

34722



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

34722

MOTORLARIN NEDEN OLDUĞU
HAVA KİRLETİCİLERİ
VE
ÖNLEME ÇARELERİ

Mak.Müh. Erol BALI

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan

VİKCEK İÇSANS TEZİ

Tez Danışmanı :Prof.Dr.Raif DURAK

İSTANBUL,1994

ÖNSÖZ

Gelişmişliğin bir simgesi olan enerji kullanımının artması binlerce yılda kurulan ekolojik dengede bozulmalar meydana getirmektedir.Kısmen bozulan ekolojik dengenin tekrar kurulabilmesi, bozulma mertebesine bağlı olarak yüzlerce yılı alacağı tahmin edilmektedir.Dünyadaki hızlı teknolojik gelişmeler bir çevre sorununu da beraberinde getirmiştir.Doğal yaşamın en önemli ögesi olan dünyamızı çevreleyen atmosfer her katmanıyla gelişen teknolojidenden ve onun yarattığı kirlilikten fazlasıyla nasibini almaktadır.

Son yıllarda atmosferde meydana gelen kirlenmelere; genelde yanlış kentleşme ve çevreye etkisi araştırılmadan kurulan sanayi tesisleri sebep olduğu kadar ulaşımda kullanılan araçların etkisi de korkunç boyutlara ulaşmıştır.

Yanma olayının yapısında hava kirletici oluşumu mevcuttur.Bu sebepten klasik içten yanmalı motorlardan yayılan kirleticileri tümüyle ortadan kaldırmak mümkün değildir.Kontrol tekniklerinin geliştirilmesiyle kirletici emisyonlar ancak daha da azaltılabilecektir.

Motorlu araçlar,insan eliyle oluşturulan hava kirliliğinde diğer faktörlerden daha büyük bir paya sahiptir.Bu olay ilk defa ABD 'de ciddi olarak ele alınmış ve egzoz gazlarının kirletici emisyonlarına yasal sınırlamalar getirilmiştir.!983 yılına gelindiğinde ise Hollanda,Kanada,Japonya ve Avusturya gibi pek çok ülke ABD standardlarına benzer yasal düzenlemeleri benimsemişlerdir.Avrupa Topluluğu Ülkelerinde emisyon sınırlamaları 1989 yılında kabullenilmiştir.Ülkemiz standardlar ve yönetmelikler bakımından bu konuda hazır sayılabilir.Ancak,denetim laboratuvarlarının kurulmasıyla birlikte elde edilecek deneyimler sonucu yeni yasal düzenlemeler de gerekecektir.

1994 yılı Ocak ayından itibaren ithal edilecek taşıt motorlarının emisyon standardlarına uygun olması yasal zorunluluktur.Yerli taşıt motorlarında ise emisyon standardlarına uygun üretime 1995 yılında başlanması yine bir yasal gerekliliktir.Yapılan araştırmalar yabancı marka taşıt motorlarının bu yasal düzenlemelere hazır olduğunu göstermiştir.Bir çok firma ithal edeceği otomobil, otobüs ve kamyon motoru için standartlara uygunluk belgesi almak üzere çok önceden Türk Standardları Enstitüsüne başvurduğunu ifade etmektedir.

Yasal sınırlamaların etkili şekilde uygulanması ile hedeflenen hava kalitesine erişmek için üniversitelere,resmi ve özel araştırma kurumlarına,endüstriye,devlete ve bireylere çeşitli seviyelerde görevler düşmektedir.Ancak bu görevlerin yerine getirilmesiyle toplumun çevresiyle barışık yaşaması mümkün olacaktır.

İÇİNDEKİLER

SEMBOLLER	II
TÜRKÇE ÖZET	VI
İNGİLİZCE ÖZET	VII
I. HAVA KİRLİLİĞİ	1
1.1.Tanımlamalar	2
1.2.Hava Kirliliği Hesabı	6
1.3.Toplam Hava Kirliliği Değerlerinin Tesbiti	16
I.BÖLÜME AİT SEMBOLLER	20
II. MOTORLARDAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLİLİĞİ	22
2.1.Kirleticilerin Genel Sağlığa Olumsuz Etkileri	23
2.2.Kirletici Kaynakları	24
2.3.Motor Emisyonları	35
III. MOTOR EMİSYON STANDARDLARI	45
3.1.Standardlarda Temel Yaklaşımlar	47
3.2.Başlıca Ülke Standardları	49
3.3.Türkiye Standardları	65
III. BÖLÜME AİT SEMBOLLER	82
IV. EMİSYON ANALİZ CİHAZLARI	84
4.1.Karbon Dioksit Analiz Cihazları	85
4.2.Karbon Monoksit Analiz Cihazları	87
4.3.Azot Oksit Analiz Cihazları	87
4.4.Hidrokarbon Analiz Cihazları	88
4.5.Oksijen Analiz Cihazları	90
4.6.Partikül Analiz Cihazları	91
4.7.İs Analiz Cihazları	92
IV. BÖLÜME AİT SEMBOLLER	107
V. MOTORLARDA KİRLLETİCİ OLUŞUMLARI	108
5.1.Motor Yapısal Özelliklerinin Etkileri	109
5.2.Motor İşletme Koşullarının Etkileri	115
5.3.Yakıt Özelliklerinin Etkileri	121
5.4.Kirletici Oluşum Mekanizmaları	124
VI. EMİSYONLARIN KONTROLÜ	139
6.1.Karter Emisyonlarının Kontrolü	140
6.2.Buharlaştırma Emisyonlarının Kontrolü	142
6.3.Egzos Emisyonlarının Kontrolü	147
6.4.Alternatif Güç Kaynakları	165
6.5.Tamamlayıcı Kontrol Stratejileri	169
TARTIŞMA VE SONUÇLAR	174
KAYNAKLAR	176
ÖZGEÇMİŞ	

SEMBOLLER

[A]	Çok kararsız yayılma(kirletici yayılma sınıfı)	[Boyutsuz]
[a]	Bir gramlık partikülün yüzey alan	[m ² /g]
[B]	Kararsız yayılma	[Boyutsuz]
[B _A]	Numune kabı	[Boyutsuz]
[B _D]	Arzu edilen hava kalitesi	[%]
[B _E]	Numune torbası	[Boyutsuz]
[B _F]	Önceki hava kalitesi	[%]
[B _L]	Numune toplama körüğü	[Boyutsuz]
[B _S]	Mevcut hava kalitesi	[%]
[C]	Kirletici konsantrasyonu	[g/m ³],[µg/m ³],[ppm]
[C _d]	Seyreltme havasındaki kirletici konsantrasyonu	[ppm]
[C _d]	Seyreltilmiş egzosta ölçülen kirletici konsantrasyonu	[ppm]
[C _i]	İ isimli kirleticinin düzeltilmiş konsantrasyonu	[ppm]
[C _p]	Siyah ise yol açan partikül konsantrasyo	[µg karbon/m ³]
[C _r]	Devir sayacı	[Boyutsuz]
[C _s]	Partikül tutma siklonu	[Boyutsuz]
[C ₁]	1.Tür nötral yayılma (kirletici yayılma sınıfı)	[Boyutsuz]
[C ₂]	2.Tür nötral yayılma " " "	[Boyutsuz]
[C _{co}]	Seyreltilmiş numunedeki CO konsantrasyonu	[ppm]
[C _{HC}]	" " HC "	[ppm C]
[C _{CO₂}]	" " CO ₂ "	[hacim]
[C(x,y,z)]	Emisyon noktasındaki her yayılma durumu için hava kirletme katkı değerini	[mg/m ³
[D]	Kararlı yayılma (kirletici yayılma sınıfı)	[mg/m ² gün]
[DF]	Seyreltme faktörü	[Boyutsuz]
[D _f]	Isıtılabilir filitre	[Boyutsuz]
[d]	Toz tane büyüklüğü	[µm]
[d(x,y)]	Çöken tozların kütlesi	mg/m ² gün]
[E]	Çok kararlı yayılma (kirletici yayılma sınıfı)	[Boyutsuz]
[F]	Dikey yayılma katsayısı	[Boyutsuz]
[FL]	Akışmetre	[Boyutsuz]
[f]	Dikey yayılma üstel sabiti	[Boyutsuz]
[G]	Düşey yayılma katsayısı	[Boyutsuz]
[GB]	Güneşin batışı	[Boyutsuz]

[GD]	Güneşin doğuşu	[Boyutsuz]
[GF]	Emisyon artış faktörü	[Boyutsuz]
[G _{1,2}]	Basınç ölçüm noktası	[Boyutsuz]
[g]	Düşey yayılma üstel sabiti	[Boyutsuz]
[H]	Mutlak nem	[g subuharı/kg kuru hava]
[H _e]	Isı eşanjörü	[Boyutsuz]
[H _g]	Geometrik baca yüksekliği	[m]
[HFID]	Isıtılmış alev iyonizasyon dedektörü	[Boyutsuz]
[h]	Etkin baca yüksekliği	m
[I]	İsli egzoz ortamındaki ışık şiddeti	[Cd]
[I _o]	Temiz hava " " "	[Cd]
[I _{HCL}]	Hidrokarbon anlık konsantrasyonu entegrasyon elemanı	[Boyutsuz]
[i]	Toz sınıfı	[Boyutsuz]
[K]	Kabuledilebilirlik kriteri	[Boyutsuz]
[K _H]	Rutubet düzeltme faktörü	[Boyutsuz]
[K _p]	Çabuk kapanabilen kaplin	[Boyutsuz]
[k]	Taşıtlı sayı istatistik faktörü	[Boyutsuz]
[k _a]	Işık absorpsiyon katsayısı (is yoğunluğu)	[m ⁻¹]
[L]	Toplam emisyon miktarı	[g/deney]
[L _e]	Etkin ışık güzergah uzunluğu	[m]
[L _n]	Isıtılmış numune hattı	[Boyutsuz]
[L _o]	Bilinen etkin güzergah uzunluğu	[m]
[M]	Kirletici emisyon kütlesi	[µg],[mg],[g/mol]
[MV]	Kritik akış venturi tüpü	[Boyutsuz]
[M _i]	İ isimli kirletici emisyon kütlesi	[g/deney]
[M _k]	Seyreltme odası (Karışım odası)	[Boyutsuz]
[m]	Yayılma sınıfı Parametresi	[Boyutsuz]
[N]	Optik direnç	[%]
[N _A]	Akış kontrol vanası	[Boyutsuz]
[N _t]	Toplam pompa devir sayısı	[dev/dak]
[N _o]	Bilinen optik direnç	[%]
[n]	Yakıttaki hidrojenin karbona oranı	[Boyutsuz]
[n _i]	Deneye tabi tutulan taşıtlı sayı	[Boyutsuz]
[P]	Atmosfer basıncı	[atm]
[P _b]	Deney ortamındaki barometrik basınç	[kPa]

[PS]	Kısma vanası	[Boyutsuz]
[PDP]	Pozitif deplasmanlı pompa	[Boyutsuz]
[P _d]	Ortam sıcaklığındaki buhar doyma basıncı	[kPa]
[P _i]	Pompa girişindeki vakum	[kPa]
[Q]	Emisyon çıkış debisi	[kg/h]
[Q _i]	İ isimli kirleticinin standard yoğunluğu	[g/lt]
[Q _a]	Egzos gazlarının nominal debisi	[lt/s]
[Q _p]	Partikül yok olma katsayısı	[Boyutsuz]
[q]	Isıl debi	[MW]
[R]	Gaz sabitesi (0.08207)	[lt.atm/°K.mol]
[R _{HC}]	HC Anlık konsantrasyonu kayıt cihazı	[Boyutsuz]
[R _a]	Ortam havasının bağıl nemi	[%]
[R _p]	Hava kirliliğinde azalma miktarı	[%]
[r]	Yayılma sınıfı parametresi	[Boyutsuz]
[S]	Toplam silindir hacm	[lt]
[SV]	Kritik akım venturi lülesi	[Boyutsuz]
[S _{1,2}]	Numune alma noktası	[Boyutsuz]
[s]	Standard sapma	[Boyutsuz]
[T]	Mutlak sıcaklık	[°K]
[TC]	Sıcaklık kontrol sistemi	[Boyutsuz]
[T _p]	Pompaya giren gaz sıcaklığı	[°K]
[T _{1,2}]	Sıcaklık ölçüm noktası	[Boyutsuz]
[t _{1,2}]	Ölçüm yapılan kısımdaki egzos gazlarının sıcaklığı	[°C]
[t _b]	Bilinen cihazın ölçüm yaptığı kısımdaki egzos gazlarının sıcaklığı	[°C]
[X]	Bir emisyon ölçüm değeri	[g/h],[g/gün]
[X _a]	Ortalama emisyon değeri	[g/h],[g/gün]
[x]	Kirletici yayılma doğrultusu(yatay)	[Boyutsuz]
[U _R]	Rölatif rüzğar hızı	[m/s]
[U _a]	Anemometre hızı	[m/s]
[U _b]	Etkin rüzğar hızı	[m/s]
[V]	Egzos gaz hacmi	[lt/deney],[ft ³ /mil]
[V _d]	Çabuk hareketli valf	[Boyutsuz]
[V _b]	Isıtılmış çok yönlü valf	[Boyutsuz]
[V _a]	Pompanın bir devrindeki gaz hacmi	[lt/devir]
[V _a]	Toz alçalma hızı	[m/s]

$[V_{mıc}]$	Standard şartlara düzeltilmiş egzoz gaz hacmi	[lt/deney]
$[W]$	Taşıt kütlesi	[kg],[lb]
$[y]$	Kirletici yayılma doğrultusu (dikey)	[Boyutsuz]
$[Z]$	Ölçüm adeti	[Boyutsuz]
$[Z_a]$	Anemometrenin yerden yüksekliği	[m]
$[z]$	Kirletici yayılma doğrultusu (düşey)	[Boyutsuz]
$[\Delta h]$	Baca gazlarının yükselme miktarı	[m]
$[\xi]$	Yatay(x) doğrultu için entegrasyon değişkeni	[Boyutsuz]
$[\sigma_y]$	Yatay yayılma parametresi	[m]
$[\sigma_z]$	Düşey yayılma parametresi	[m]



TEŞEKKÜR

Öncelikle "Motorların Neden Olduğu Hava Kirleticileri ve Önleme Çareleri" konusunu seçmemde; kaynak bulunmasında, tezin hazırlanmasında ve incelenmesindeki değerli katkılarından dolayı Prof. Dr. Raif DURAK 'a, teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca bilgisayar kullanımı ve tezin bu ortamda yazılmasındaki yardımlarından dolayı Dz. Kd. Bnb. Timur SABCIOĞLU, Dz. Bnb. Hüseyin YILDIRIM, Atđm. Kemal Kansu KURBAN ve Levent URŞ 'a, yazım konusundaki yardımlarından dolayı İda. Ü.Çvş Ufuk BAYRAM 'a ve yaklaşık iki yıl boyunca saymakla bitiremeyeceğim yardımlarından dolayı Ü.tđm. Önder AVCI, Arş. Gör. Muammer ÖZKAN ve Övün IŞIK' a, teşekkür ederim.

Erol BALI
Mk.Müh.

ÖZET

Motorların neden olduğu hava kirleticileri ve önleme çareleri konusunda hazırlanan bu yüksek lisans tezinde ; hava kirliliği genel olarak incelenmiş ve Türkiye Hava Kalitesini Korunması Yönetmeliğinde yer alan hava kirliliği hesap yöntemi açıklanmıştır. Ayrıca , kirletici emisyonların denetiminde kullanılan Argos ve Stedman sistemlerine değinilmiştir.

Motorlardan yayılan hava kirleticilerinin zararlı etkileri , kirletici kaynakları ve motor emisyonlarının hava kirliliğine katkısı incelenmiş , benzin ve diesel motor emisyonları ayrıntılı şekilde anlatılmıştır. Emisyon sınır değerlerinin belirlenmesinde kullanılan temel yaklaşımlar ve başlıca ülkelerde geçerli olan yasal düzenlemeler özetlenmiş , ülkemizde yürürlükte bulunan motor emisyon standartları ve deney yöntemleri örnek problemlerle açıklanmıştır. Ayrıca, isilik genel kabul kriteri ve tipik motor is standartları ayrı olarak ele alınmıştır.Karbon dioksit , karbon monoksit , azot oksit , yanmamış hidrokarbon , oksijen , partikül ve is emisyon analiz cihazları çalışma prensipleriyle anlatılmıştır.

Kirletici oluşumundaki faktörler ortaya konmuş ve oluşum mekanizmaları açıklanmıştır. Kirleticileri önleme çareleri araştırılmış karter emisyonlarının kontrolunda kullanılan pozitif karter havalandırma sistemi , buharlaşma emisyonlarının kontrolunda kullanılan aktif karbon filitre ve buhar geri kazanım sistemleri tanıtılmıştır. Egzos emisyonlarının kontrolunda kullanılan motor düzenekleri , hava püskürtme sistemleri , katalitik konvertörler ve egzos gazlarının yeniden çevrim sistemleri incelenmiştir. İki yollu , üç yollu , oksitleyici ve indirgeme konvertörleri , egzos gazlarının basınç , vakum ve yük kontrolu ile yeniden çevrim sistemleri anlatılmıştır. Alternatif güç kaynakları emisyonlar bakımından tanıtılmış , hava kirliliğinin azaltılmasında kullanılan tamamlayıcı kontrol stratejilerinden ; test ve bakımların planlanması , kontrol elemanlarının yeniden uyarlanması , gaz yakıt sistemleri , trafik akış kontrol sistemleri , toplu taşımacılığın geliştirilmesi , motorlu taşıt kullanımının sınırlandırılması ve iş saatlerinde değişiklik yapılması konularına değinilmiştir. Kirleticileri önleme çareleri araştırılmış ;karter , buharlaşma ve egzos emisyonlarının azaltılması için kullanılan kontrol sistem ve teknikleri ortaya konmuştur.

.Sonuç olarak; klasik içten yanmalı motorlardan yayılan kirleticilerin miktarlarının kontrol imkanı sınırlı kalmaktadır. Kontrol tekniklerinin geliştirilmesiyle emisyonlarda bir miktar daha azalma sağlanabilecektir. Buna rağmen motorlu araç sayısındaki artışın engellenememesi ve kontrol imkanlarının sınırlılığı bir ikilemi oluşturmaktadır. Bu durum öncelikle ulaşım ihtiyaçlarının karşılanmasında zorunlu, yeni değişimler gerektirebilecektir. Bu ise en azından son 70 yıldan beri mevcut motorlu taşıtlara bağımlı bugünkü hayat tarzını büyük ölçüde etkileyecektir. Bu değişimlerin biçimi henüz tesbit edilememiştir. Klasik içten yanmalı motorlar ve sağlıklı çevre ihtiyacı bireylere ve devlete farklı görevler yüklemektedir. Yasal sınırlamaların etkili şekilde uygulanmasında ve hedeflenen hava kalitesine ulaşmada iyi bir denetimin yanı sıra, eğitimin ve teknolojik gelişmelerin katkıları büyük olacaktır.

