nazaran benzinin uçuculuk özelliği daha yüksektir. Çünkü benzin 32 °C dolayında kaynamaya başlamaktadır. Bu durum benzin içerisinde bulunan farklı hidrokarbon (HC) mevcudiyetindedir.

Çünkü hidrokarbon kaynama noktası 32°C – 180°C arasında değişiklikler gösterebilmektedir. Buji ateşlemeli içten yanmalı bir motorda kullanılacak yakıtın düşük sıcaklıklarda buharlaşma özelliğinin olması istenilen bir durumdur. Kaynama noktası sıcaklığı düşük olan sıvalarda uçuculuk yüksek, kaynama noktası yüksek olan sıvılarda uçuculuk düşük olduğu bilinmektedir.

Yakıt içerisinde bulunan düşük kaynama sıcaklığına sahip hidrokarbonların buharlaşması istenir. Bu ilk hareket sırasında soğuk motorlar için istenilen bir durumdur. İlk hareket aşamasında yakıtın uçuculuk özelliğinin iyi olması istenir. Uçuculuk özelliği iyi olan yakıtta ilk hareket o derece kolay olmaktadır. Benzin içerisinde bulunan hidrokarbonların farklı kaynama sıcaklıklarına sahip olması motora çalışma şartlarına bağlı olarak kolaylıklar sağlamaktadır [14].

#### **4.1.2. Buhar Tamponu Özelliği Olmamalı**

Uçuculuk özelliği yüksek olan sıvılar istenmez. Motor içerisinde yanmadan dolayı sıcaklık artışı olacaktır. Bu durum bütün motor parçalarını ısıtacağından dolayı yakıt sisteminden manifolda kadar gelecek olan yakıt sıcaklık artışından dolayı ulaşmadan buharlaşacaktır. Buharlaşması nedeniyle yakıt pompası ve yakıt borularında tıkanmaya neden olacaktır. Bu motorlarda istenmeyen bir özelliktir. Benzinin uçuculuk özelliği en fazla 37,5 °C'de 0,8 atmosfer basınç altında gerçekleşir. Benzin yakıtında buharlaşma uçuculuk özelliğinden dolayıdır. Uçuculuktaki artış benzinin buhar tıkaçı olma olasılığını da artırmaktadır. Soğuk çalışma koşullarında motoru ilk çalıştırma aşamasında uçuculuk istenen bir durumdur. Ancak buhar tamponu oluşturma nedeniyle düşük uçuculuk istenmektedir. Benzin uygun çalışma şartlarında ayarlanabilecek bir yakıt türüdür.

#### **4.1.3. Motorun Ani Güç Değişim Ayarlamalı**

Gaz pedalına ani basıldığında emilecek hava miktarında da artış meydana gelecektir. Bu artan hava miktarıyla aracın hızının artması için daha fazla yakıt miktarı silindirlere gönderilmelidir. Bu fazla yakıtın hava ile karışması için uçuculuk özelliği iyi olması

gerekir. Benzin ani yük değişimlerine cevap verecek şekilde uçucu özelliği olduğundan motorlar için en uygun yakıt tipidir.

#### **4.1.4. Ekonomik Açıdan İyi Olmalı**

Motorun bütün özelliğine cevap verecek yapıda olan yakıtın aynı zamanda ekonomik açıdan avantaj sağlamalıdır. Fazla uçucu ve buharlaşan özelliği olan yakıt ekonomik açıdan istenilen bir duruma sahip değildir.

#### **4.1.5. Reçine Özelliği Taşımamalı**

Depolanan sıvıların oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu alt kısımlarda çökme söz konusudur. Bu çökme olayına reçine denir. Bu çökme olayında yakıt sistemi tıkanmalardan dolayı düzenli çalışamaz. Benzinler için öngörülen reçine miktarı en fazla 5 mg/cm<sup>3</sup>’tür. Motor aksamalarında tıkanmalar ve supap tablaları üzerinde yapışma ve tam oturmadağı için kompresyon kaçağı meydana gelir. Uzun süre bekleyen benzin yakıtında reçine oluşma olasılığı çok fazladır.

#### **4.1.6. Korozyona Neden Olmamalı**

Korozyon etkisi mevcut olan yakıtların yanma odasında bulunmaması gerekmektedir. Korozyon etkili yanma ürünleri kükürt miktarı ile orantılı artmaktadır. Benzin yakıtındaki kükürt oranı 0,001’den fazla olmamalıdır. Kükürt miktarındaki artışın yüksek olması, yanma olayında sülfirik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) oluşumuna neden olmaktadır. İçten yanmalı motorlarda bu asitler, korozyona neden olurlar ve araç parçalarının kullanım sürelerini azaltırlar.

#### **4.1.7. Yağlama Yağının İşlevselliğini Bozmamalı**

Kullanılan yakıtın yeterli seviyede uçuculuk özelliği olmazsa silindire alındığında sıvı halde bulunur ve silindir cidarlarındaki yağı incelterek yağın yağlama özelliğini bozar. Ayrıca ince olduğundan segmanlar arasından kartere ulaşarak karterdeki yağda inceltir, ve yağın tam görev yapmasına mani olur.

#### **4.1.8. Vuruntu Mukavemeti Yüksek Olmalı**

Pozitif ateşlemeli motorlarda sıkıştırma zamanı sonucunda yanma odasına sıkışan karışım buji ile ateşlenerek kıvılcım alır. Bu karışımın normal zamanda yanmasına düzenli yanma denir. Halkalar halinde diğer kısımlara ulaşan alev cephesinde ani artış ile dengesiz yüksek basıncın oluşmasına vuruntu denir. Vuruntu benzin oktan sayısı ile alakalıdır. Oktan sayısı yüksek yakıtların vuruntu mukavemeti de yüksek olur [14].