ABSTRACT

In this master thesis which has been prepared about air pollutants from motors and their methods of precautions, air pollution has been examined in general and the calculation method of air pollution in the regulations of Turkey concerning protection of the air quality have been explained. Argos and Stedman systems which have been used for inspection of the emissions of the pollutants also have been mentioned.

The harmful effects of air pollutants from motors and their sources and contributions to the air pollution have been examined. The emissions of the spark ignition engines and diesel engines have been discussed in detail. Basic approaches which have been used in determining the emission limits and the current regulations of the main countries have been summarized. The current standards of motor emissions and their testing methods in Turkey have been explained through examples. In addition smoke criterion of public objection and typical smoke standards for motors have been considered separately. Apparatus for carbon dioxide, carbon monoxide, nitrogen oxides, unburnt hydrocarbons, smoke, emissions analysis have been described along with their operation principles. The factors in formation of the pollutants have been brought out and formation mechanisms of the pollutants have been explained.

Solution for preventing air pollutants have been sought the positive crankcase ventilation system used in control crankcase emissions and active carbon filters and vapour recycling systems used in control of evaporation emissions have been introduced. Analysis on apparatus of motors controlling exhaust emissions, air injection systems, particulate filters, thermic reactors, catalyzed converters and exhaust gas recirculation systems have been made. Two-way, Three-way, Oxidation and Reduction converters, Exhaust gas recirculation systems with controlling by pressure, vacuum and load have been explained. While introducing alternative power sources with their emissions, other completing control strategies such as planning tests and services, retrofit of control systems, developing mass transportation, limiting of motor vehicles and modification of work hours.

As a result, the possibility of control over amount of emitted pollutants due to classical internal combustion engines is limited. It will be obtainable to have a reduction in emission by developing control techniques. However, inability in prevention of increase of motor vehicles and inadequate control possibilities leads to another conflict. This will bring the need for compulsory changes especially in transportation demand. This, in turn, will affect today's life style which is depended on motor vehicles at least for 70 years. The nature of these changes however has not yet been determined. Internal combustion engines and the need for a healthier environment hold state and individuals responsible. The contribution and technological improvement will be great to reach the target in quality of air.

I.HAVA KİRLİLİĞİ

1.1.	TANIMLAMALAR	2
1.1.1.	Havanın Doğal Karışımı ve Hava Kirliliği	2
1.1.2.	Hava Kirleticiler	3
1.1.3.	Kirletici Türleri	3
1.1.4.	Emisyonlar	3
1.1.5.	Hava Kalitesi	4
1.1.6.	Hava Kalitesi Sınır Değerleri	4
1.1.7.	Emisyon Sınır Değerleri	4
1.1.8.	Toz Konsantrasyonu	4
1.1.9.	Kirletici Kütle Konsantrasyonu	4
1.1.10.	Kirletici Hacim Konsantrasyonu	4
1.1.11.	Kükürt Emisyon Derecesi	5
1.1.12.	Reid Buhar Basıncı	5
1.1.13.	Aktif Karbon	5
1.1.14.	Kök (Radical)	6
1.1.15.	İkinci Mertebeden Reaksiyon	6
1.1.16.	Üçüncü Mertebeden Reaksiyon	6
1.1.17.	Etkinlik Süresi (Residence time)	6
1.1.18.	Ultraviyole (U.V) Işınları	6
1.1.19.	Reaktif (Reagent)	6
1.2.	HAVA KİRLİLİĞİ HESABI	6
1.2.1.	Hava Kalitesinin Hesabı	6
1.2.2.	Hava Kirliliği Seviyelerini Etkileyen Faktörler	7
1.2.3.	Kirletici Seviyelerindeki Saatlik Değişimler	8
1.2.4.	Hava Kirlenmesine Katkı Değerlerinin Hesabı	8
1.2.4.1.	Yayıma Sınıfları	8
1.2.4.2.	Özel Yayıma Sınıfları	10
1.2.4.3.	Gaz ve Çok Küçük Partiküllerin Yayılımlarının Hesabı	11
1.2.4.4.	Toz Kirleticilerin Sınıflandırılması	11
1.2.4.5.	Havada Asılı Partikül Hesabı	12
1.2.4.6.	Çökebilir Tozların Hesabı	12
1.2.4.7.	Etkin Baca Yüksekliğinin Bulunuşu	12
1.2.4.8.	Rüzgâr Hızlarının Hesabı	12
1.2.4.9.	Baca Gazlarının Yükselme Miktarının Bulunuşu	14
1.2.4.10.	Yayıma Parametlerinin Hesabı	15
1.3.	TOPLAM HAVA KİRLİLİĞİNİN DEĞERLERİNİN TESBİTİ	16
1.3.1.	Birinci Tip Toplam Hava Kirliliği Değeri (TKD- 1)	16
1.3.2.	İkinci Tip Toplam Hava Kirliliği Değeri (TKD-2)	16
1.3.3.	Hava Kirliliği Denetim Sistemleri	17
1.3.3.1.	ARGOS Sabit Tesisler Denetim Sistemi	18
1.3.3.2.	STEDMAN Motorlu Taşıt Denetim Sistemi	19
I.	BÖLÜME AİT SEMBOLLER	20

I. HAVA KİRLİLİĞİ

1.1 TANIMLAMALAR

Bu bölümde hava kirliliği konusunda ve özellikle motorların sebep olduğu kirlilik ile ilgili, kavram haline gelen terimler tanımlanmıştır.

1.1.1 Havanın Doğal Karışımı ve Hava Kirliliği

Yerküreyi saran ve yaşam için gerekli olan hava bir gaz karışımıdır. Deniz seviyesinde kuru hava içindeki elementlerin konsantrasyonu milyonda birim (ppm) olarak tablo 1.1 de verildiği şekilde belirlenmiştir. (Durak,1984)

Tablo 1.1 Havanın Doğal Karışımı

Elementin Adı	Sembol	Konsantrasyonu (ppm)
Azot	N ₂	780.84000
Oksijen	O ₂	209.64000
Argon	Ar	9.34000
Karbondioksit	CO ₂	31500
Neon	Ne	1800
Helium	He	520
Methan	CH ₄	100- 150
Kripton	Kr	1,10
Azot Dioksit	N ₂ O	050
Hidrojen	H ₂	050
Xenon	Xe	008

Çeşitli nedenlerle havanın doğal karışımının bozulması hava kirliliği olarak tanımlanmaktadır. Yaşama etki eden kirleticilerin havadaki ölçülebilir sınır bölgelere ulaşması doğal karışımın yaşam yönünden bozulduğunu gösterir. Hava kirliliği; ateşin ilk olarak kullanıldığı taş devrinden günümüze kadar uzanan ve proplem olmak niteliği gün geçtikçe artan bir sorundur. Günümüzde özellikle kış aylarında büyük yerleşim merkezlerindeki hava kirliliği yaşamı ciddi olarak etkilemektedir. Ülkemizde hava kirliliği denince akla gelen Ankara da binalarda doğal gaz kullanımının büyük ölçüde benimsetilmesiyle 1993 kışında hava kirliliğinde belirgin bir azalma meydana gelmiştir. Başta İstanbul, Bursa ve İzmir olarak büyük yerleşim merkezlerinde kış aylarında

yoğunlaşan hava kirliliği halen çözümlenmemiştir. Ancak hava kirliliğine etkisi bir ölçüde mevsimlere bağlı olmayan motor kirletici emisyonlarına sınırlamalar getirilme çalışmaları 2 Kasım 1986 tarihinde yayımlanan Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, Mart 1988 de buna bağlı olarak yürürlüğe konulan TS 4236 nolu Motorlu Karayolu Taşıtlarının Gaz Kirleticileri için Emisyon Sınır Değerleri ve TS 5648 nolu Benzin veya Diesel Motorlarından Yayılan Kirletici Gazların Emisyonuna göre Taşıtların Tip ve Kabul deneyleri adlı standartlarla hız kazanmıştır.

Ülkemizde 1993 yılında kurşunsuz benzin üretimi ve satışı başlamıştır. Bu benzinleri kullanan taşıtlar ise halen ithal edilmekte olup yakın bir gelecekte ülkemizde üretilen motorların emisyon standartlarına uygunluğunun sağlanması gerekmektedir.

1.1.2.Hava Kirleticiler

Havada bulunan ve havanın doğal birleşimini bozan is,toz,gaz,buhar halindeki maddelere hava kirleticiler denmektedir. Arsenik Tuzları, Asbest,Kobalt,Krom,Berilyum ve bileşikleri gibi toz,gaz ve buhar şeklindeki kimi kirleticiler kanser yapıcı maddeler olarakta sınıflandırılmaktadırlar. (Resmi Gazete,1986)

1.1.3.Kirletici Türleri

1.1.3.1.İs:Katı ve sıvı yakıtlardan özellikle fuel-oil ve motorinin yanmasıyla oluşmaktadır. Yanma tekniği açısından kötü yanmalarda çıplak gözle görülebilmektedir.

1.1.3.2.Aerosol: Katı ve sıvı çok küçük zericiklerin hava yada başka bir gaz içersinde asılı kalması ve yüzmesi olarak tanımlanmaktadır.

1.1.3.3.Toz: Yakıtların yanmasından başka depolama, doldurma , ayırma, eleme, taşıma, kırma ve öğütme tesislerinden çıkan gazlarla atmosfere yayılan maddelerdir.

1.1.3.4.Gaz ve Buhar Kirleticiler: Yakıtların yanması sonucu oluşan karbon monoksit, azot oksitler, kükürt oksitler,hidrokarbonlar ve oksitleyicilere ilave olarak endüstri tesislerinden yayılan klor,flor, anilin,aseton,akrilaldehit v.b. kirleticiler olarak tanımlanmaktadır.

1.1.4.Emisyonlar:

Yakıtların yanması sırasında sentez,ayırışma ve buharlaşma sonucu atmosfere yayılan hava kirleticilerine emisyonlar denir.

1.1.5.Hava Kalitesi:

Atmosferdeki mevcut kirleticilerin artan miktarıyla azalan hava kalitesi ; bu özelliği ile insan ve çevresini olumsuz yönde etkileyen bu nedenle sınır değerlerle tanımlanan bir kavramdır.

1.1.6.Hava Kalitesi Sınır Değerleri:

İnsan sağlığının korunması, çevrede kısa ve uzun vadede olumsuz etkiler meydana gelmemesi için atmosferdeki hava kirleticilerinin bir arada bulduklarında değişen zararlı tesirleride göz önüne alınarak tesbit edilmesi gereken konsantrasyon miktarları olarak tanımlanmaktadır. Etki süreleri göz alınarak uzun ve kısa vadeli sınır değerler şeklinde ifade edilirler. Ülkeden ülkeye değişen sınır değerler ; yasalar , yönetmelikler ve standartlarda belirtilmektedir.

1.1.7.Emisyon Sınır Değerleri:

Yukarıda belirtilen hava kalitesi sınır değerlerinin sağlanması amacıyla tesislerin atmosfere yayabilecekleri maksimum kirletici miktarlarıdır. Bir çok ülkede kirletici vasfı yüksek tesisler için özel emisyon sınır değerleri tesbit edilmektedir. Ayrıca çalışmalar ve yapıları gereği insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkisi olan her türlü tesis ve makine için benzer emisyon sınır değerleri yönetmelik ve standartlarla belirlenmiştir.

1.1.8.Toz Konsantrasyonu:

Birim zamanda birim yüzeyi kaplayan tozun kütlesi olarak tanımlanır. [$\mu\text{g}/\text{m}^2$, g/m^2]

1.1.9.Kirletici Kütle Konsantrasyonu:

Havanın birim hacimdeki kirletici kütlesine havadaki o kirleticinin kütle konsantrasyonu, atık gazın birim hacmi başına yayılan kirletici kütlesine ise emisyon kütle konsantrasyonu denir. Bu değerleri basit olarak,

$$C = \frac{10^9 M}{RT/P} \quad [\mu\text{g}/\text{m}^3] \quad (1.1)$$

formülü ile hesaplamak mümkündür.(Resmi Gazete,1986)

1.1.10.Kirletici Hacim Konsantrasyonu:

Havanın milyon birim hacmini içerdiği kirletici hacmi olup ppm ile ifade edilmektedir.

$$C = \frac{V}{10^6 RT/P} \quad [\text{ppm}] \quad (1.2)$$

(1.1) ve (1.2) formüllerinde verilen değişkenler;

[C]	Kirletici konsantrasyonu	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$
[M]	Kirletici kütlesi	$[\text{g}/\text{mol}]$
[R]	Gaz sabitesi 0.08207	$\left[\frac{\text{lt.atm}}{\text{K.mol}} \right]$
[T]	Mutlak sıcaklık	[K]
[P]	Atmosfer basıncı	[atm]
[V]	Kirletici hacmi	[lt/mol]

1.1.11.Kükürt Emisyon Derecesi:

Bir tesiste veya makinada yakılan yakıttan atmosfere yayılan kükürt miktarının yakıtın içerdiği kükürt miktarına oranına kükürt emisyon derecesi denir.

$$\text{K.E.D.} = \frac{\text{A.Y.T.K.K.}}{\text{Y.İ.T.K.K.}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.3)$$

[K.E.D.]	Kükürt Emisyon Derecesi	[%]
[A.Y.T.K.K.]	Atmosfere Atılan Toplam Kükürt Kütlesi	[g]
[Y.İ.T.K.K.]	Yakıtın İçerdiği Toplam Kükürt Kütlesi	[g] ile formüle edilmektedir.

1.1.12.Reid Buhar Basıncı:

Her sıvının, sıcaklıkla değişen bir buhar basıncı vardır. Bu basınç atmosfer basıncına eşit olduğu zaman kaynama olur. Sıvı ne kadar uçucu ise, (yani kaynama noktası ne kadar düşük ise) düşük sıcaklıklardaki buhar basıncı o kadar yüksek olur. Bir sıvının buhar basıncı, bu sıvı buharlarının kapalı bir kapta meydana getirdiği basınç ile ölçülmektedir. Benzinin buhar basıncı " Reid Buhar Basıncı " metodu ile tayin edilmektedir. Bu cihaz iki çelik kaptan ibarettir. Bu kaplardan birisi benzin haznesi diğeri ise hava haznesidir. Cihazın üst kısmında bir manometre mevcuttur. Hava haznesi yakıt haznesi üzerine geçirilerek cihaz 38.7° C lik banyoya daldırılır. Bir müddet beklendikten sonra kapta hasıl olan basınç manometreden okunur. Okunan bu basınç benzinin uçuculuğunun ölçüsüdür. Reid buhar basıncı kp/cm² birimiyle ifade edilmektedir. (Petrol Ofisi,1980) Benzinleri karakterize eden en önemli özelliklerden olan reid buhar basıncının değeri yakıtın kullanıldığı ülkenin iklim koşullarına bağlı olarak sınırlanmaktadır.

1.1.13.Aktif Karbon (Kömür):

Hindistan cevizi kabuğu, pancar küspesi, turp, hatta şekerin kapalı kaplarda damıtılmasıyla elde edilmektedir. Bu şekilde elde edilen aktif karbon, odun kömüründen bile daha iyi bir gaz emicidir. Bu özelliğinden yararlanılarak yakıt buharlarının filitrelerde tutulması sağlanmaktadır.

1.1.14.Kök (Radical):

Yanma sırasında ortaya çıkan bir durum da kök oluşumudur.Kök ,çok kısa yaşamlı olup başka kök ya da moleküllerle hızla tepkime veren ve tek sayılı elektron bulunduran atom ya da molekül olarak tanımlanır.Başka bir deyişle de normal koşullarda çevresinden yalıtılamayan,ancak bir çok reaksiyondan nitelik değiştirmeden geçebilen atom kümesidir.

1.1.15.İkinci Mertebeden Reaksiyon:

Bu tür reaksiyonda reaksiyon hızı iki elemanın konsantrasyonuna bağlıdır.

1.1.16.Üçüncü Mertebeden Reaksiyon:

Bu kimyasal reaksiyonda reaksiyon hızı iki ürünün konsantrasyonu ile belirlenir.

1.1.17.Etkinlik Süresi (Residence Time):

Kapalı bir prosesin ya da bir katalizator ile temas halindeki bir reaksiyon ürününün, etkinliğinin süresi olarak tanımlanır.

1.1.18.Ultraviyole (UV) Işınları:

Morötesi ışınlar da denilen bu ışınların dalga boyları 4000 Angström ile 200 Angström arasındadır.

1.1.19.Reaktif (Reagent):

Bir kimyasal madde veya çözeltinin belirlenmesi,ölçülmesi ve incelenmesinde kullanılan kimyasal madde veya çözeltilidir.Bir diğer anlamı,kimyasal reaksiyonlarda reaksiyona girme kabiliyetidir.

1.2.HAVA KİRLİLİĞİ HESABI

Hava kirliliğinin tespitinde,ülkemiz için Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğince öngörülen hesap tarzı,ölçüm değerlerinden bulunan hava kalitesi değerleri ile analitik olarak tespit edilen hava kirlenmesine katkı değerleri yardımıyla Toplam Hava Kirliliği sayısal olarak ifade edilmektedir.

1.2.1.Hava Kalitesinin Hesabı:

Hava kalitesi değerlerinin hesap edilmesi için kirleticilerin havadaki miktarlarının bilinmesine ihtiyaç vardır.Yapılan ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesiyle hava kalitesi tespit edilir.Bu

değerlendirmelerde iki tür sınır değer tespit edilmektedir.

a.Uzun Vadeli Değer(UVD):

Bir hava kirleticisinin ölçülebilen bütün kirletme miktarlarının toplanıp ölçüm adadine bölünmesiyle hesaplanmaktadır.

b.Kısa Vadeli Değer(KVD):

Bütün ölçüm sonuçları sayısal değerlerine göre sıralandığında ölçüm sonuçlarının %95 nin altında kalan değer olmaktadır. Bu değerın tespit edilmesi için en az bir yıl sürekli ölçüme ihtiyaç vardır. Sürekli olmayan ölçümler için bu değer yaklaşık olarak ;

$$KVD=X_0+1.64 \sqrt{2 \sum (X_i-X)^2 / (2Z-1)} \quad (1.4)$$

ile hesaplanmaktadır.(Resmi Gazete,1986)

Burada :

[X]	Bir emisyon ölçüm değerini	[g/h],[g/gün]
[Z]	Ölçüm adetini	[Boyutsuz]
[X ₀]	Ortalama emisyon değerini	[g/h],[g/gün]

ifade etmektedir.

Çökmüş tozlar için KVD,ölçme süresince elde edilen en yüksek aylık ortalama değer alınmaktadır.