## 5.MATERYAL ve METOT

İçten yanmalı benzinli bir motorda, ilk hareket aşamasında motor optimum (yaklaşık 80 °C) sıcaklığa ulaşmadığından dolayı egzoz sisteminde bulunan katalitik konvertör tam olarak devreye girmemektedir. Egzoz sistemindeki yapıyı bozmadan, katalitik konvektör dış cidarlarına faz değişim malzemesi uygulanarak soğuk çalışma şartlarında egzoz gazı salınımları sonucu atmosfere bırakılan zehirli gazları minimize etmek için yapılan bir incelemedir. Bu deney çalışmasında kullanılan ekipmanlar sırası ile aşağıda tarif edilmiştir.

### 5.1. Egzoz Gazı Ölçüm Cihazı

MGT5 Motor Gazı Test Cihazı, benzinli motorlarda CO / CO<sub>2</sub>/HC gazların kızıl ötesi ışınlarla analizini yapar. Ayrıca motor çalışma sorunlarında ayarlama açısından da kullanılabilir.

Egzoz gazlarının ayarlanmasının yanında Lambda değeri ve oksijen miktarının ayarlanmasında katalitik dönüştürücüye sahip araçlar için en ideal ekipmandır. Şekil 5.1’de cihazın genel görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.1. Genel görüntüsü

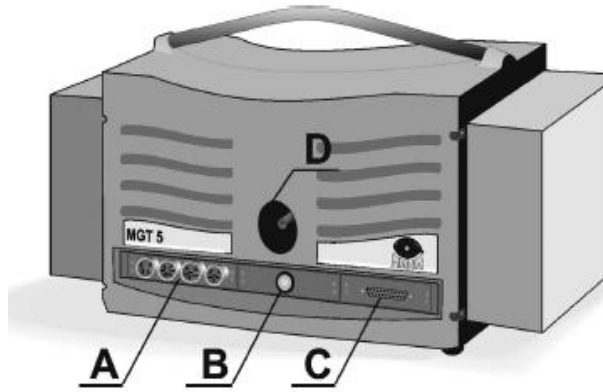


### 5.1.1. Gaz Ölçümünün Belirlenmesi

Kızıl ötesi radyasyonun ölçülmesinde her gazın seçici soğrulmasından dolayı miktar belirlenir. Test edilecek gaz bir sonda yardımı ile aracın egzoz borusundan alınır. Bu gaz içerisinde su uygun filtreler ile ayrıştırılarak test bölmesine gönderilir. Ölçüm bölmesindeki kızıl ışık, bulunan gaz nedeniyle zayıflar. Gazın türüne bağlı olarak ışınların dalga boyları değişmektedir (soğurma prensibi). Gaz içerisinde atom sayıları aynı olduğunda farklı bir dalga boyunun oluşması mümkün değildir. Ancak atom sayıları değiştiğinde kızıl ötesi soğurma prensibine bağlı olarak farklı dalga boyları oluşmaktadır. Soğurma çok güçlü ise gaz konsantrasyonu çok daha fazladır. Bu farklılıklar elektronik hafıza tarafından kayıt edilir. Bu elektronik hafıza önüne istenilen dalga boylarında gazların gelmesi için optik filtreler takılmıştır.

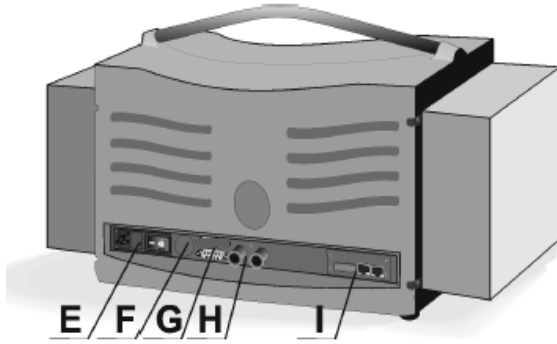
### 5.1.2. Cihaza Genel Bakış

#### 5.1.2.1. Önden Görünüşü



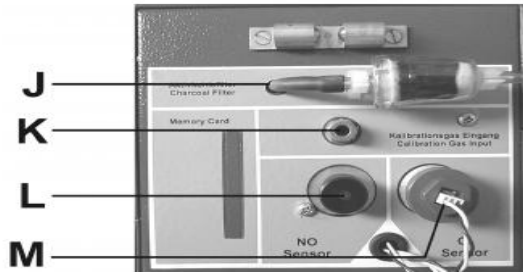
- 1) A- Standart RPM Modülü
- 2) B-RPM Modülü kontrol LED ışıkları ve sinyal kontrolü
- 3) C- E-OBD Modülü
- 4) D-Ölçülecek Gaz Girişi

### 5.1.2.2. Arkadan Görünüşü



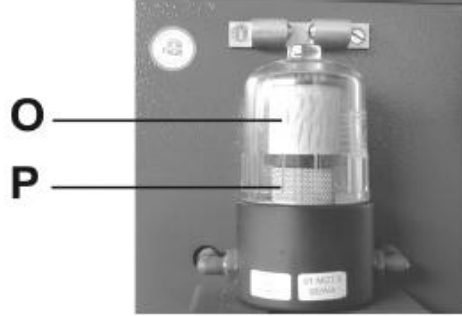
- 1) E-Şalterli güç kaynağı, sigorta ve güç kaynağı 85-265 V AC
- 2) F- Araç Aküsünün çalışması için hazırlık 10 -42 V AC
- 3) G- El terminali için RS232 ara birimi
- 4) H- Su çıkış ağzı
- 5) I – PC ile veri bağlantısı

### 5.1.2.3 Cihazın Sol Tarafı



- 1) J- Sıfır noktası ayarı için aktif karbon filtre
- 2) K- Kalibrasyon Gazı Girişi
- 3) L- NO sensörü girişi
- 4) M- O<sub>2</sub> sensörü