1.2.2.Hava Kirliliği Seviyelerini Etkileyen Faktörler:

Bir kirleticinin çevre havasındaki konsantrasyonuna etki eden birkaç faktör bulunmaktadır.Bunlar o bölgenin meteorolojik ve topoğrafik özellikleri,kirleticinin reaksiyona girme kabiliyeti (reactivity),kirletici kaynağının tipi ve son konsantrasyonseviyeleridir.Meteorolojik ve topoğrafik özellikler ,atmosferdeki kirleticilerin taşınmalarına ve dağılmalarına (dispersion) doğrudan etki ederler. Konu ile ilgili değişken meteorolojik faktörler:

- Rüzgârın hızı,yönü ve değişme miktarları
- Hava tabakalarının,yer değiştirme sıklığı,durağanlık sürelerive yükseklikleri
- Atmosferdeki türbülanslar (termik ve mekanik)
- Cephe sistemlerinin hareketleri
- Yağış miktarlarıdır.

Bölgenin yer şekilleri,kirleticilerin taşınım ve yayılmalarına (diffussion) tesir etmektedir.Vadiler ve caddelerin oluşturduğu boğazlar çok defa vadi ya da boğaz boyunca hava akışına kanal görevi yapmaktadır. Ayrıca vadi ya da boğaz içindeki hava,yandan esen rüzgârlardan da izole olabilmektedir. Toprak ile suyun ısınma ve soğuma hızları farklı olduğundan,kıyıda uzak rüzgârlar sahil şeridi

doğrultusunda eserler.Tepeler ve dağlarda rüzgâr akımlarını ve kirleticilerin çevreye yayılımını (distribution) etkilemektedir.

Atmosferde bulunan kirleticilerin seviyelerindeki değişimde birincil ve ikincil kirletici kaynaklarının rolü daha önce tartışılmıştı Emisyon kaynaklarının konumu, tek veya birlikte oluşları şüphesiz belirli bir alandaki konsantrasyonu etkilemektedir.Maksimum konsantrasyonların oluşumunda günlük ve mevsimlik emisyon değerleri de önemli bir rol oynamaktadır.Günlük emisyon değerleri ve emisyon miktarlarındaki dalgalanmalar büyük ölçüde motorlu taşıt kullanımından kaynaklandığından insan faaliyetlerine bağlı olmaktadır.Öte yandan mevsimlik emisyon değerleri daha çok bina ısıtma veya soğutma ihtiyaçlarındaki değişmelere paralel olarak sabit kaynakların oluşturdukları emisyonlardaki değişmelere bağlı olmaktadır.

1.2.3.Kirletici Seviyelerindeki Saatlik Değişimler:

Karbon monoksitin başlıca kaynağının motorlu taşıtların olması ve karbon monoksitin de görece zıt etkiye sahip olmaması (nonreactive) sebebiyle karbon monoksit konsantrasyonunda tespit edilen inip çıkmalar,motorlu taşıt kullanımındaki değişmelere ve trafiğin yoğunluğuna bağlı kalmaktadır. Öğleden önce saat 07.00 ve öğleden sonra saat 16.00-17.00 civarında tespit edilen maksimum karbon monoksit değerleri bu gözlemi doğrulamaktadır.

Maksimum oksitleyici konsantrasyonları büyük ölçüde emisyonlardaki güneş ışığı şiddetinde ve atmosferin seyrelmesi olaylarındaki değişimlere bağlı bulunmaktadır. Foto kimyasal ürünler (HC ve NO_x) sabahın ilk saatlerinde oldukça zayıflamış durumdadır. Bunun sonucu sabah saatlerinde radyasyon şiddetindeki artmayla oksitleyici miktarı öğlen civarında maksimuma erişir. Günün sonuna doğru güneş ışığındaki azalma sebebiyle akşamın yoğun trafiğinin yol açtığı emisyonlar ikinci bir maksimum oksitleyici konsantrasyonu oluşturmazlar.

1.2.4.Hava Kirlenmesine Katkı Değerlerinin Hesabı:

Hava kirleticilerinin katkı değerleri yayılma sınıflarına, emisyon çıkış noktasının yerden yüksekliğine ve kirletici tane büyüklüğüne bağlıdır. Bu amaçla tespit edilmesi gerekli ilk parametre yayılma sınıfları olmaktadır.

1.2.4.1.Yayıma Sınıfları:

Yayıma olayında, kirletici elemanların hava içinde düzenli veya düzensiz,dağışık doğrultuda dağılması da söz konusu olduğundan, trofosferdeki hareketler bunda etken olmaktadır. Trofosferdeki hareketlilikte çeşitli ölçekteki türbülans, girdap ve rüzgâr savruntuları da denilen gustlar önem kazanmaktadır. Gustlar hava tabakalarının hızlı, düzgün olmayan hareketleri olup şiddetleri fazla süreçleri kısadır. Atmosferik türbülans ve gustlar trofosferi çok iyi karıştıran olaylar olduğu için,

kirleticilerin dağılımı kadar taşınmasında da birinci derecede etkilidir. Atmosferdeki yatay ve düşey sıcaklık gradyenleri ile ilgili olan rüzgar dediğimiz hava hareketleri de kirleticilerin taşınmasında etkindir. Rüzgarların taşıma güçleri, yani hızları yatay ve düşey sıcaklık gradyenleri değişik olan gece ve gündüz ile mevsimlere göre farklılıklar göstermektedir.

Hava sıcaklığı, bilindiği gibi yükseklikle değişir. Normal koşullarda her yüz metrede hava sıcaklığı 1° C düşer. Bu durumda atmosferin nötr olması mümkündür. Eğer sıcaklık düşüşü 1° C 'dan fazla ise atmosfer kararsızdır. Bu durumda üstteki soğuk hava ile alttaki sıcak hava yer değiştirerek atmosferi karıştırır. Bu sırada düşey doğrultuda taşıma olanağı da artacaktır. 1° C 'dan daha az sıcaklık düşmesi durumunda atmosfer kararlı olacak yani düşey doğrultuda taşıma oluşmayacaktır. Bu durumda kirleticileri içeren hava yükselmeyip çökecektir.

Genel olarak yüksek basınç bölgelerinde atmosfer kararlıdır. Yüksek basınç etkisinde, açık ve bulutsuz gece süresince, yeryüzü uzun dalgalı radyasyonla devamlı ısı kaybeder ve soğur. Bunun sonucunda inversion olayı meydana gelir. Inversion olayında belirli bir seviyeden sonra sıcaklık yükselmeye başlar. Bu durumda kirletici kaynaktan çıkan emisyonlar, yeryüzüne yakın seviyede, konvektif hareketlerle ve ancak bu inversionun meydana geldiği düzeye kadar taşınabilmektedir. (Özer, 1989)

Yayıma sınıfları her tam saat için, rüzgar hızları, bulutluluk derecesi, bulut cinsi, ayın ve günün kesimleri gözönüne alınarak tablo 1.2 yardımıyla belirlenmektedir. A, B, C₁, C₂, D, E şeklinde ifade edilen yayılma sınıflarının doğru olarak tesbit edilebilmesi için rüzgar hızı verileri en az 10 dakika süreyle ölçülen değerlerin ortalaması olmalıdır. Bulutluluk oranları bulutla tam kapalı iken 8/8, bulutsuz iken 0/8 şeklinde gösterilmektedir.

Tablo 1.2 Kirletici Yayılma Sınıfları (Resmi Gazete, 1986)

Yer seviyesindeki Rüzgar hızı [m/s]	SEKİZ SAATLİK TOPLAM BULUTLULUK ORANLARI				
	Gece Saatleri		Gündüz Saatleri Güneş Işınması Altında		
	0/8-6/8	7/8-8/8	0/8-2/8	3/8-5/8	6/8-8/8
1 e kadar	E	D	B(A)	B(A)	B(Bulutluluk 7/8 iken A)
1.2-2.0	E	D	B(A)	B(A)	C ₁ (Bulutluluk 7/8 iken B)
2.5-3.0	D	C ₂	B(A)	B(A)	C ₁
3.5-4.0	C ₁	C ₁	B(A)	C ₁ (B)	C ₁
4.5 ve daha fazla	C ₂	C ₂	C ₁ (B)	C ₂ (C ₁)	C ₂

[A] Çok Kararsız Yayılma

[B] Kararsız Yayılma

- [C₁] 1.Tür Nötral Yayılma
 [C₂] 2.Tür Nötral Yayılma
 [D] Kararlı Yayılma
 [E] Çok Kararsız Yayılma sınıflarının göstermektedir.

Gündüz saatleri sütununda parantez içinde belirtilen yayılma sınıfları ;

a.12.00-15.00 saatleri arasında bulutluluk 5/8 den az ise

b.Haziran'dan Ağustos'a kadar saat 10.00-16.00 arasında

c.Mayıs ve Eylül aylarında saat 11.00-15.00 arasında geçerli olmaktadır.

Aralık Ocak ve Şubat aylarında B yayılma sınıfı yerine C₁ yayılma sınıfı kabul edilmektedir.Gece ve gündüz saatlerinin sınırları güneşin doğuşu ve batışı olarak alınmaktadır.Bulutluluğun tamamını yüksek bulutlar oluşturuyorsa toplam bulutluluk oranlarında 3/8 azalma yapılmaktadır.

1.2.4.2.Özel Yayılma Sınıfları:

Güneşin doğuşundan [GD] itibaren ilk bir saatten üç saate kadar olan tam saatlik süreler için [GD+1] den [GD+3] e kadar ve güneşin batışına [GB] göre iki saat öncesinden bir saat sonrasına kadar (GB-2 den GB+1 e kadar) olan süreler için tablo 1.3 de özel yayılma sınıfları kullanılmaktadır.

Tablo 1.3 Özel Yayılma Sınıfları(Resmi Gazete,1986)

Gece Saatleri	Gündüz Saatleri	(GD+1) den (GD+2)' ye	(GD+2) Den (GD+3)' e	(GB-2) den (GB-1)' e	(GB-1)den (GB)' ye	GB'den (GB+1)'e
E	B	E(D)	D	D	D[E]	E(D)
E	C ₁	D	C ₂	C ₂	C ₂	E(D)
D	B	D	C ₂	C ₂	D	D
D	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₂	D
C ₂	B	C ₂	C ₁	C ₁	C ₂	C ₂
C ₂	C ₁	C ₂	C ₂	C ₁	C ₁	C ₂
C ₂	C ₂	C ₂	C ₂	C ₂	C ₁	C ₂

Parantez içinde belirtilen yayılma sınıfları Marttan Kasıma kadar olan aylarda ve rüzgâr hızlarının 1 m/s den küçük olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

Köşeli parantez içinde belirtilen yayılma sınıfı Ocak, Şubat Aralık aylarında rüzgâr hızlarının 1 m/s den küçük olduğu durumlarda ve 6/8 e kadar olan bulutluluklarda kullanılmaktadır.

Bu son tablo ile gece ve gündüz saatlerinde yayılma sınıflarının mümkün olabilecek bütün kombinasyonlarındaki hesaplamalar için hangi özel yayılma sınıflarının esas alınacağı

gösterilmektedir.Örneğin güneş 06.25 de doğuyorsa (GD+1) den (GD+2) ye kadar olan değerler 07.26 dan 08.25 ekadar kullanılmaktadır.

Hiçbir yayılma sınıfı tesbit edilemeyen durumlarda 2 m/s den küçük rüzgâr hızlarında yayılma sınıfı E, 2.5-3.0 m/s arasındaki rüzgâr hızlarında yayılma sınıfı D, 3.5 m/s den büyük rüzgâr hızlarında ise C₂ yayılma sınıfı kabul edilmektedir.

Yayılma sınıflarının tesbitinden sonra her bir sınıf için rüzgâr yönü ve hızı sınıflarına göre düzenlenmiş rüzgâr istatistikleri çıkarılması gerekmektedir.Rüzgâr yönü verileri rüzgâr hızı verileri gibi en az 10 dakika süreyle elde edilmiş değerlerin ortalaması olmalıdır.

1.2.4.3.Gaz ve Çok Küçük Partiküllerin Yayılmalarının Hesabı:

Fiziksel ve kimyasal dönüşümleri ihmal edilebilen kirletici gazlar ile Aerodinamik çapa sahip (tane büyüklüğü açısından %75 in den fazlası 5 mikrondan küçük) ve havada kaydadeğer bir alçalmaya uğramıyan partikül maddelerin hesabında Resmi Gazete (1986) ile aşağıdaki formülün kullanılması öngörülmüştür.

$$C(x,y,z) = \frac{10^6 \cdot Q}{3600 \cdot 2\pi \cdot U_h \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp\left[\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right] \cdot \left[\exp\left[\frac{(Z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[\frac{(Z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right] \quad (1.5)$$

Burada :

[x,y,z] Emisyon çıkış noktasından geçen ve yayılma doğrultusu için[x] yatay için[y] düşey için [z] olan kartezyen koordinant sistemini,

[C(x,y,z)] Emisyon noktasındaki her yayılma durumu için hava kirletme katkı değerini [mg/m³

[Q] Emisyon çıkış debisi [kg/h]

[σ_y] Yatay yayılma parametresi [m]

[σ_z] Düşey yayılma parametresi [m]

[U_h] Etkin rüzgâr hızı [m/s]

[h] Etkin baca yüksekliği [m]

1.2.4.4.Toz Kirleticilerin Sınıflandırılması:

Tozlar ,havada asılı partikül maddeler ve çöken tozlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Tablo 1.4 Tozların Tane Büyüklüğüne göre Sınıflandırılması (Resmi Gazete,1986)

Sınıf[i]	Tane Büyüklüğü [d] [μm]	Alçalma Hızı[V _{ci}] [m/s]
1	5 e kadar	0.001
2	5-10	0.010
3	10-50	0.050
4	50 den büyük	0.100

Hesaplamalar için önce partikül büyüklüğü belirlenerek hesap tarzı seçilmektedir. Sınıflandırma tane büyüklüğüne göre yapılmaktadır. Böyle bir sınıflandırma tablo 1.4 te verilmektedir.

1.2.4.5.Havada Asılı partikül Yayılımının Hesabı:

Her emisyon çıkış noktasındaki 1 den 4 e kadar sınıflandırılmış tane büyüklüklerinin her biri için ayrı ayrı hesaplama yapılmaktadır. Bu hesaplamalarda (1.6) nolu formül kullanılmaktadır. Bu şekilde bulunan değerler toplanarak partiküllerin emisyon katkı değeri bulunmaktadır.

$$C_i(x,y,z) = \frac{10^6 \cdot Q_i}{3600 \cdot 2\pi \cdot U_h \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left[\exp\left[-\frac{(Z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(Z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right] \exp\left[-\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{V_d}{U_h} \int_0^x \frac{1}{\sigma_z(\xi)} \exp\left[-\frac{h^2}{2\sigma_z^2(\xi)}\right] d\xi\right] \quad (1.6)$$

Burada;

- [i] Toz tane büyüklüğünü temsil eden indistir.
- [ξ] Yatay (x) doğrultusu için integrasyon değişkenidir.

1.2.4.6.Çökebilin Tozların Hesabı:

Yukarıda belirtildiği şekilde hesaplanmış asılı partikül maddelerden her bir emisyon çıkış noktası için ortalama olarak bir günde çöken tozların kütlesi $[d(x,y)]$ mg/m² gün olarak hesaplanmaktadır. (Resmi Gazete,1986)

$$d(x,y) = 86400 \sum_{i=1}^4 V_{di} \cdot C_i(x,y,0) \quad [\text{mg/m}^2 \text{ gün}] \quad (1.7)$$

1.2.4.7.Etkin Baca Yüksekliğinin Bulunuşu [h]:

Etkin baca yüksekliğinin bulunabilmesi için baca gazlarının yükselme miktarının bilinmesi gerekmektedir.Etkin baca yüksekliği baca gazlarının yükselme miktarı ile bacanın geometrik yüksekliğinin toplamıdır.($h=H_g + \Delta h$)

Kararsız nötral ve kararlı sıcaklık tabakaları (yayıma sınıfı) durumuna göre ısı debi [MW],emisyon kaynakları arasındaki mesafe [m] ve baca ağzındaki rüzgâr hızına [m/s] bağlı olarak bulunmaktadır. Bu parametrelerden rüzgâr hızının tespitinden başlanarak anlatılacaktır.

1.2.4.8.Rüzgâr Hızlarının Hesabı:

Anemometre hızı ,belirli bir yükseklikte 10-60 dakika kadar ortalama sürelerde,ortalama değer olarak tespit edilmektedir.Rüzgâr hızlarının hesabında kullanılacak,rölatif rüzgâr hızı (U_R) anemometre hızı yardımıyla tablo 1.5 ten tespit edilmektedir.

Tablo 1.5 Rölatif Rüzgâr Hızları(Resmi Gazete,1986)

Anemometre Hızı [U_a] [m/s]	Rölatif Rüzgâr Hızı [U_R] [m/s]
1.4 e kadar	1
1.4-1.8	1.5
1.9-2.3	2
2.4-3.8	3
3.9-5.4	4.5
5.5-6.9	6
7.0-8.4	7.5
8.5-10.0	9
10.0 dan büyük	12

Baca yüksekliğinde rüzgâr hızı [U_H] (1.8) formülü yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$U_H = U_R \left(\frac{H_g}{Z_a} \right)^r \quad [\text{m/s}] \quad (1.8)$$

Kirletici katkı değerleri hesabındaki rüzgâr hızı [U_H] (1.9) formülü yardımıyla hesaplanmaktadır. (Resmi Gazete,1986)

$$U_H = U_R \left(\frac{h}{Z_a} \right)^r \quad [\text{m/s}] \quad (1.9)$$

Burada ;

[H_g]	Geometrik baca yüksekliği	[m]
[Z_a]	Anemometrenin yerden yüksekliği	[m]
[r]	Yayımla sınıflarına bağlı üstel bir parametre	[Boyutsuz]
[h]	Etkin baca yüksekliği	[m]

Geometrik veya etkin baca yüksekliği 200m den büyük ise rüzgâr hızları (U_H . U_h) hesaplamalarında,baca yükseklikleri 200m kabul edilmektedir.

Tablo 1.6 Yayılma Sınıfı Parametresi (Resmi Gazete,1986)

Yayılma Sınıfı	Parametre[r]
A(Çok Kararsız)	0.09
B(Kararsız)	0.20
C ₁ (Nötral)	0.22
C ₂ (Nötral)	0.28
D(Kararlı)	0.37
E(Çok Kararlı)	0.42

1.2.4.9.Baca Gazlarının Yükselme Miktarının Bulunuşu(Δh):

a.A ve B sınıfı yayılma durumunda (Kararsız sıcaklık tabakası)

$$\Delta h = 3.34 q^{1/3} \cdot r^{2/3} \cdot U_H^{-1} \quad [m] \quad (1.10)$$

Burada:

$$(H_g + \Delta h) \leq 1100 \text{ m ve } q > 6 \text{ MW için } r = 288 q^{2/5}$$

$$(H_g + \Delta h) \leq 1100 \text{ m ve } q \leq 6 \text{ MW için } r = 195 q^{3/8}$$

alınmaktadır.

[q]	ısıtım debiyi	[MW]
[r]	yayılma sınıfı parametresini	[Boyutsuz] göstermektedir.

b.C ve C sınıfı yayılma durumunda (Nötral sıcaklık tabakası)

$$\Delta h = 2.84 q^{1/3} \cdot r^{2/3} \cdot U_H^{-1} \quad [m] \quad (1.11)$$

Burada;

$$(H_g + \Delta h) \leq 800 \text{ m ve } q > 6 \text{ MW için } r = 210 q^{2/5}$$

$$(H_g + \Delta h) \leq 800 \text{ m ve } q \leq 6 \text{ MW için } r = 142 q^{3/8}$$

alınmaktadır.

c.D ve E sınıfı yayılma durumunda (Kararlı sıcaklık tabakası)

$$\Delta h = 3.34 q^{1/3} \cdot r^{2/3} \cdot U_H^{-1} \quad [m] \quad (1.12)$$

Burada:

D sınıfı yayılma için $r = 127 \cdot U_H$

E sınıfı yayılma için $r = 104 \cdot U_H$ alınmaktadır.

1.2.4.10. Yayılma Parametrelerinin Hesabı:

Etkin baca yüksekliğine ve yayılma sınıflarına uygun olarak yayılma parametreleri

$[\sigma_y, \sigma_z]$ için (1.13) ve (1.14) nolu formüller ile hesaplanmaktadır

$$\sigma_y = F \cdot r^f \quad (1.13)$$

$$\sigma_z = G \cdot r^g \quad (1.14)$$

$[\sigma_y]$	Yatay yayılma parametresi	[m]
$[\sigma_z]$	Düşey yayılma parametresi	[m]
[F]	Dikey Yayılma Katsayısı	[Boyutsuz]
[r]	Yayıma Sınıfı Parametresi	[Boyutsuz]
[G]	Düşey Yayılma Katsayısı	[Boyutsuz]
[f]	Dikey Yayılma Üstel Sabiti	[Boyutsuz]
[g]	Düşey Yayılma Üstel Sabiti	[Boyutsuz]

Bu iki formülde bulunan r değerinin belirlenmesi bundan önceki kısımda gösterilmiştir. F ve G katsayıları ile f ve g üstel sabitleri tablo 1.7 ,1.8 ve 1.9 dan ,etkin bacayüksekliğine uygun olarak seçilmektedir.

Tablo 1.7 h >150m için Yayılma Parametre sabitleri (Resmi Gazete,1986)

Yayıma Sınıflar	F	f	G	g
A(Çok Kararsız)	0.40	0.91	0.41	0.91
B(Kararsız)	0.40	0.91	0.41	0.91
C ₁ (Nötral)	0.36	0.86	0.33	0.86
C ₂ (Nötral)	0.32	0.78	0.22	0.78
D(Kararlı)	0.31	0.71	0.06	0.71
E(Çok Kararlı)	0.31	0.71	0.06	0.71

50-150 m arasındaki ve 100-150 m arasındaki etkin baca yükseklikleri için F ve G katsayıları tablodeğerlerinin logaritmik enterpolasyonu, f ve g üstel sabitleri ise lineer enterpolasyonla bulunmaktadır.

Tablo 1.8 h=100 m için Yayılma Parametre Sabitleri (Resmi Gazete,1986)

Yayılma Sınıfları	F	f	G	g
A(Çok Kararsız)	0.170	1.296	0.051	1.317
B(Kararsız)	0.324	1.025	0.070	1.151
C ₁ (Nötral)	0.466	0.866	0.137	0.985
C ₂ (Nötral)	0.504	0.818	0.265	0.818
D(Kararlı)	0.411	0.882	0.487	0.652
E(Çok Kararlı)	0.253	1.057	0.717	0.486

Tablo 1.9 h<50m için Yayılma Parametre Sabitleri (Resmi Gazete,1986)

Yayılma Sınıfı	F	f	G	g
A(Çok Kararsız)	1.503	0.833	0.151	1.219
B(Kararsız)	0.876	0.823	0.127	1.108
C ₁ (Nötral)	0.659	0.807	0.165	0.996
C ₂ (Nötral)	0.640	0.784	0.215	0.885
D(Kararlı)	0.801	0.754	0.264	0.774
E(Çok Kararlı)	1.294	0.718	0.241	0.662

1.3.TOPLAM HAVA KİRLİLİĞİ DEĞERLERİNİN TESPİTİ

Birinci ve ikinci tip toplam hava kirliliği değerleri olmak üzere iki tür toplam hava kirliliği tanımlanmaktadır.Bu iki değer, hesaplamalar ve şekil 1.1 deki nomogram yardımıyla tespit edilmektedir.

1.3.1.Birinci tip Toplam Hava Kirliliği Değeri(TKD-1):

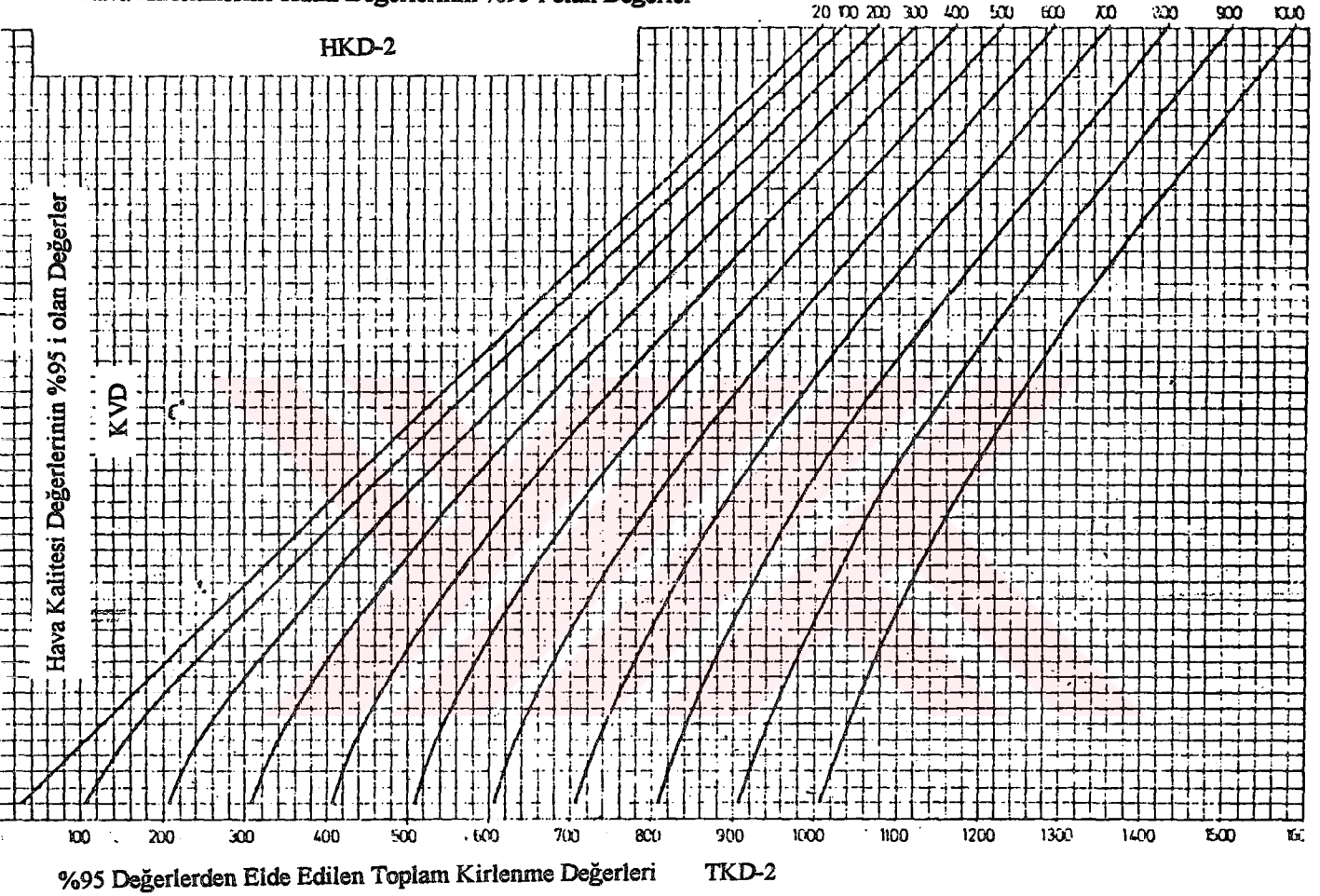
Kısım 1.2. de belirtilen tarzda bulunan uzun vadeli hava kalitesi değeri (UVD) ile kısım 1.2.2.deki yöntemlerle bütün emisyon noktaları için hesaplanan hava kirlenmesine katkı değerlerinin (her bir emisyon çıkış noktası ve bütün yayılma durumları için yıllık olarak hesaplanan) aritmetik ortalaması olan Ortalama Hava Kirlenmesine Katkı Değerinin (HKD-1) toplamı olarak gösterilmektedir.

1.3.2.İkinci Tip Toplam Hava Kirliliği Değeri (TKD-2):

Kısım 1.2.1.de açıklanan hesap tarzıyla bulunan kısa vadeli Hava Kalitesi Değeri (KVD) ile kısım 1.2.2.deki yöntemlerle hesaplanan hava kirlenmesine katkı değerlerinin (bütün emisyon çıkış

noktaları ve bütün yayılma durumları için bir yıllık olarak hesaplanan) %95 inin altında,%5 inin ise üstünde kaldığı istatistiki Hava Kirlenmesine Katkı Değerinden (HKD-2) şekil 1.1.deki nomogram yardımıyla bulunmaktadır. Okuma doğruluğunu arttırmak için KVD ve HKD-2 değerleri bir katsayı ile çarpılabilir. Bu takdirde doğru TKD-2 yi bulmak için nomogramdan bulunan değeri aynı katsayıya bölmek gerekir.

Hava Kirlenmesine Katkı Değerlerinin %95 i olan Değerler



Şekil 1.1 İstatistiki Hava Kirlenme Seviyelerini Birarada Gösteren Nomogram (Resmi Gazete,1986)

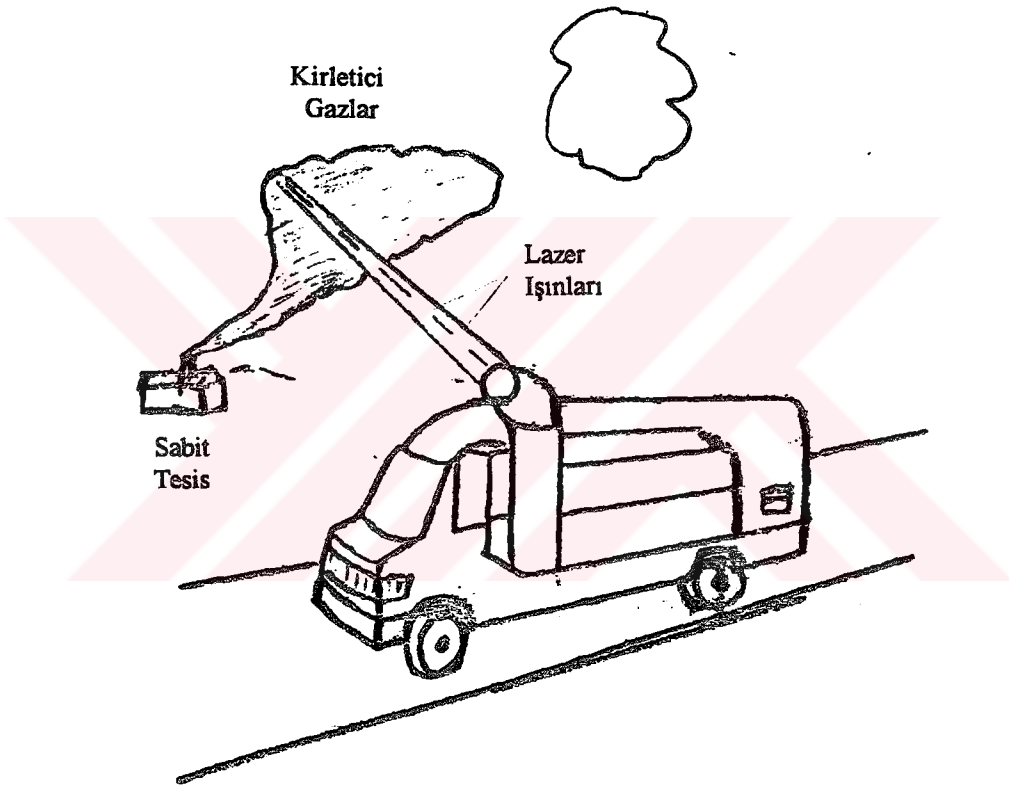
1.3.3.Hava Kirliliği Denetim Sistemleri:

Sabit ve hareketli kaynakların çevre havasına saldıkları, gaz şeklindeki kirleticilerin ölçüm ve analizleri uzun zaman almaktadır.Bu işlemin motorların ve tesislerin inşaatı esnasında yapılması daha kolay olduğundan birçok ülkede geçerli emisyon standartlarını denetlemek için tesis ya da motorlu taşıtın işletilmesi esnasındaki emisyon seviyelerini ölçebilen denetleme istasyonları

kurulmaktadır.Bu istasyonlar sabit veya hareketli olabilmektedirler.Bu kısımda sabit ve hareketli emisyon kaynaklarının emisyonlarının denetlenmesinde kullanılan iki ayrı sistem kısaca anlatılacaktır.

1.3.3.1.ARGOS Sabit Tesisler Denetim Sistemi:

Sabit tesislerin atmosfere verdikleri gaz şeklindeki emisyonlardan kükürt dioksit,ozon ve azot oksitlerin ölçümünde kullanılan bu sistem ile üç kilometrekarelik bir alanda 1ppm konsantrasyon hasasiyetinde ölçüm yapılabilmektedir.Bir lazer ölçüm sistemiyle (Lidar) donatılan bu düzenek şekil 1.2 de görülmektedir.



Şekil 1.2 ARGOS Sabit Tesisler Denetim Sistemi

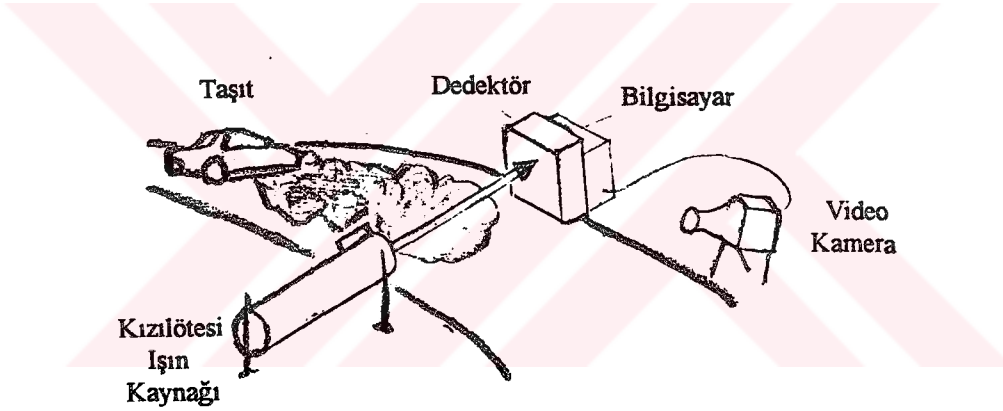
Bu sistemde iki lazer kaynağı ile atmosfere,aralarında çok az dalga boyu farkı olan pulsasyonlu ışınlar gönderilmektedir.Işınlardan biri (ölçüm ışını) kirlenici gaz tarafından absorblanırken diğer ışın demeti (referans ışını) tama yakın bir miktarda kirlenici gaz tarafından yansıtılmaktadır. Kirlenici gaz konsantrasyonu ne kadar fazla ise geri dönen referans ışını ve ölçüm ışını arasındaki şiddet farkı o oranda artmaktadır.Aynı zamanda ölçüm noktasının uzaklığının da saptanabildiği bu sistemde

kullanılan lazer enerjisi teleskop büyüklüğü veya atmosferin optik özelliklerinin ölçüm sonucuna etkisi ortadan kaldırılmaktadır.

Lidar sistemi bir ölçüm taşıtının tavanına yerleştirilmekte ve bilgisayar destekli bir donanımla istenilen yönde ölçüm yapılabilmektedir. Rüzgâr hızı ile sesin atmosferdeki termik türbülanslar tarafından farklı şekilde yansıtılmasından ve Doppler kaymasından yararlanılarak saptanmaktadır. "Sound Detection and Ranging "-Sesin tanınması ve uzaklığın belirlenmesi de denilen bu düzende ölçüm alanına akustik impulslar yollandıktan sonra geri gelen sinyaldeki Doppler frekans kayması ölçülmektedir. Bu sistemin en büyük avantajı bir minibüs üzerine yerleştirilmesi sayesinde istenilen zamanda istenilen noktadaki kirletici gaz emisyonlarını gözleme imkanı vermesidir.

1.3.3.2. STEDMAN Motorlu Taşıt Denetim Sistemi:

Denver Üniversitesinden Don Stedman tarafından geliştirilen bu sistem sayesinde seyir halinde bulunan motorlu araçların havaya verdikleri gaz şeklindeki kirletici emisyonlarının düzeyi tespit edilmektedir.



Şekil 1.3 Stedman Motorlu Taşıt Denetim Sistemi

Şekil 1.3 te görüldüğü gibi bu sistem uygun bir yerde yol kenarına yerleştirilmekte ve yoldan geçen motorlu taşıtların yaydıkları karbon monoksit ve hidrokarbon miktarları ölçülmektedir. Bu sistemde kullanılan cihazların çalışma prensipleri ileriki bölümlerde anlatılacaktır. Buradaki önemli fark kızılötesi ışın kaynağının yolun bir tarafına dedektörün ise karşı tarafa yerleştirilmiş olmasıdır.

Yoldan geçen araçlar bu düzeneğin arasında buldukları anda etrafa yaydıkları kirletici gazlar ölçülmektedir. Burada dedektör önce karbon dioksiti ölçmekte ve bilgisayara göndermektedir. Bunun nedeni atmosferdeki oksijenin karbon monoksit konsantrasyonunu azaltma etkisi olmaktadır. Karbon dioksitin ölçülmesinden sonra karbon monoksit oranlanarak bulunmaktadır.