#### 5.1.2.4 Cihazın Sağ Tarafı



1)O-ince parçacık filtresi

2)P-kalın filtre

#### 5.1.2.5 Cihaza Ait Ekipmalar



Şekil 5.2. Yağ sondası



Şekil 5.3. Su yoğuşma ayırıcı



Şekil 5.4. Egzoz sondası

### 5.1.2.6. Cihaza Ait Teknik Veriler

|                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                   |                                                                    |                      |                                              |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------|
| • Ölçüm gazı                                                              | CO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | CO <sub>2</sub>   | HC                                                                 | O <sub>2</sub>       | NO <sub>x</sub>                              |
| • Ölçüm aralığı                                                           | 0 - 15,00<br>Hac %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0 - 20,0<br>Hac % | 0 - 2000 ppm<br>Vol<br>(Hekzan)<br>0 - 4000 ppm<br>Vol<br>(Propan) | 0 - 25,00<br>Hac %   | 0 - 5000<br>ppm Vol                          |
| • Tam veya ölçülen değerlerin %5'i ölçüm aralığı (büyük değer geçerlidir) | 0,03 Hac %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 0,5 Hac %         | 10 ppm Hac                                                         | 0,1 Hac %            | 32 - 120 ppm<br>Hac<br>ölçüm aralığına bağlı |
| • Ölçüm prensibi                                                          | kızıl ötesi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | kızıl ötesi       | kızıl ötesi                                                        | elektro-<br>kimyasal | elektro-<br>kimyasal                         |
| • Ölçülen değer çözünürlüğü                                               | 0,001 Hac %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 0,01 Hac %        | 0,1 ppm Hac                                                        | 0,01 Hac %           | 1 ppm Hac                                    |
| • Ölçüm aralığı sapması                                                   | ölçüm aralığı son değerinden $\pm$ %0.6'dan küçük                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Isınma aşaması                                                          | min. 30 saniye, maks. 10 dakika • sıcaklık kontrollü                                                                                                                                                                                                                                                                              |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Ölçüm gazı hacmi akışı                                                  | 3 l/dakika                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Hacim akışı                                                             | otomatik, sürekli • yaklaşık. 1 l/dakika                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Çalışma basıncı                                                         | 750 - 1100 mbar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Basınç değişimi                                                         | 5 kPascal değişimlerde maks. hata %0.2                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Güç kaynağı                                                             | 85 V - 265 V • 50/60 Hz • 65 W<br>veya<br>5 m ters bağlantı koruması olarak 12 - 42 V DC güç kaynağı için kablo, kelepçe ve diyot (araç aküsü, opsiyonel)                                                                                                                                                                         |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Endüksiyon RPM sensörü                                                  | 100 - 10000 rpm • • seçilebilir çözünürlük: 1,5,10,50 rpm                                                                                                                                                                                                                                                                         |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Çalıştırma sıcaklığı                                                    | +5°C - +45°C • tolerans $\pm$ 2°C                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Depolama sıcaklığı                                                      | -10°C - +60°C • tolerans: $\pm$ 2°C                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Yakıt termometresi                                                      | 0°C - +150°C • çözünürlük 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Sızıntı testi                                                           | menü kontrollü, günlük (1 x)                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • HC kalıntı testi                                                        | otomatik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Sıfır ayarı                                                             | otomatik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Kalibrasyon                                                             | ülkede geçerli şartlara bağlı (kalibrasyon gazı gereklidir)                                                                                                                                                                                                                                                                       |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Off. kalibrasyon aralığı                                                | ülkede geçerli şartlara bağlı                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Ara birimler                                                            | LON • USB • OBD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Bağlantılar                                                             | Yağ sıcaklığı • RPM (standart RPM modülü)                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Boyutlar                                                                | 560 x 240 x 300 mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Ağırlık                                                                 | yaklaşık. 10 kg                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                   |                                                                    |                      |                                              |
| • Gürültü emisyonu                                                        | MGT 5 Motor Gazı Test Cihazının pompasından kaynaklanan gürültü emisyon değeri, işletim personelinin bulunduğu yerde 75 dB(A)'dan azdır. Test sırasında ortaya çıkan gürültü emisyonu, araç motorunun gürültüsü nedeniyle 105 dB(A)'ya kadar çıkabilir. Bu nedenle çalışma alanını çevresi gürültüden uygun şekilde korunmalıdır! |                   |                                                                    |                      |                                              |

## 5.2. Motor Devir Sensörü

Motorun çalışma titreşimlerinde aldığı verileri egzoz cihazı üzerinde gösterge paneline ileten bir elektronik cihazdır. Motor bloğuna bağlantısı aşamasında hareketli parçalarına zarar gelmemesi için azami dikkat gerekmektedir. Şekil 5.5’de devir sensörü gösterilmiştir.



### Şekil 5.5 Devir sensörü



**Şekil 5.6.** Devir sensörünün motora bağlanma görüntüsü

### 5.3. FDM Olarak Kalsiyum Klorür Hekzahidrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )

Deneyde kullanılan malzeme 1 kg ağırlığında tartılarak boş bir kabın içerisine dökülmüştür. Yeteri miktarda musluk suyu kullanılarak malzeme karıştırılıp diş macunu kıvamına getirilmiştir. Deneyde kullanılacak katalitik konvertör üzerine 1 cm kalınlığında sürülerek katalitik konvektör çevresi ısı dayanımına yüksek sac folyo ile kapatılıp sızdırmaz duruma getirilmiştir. Tablo 5.1 de malzemeye ait bilgilere yer verilmiştir. FDM şekil 5.7’de saklama torbası içerisinde görülmektedir.

**Tablo 5.1.** Kalsiyum Klorür Hekzahidrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) özellikleri

| $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | Açıklama                |
|-------------------------------------------|-------------------------|
| Saflık derecesi                           | %98                     |
| Yoğunluğu                                 | 1.71 gr/cm <sup>3</sup> |
| Çözünürlük                                | Suda çöünür             |
| Fiziksel görünümü                         | Kristal                 |
| Renk                                      | Beyaz                   |
| Erime sıcaklığı                           | 30 °C                   |



**Şekil 5.7.** Kalsiyum klorür hekzahidrat

#### 5.4. Deney Setinin Hazırlanması

Deney setinin hazırlanılmasında öncelikle deney ortamının fiziki alt yapısının deney yapılacak şartların uygun bir duruma getirilmesi temelde planlanmıştır. Bu şartlar göz önünde bulundurularak deneyin Elazığ Tüvtürk Araç Muayene İstasyonunda yapılmasına karar verilmiştir. Devir sensörü motora Şekil 5.6’da gösterildiği yöntemle bağlanmıştır.