Bilgisayar bu verileri; her araç için ayrı ayrı verebilecek kapasitede olmaktadır. Bilgisayarın bağlı bulunduğu bir video kamera vasıtasıyla her aracın egzoz gaz düzeyleri ekranda izlenebilmektedir. Bir saat içinde 1000 aracın bu şekilde denetlenmesinin , hidrokarbon ve karbon monoksit düzeylerinin hesaplanmasının mümkün olduğu bildirilmektedir. (Aktaş, 1991)

I. BÖLÜME AİT SEMBOLLER

[A]	Çok kararsız yayılma(kirletici yayılma sınıfı)	[Boyutsuz]
[B]	Kararsız yayılma	[Boyutsuz]
[C]	Kirletici konsantrasyonu	[g/m ³],[µg/m ³],[ppm]
[C ₁]	Devir sayacı	[Boyutsuz]
[C ₁]	1.Tür nötral yayılma (kirletici yayılma sınıfı)	[Boyutsuz]
[C ₂]	2.Tür nötral yayılma " " "	[Boyutsuz]
[C(x,y,z)]	Emisyon noktasındaki her yayılma durumu için hava kirletme katkı değerini	[mg/m ³
[D]	Kararlı yayılma (kirletici yayılma sınıfı)	[mg/m ² gün]
[d]	Toz tane büyüklüğü	[µm]
[d(x,y)]	Çöken tozların kütlesi	[mg/m ² gün]
[E]	Çok kararlı yayılma (kirletici yayılma sınıfı)	[Boyutsuz]
[F]	Dikey yayılma katsayısı	[Boyutsuz]
[f]	Dikey yayılma üstel sabiti	[Boyutsuz]
[G]	Düşey yayılma katsayısı	[Boyutsuz]
[GB]	Güneşin batışı	[Boyutsuz]
[GD]	Güneşin doğuşu	[Boyutsuz]
[GF]	Emisyon artış faktörü	[Boyutsuz]
[g]	Düşey yayılma üstel sabiti	[Boyutsuz]
[H _a]	Isı eşanjörü	[Boyutsuz]
[H _b]	Geometrik baca yüksekliği	[m]
[HFID]	Isıtılmış alev iyonizasyon dedektörü	[Boyutsuz]
[h]	Etkin baca yüksekliği	m
[i]	Toz sınıfı	[Boyutsuz]
[M]	Kirletici emisyon kütlesi	[µg],[mg],[g/mol]
[m]	Yayılma sınıfı Parametresi	[Boyutsuz]
[P]	Atmosfer basıncı	[atm]
[Q]	Emisyon çıkış debisi	[kg/h]
[q]	Isıl debi	[MW]

[R]	Gaz sabitesi (0.08207)	[lt.atm/°K.mol]
[r]	Yayılma sınıfı parametresi	[Boyutsuz]
[T]	Mutlak sıcaklık	[°K]
[X]	Bir emisyon ölçüm değeri	[g/h],[g/gün]
[X _o]	Ortalama emisyon değeri	[g/h],[g/gün]
[x]	Kirletici yayılma doğrultusu(yatay)	[Boyutsuz]
[U _r]	Rölatif rüzğar hızı	[m/s]
[U _a]	Anemometre hızı	[m/s]
[U _n]	Etkin rüzğar hızı	[m/s]
[V _{al}]	Toz alçalma hızı	[m/s]
[y]	Kirletici yayılma doğrultusu (dikey)	[Boyutsuz]
[Z]	Ölçüm adeti	[Boyutsuz]
[Z _a]	Anemometrenin yerden yüksekliği	[m]
[z]	Kirletici yayılma doğrultusu (düşey)	[Boyutsuz]
[Δh]	Baca gazlarının yükselme miktarı	[m]
[ξ]	Yatay(x) doğrultu için entegrasyon değişkeni	[Boyutsuz]
[σ _y]	Yatay yayılma parametresi	[m]
[σ _z]	Düşey yayılma parametresi	[m]

II.MOTORLARDAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLİLİĞİ

2.1. KİRLLETİCİLERİN GENEL SAĞLIĞA OLUMSUZ ETKİLERİ	23
2.1.1.Karbon Monoksit	23
2.1.2.Hidrokarbonlar	23
2.1.3.Azot Oksitler	24
2.1.4.Oksitleyiciler	24
2.2.KİRLLETİCİ KAYNAKLARI	24
2.2.1.Karbon Monoksit Kaynakları	24
2.2.2 Hidrokarbon Kaynakları	25
2.2.3.Azot Oksit Kaynakları	26
2.2.4.Oksitleyici Kaynakları ve Oluşum Prosesleri	26
2.2.5.Heterojen Fotokimyasal Reaksiyonlar ve Aerosoller	34
2.2.6.Doğal Ozon Kaynakları	35
2.3.MOTOR EMİSYONLAR	35
2.3.1.Motor Emisyonlarının Hava Kirliliğine Katkısı	35
2.3.2.Benzinli Motor Emisyonları	36
2.3.3.Diesel Motor Emisyonları	38
2.3.4.Motorlu Taşıtların Emisyonları	39
2.3.5.Sınırlanmamış Emisyonlar	40
2.3.5.1.İs Emisyonları	42
2.3.5.2.Koku Emisyonları	42
2.3.5.3.Kükürt Oksit Emisyonları	43
2.3.5.4.Aldehit Emisyonları	43
2.3.5.5.Amonyak Emisyonları	43
2.3.5.6.Benzen Emisyonları	44
2.3.5.7.Polisilik Aromatik Hidrokarbon Emisyonları	44
2.3.5.8.Nitro Polisilik Aromatik Hidrokarbon Emisyonları	44

II.MOTORLARDAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLİLİĞİ

Yapılan araştırmalar,motor emisyonlarından doğrudan yada dolaylı başlıca dört kirleticinin çevre havasındaki kirliliğe sebep olduğunu göstermektedir.Bu kirleticiler;karbon monoksit (CO), hidrokarbonlar (HC), azot oksitler (NO_x) ve oksitleyicilerdir.Bu bölümde bu kirleticilerin genel sağlığa olumsuz etkileri,kirletici kaynakları motor emisyonları is,koku ve sınırlandırılmamış emisyonlar incelenmektedir.Motor emisyonlarında kısmen mevcut olan SO_x ve Pb gibi partikül şeklindekidiğer çevre kirleticilerin yukarıda belirtilen dört ana kirleticinin kontrol altına alınması ile zararlı etkilerin önemsiz hale geleceği varsayılmaktadır

2.1. KİRLETİCİLERİN GENEL SAĞLIĞA OLUMSUZ ETKİLERİ

2.1.1.Karbon Monoksit (CO)

Solunum yoluyla insan ciğerlerine dolan karbon monoksit ilkin hemoproteinle reaksiyona girer ve en önemli etkisini de dolaşım halindeki kanın hemoglobiniyle gösterir.Karbon monoksitin emilmesi sonucu kanın oksijen taşıma kapasitesinde bir azalma oluşur.Bu duruma gelen kan oksijeni dokularda bırakır.10-35 mg/m³ (9-30 ppm) veya daha az konsantrasyonlara sürekli maruz kalındığında; sekiz saatlik bir periyottan sonra görme bozukluğu ve zaman araklıklarını tahminde yanılma gibi etkilerinin yanısıra kalp hastalarında fiziksel strese yol açmaktadır.Sigara içmeyen bir kişide kandaki karboksi hemoglobin konsantrasyonu % 0.05 dir.Karbon monoksitin insanlara zararlı etkisi kandaki karboksi hemoglobin (COHb) seviyesinin % 2-5 e çıkarabilmesi ile izah edilmektedir.Böyle bir seviyeye 40 mg/m³ lük konsantrasyona bir saat veya daha fazla maruz kalmakla erişilebilmektedir.

Karbon monoksit,alyuvarlardaki hemoglobin ile oksijenden 250 kez daha kolay birleşerek karboksi hemoglobini oluşturmaktadır. Güç ayrışan bu bileşik oksijenin hemoglobin ile birleşmesini önlemektedir.Karbon monoksit,fiziksel olarak renksiz,kokusuz ve havadan hafif bir gazdır.Suda az miktarda erime özelliği vardır.Kokusuz olması sebebiyle karbon monoksit zehirlenmeleri ancak şiddetli baş ağrılarıyla kendini belli etmektedir.İnsanlar ve hayvanlar için zararlı olan konsantrasyonların bitkileri etkilemediği görülmüştür.

2.1.2.Hidrokarbonlar (HC)

Sebebi oldukları fotokimyasal oksitleyicilerin insan sağlığına olumsuz etkileriyle sorumlu tutulsalarda çevre havasında bulunan gaz hidrokarbonlarının insan sağlığına doğrudan etkileri kanıtlanamamıştır. Sekiz ile yirmidört saat müddetle 1-15 µg/m³ ten 575 µg/m³ kadar (0.001-0.3ppm) değişik etilen konsantrasyonlarına maruz bırakılan hassas bitkilerin (mimoza, küstümotu, baklagillerden dokunulduğunda yaprakları solan bitkiler) zarar gördükleri bildirilmektedir.(Ludwig el al.,1974)

2.1.3. Azot Oksitler (NO_x)

Azot oksitler çevre havasında başlıca iki formda bulunurlar. Azot monoksit(NO) ve Azot dioksit (NO_2) Şimdilik Azot monoksitin atmosferde insan sağlığını etkileyecek seviyelerde bulunmadığı değerlendirilmektedir. Ancak azot monoksitin önemi çoğunlukla etrafında bulunan hidrokarbonların fotokimyasal reaksiyonlarıyla çok daha zehirli azot dioksite dönüşme ihtimalinin bulunmasından kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı insan sağlığını azot dioksit kadar tehdit etmektedirler ve esas zehirleyici etkisi ciğerlerde hissedilmektedir. $120-160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.06-0.09 \text{ppm}$) konsantrasyon düzeyindeki azot dioksite uzun süre maruz kalındığında bebeklerde ve çocuklarda kronik bronşit olma ihtimalinin yükseldiği gözlenmiştir. Çevre havasında yukarıda belirtilen konsantrasyon seviyelerinde kısa süreli olumsuz etkileri tesbit edilmemiştir. Azot dioksit konsantrasyonu $470 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.25ppm) olduğunda ani yaprak dökümü ve kalın kabuklu portakalların dezenfeksiyonu esnasında kütlelerinin azaldığı gözlenmiştir. Ortalama azot oksit konsantrasyonlarının $125-150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.07-0.09 \text{ppm}$) olduğu büyük şehir merkezlerinde nitrat bileşikleriyle açıklanan korozyon ve elektrikli cihazlarda arızalar tesbit edilmiştir. (Ludwig et al., 1974)

2.1.4. Oksitleyiciler

Bunlar esasen HC ve NO_x içeren atmosferik reaksiyonlar, güneş ışığının UV radyasyonu, zararlı biyolojik sistemler ve tahrip edici belirli maddeler sonucu oluşan kimyasal ürünlerdir. İnsan sağlığına olumsuz etkileri 60 ile $590 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.04-0.30 \text{ppm}$) saatlik ortalama konsantrasyonlarının sporcuların performanslarını azaltması ile ortaya konulmuştur. Bu tip kirleticileri maksimum konsantrasyon değerlerinin $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.12ppm) ü aştığı (saatlik ortalama konsantrasyonlarının $100-120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.05-0.06 \text{ppm}$) olduğu bir düzeye benzetilebilir.) günlerde; hastaların az bir bölümünde astım nöbetlerinin arttığı gözlenmiştir. Oksitleyici konsantrasyonunun aniden $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.10ppm) aştığı (saatlik ortalama konsantrasyonu 60 ile $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.03-0.05 \text{ppm}$) aralığında olduğu bir düzeye benzetilebilir.) birkaç vakada göz rahatsızlığına yol açtığı belirtilmektedir. Bu tür kirleticilerin hassas bitki örtüsüne olumsuz etkileri; dört saat müddetle $\sim 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05ppm) konsantrasyonunda fotokimyasal kirleticilere maruz bırakılarak incelenmiştir. Bu maddelerdeki olumsuz etkiler tamamen tespit edilememekle birlikte bu etkilerden bazıları şehirlerde de gözlenmiştir. Bunlar lastik ve lastik ürünlerinin çözünmesi (cracking) bir kısım boyanın solması ve birkaç tip sentetik dokumanın yıpranması şeklinde özetlenebilir.

2.2. KİRLETİCİ KAYNAKLARI

2.2.1. Karbonmonoksit Kaynakları

Karbon monoksit; en çok ortaya çıkan ve en geniş dağılımı olan bir hava kirleticisidir. Atmosfere olan toplam karbon monoksit emisyonları diğer kirleticilerin tamamından fazladır.

Doğal Kaynaklar:

Birkaç doğal CO kaynağı tesbit edilmiştir. Ancak şehir atmosferindeki konsantrasyona katkıları çok küçüktür. Bu doğal kaynakları volkanik gaz emisyonları elektrik yüklü fırtınalar doğalgaz emisyonları, orman yangınları, üst atmosfer tabakalarında ışığın etkisi ile karbon dioksitin bozunumu, bazı bitkiler ile algler ve su yosunlarından çıkan emisyonlar şeklinde sayılmaktadır.

Bir kaç yayılım prosesi karbon monoksitin geçmişte sabit görülen seviyerini izah etmede ileri sürülmektedir. Bu prosesleri; karbon monoksitin üst atmosfer tabakalarına göç etmesi (ki orada daha sonra karbon dioksit dönüşebilecektir.) kara ve deniz biosferinin yaydığı karbon monoksit ve karbon dioksitin metabolik dönüşümleri gibi doğrudan prosesler, metan ve oksijenin mikro organizmalar tarafından parçalanması, bitki ve hayvanlardaki porfirin bileşiklerine karbon monoksitin bağlanmasını izleyen oksitleme prosesleri, CO ile okyanus suyunun karşılıklı etkileşimi veya oradaki bazı etkin maddelerin emilmesini takip eden değişik düzeylerde karbon monoksit dönüşümü olarak tanımlanabilmektedir.

Atmosferden yayılan karbon monoksitin oluşum mekanizması henüz tam olarak ortaya konmamıştır. Atmosferden yayılandan daha çok atmosferin iştirak ettiği bir kaç karbon monoksit kaynağı kabaca olarak bilinmektedir.

Teknolojik Kaynaklar:

Karbon monoksit yakıt olarak kullanılan organik maddelerin yanma ürünleri içinde mevcuttur. En büyük kaynak olarak ta ulaştırma faaliyetleri gözükmektedir. Karbon monoksit emisyonlarının diğer başlıca teknolojik kaynaklarının sabit ısı üretim tesisleri, endüstriyel prosesler ve katı yakıt yakma tesisleri olarak saymak mümkündür. Karbon monoksit ayrıca silahların ateşlenmesinde ve patlamalarda hasıl olmaktadır. Sigara dumanında da yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır.

2.2.2. Hidrokarbonların Kaynakları

Doğal Kaynakları:

Başlıca doğal hidrokarbon emisyon kaynağı doğadaki biyolojik ortamdır. Daha düşük moleküler ağırlıktaki hidrokarbonların yer aldığı küçüklü büyüklü ortamlar ise Jeotermal sahaları, fosil yakıt sahaları ve doğal yangınlar olarak bilinmektedir. Dünyada doğal yolla üreyen metan (CH_4) veya Hidrokarbon (HC) ihtiyatlı bir tahminle 3.10^8 ton/yıl metan olarak hesaplanmıştır. Benzer bir tahminde yılda $4.4.10^8$ ton terpen ve izopren buharı bitkilerden özellikle kozalaklı ağaçlardan yayıldığı ifade edilmektedir. (Ludwig el al., 1974)

Teknolojik Kaynaklar:

Hidrokarbon kirleticilerin başlıca teknolojik kaynağı yakıtların özellikle benzin gibi kolay buharlaşabilen yakıtların düşük verimle yanması ve hammaddelerin işlenmesinde çözücü olarak hidrokarbonların kullanılması olmaktadır.

2.2.3. Azot Oksit Kaynakları

Doğal Kaynaklar:

Bir teoriye göre azot oksitlerin büyük bir kısmı bakteriyel faaliyetler tarafından üretilen azot monoksitten oluşmaktadır. Atmosferdeki azot oksitlerin tüm çevrimi nispeten daha az bilinir. Günümüzdeki NO_x düzeyleri geçmişteki tahminler ve yıllık emisyon oranlarına dayandırılarak, NO_2 için 3 gün, NO için 4 gün ortalama etkinlik sürelerinden tahmin edilmektedir. Etkinlik sürelerini fotokimyasal reaksiyonlar içeren doğal temizlenme olayları belirlemektedir.

Teknolojik Kaynaklar:

Teknolojik kökenli NO_x emisyonlarının temel kaynağı yakıtların yanmasıdır. Endüstriyel prosesler ve katı yakıtların işlenmesi ve diğer kaynakların etkisi yakıtların yanmasından kaynaklanan emisyonların $\sim 1/10$ u kadardır.

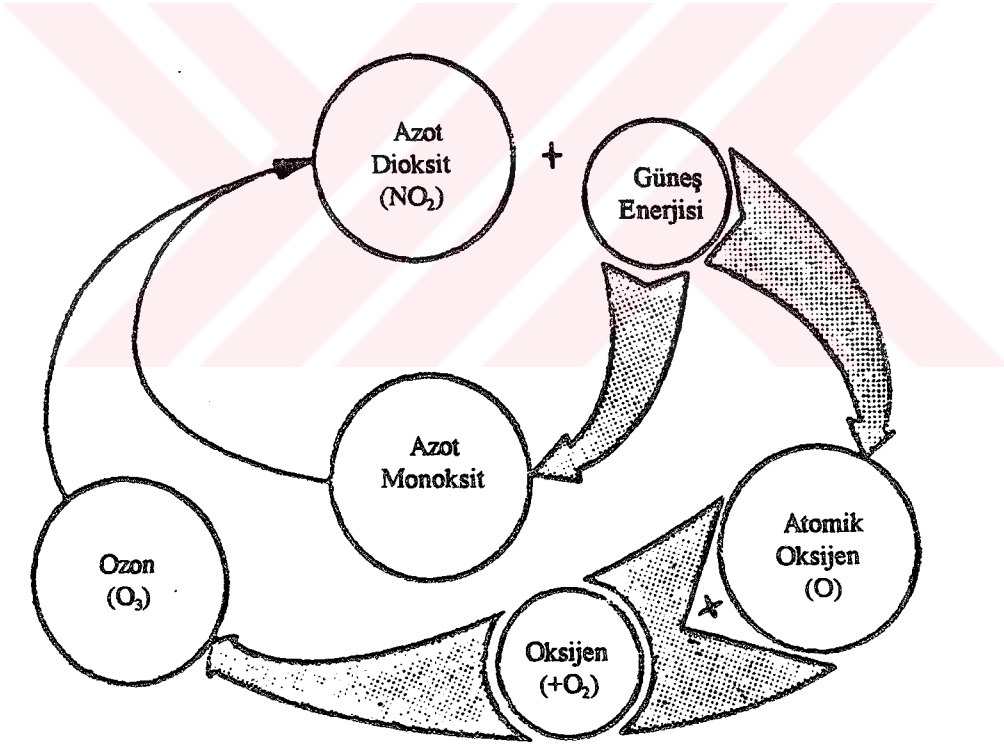
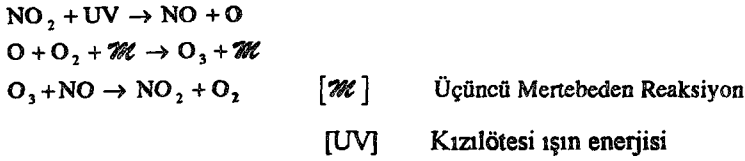
Nisbeten küçük miktarlardaki NO_x yanma olmayan endüstriyel proseslerden, esas olarak kimya endüstrisinden yayılır. Buna örnek olarak HNO_3 patlayıcılarının üretimi ve kullanımı verilebilir. Toplam miktarları küçük olsa da, NO_x in lokal yüksek konsantrasyonlarına sebep olabilirler. Elektrolizle kaplama, kabartmacılık, kaynak, metal temizleme ve patlayıcıların yol açtığı infilaklar endüstriyel NO_x emisyonlarının diğer sorumluları olabilirler. Aynı şekilde sıvı NO_x esaslı roket sevk edicilerinin üretimi ve kullanımında bu kapsamda sayılabilir. Atmosferdeki NO nun NO_2 ye dönüşmesi HC ihtiva eden başlıca fotokimyasal prosestir. Buna ilave olarak atmosferdeki NO_2 konsantrasyonlarını arttıran iki reaksiyon türü daha vardır. Bunlar atmosferdeki ozon (O_3) ile azot monoksitin (NO) fotokimyasal olmayan reaksiyonu ve NO konsantrasyonu nispeten yüksek iken atmosferdeki egsoz gazlarının genleşmesi başlangıç safhaları esnasında havadaki O_2 ile NO nun oksitlenmesidir.

2.2.4. Oksitleyici Oluşum Prosesleri

CO_x , NO_x , SO_x ve HC lar yanma sonucu atmosfere atıldıklarında bunlardan oldukça farklı başka kirleticiler üremek üzere kimyasal reaksiyonlar oluşmaktadır. Güneş ışığının sebep olduğu bu proseslere foto oksitleme prosesleri denmektedir. Bu prosesler özellikle motor emisyonlarının yol açtığı hava kirleticilerin oluşumunda çok etkili olmaktadır. Örneğin, gündüz saatlerinde süratle NO , NO_x ye dönüşmektedir. Benzer olarak SO_2 nin SO_3 dönüşümü hızlanmaktadır. Ayrıca güneş ışığında etkisi ile Olefinler ve Alkilbenzenler oksitlenerek Aldehit ve Ketonlara dönüşmektedir.

Fotokimyasal oksitlenme proseslerinde oluşan bazı ürünlere oksitleyici denmektedir. Buna örnek olarak ozon gösterilebilir. Oksitleyiciler oksijenden daha fazla oksitleme potansiyeline sahiptir. Oksitleme kabiliyetleri, belirleme reaktifleri ile sayısal olarak ifade edilebilmektedir. Kirli atmosferdeki fotokimyasal oksitleyicilerin belirlenmesinde nötral bir çözelti olan KI ile desteklenen PO_4 kullanılmaktadır. Ayrıca sadece ozon konsantrasyonlarının ölçülmesinde kullanılan kimyasal ışımaya (Chemiluminescent) metodu da mevcuttur.

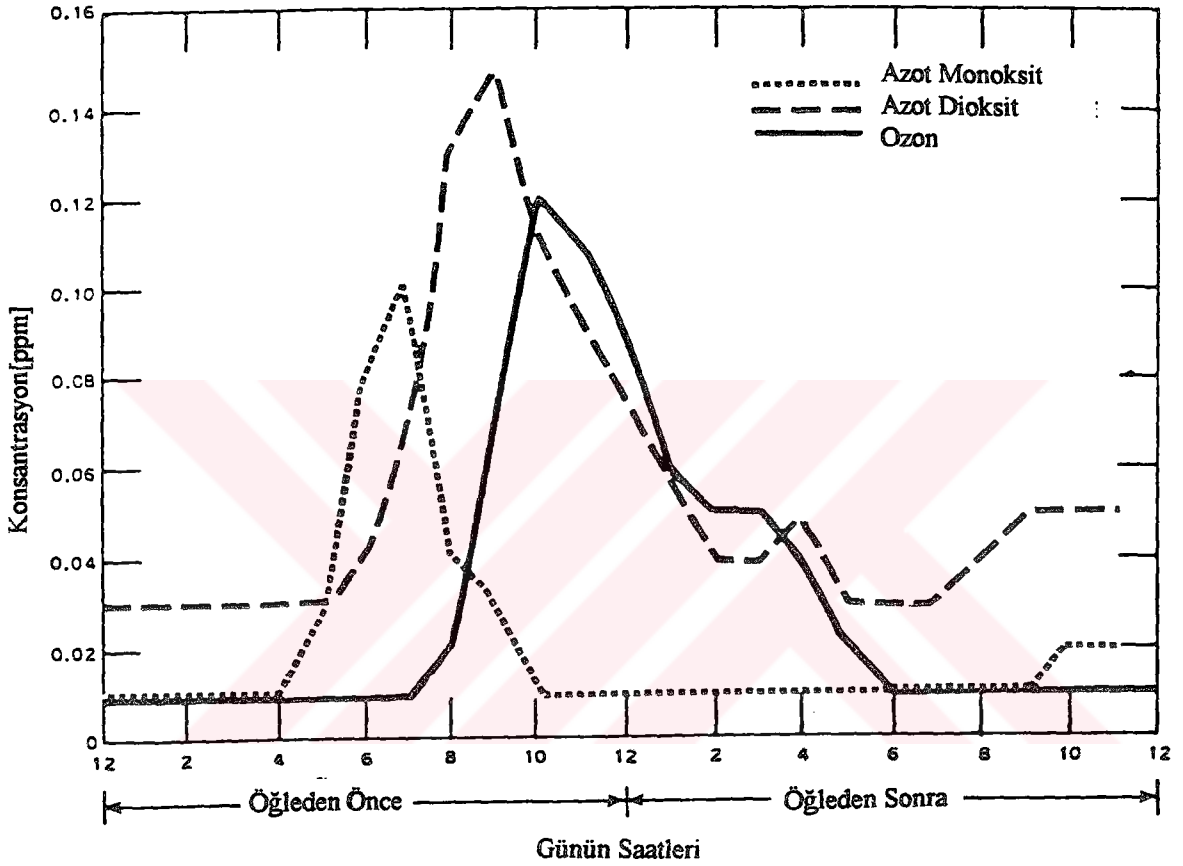
Kirli atmosferde en bol bulunan oksitleyici ozondur. Ozonun fotokimyasal olarak üremesi için oksijenin bir proses ile birlikte ışık absorpsiyonuna maruz kalması gerekmektedir. Ancak bu oksijen ile ışık absorpsiyonu, yeryüzünden bir kaç km yukardaki atmosferde ozon üretim için etkin bir kimyasal mekanizma oluşturmaktadır. Atmosferdeki başlıca kirleticilerin absorpsiyon karakteristiklerinin kıyaslanmasıyla, güneşten yeryüzüne ulaşan kızılötesi (UV) ışınlarının en etkili absorplayıcısının NO_2 olduğu görülmektedir. NO_2 nin kızılötesi ışın absorpsiyonu karmaşık bir seri reaksiyona yol açmaktadır. Böylece NO_2 kızılötesi ışın enerjisi ile NO ve O şeklinde bozunur. Ortaya çıkan bu oksijen atomları (O) ve O_2 nin üçüncü mertebeden reaksiyonları $[\mathcal{M}]$ ile ozon oluşur. Ayrıca yeniden NO_2 ve O_3 ortaya çıkar. Bu suretle denge korunur ve çevrim tamamlanır. Aşağıda verilen periyodik eşitlikler şekil 2.1 de şematik olarak ta görülmektedir. (Ludwig el. al., 1974)



Şekil 2.1 Atmosferdeki Azot Oksitlerin Fotolitik Çevrimi

Bu çevrimi tamamlayan reaksiyonlar atmosferde gerçekleştiği bilinen diğer herhangi bir reaksiyondan 1-2 kat daha büyük hızla meydana gelmektedir. Bundan dolayı atmosferdeki ozon

konsantrasyonunun hesaplanmaya çalışıldığı herhangi bir projede tüm bu mekanizma esas olarak alınmalıdır. Reaksiyon hızları sebebiyle atmosferde NO ve O₃ bileşikleri ekseriya bir arada bulunmazlar. Örnek olarak Şekil 2.2 de bu durum (19 Temmuz 1965 te Los Angeles 'ta ölçülen bir miktar kirleticinin konsantrasyonları) görülmektedir. Burada O₃ ve NO nun konsantrasyonları 07.00 ve 10.00 saatleri arası hariç olmak üzere çok düşüktür.

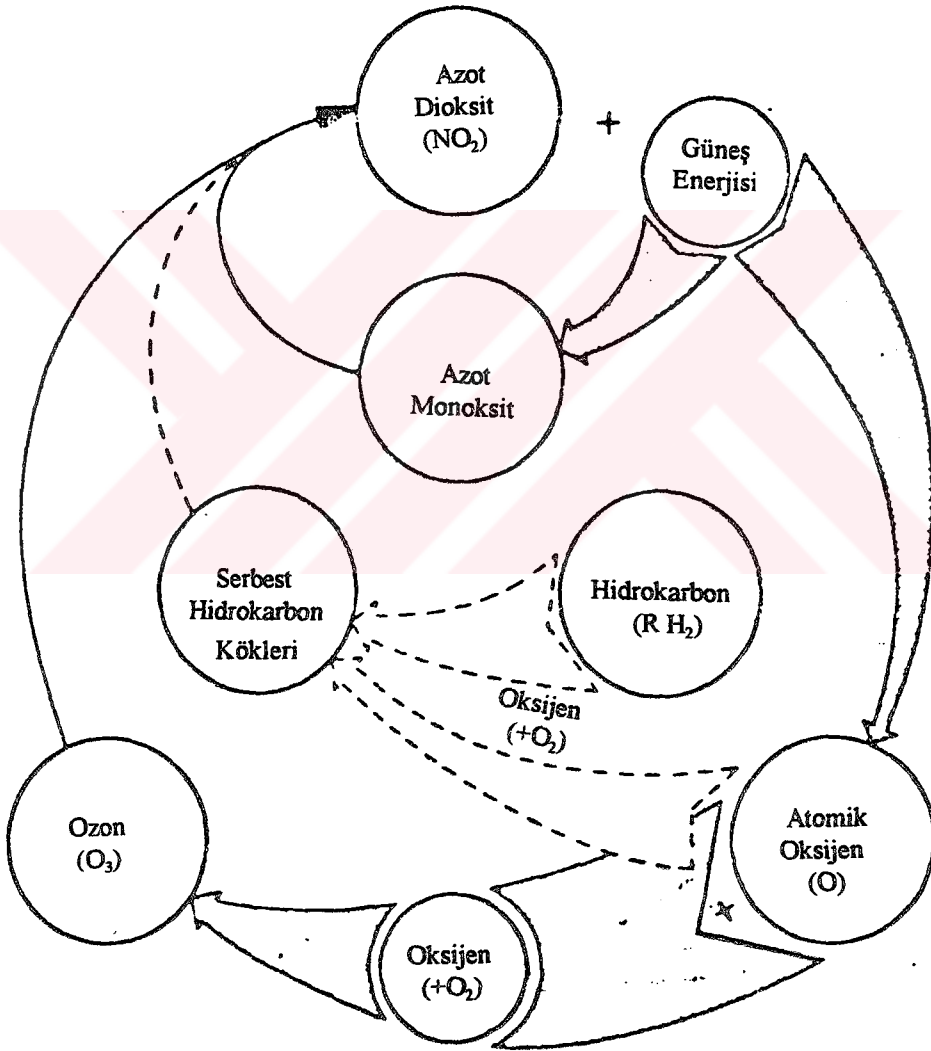


Şekil 2.2 NO, NO₂ ve O₃ Konsantrasyonlarının Günlük Değişimi

Bu zaman diliminde fotokimyasal sis (smog) oluşmakta olup NO konsantrasyonu hızla azalmakta O₃ ise süratle artmaktadır. Atmosferde vuku bulan değişimler, NO₂ in fotolitik çevrimindeki zorunlu reaksiyonlardan başka reaksiyonlarında olduğunu göstermektedir. Sabah trafiğinin yoğun olduğu zamanlarda şekil 2.2 de gösterildiği gibi NO (yanmayla oluşan NO_x in başlıca şeklidir.) En yüksek değerdeki NO_x tir. NO nun NO₂ ye tipik günlük oranları yukarıda da belirtildiği gibi 1:4 ve 1:1 arasında değişir. UV ışık yoğunluğu arttığında yani güneş en yüksek noktaya yaklaştığında, NO nun NO₂ ye hızlı ve hemen hemen nicel bir oksitlenme meydana getirdiği gözlemlenir. Fotokimyasal oksitlenmenin böyle olması genel bir kural değildir. Bu olay ışık absorplayıcı konsantrasyonunun (NO₂ nin) ışık parlaklığı ile arttığı birkaç bilinen örnekten birisidir.

Rejim halinde basitleştirilmiş reaksiyon şeması şekil 2.1 de gösteriler ozon ve azot monoksitin eşit miktarlarda oluştuğu ve bozunduğu kabul edilmektedir. Bununla birlikte gerçekte ozonun hissedilebilir konsantrasyonları azot monoksitin konsantrasyonu azaldıktan sonra anlaşılmaktadır. Artık reaksiyonlar (ilave reaksiyonlar) bu sebepten ortaya çıkar ve basit NO_x fotolitik çevriminin yol açtığı konsantrasyonlarını değiştirir.

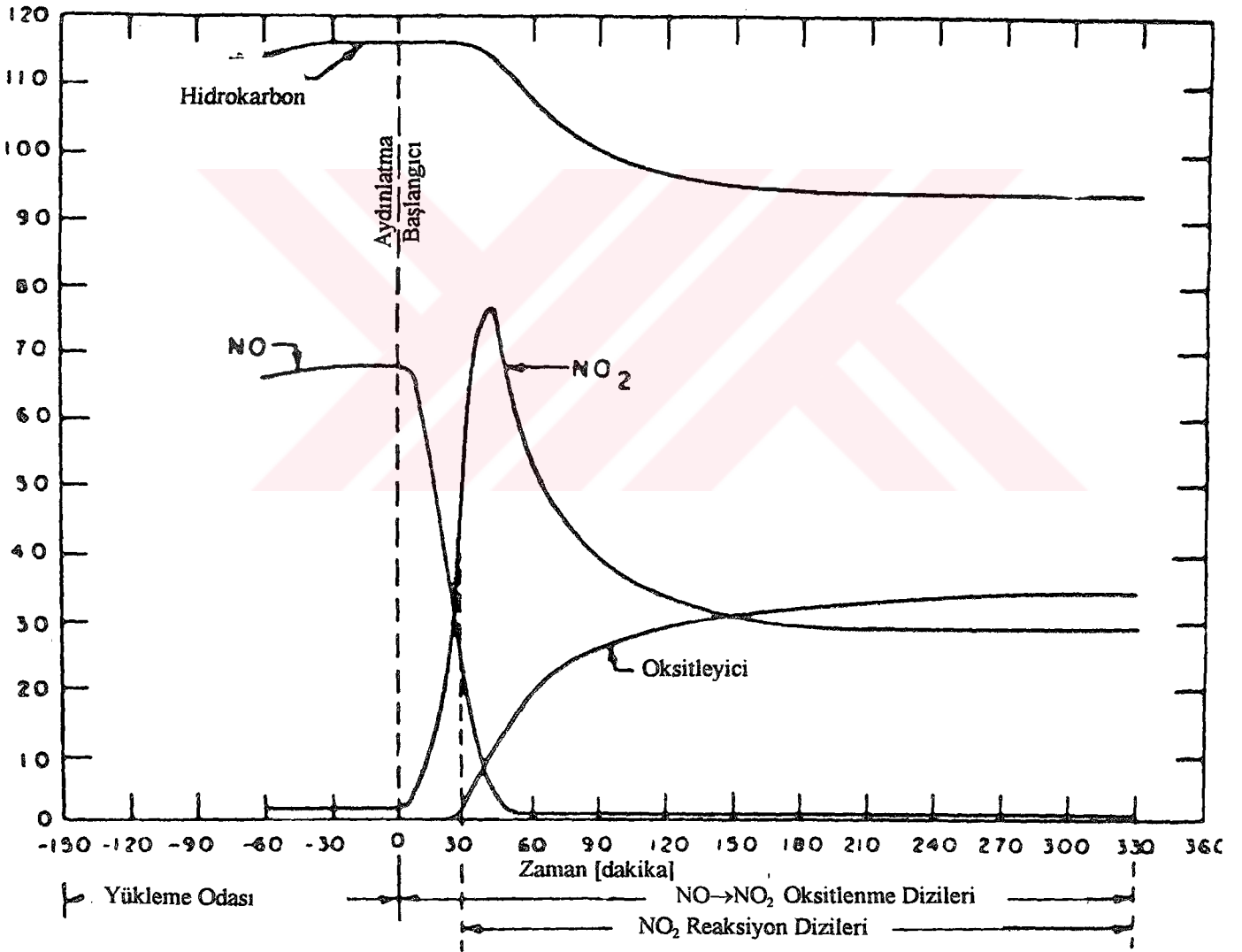
NO_x in fotolitik çevrimi kirli atmosferdeki ozonun başlangıçtaki oluşumunu açıklamaktadır. Ancak nasıl, ölçülebilir miktarlardaki konsantrasyonlara eriştiği bununla izah edilemez. Labaratuvar deneyleri ve atmosferdeki ölçümler yaygın olarak bulunmalarından dolayı organik maddelerin, bilhassa da HC nin gerekli ilave reaksiyon ürünleri sağladığını göstermektedir. Bir kısım HC ler belirgin olarak



Şekil 2.3 Hidrokarbonlar ile Atmosferdeki Azot Oksitlerinin Fotolitik Çevriminin Karşılıklı Etkileşimi

olefinler NO_x reaksiyonları çevrimine girmektedir. Çalışmalar, oksijen atomlarının (O) hidrokarbonlara (HC) hücum ettiklerini ve sonuçta okside olmuş bileşikler ve serbest kalan köklerin (free radicals) daha fazla NO_2 oluşturmak için NO ile reaksiyona girdiklerini göstermektedir. Bu şekilde azot monoksit tarafından tüketilen ozonun, dengesi bozulmaktadır. Bu sebepten NO bittiğinde ozon ve NO_2 seviyeleri artmaktadır. Şekil 2.3 HC nin fotokimyasal oksitlenme reaksiyonları ile olan ilişkisini şematik olarak göstermektedir.