Deneyin yapılacağı ortam, egzoz tahliye, hava akışının az olması için kapalı ortam ve ortam havalandırması için havalandırma sistemi bulunmaktadır.

Deneyin yapıldığı Tüvtürk Araç Muayene İstasyonunun kanal bölgesinde Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



**Şekil 5.8.** Deney ortamının genel görüntüsü

Deney yapılacak ortamın belirlenmesinden sonra, deneyde kullanılacak ekipmanlar ve FDM giydirilen katalitik konvertör ile test aracı alana alınmıştır.

Şekil 5.9 deney için seçilen aracın öncelikle test için uygun olup olmadığı kontrolü yapılmıştır. Araç kanal kısmına alınarak egzoz sisteminden kaçak olup olmadığı fiziki olarak incelenmiştir. Daha sonra uygun ekipman ile egzoz borusu kısa bir süreliğine kapatılarak manifold bağlantı yerlerinde kaçak olup olmadığı incelenmiştir.





**Şekil 5.9.** Deney aracının hazırlama görüntüsü



**Şekil 5.10.** Ekipmanların araca bağlanma görüntüsü

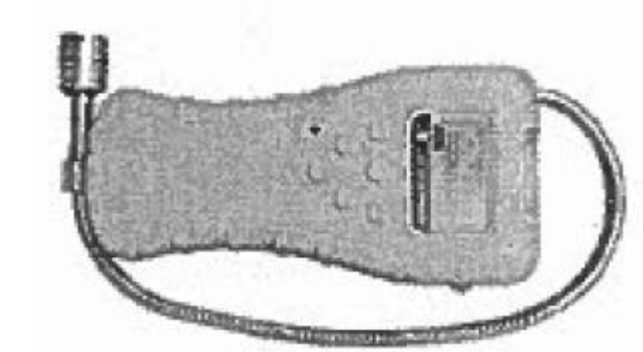
Araç egzoz sistemine FDM giydirilerek hazırlanan katalitik konvertör montajı yapılarak deney aşamasında bekletilmiştir. Şekil 5.11’de katalitik konvertöre FDM giydirildikten sonra araç üzerine montaj durumu gösterilmiştir.



**Şekil 5.11.** FDM’li katalitik konvertör



Daha sonra araç rölanti durumunda çalıştırılarak motor havuzunda ve manifold çevresinde HC kaçağı olup olmadığı Şekil 5.12’de gösterilen GPT 100 gaz kaçak cihazı ile kontrolü gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 5.12** GPT100 Gaz kaçak cihazı

Ön koşullar oluşturulduktan sonra deneyin gerçekleştirilmesi için araç kanal bölgesinde el freni çekili durumda iş güvenliği açısından gerekli tedbirler alınarak ölçüm için cihaz ve kaydedici ekipmanlar hazır duruma getirilmiştir.

### **5.5. Motorda Ölçülecek Veriler**

Yapılan deneyde mevcut ölçülecek veriler;

- Ortam sıcaklığı (her deney için aynı sıcaklık tercih edilmiştir.)
- Motor devri ( Devir saati ve Devir sensöründen mukayeseli okunmuştur.)
- Motor sıcaklığı ( Yağ çubuğu yerine takılan prob ile ölçülmüştür.)
- Egzoz duman sıcaklığı (W502 K/J – TYPE)
- HC, CO ve NO<sub>x</sub> oranı (MGT5 cihazı ile)

gibi birkaç değişkene bağlı olarak mukayeseli sonuçların çıkmasına çalışılmıştır. Deneyin yapıldığı mevsim ve iklim farklılıkları lokal bazda değişkenlik gösterebilmektedir.

Deney bir benzinli 1.6 motor hacmi 185000 km’ye sahip motorlu araç üzerinde gerçekleştirmiştir. Mayıs ayının son haftası ve Haziran ayının ilk haftasını kapsayacak şekilde 10 gün süreyle farklı zaman dilimlerinde, 05:00 ile 07:00 saatler arasında ve ortam sıcaklığı 13-14 °C’de gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca araç aynı deney ortamında akşam saat 19:00’da bırakılarak deney saatlerine kadar stop durumunda park edilmiştir.

## 6. BULGULAR

Çalışmanın esasını oluşturan, gizli ısı depolama yapılan katalitik konvertör aracın egzoz sistemine monte edilerek atmosfere atılacak zehirli gazları konvektör erken devreye girerek minimize edilmesine olanak sağlamaktır. Aracın 3 farklı egzoz durumu için deney ölçümleri alınmıştır.

Aynı araç için;

1-Katalitik konvertör sökülerek ölçüm yapılması

2-Katalitik konvertörlü ölçüm yapılması

3-FDM giydirilerek gizli ısı depolamalı katalitik konvertörden ölçüm alınması

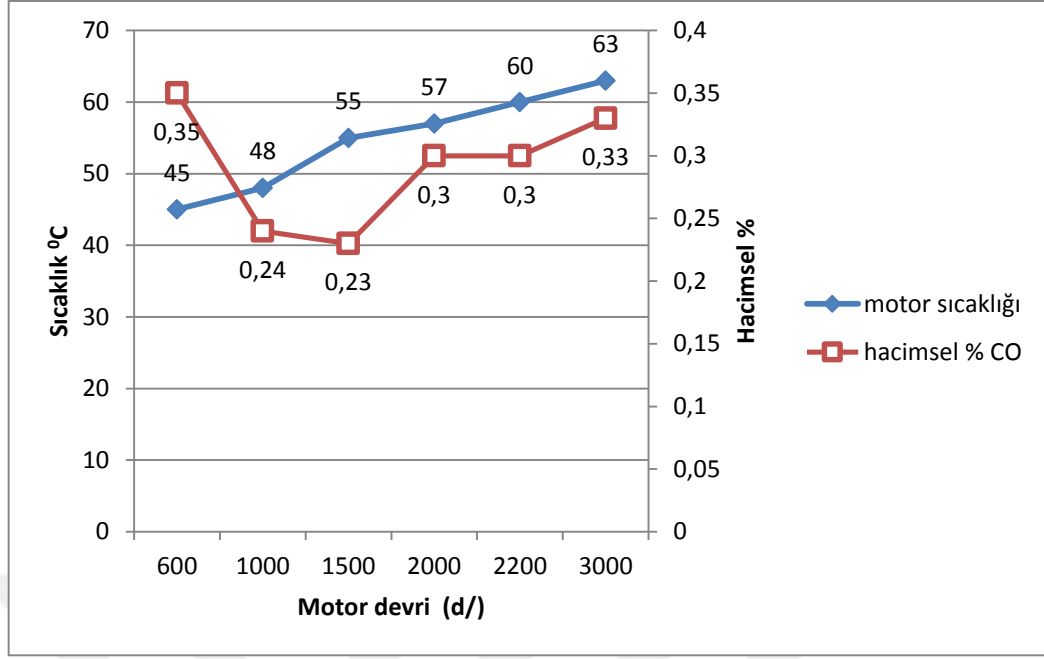
Deneyde her durum için 6 adet ölçüm yapılmış olup, ölçüm sonuçları bu bölümde tablolar halinde yorumlanmıştır.

### 6.1. Katalitik Konvertörsüz Egzoz ve Sıcaklık Değerleri

Bu deney aşamasında bir gün önceden deney ortamında park edilen aracın ölçüm işlemleri yapılmıştır. Aracın ön kontrollerden sonra test aşamasına geçilmiştir. Tablo 6.1 ve Şekil 6.1’de aracın katalitiksiz egzoz gaz değerleri gösterilmiştir.

**Tablo 6.1.** Katalitik Konvertörsüz aracın egzoz değerleri

| Motor Devri (d/d) | Motor yağ Sıcaklığı (°C) | Egzoz Duman Sıcaklığı(°C) | Hacimsel - % CO | Hacimsel - ppm HC | Hacimsel - % NO <sub>x</sub> |
|-------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------|------------------------------|
| 600               | 45                       | 47                        | 0,35            | 320               | 12,4                         |
| 1000              | 48                       | 49                        | 0,24            | 300               | 12,2                         |
| 1500              | 55                       | 52                        | 0,23            | 315               | 12,5                         |
| 2000              | 57                       | 54                        | 0,30            | 318               | 12                           |
| 2200              | 60                       | 55                        | 0,30            | 320               | 11,9                         |
| 3000              | 63                       | 57                        | 0,33            | 325               | 12                           |



**Şekil 6.1** Motor devri ve Sıcaklıklara Bağlı CO değerleri

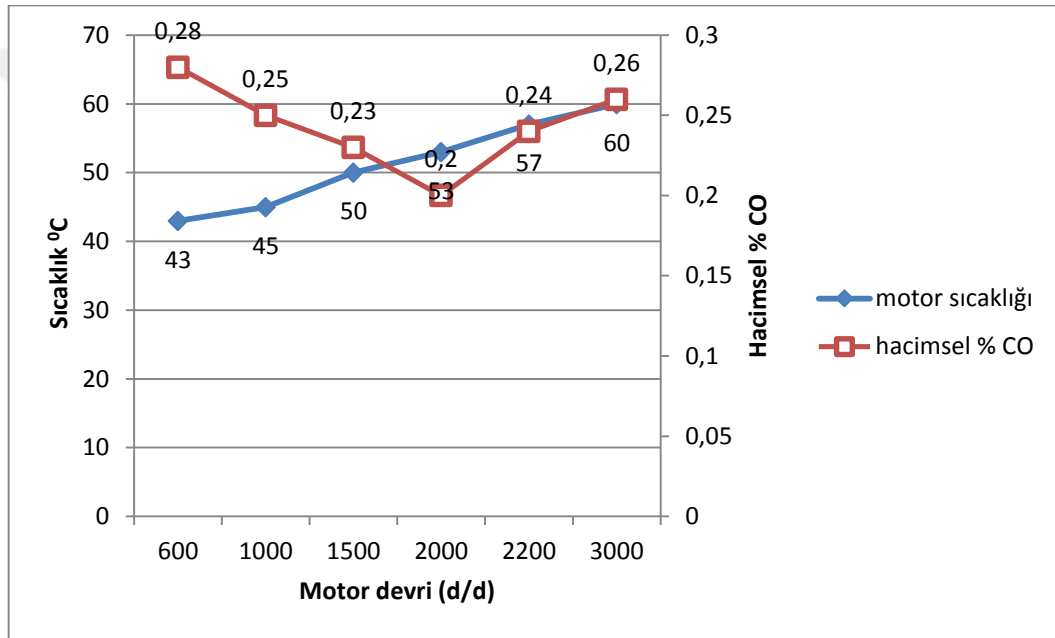
Deney verileri göstermektedir ki, katalitik konvertörsüz bir aracın ilk çalışma şartlarında salgıladığı değerler ülkemizdeki egzoz emisyonu sınır limit değerleri civarındadır. Motor devri ve sıcaklığı artmasına bağlı olarak aracın emisyon değerlerinde düşme gözlemlenmemektedir.

## 6.2. Katalitik Konvertörlü Egzoz ve Sıcaklık Değerleri

Gerçekleştirilen bu deney modelinde katalitik konvertörü egzoz sistemine montajı yapılarak ölçüm işlemleri yapılmıştır. Tablo 6.2 ve Şekil6.2 de katalitik konvertörlü değerler gösterilmiştir.