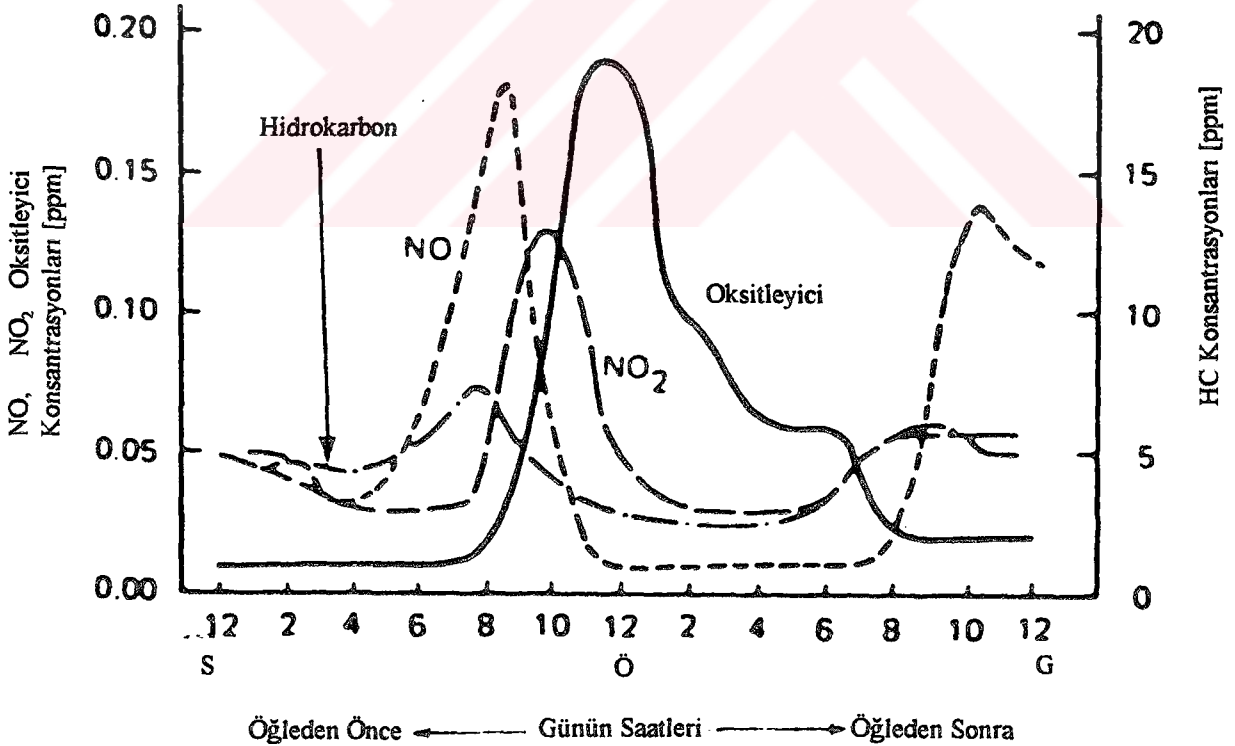
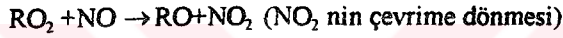
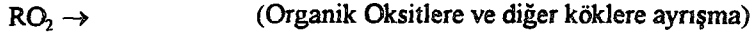
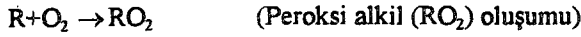
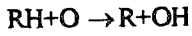
HC nin O atomu ile oksitlenme hızı O atomlarının O_2 ile olan reaksiyon hızının 1/10 -1/100 ü kadar olmasına rağmen bu reaksiyon şekil 2.1 de gösterilen NO_x çevriminin hassas dengesini bozabilmektedir. HC nin yada NO nun oksijen atomları tarafından oksitlenmesi yalnızca ozon birikimine



Şekil 2.4 Deneysel Atmosfer Reaksiyonlarında Kimyasal İlişkiler

yol açacağı şeklinde açıklanamaz. Hidrokarbonlara oksijen atomlarının hücumu ile oluşan serbest ara köklerin (intermediate free radicals) reaksiyona girme kabiliyetleri çok yüksek olup bir seri değişim sonucu ozon ile kendiliğinden reaksiyona girmekte ve azot monoksiti azot dioksite dönüştürmektedir. Hidrokarbonların kuşatılma etkisi; şekil 2.3 te NO_x çevriminin bilinen reaksiyonlarına ilave olarak kesik çizgilerle gösterilmiştir. Azot monoksitin azot dioksite dönüşümü için ifade edilen bir diğer bağıntı, oksijen atomunun hidrokarbon kökü ile reaksiyonundan ($O+RH$) hasil olan ara ürünlerin birden daha fazla azot monoksit molekülünü azot dioksite dönüştürmesi gerektiği sonucunu doğurmaktadır.

Aşağıda verilen seri serbest kök reaksiyonlarının bu sonucun elde edildiği bir oksitlenme mekanizması olduğu ileri sürülmektedir. (Ludwig el al., 1974)



Şekil 2.5 Fotokimyasal Sisli (Smog) Bir Gündeki NO, NO₂, HC ve Oksitleyici Konsantrasyonları

Fotokimyasal kirleticilerin oluşumu laboratuvar çalışmaları ile de incelenmiştir.(Ludwig el al.,1974) Bu çalışmalar atmosferdeki ölçümler ve sonuçlar bakımından bir paralellik içindedir.Deneysel olarak tespit edilen kirletici konsantrasyonlarının zamanla değişimi şekil 2.4 de gösterilmiştir. Fotokimyasal sisin hüküm sürdüğü (smoggy) bir günde atmosferdeki kirleticilerin konsantrasyon değişimleri şekil 2.5 te verilmiştir.Görüleceği gibi ikisi arasında bir benzerlik mevcuttur.

Fotokimyasal oksitleyicilerin oluşumu hakkındaki önceki tartışmalarda NO_x ve reaktif HC lar arasındaki ilişkiden ve oksitleyici oluşumunun başlıca fotokimyasal reaksiyonlarından bahsedilmiştir. NO_x ve HC emisyonlarının oksitleyici seviyeleri arasında deneysel bağıntılar da kurulmaktadır.Büyük şehirlerde tespit edilen kirletici seviyelerinden hareketle kurulan böyle bir deneysel bağıntı şekil 2.6 da görülmektedir.Eş oksitleyici seviye eğrileri; CH_4 içermeyen HC ların NO_x e oranının önemini,bağımsız serbest değişkenlerin gerçek seviyeleri ile uygun meteorolojik koşulların kesiştiği günlerdeki oksitleyici oluşumunun maksimuma eriştiğini yansıtmaktadır.

Fotokimyasal reaksiyon proseslerinde hidrokarbonların reaksiyona girme kabiliyeti bağıl bir özellik olarak ifade edilmektedir. Örneğin: Herhangi bir hidrokarbon, fotokimyasal prostedeki konsantrasyonuna, yapısına ve oksitlenme durumuna bağıl olarak bir kaç reaksiyona neden olabilmektedir.Bu reaksiyonların son ürünleri veya sonuçta ortaya çıkan göz rahatsızlığı ya da bitkilerin zarar görmesi gibi belirtilerin şiddeti büyük ölçüde reaksiyona katılan hidrokarbonun dogal yapısına bağılıdır.

Hidrokarbonların reaksiyona girme kabiliyetlerinin sınıflandırılması bir çok şekilde yapılabilir.Bu sınıflandırmalarda fotokimyasal reaksiyonun faz türü ve bazı özellikleri;

a.NO nun NO_2 ye dönüşme oranı

b.Hidrokarbonların yok olma oranları

c.Oluşan ya da oluşacak ürün miktarı

d.Hidrokarbonun reaksiyona girip girmediği esasına dayanmaktadır.Sınıflandırmalarda kullanılan kriterlere bağıl olarak farklılıklar olabilmektedir.Bu konuda genel kabul,oksitleyici oluşumunda ve canlılara zararlı emarelerin çıkmasında,doymamış hidrokarbonların önemi doymuş hidrokarbonlardan daha fazla olduğu şeklindedir. Hidrokarbonların bozduğu dinamik denge koşulları esas alınarak yapılan sınıflandırmada beş grup elde edilmektedir.Bu sınıflandırmada 1.grup en reaktif 5.grup ise en az reaktif gruptur.

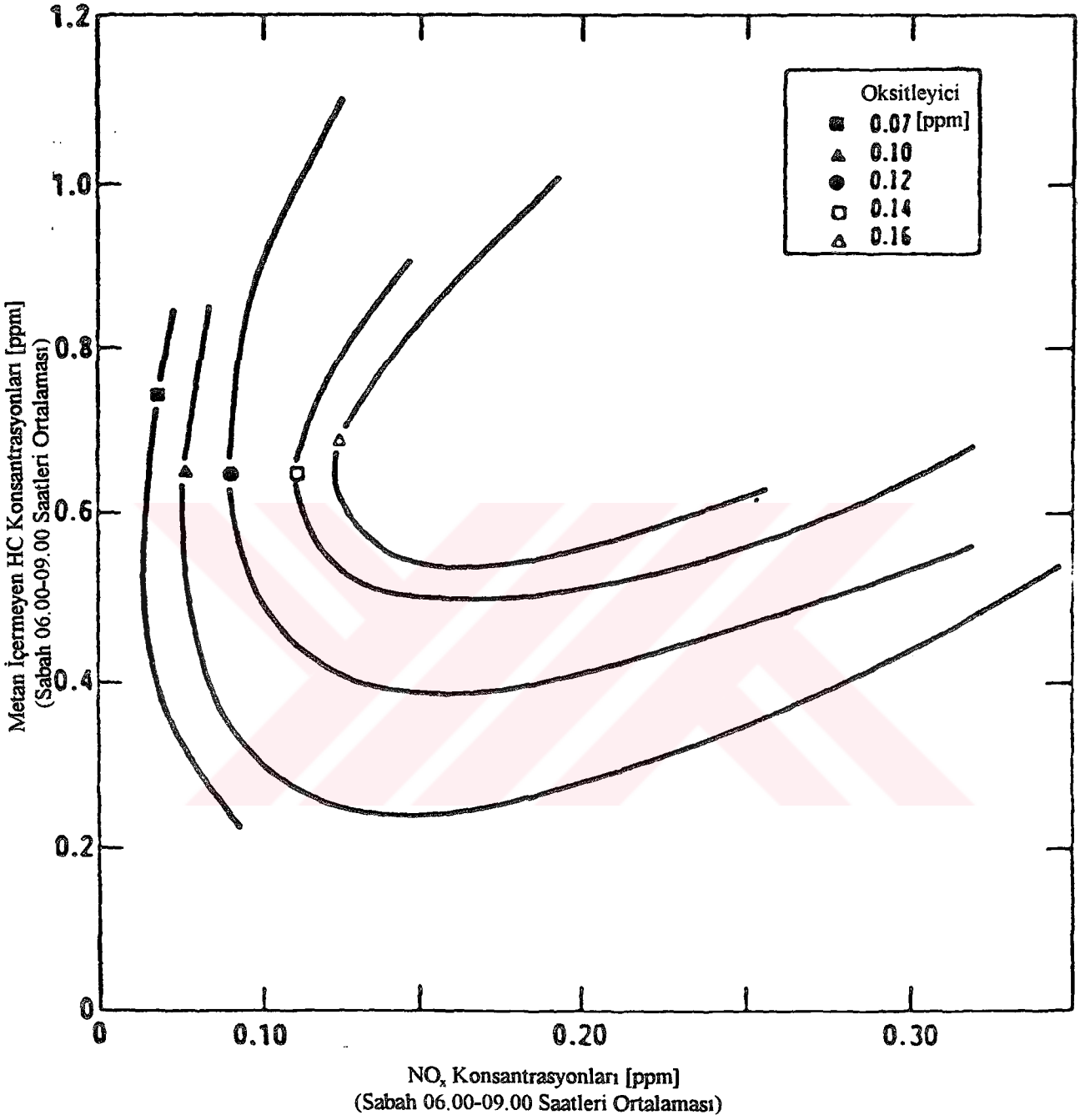
1.Grup:İçten çift bağıl olefinler (trans-2-bütan)

2.Grup:Dıştan çift bağıl olefinler (bütadiyen,bütan,propilen)

3.Grup:Etilen,dimetil benzenler (ksilol),aldehitler (formaldehit,propiyonaldehit)

4.Grup:Metil benzen (toluen), C_6 ve daha yüksek doymamış parafinler,akrolein (doymamış aldehit)

5.Grup: C_1 den C_3 e kadar doymamış parafinler,asetilen,benzen



Şekil 2.6 Günlük Maksimum Sınıırını Aşan Saatlik Ortalama Oksitleyici Konsantrasyonu HC ve NO_x in Fonksiyonu Olarak

Peroкси alkil nitrat(PAN) türü bileşiklerin oluşumu propilen ve daha ağır molekülü olefinlerin mevcudu ile dialkil ve trialkil benzenin miktarına bağlı olmaktadır.Oksitleyici türü kirleticilerin, şehirlerdeki günlük emisyonları hafta içi çok büyük benzerlikler göstermektedir.Buradan

açıkça görüleceği gibi oksitleyici konsantrasyonundaki değişmelere büyük oranda meteorolojik etkenler yol açmaktadır.Reaksiyon hızları,kirletici konsantrasyonuna,sıcaklığa ve ışık şidetine bağlı olmaktadır.

Atmosferdeki oksitleyici konsantrasyonları güneş ışığının şiddetine de bağlıdır.Işığın etkisi ile bir NO₂ molekülünün NO ve O ya dönüşmesi bir foton reaksiyonudur.NO₂ nin yok olma hızı veya oksijen atomunun (O) oluşum hızı ,ışığın şiddeti ve NO₂ konsantrasyonu ile doğru orantılıdır.Çünkü ozon (O₃) konsantrasyonu oksijen atomu (O) konsantrasyonunun bir fonksiyonudur.Keza ozon (O₃) konsantrasyonu ışığın şiddeti ile de doğru orantılıdır.

Oksitleyicilerin ortaya çıkmasında en etkin parametre olan güneş ışığının şiddetindeki değişmeler,günün belirli saatinin,yılın belirli döneminin, coğrafik konumun ve atmosferin dağıtma (dispersal) özelliklerinin bir fonksiyonudur.Güneş ışığı şiddetinin maksimum değerleri enlem derecesi ve mevsime göre değişen sabit değerlere bağlı olarak öğlen saatleri civarında etkili olmaktadır.Şüphesiz atmosferin bulutla kaplı olması, ışığın dağılması veya kirleticilerin ışığı absorplaması kadar önemli bir etkindir.Güneş ışığının şiddeti,sürekliliği ve dağılımı oluşacak foto oksitleyicilerin miktarını belirlemektedir.

Sıcaklık oksitleyici oluşumunda reaksiyon hızını etkileyen bir faktördür.Labaratuvar çalışmaları 4.5° C (40° F)lık bir sıcaklık artışının NO ve HC nin oksitlenme hızlarını iki katına çıkarttığını göstermektedir.(Ludwig el al.,1974) Belirli bazı sistemlerde bu büyüklükteki bir sıcaklık artışının oksitleyici oluşumunu dört katına çıkarttığı bile iddia edilmektedir.Bu önemli değişiklikler atmosferdeki fotokimyasal hava kirleticilerinin konsantrasyonunu etkileyebilmektedir.

2.2.5.Heterojen Fotokimyasal Reaksiyonlar - Aerosollar-

Bu konu,gazların karşılıklı etkileşimi ve gaz şeklindeki ürünlerin oluşumunda etkili olan fotokimyasal reaksiyonlar esas alınarak tartışılacaktır.Bu hususlar;

- a.Katalitik yüzeylerde gaz bileşimindeki ürünlerin reaksiyonları
- b.Partikül yüzeylerinde gaz adsorpsiyonu
- c.Partikül yüzeylerinde bulunan kimyasal maddeler ile gazların reaksiyonu
- d.Fotokimyasal bakımdan aktif olan yüzeylerdeki reaksiyonlar

e.Sıvı aerosollarda çözünen gazların sıvı faz reaksiyonlarıdır.Aerosolların özellikle de atmosferde kimyasal veya fiziksel proseslerle oluşan aerosolların tespit edilmesinde zorluklar bulunmaktadır.Bu sebepten özel kontrol mekanizmaları önerilememektedir.Los Angeles'ta yapılan bir çalışmada bu bölgedeki aerosolların 1/3 nün ikincil atmosferik reaksiyon esnasında ürediği ortaya koymaktadır.(Ludwig el al.,1974) Bu aerosollarda bulunan partiküllerin büyük bir bölümü mikrondan küçük boyuttadır.Bu partiküllere genel olarak NO_x, SO₂ ve organik bileşiklerin karşılıklı etkileşimlerinin yol açtığı değişik tipteki (büyük ölçüde fotokimyasal) heterojen karmaşık seri reaksiyonlar sebep olmaktadır.

Yeryüzünde fotokimyasal aerosol miktarının yüksek olduğu periyotlarda,güneş ışığı dalga boyunun 3500 Angström civarında olan kısmının şiddetinde %80 e varan azalma meydana gelebilmektedir.Genel olarak bu azalmaya atmosferde bulunan fotokimyasal aerosolların ışığı dağıtma etkisi neden olmaktadır.Aerosol yayılımının (scattering) bir sonucu olarak kirli hava kütesinin daha üst bölgesinde bulunan ışık enerjisi yön değiştirecektir ki,bu esasen gelen direkt radyasyonun kullanılabilir kısmından daha fazladır.Hava kütesinin daha alt kısmında zıt bir etki gözlenmiştir.Böylece foto kimyasal aerosolların oluşumunda kirli hava kütesinin üst kısımlarında reaksiyon hızları enteresan olarak artmakta ve aynı anda da hava kütesinin alt kısımlarında bu hızların etkisi azalmaktadır.

2.2.6.Doğal Ozon Kaynakları

Ozon (O₃) doğada atmosferdeki elektriki deşarjlar ile oluşabilmektedir.Ozon ayrıca fotokimyasal olarak stratosferde (yerden ~ 20 km yükseklikte) maksimum konsantrasyonlarda oluşmaktadır.Bu proseslerin genelde geniş bir şehir merkezinin üzerinde oluşan konsantrasyonlara etkisi önemsizdir.Kimi şehir atmosferlerinde tespit edilen yüksek konsantrasyonlardaki ozonun sebebinin bununla izah etmek mümkün değildir.Kimi örneklerde yüksek rakkımlarda üreyen ozonun yeryüzüne taşındığı ve buna bağlı olarakta bitkilerin zarar gördüğü ileri sürülmüştür.Ancak bu durum kanıtlanamamıştır.

2.3. MOTOR EMİSYONLARI

Bu kısımda motor emisyonlarının hava kirliliğine katkısı ile benzin ve diesel motor emisyonları anlatılmış,ancak kirlenici oluşumları V bölümde ele alınmıştır.Ayrıca yasal emisyon sınır değerleri belirlenmemiş olan bazı motor emisyonları da tanıtılmıştır.