**Tablo 6.2.** Katalitik Konvertörlü aracın egzoz değerleri

| Motor Devri (d/d) | Motor yağ Sıcaklığı (°C) | Egzoz Duman Sıcaklığı (°C) | Hacimsel - % CO | Hacimsel - ppm HC | Hacimsel - % NO <sub>x</sub> | Lambda Değeri |
|-------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|------------------------------|---------------|
| 600               | 43                       | 45                         | 0,28            | 310               | 12,4                         | 1,2           |
| 1000              | 45                       | 47                         | 0,25            | 290               | 12,2                         | 1,11          |
| 1500              | 50                       | 50                         | 0,23            | 310               | 12,5                         | 1,01          |
| 2000              | 53                       | 51                         | 0,20            | 315               | 12                           | 1             |
| 2200              | 57                       | 53                         | 0,24            | 310               | 11,9                         | 0,998         |
| 3000              | 60                       | 54                         | 0,26            | 315               | 12                           | 0,999         |

**Şekil 6.2** Motor devir ve Sıcaklıklara Bağlı CO değerleri

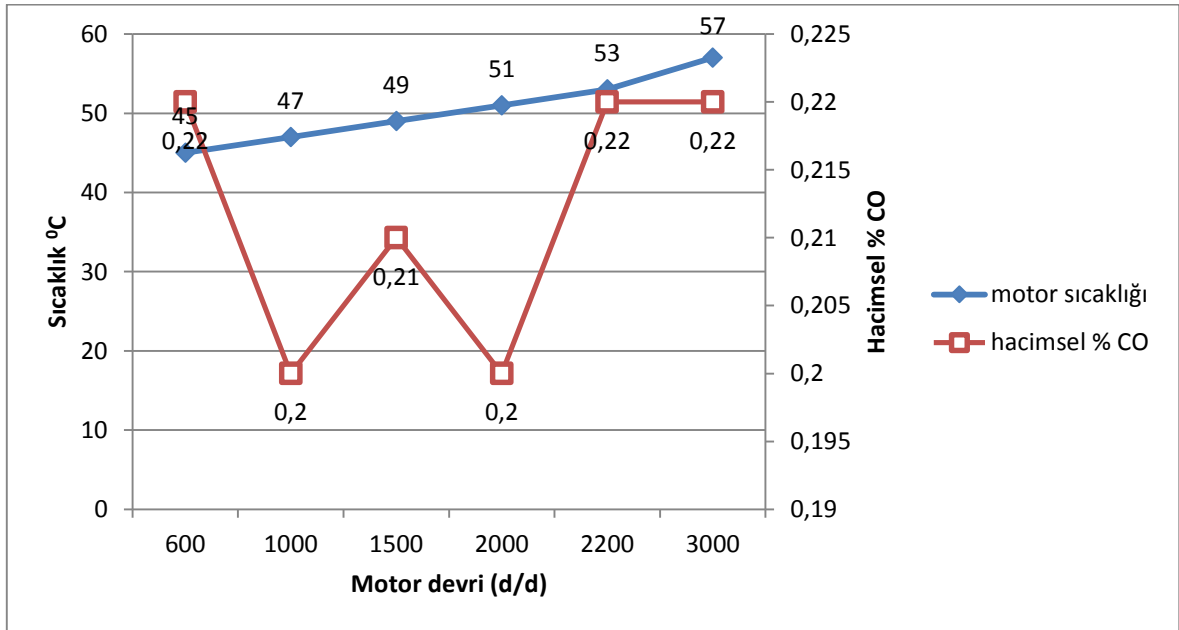
Katalitik konvertörlü aracın egzoz emisyon verileri Tablo 6.1 gösterilen değerleri mukayeseli olarak incelendiğinde motor devrinin arttığında bağlı olarak emisyon değerlerin düştüğü ve belli devirden sonra arttığı gözlemlenmiştir. Başka bir ifade ile 2000 d/d seviyesinde aracın egzoz emisyon değerleri o aracın en uygun egzoz salınım yaptığı durumu göstermektedir.

### 6.3. Gizli Isı Depolamalı Katalitik Konvertörlü Egzoz ve Sıcaklık Değerleri

Bu aşama deneyimizin temel yapısını oluşturmaktadır. FDM kullanılarak oluşturulan gizli ısı depolamalı katalitik konvertör aynı şartlarda katalitik ve katalitik konvertörlü egzoz emisyon sistemine sahip aracın egzoz değerlerine göre daha çevreci olduğu buna bağlı olarak ülkemizde soğuk iklimin hakim olduğu yerlerde göreceli olarak daha çevreci olduğunu vurgulamak mümkündür. Tablo 6.3 ve Şekil 6.3’de sayısal veriler doğrultusunda incelenmiştir.

**Tablo 6.3.** Gizli Isı Depolamalı Katalitik Konvertörlü Egzoz ve Sıcaklık Değerleri

| Motor Devri (d/d) | Motor yağ Sıcaklığı (°C) | Egzoz Duman Sıcaklığı (°C) | Hacimsel - % CO | Hacimsel - ppm HC | Hacimsel - % NO <sub>x</sub> | Lambda Değeri |
|-------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|------------------------------|---------------|
| 600               | 45                       | 47                         | 0,22            | 305               | 12,4                         | 1             |
| 1000              | 47                       | 49                         | 0,20            | 295               | 12,2                         | 1,01          |
| 1500              | 49                       | 53                         | 0,21            | 309               | 12,5                         | 1             |
| 2000              | 51                       | 54                         | 0,20            | 312               | 12                           | 1             |
| 2200              | 53                       | 57                         | 0,22            | 314               | 11,9                         | 1,01          |
| 3000              | 57                       | 59                         | 0,22            | 313               | 12                           | 1             |



**Şekil 6.3** Motor devir ve Sıcaklıklara Bağlı CO değerleri

Yapılan 3 deney durumu göstermektedir ki; gizli ısı depolamalı katalitik konvertörün kullanıldığı araçlarda çevre ve insan için birinci tehlikeli olan CO oranında sayısal bir azalma söz konusudur. Tablo 6.3’de CO değeri yanı sıra Lambda değerinde uygun çalışma koşullarında araç için optimum yanmanın olduğunu ifade etmek mümkündür. Maliyeti ve hacmi mevcutlardan farklı olmasına rağmen salgıladığı emisyon değerleri insanlığa, çevreye ve ekonomimize faydası çok olduğu görülmektedir.



## 7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; benzinli bir aracın katalitik konvertörüne belirli kalınlığa (yaklaşık 1 cm) oluşturmak suretiyle yalıtım derecesi yüksek malzeme ile kaplama yapılmıştır. Bu doğrultuda; 4 zamanlı, 4 silindirli, içten yanmalı benzinli motorun egzoz sistemindeki katalitik konvertörüne Kalsiyum Klorür Hekzahidrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) uygulanarak ölçümler yapılmıştır.

Yapılan ölçümlerde, aracın katalitik konvertör sökülerek, katalitik konvertörlü ve FDM giydirilerek oluşturulan katalitik konvertörle ölçümler yapılmıştır.

Deneyde kullanılan araca ait teknik özellikler; araç tescil belgesinde, fadrika tip etiketinde ve internet ortamında tespit edilmiştir. Kıyaslanabilir deney sonuçların elde edilebilmesi için, araç aynı mevsim koşullarında ve ortamdan ayrılmadan kısa periyotlar halinde ölçümler yapılmıştır. Bunun yanında motor yağ sıcaklığını ölçmek için MGT5 cihazına ait özel prob, egzoz dumansıcaklığı için MGT cihazı, motor havuzunda HC kaçağının olup olmadığını ölçmek için GPT gaz kaçak cihazı, egzoz duman sıcaklığını ölçmek için W502 K/J – TYPE sıcaklık ölçer ve ortam sıcaklığını ölçmek içinde ortamda sürekli duran termometre cihazı kullanılmıştır.

Deneyde kullanılan benzinli aracın genel yapısından değişiklikler yapılmadan, sadece deney amaçlı egzoz sisteminde değişiklikler yapılmıştır. Yapılan deneyler kapsamında; aynı aracın katalitik konvertörsüz, katalitik konvertörlü ve FDM'li katalitik konvertörlü egzoz gazları incelenerek analiz edilmiştir.

Yapılan deneylere ait ölçümler Tablo 7.1 'de karşılaştırılmıştır.

**Tablo 7.1.** Deneysel çalışmalara ait sonuçların karşılaştırılması

|                   |                    |                    | CO (%)       |             |                    | HC (ppm)     |             |                    | Nox (%)      |             |                    | Lambda Değeri |             |                    |
|-------------------|--------------------|--------------------|--------------|-------------|--------------------|--------------|-------------|--------------------|--------------|-------------|--------------------|---------------|-------------|--------------------|
| Motor Devri (d/d) | Motor Sıcaklığı °C | Egzoz Sıcaklığı °C | Konvertörsüz | konvertörlü | FDM'li Konvertörlü | Konvertörsüz | konvertörlü | FDM'li Konvertörlü | Konvertörsüz | konvertörlü | FDM'li Konvertörlü | Konvertörsüz  | konvertörlü | FDM'li Konvertörlü |
| 600               | 45                 | 47                 | 0,35         |             |                    | 320          |             |                    | 12,4         |             |                    |               |             |                    |
|                   | 43                 | 45                 |              | 0,28        |                    |              | 310         |                    |              | 12,4        |                    |               | 1,2         |                    |
|                   | 45                 | 47                 |              |             | 0,22               |              |             | 305                |              |             | 12,4               |               |             | 1                  |
| 1000              | 48                 | 49                 | 0,24         |             |                    | 300          |             |                    | 12,2         |             |                    |               |             |                    |
|                   | 45                 | 47                 |              | 0,25        |                    |              | 290         |                    |              | 12,2        |                    |               | 1,11        |                    |
|                   | 47                 | 49                 |              |             | 0,2                |              |             | 295                |              |             | 12,2               |               |             | 1,01               |
| 1500              | 55                 | 52                 | 0,23         |             |                    | 315          |             |                    | 12,5         |             |                    |               |             |                    |
|                   | 50                 | 50                 |              | 0,23        |                    |              | 315         |                    |              | 12,5        |                    |               | 1,01        |                    |
|                   | 49                 | 53                 |              |             | 0,21               |              |             | 309                |              |             | 12,5               |               |             | 1                  |
| 2000              | 57                 | 54                 | 0,3          |             |                    | 318          |             |                    | 12           |             |                    |               |             |                    |
|                   | 53                 | 51                 |              | 0,2         |                    |              | 318         |                    |              | 12          |                    |               | 1           |                    |
|                   | 51                 | 54                 |              |             | 0,2                |              |             | 312                |              |             | 12                 |               |             | 1                  |
| 2200              | 60                 | 55                 | 0,3          |             |                    | 320          |             |                    | 11,9         |             |                    |               |             |                    |
|                   | 57                 | 53                 |              | 0,24        |                    |              | 310         |                    |              | 11,9        |                    |               | 1           |                    |
|                   | 53                 | 57                 |              |             | 0,22               |              |             | 314                |              |             | 11,9               |               |             | 1,01               |
| 3000              | 63                 | 57                 | 0,33         |             |                    | 325          |             |                    | 12           |             |                    |               |             |                    |
|                   | 60                 | 54                 |              | 0,26        |                    |              | 315         |                    |              | 12          |                    |               | 1           |                    |
|                   | 57                 | 59                 |              |             | 0,22               |              |             | 313                |              |             | 12                 |               |             | 1                  |

Yukarıdaki tablo incelendiğinde, motor devri, motor yağ sıcaklığını, egzoz duman sıcaklığını, CO miktarını, HC miktarını, NOx miktarını, lambda değerini, katalitiksiz, katalitikli ve FDM katalitik'li değerler mukayese etmek mümkündür. Gerek ortam koşulları anlamında ve gerekse izlenen deney yöntemleri anlamında, eşit şartlar altında deneysel çalışmalar yapılarak sonuca gidilmeye çalışılmıştır.

Motor devirleri sabit tutularak ilk çalışma sıcaklıkları yakın değerler alınarak egzoz dumanı içerisindeki zararlı bileşenler sıralanmıştır. Deneyin asıl amacı aracın ilk çalışma koşullarındaki değerlerin kıyaslanması üzerine yapılmıştır. Tablo 7.1'de değer analizleri belirtilmiştir.

Yapılan deney çalışmasında görüldüğü üzere; aracın ilk çalışma sırasında motor devri düşük motor, motor sıcaklığı en az seviyede ve CO en yüksek seviyede olduğu görülmektedir.



Tablo 7.1’de CO değerleri; motor devri 600 d/d da iken,katalitik konvertörsüzde yüzde hacimsel olarak 0,35 katalitik konvertörlü olarak 0,28 ve FDM’li katalitik konvertörlü de ise 0,22 olarak ölçölmüştür. Aynı koşullarda CO değerleri; FDM’li katalitik konvertörde diğer durumlara kıyasla daha az ve zarar derecesi düşük olarak görölmüştür.

Tablo 7.1’de HC değerleri; motor değerleri 1500 d/d da iken, katalitik konvertösüz de ppm olarak 315, katalitik konvertörlü olarak 315 ve FDM’li katalitik konvertörlü de ise 309 olarak ölçölmüştür. Aynı koşullarda HC değerleri; FDM’li katalitik konvertörde diğer durumlara kıyasla daha az ve zarar derecesi daha düşük olarak görölmüştür.

Tablo 7.1’de NO<sub>x</sub> değerleri; motor devri ve farklı sıcaklıklarda mukayese edilecek farklılıklar göstermemiştir.

“Bu deneysel çalışma kapsamında; CO değerleri FDM’li katalitik konvertörlerde diğer durumlara göre daha az kirletici salınımı meydana gelmektedir. Dolayısıyla motor ilk çalışma koşullarında CO değerlerinin minimize edilmesi için FDM’li katalitik konvertör kullanımı daha avantajlı duruma gelmektedir.” Ancak teorik olarak böyle bir sonuç çıkmış olsa bile gerçek anlamda araç üreticileri maliyet artışlarından dolayı mümkün olarak görölmemektedir. Egzoz gazlarındaki zararlı değerleri daha çok petrol ürünüyle çalışan araçlar üzerinden değil de elektrik ile çalışan veya hibrit olarak çalışan araç üretme yoluna gitmektedirler.

Deneysel çalışmalarda ayrı ayrı ölçümler göstermektedir ki; yakın zamanda böyle FDM’li bir katalitik konvertör üretimin ön görölmediği ancak katalitik konvertörlerdeiyileştirme sonucunda taşıt kaynaklı atmosferin kirlenmesinin önüne azda olsa geçilmiş olacaktır.

## 8. ÖNERİLER

Bu deneysel çalışmamızda, bir aracın katalitik konvertörsüz, katalitik konvertörlü ve gizli ısı depolamalı katalitik konvertör kullanılması sonucunda oluşan egzoz emisyon değerleri incelenmiştir. Bu nedenle FDM kullanılarak giydirme yapılan katalitik konvertör oluşturulmuştur. Özellikle soğuk iklim şartlarında ilk hareket aşamasında katalitik konvektörün uygun sıcaklığa erişerek daha az zararlı gaz salınımı atmosfere atılmasına olanak tanımaktadır. Bu çalışmaya ilave olarak;

- Katalitik konvektörün iç yüzeyine paralel veya artı şeklinde boyuna FDM yerleştirilebilir,
- Katalitik konvertör içerisine ön ısıtmalı elektrik entegreli FDM kullanılabilir,
- Harici egzoz emisyon kontrolü yerine egzoz sistemine ekipman yerleştirilerek anlık ECU yardımı ile değerler kontrol edilebilir,
- Üreticiler uygunluk belgesinde belirttikleri emisyon değerlerini taşıt trafik şartlarında teste tabi tutarak ilk önlemler alınabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Kutlar O.A, Ergeneman, M. Arslan, H. Mutlu,** Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998.
- [2] Çevre Vakfı,1995, Motorlu Kara Taşıtlarından Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Önlenmesi Paneli, **Ankara Valiliği Çevre Koruma Vakfı Yayınları**, No:5, Ankara.
- [3] **Ganesan, V.**,1996, Internal Combustion Engines, McGraw-HillInc.,New York,USA.
- [4] **Dhara S.**,TheExtraction of Platinum GroupMetalsfromOutomotiveCatalyst. Inproceeding of the 1983 IPMI International Seminar, 1983, 83
- [5] **Smith, W.J.,Timoney, D.J., Lynch, D.P.,** EmissionsandEfficiencyComparison of Gasolineand LPG Fuels in a 1.4 litre Passenger Car Engine, SAE paper, No: 972970, 1997, 1-10
- [6] **Angelidis, T. N.;Papadakis, V. G.** PartialRegeneration of an Aged Commercial Automotive Catalyst. Appl. Catal. B 1997. 12, 193
- [7] **Meretei, T.,Banyavari, P., Borsi, Z., Tamasi, A.,** Catalyzer Small-ScaleFieldTest in Hungary, SAE paper, No: 960236,1996, 45-58
- [8] URL<http://www.ngk.de/tr/ueruenler-ve-teknosojiler/lambda-sensoerleri/lambda-sensoerue-telnolojileri/>, alındığı tarih:19.10.2014
- [9] URL[http://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen\\_sensor](http://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen_sensor), alındığı tarih: 19.10.2014
- [10] URL[http://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen\\_sensor](http://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen_sensor), alındığı tarih: 19.10.2014
- [11] **Angelidis T.N.,Skouraki E,** Preliminary Studies of Platinum Dissolutionfrom a SpentIndustrialCatalyst 1996, 142,387
- [12] **Angelidis, T. N.;Sklavounos, S. A.** A SEM-EDS Study of New andUsed Automotive Catalysts. Appl. Catal. A 1995, 133,121
- [13] **TÜVTÜRK Araç Muayene** Teknik Eğitimi / Motorlu Taşıtlar ve Römorkların Yapısı
- [14] [www.megep.meb.gov.tr/mte](http://www.megep.meb.gov.tr/mte)

## ÖZGEÇMİŞ

Naim DONAT, 1981 yılında Elazığ da doğdu. İlköğrenimini Elazığ da, orta öğrenimini Malatya da tamamladı. 2005 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünde mezun oldu. 2007 yılından itibaren TUVTURK Araç Muayene İstasyonlarında yönetici olarak çalışmaktadır. 2009 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans çalışmalarına başladı. Halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.

İletişim Bilgileri;

Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi

Makine Eğitimi Bölümü

ELAZIĞ

e-mail: [Naim.Donat@tuvturk.com.tr](mailto:Naim.Donat@tuvturk.com.tr)