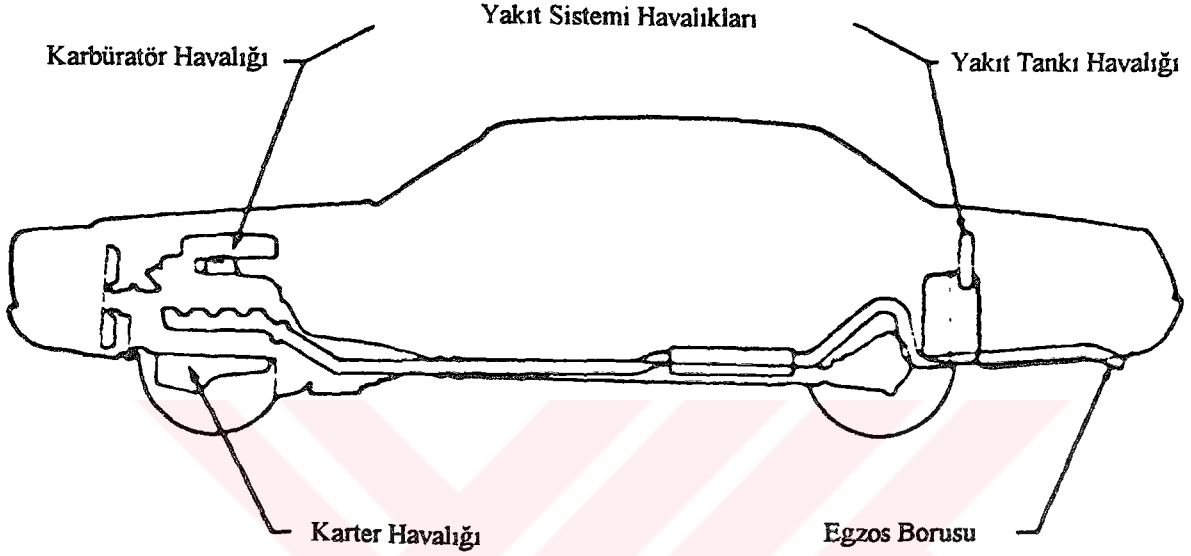
2.3.1.Motor Emisyonlarının Hava Kirliliğine Katkısı

Havayı kirlen motor emisyonlarının çoğunluğu motorlardan kaynaklanmakla birlikte bu konu ile ilgili ülkemizde yapılmış sıhhatli istatistikler bulunmamaktadır.ABD'de yapılan araştırmalar;karbon monoksit emisyonlarının % 65 i ,hidrokarbon emisyonlarının %46 sı ve azot oksit emisyonlarının %37 sinin motorlardan (benzinli ve diesel) kaynaklandığı belirtilmektedir.(Ludwig el al.,1974)

Toplam emisyonlara motorlu araçların katkısı; topografik ve meteorolojik nedenler başta olmak üzere çok çeşitli etkilerden dolayı şehirden şehire farklılıklar göstermektedir.Bununla birlikte yukarıda verilen rakkamlar ilk yaklaşım bakımından bir fikir vermektedir.Ayrıca istatistiklerde katkısı gösterilmeyen diğer kaynaklar;silahlı kuvvetlerin faaliyetleri, savaşlar, doğal felaketler ve kazalardır. Kuveyt savaşı (1991) sırasında yakılan petrolün ;aylarca havayı geceymişçesine karartması bütün bunlara örnek verilebilir.Bu savaşta,1991 in ilk beş ayında hergün üç milyon varil (Fransa'nın o tarihteki bir aylık tüketimi) Kuveyt petrolünün yandığı hesaplanmıştır.(Kuleli,1991)

2.3.2. Benzinli Motor Emisyonları

Şekil 2.7 de gösterildiği gibi emisyon kontrol sistemleri içermeyen benzinli motorlar dört ana kaynaktan kirletici yayarlar. Bunlar; egzoz çıkış borusu, karter, karbüratör ve yakıt tankıdır. Bu sistemler tarafından dış ortama atılan kirletici lerin toplam emisyonlara oranları:



Şekil 2.7 Motorlu Taşıt Hava Kirletici Kaynakları

- a. Karterin havalandırılmasıyla hidrokarbonların %20-35 i
- b. Egzoz çıkış borusundan atılan gazlarla hidrokarbonların %50-60 ı ve hemen hemen tüm NO_x ve CO ler.
- c. Yakıt tankı ve karbüratörden buharlaşma kayıplarıyla hidrokarbonların %15-25 i olarak belirlenmiştir. (Ludwig el al., 1974)

Kurşunsuz benzinle işletilen bir hafif hizmet motoruna ait (7 pozisyonlu soğuk ilk hareketli bir deneyde elde edilmiş) tipik egzoz emisyon değerleri tablo 2.1 de görülmektedir. Burada hidrokarbon türleri organik bileşikler olarak tanımlanmıştır.

Bir motorun emisyonları motorun yapım yılı, modeli, yakıt türü, stroku ve diğer özelliklerine bağlı olarak değişirse de tablo 2.2 te verilen değerler emisyonların genel dağılımını göstermektedir. Karter emisyonlarının konsantrasyonları çok düşüktür. Yakıt tankı ve karbüratörden yayılan emisyonlar hemen hemen saf hidrokarbondur denilebilir. Egzoz çıkış borusu haricindeki emisyon kaynaklarının debisi düşüktür.

Tablo 2.1 Hafif Hizmet Motorları Tipik Egzos Emisyonları (Ludwig el al.,1974)

Emisyon miktarı [mg/mil]		Toplam organik maddeler [%]
Organik bileşiklerin toplamı 3.07		-
Parafinler	1.10	36
Olefinler	1.19	39
Aromatikler	0.83	27
Formaldehit	0.08	2.6
Aldehitlerin toplamı		3.3
Formaldehitler	0.10	
Başlıca organik partiküller 0.03		
Karbon monoksit	640.00	
Azot oksitler	8.26	

Tablo 2.2 Çalışma Koşullarının Benzinli Motor Emisyonlarına Etkisi

KOŞULLAR		EGZOS EMİSYONLARI				KARTER EMİSYONU	BUHARLAŞMA EMİSYONLARI	
		DEBİ	KONSANTRASYONLAR				Y.Tankı	Karbüratör
			HC	CO	NO _x			
Motor Çalışıyor	Rölanti	Ç.Düşük	Yüksek	Yüksek	Ç.Düşük	Düşük	ORTA	Orta
	Sabit Düşük Hız	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Orta		Düşük
	Sabit Yüksek Hız	Yüksek	Ç.Düşük	Ç.Düşük	Orta	Yüksek		Sıfır
	Hızlanma (Orta)	Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek	Orta		Sıfır
	Hızlanma (Hızlı)	Ç.Yüksek	Orta	Yüksek	Orta	Ç.Yüksek		Sıfır
	Yavaşlama	Ç.Düşük	Ç.Yüksek	Yüksek	Ç.Düşük	Ç.Düşük		Orta
Stopta	Sıcak Stop	Sıfır	-	-	-	Sıfır	Yüksek	Yüksek
	Gündüz Sıcağı	Sıfır	-	-	-	Sıfır	Orta	Ç.Düşük

Egzos emisyonlarında, egzos debisi ve kirletici konsantrasyonu çalışma pozisyonlarına göre değişebilmektedir. Emisyonların miktarının belirlenmesinde bu iki büyüklük kullanılmaktadır. Sabit yüksek hız pozisyonunda, egzos hidrokarbonunun konsantrasyonu düşük , ancak egzos debisi yüksektir. Hız azaltma pozisyonunda egzos debisi düşük, hidrokarbon konsantrasyonu yüksektir. Kartar ve buharlaşma emisyonlarında, hidrokarbon konsantrasyonları hemen hemen çalışma koşullarından bağımsızdır. Ancak yine de emisyon debileri her kaynak için işletme pozisyonuna göre değişiktir.

Çalışmayan bir benzinli motorda buharlaşma emisyonları iki etkiden oluşmaktadır. Bunlar: Sıcak stop (hot soak) ve gündüz sıcağı (diurnal soak) etkileridir. Sıcak stop etkisi; motorun stop

edilmesini izleyen periyotta motor ve egzoz sisteminden yayılan ısı sebebiyle yakıt buharlaşmaktadır. Gündüz sıcağı etkisi; yakıt deposu sıcaklığında çevre sıcaklığına bağlı olarak değişimler meydana gelmektedir. Gündüz süresince ısınma buharın depodan dışarı çıkmasına, gece boyunca soğuma depoya hava girişine neden olmaktadır.

2.3.3. Diesel Motor Emisyonları

Bu motorların hava giriş sistemlerinde benzinli motorlarda olduğu gibi bir hava kelebeği olmaması sebebiyle silindirlere giren havanın miktarı motor hızına bağlıdır. Doğal emişli motorlarda hava çevre basıncıyla, aşırı doldurmalı motorlarda ise genellikle bir türbo kompresör ile silindirlere dolmaktadır. Motor boşta iken hava-yakıt oranı ~100:1 dir. Ancak yüksek güç elde edilirken bu oran ~20:1 olmaktadır. Normal şartlar altında hava yakıt oranınının 15:1 olması, stoikometrik hava-yakıt oranınının temin edilmesine yetmektedir. Bu demektirki diesel motorlarda yakıtı tümüyle yakacak yeterli oksijen daima mevcuttur.

Taşıtlardan kaynaklanan hava kirleticilerin etkin kütleleri esas alındığında en az emisyonun diesel motorlulardan olmaktadır. Buna karşın diesel motorlardan yayılan is ve koku emisyonları diğer tip tüm motorlardan yayılanlardan çok daha fazladır.

Egzoz çıkış borusundan kaynaklanan emisyonlar esas itibariyle Diesel emisyonlarının tamamıdır denilebilir. Karter emisyonları motor tipine yani 2 veya 4 stroklu oluşuna bağlıdır. Yanma havasının portlardan girmesi ve her yeni çevrimde silindirlerin süpürülmesiyle, artık yanma ürünleri giren hava ile karıştığından iki stroklu motorlardan yayılan bu tür emisyon sifra yakındır. Dört stroklu motorlarda ise karter emisyonlarının miktarı yakılan yakıtın %0.05 inden ya da toplam emisyonların %2.5 inden fazla değildir.

Diesel motorların buharlaşma emisyonları benzinli motorlarla kıyaslandığında oldukça düşüktür. Karbüratör yerine kapalı bir yakıt püskürtme sisteminin bulunması ayrıca diesel yakıtının benzinden daha az uçucu olması, buharlaşma emisyonlarının az olmasını sağlamaktadır.

Hava debisi ve emisyonlara ait deneysel sonuçlar (HC; CO; NO_x, ve CO₂ ye ait) değişik yüklenme koşullarında ~50 mil/h hız ve rölantiye eşdeğer motor devirlerinde olmak üzere tablo 2.3 te gösterilmiştir. Bu sürat değerleri kütlece maksimum is emisyonlarının meydana geldiği motor işletme şartları olarak kabul edilmektedir.

Tablo 2.3 teki emisyon değerleri ppm, % hacim ve lb/min birimleriyle verilmiştir. İki stroklu motorların tüm çalışma koşullarında çokdaha fazla hidrokarbon, tam yük dışındaki çalışma konumlarında ise daha fazla karbon monoksit ve azot oksitler yaydığına dikkat edilmelidir. Genel olarak hidrokarbon ve karbon monoksit emisyonları benzinli motorların aksine yükte iken en yüksek, rölantide iken en düşük seviyededir. Bununla birlikte NO_x emisyonları; benzinli motorlarda da olduğu gibi yük arttıkça artmaktadır.

Tablo 2.3 Diesel Motor Deney Sonu Özeti (Ludwig el al.,1974)

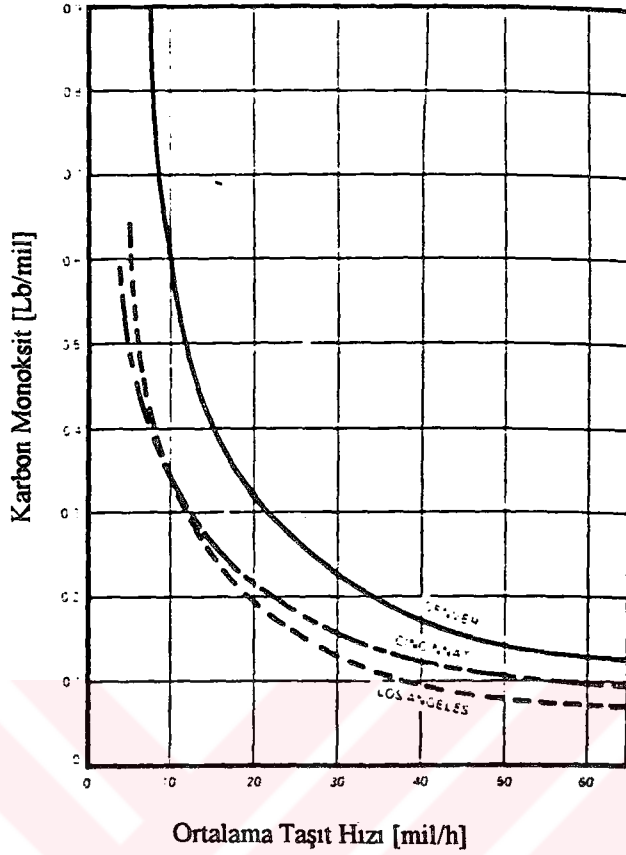
İşletme Koşulları	Motor Tipi	Hava Debisi		CO ₂		HC		CO		NO _x	
		SCFM	lb/min	%	lb/min	ppm C	lb/min 10 ⁻⁴	%	lb/min 10 ⁻⁴	ppm	lb/min 10 ⁻⁴
1.Maksimum Süratte Tam Yük	2 Strk.	287	21.3	6.0	1.94	467	48.5	0.1	200	622	202
	4 Strk.	187	14.3	10.6	2.40	29	2.0	0.2	275	921	210
2.Maksimum Süratte Yarım Yük	2 Strk.	284	21.7	3.6	1.18	605	62.7	0.03	63	392	135
	4 Strk.	204	15.6	5.2	1.24	68	5.2	0.03	45	493	122
3.Maksimum Süratte Yüksüz	2 Strk.	282	21.6	1.5	0.50	530	54.8	0.03	62	147	50
	4 Strk.	197	15.1	1.2	0.27	73	5.2	0.03	44	109	60
4.Rölanti	2 Strk.	76	5.9	1.0	0.09	401	11.2	0.03	17	210	19
	4 Strk.	89	6.9	0.9	0.09	104	3.5	0.03	20	119	13

2.3.4.Motorlu Taşıt Emisyonları

Katedilen mesafe esas alındığında bir taşıttan yayınan emisyonlara ilişkin en önemli bağımsız değişken güzergah ortalama hızıdır.Güzergh tipi,topografik yapı,trafik yoğunluğu,iklim v.b. işletme koşullarının sebep olduğu hızlanma,yavaşlama,sabit hız ve boşta çalışma pozisyonları ile bağlantılı kirletici emisyonlarını ve motor güç ihtiyaçlarını yansıtmak için güzergah ortalama hızı tanımlanmaktadır.

ABD 'deki üç değişik şehirde gerçekleştirilen taşıt emisyon ölçümleri şekil 2.8 ve 2.9 da görülmektedir.Her iki şekilde de görüldüğü gibi ortalama güzergah hızı arttıkça buna bağlı olarak emisyonlar azalmaktadır.

Benzinli ve diesel motorlu taşıtlardan kaynaklanan çeşitli kirleticiler kabaca mukayese edilirse, temin edilen havanın fazla oluşu nedeniyle diesel motorların,benzinli motorlardan daha az karbon monoksit ve hidrokarbon yaydıkları görülecektir.NO_x emisyonları her iki tip taşıt motor içinde, yaklaşık aynıdır.İs ve koku emisyonları ise diesel motorlularda benzinli motorlulara nazaran çok fazladır.

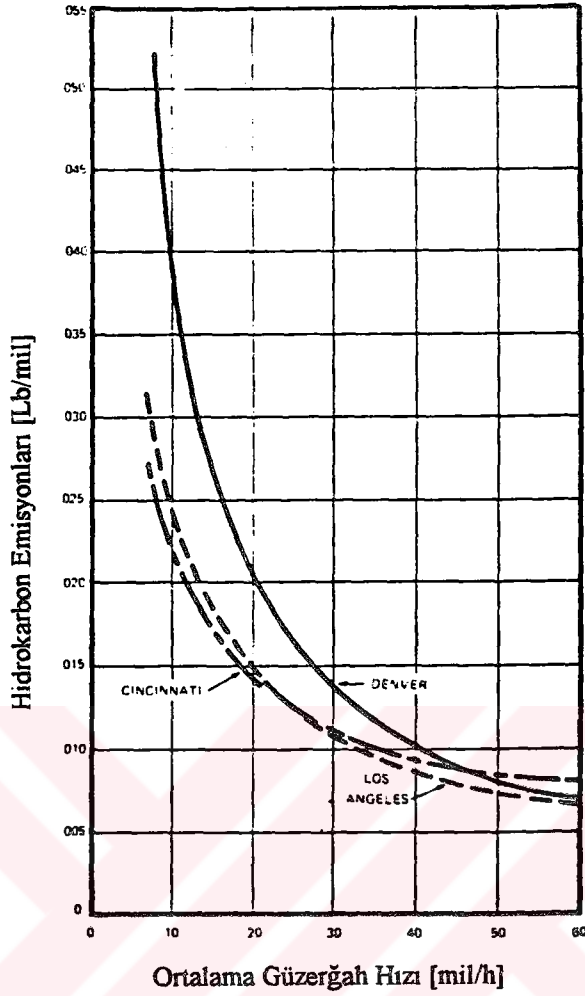


Şekil 2.8 Ortalama Güzergah Hızına Bağlı CO Emisyonları

2.3.5. Sınırlanmamış Emisyonlar

Sınırlanmamış emisyonlar deyimi kesinlikle bilinen ve henüz tam olarak belirlenemeyen emisyonları içermektedir. Bu emisyonlar standartlar kapsamında bulunmamaktadır. Yalnızca karbon monoksit, hidrokarbonlar azot oksitler için standartlar mevcut olduğundan sınırlanmamış emisyonlar tüm diğer bileşikler gibi egzoston dışarı atılmaktadır. Sadece bu maddelerden belirli bir bölümü için dikkate değer çalışmalar yapılmaktadır. Bunlar: Kükürt oksitler, aldehitler, koku, polisilik aromatik hidrokarbonlar ve gen bozucu/kanser yapıcı diğer bileşenlerdir. Amonyak, hidrojen siyanür, benzen ve fenol gibi bileşenler incelenme safhasındadır. Bununla birlikte diesel motorlarda yanma esnasındaki mevcut koşullar bu bileşenlerin oluşumlarına yardımcı olmadığından konsantrasyonlarının çok düşük olduğu tespit edilmiştir. (Lilly, 1987)

Kükürt oksitler, diesel yakıtların içerdiği önemli miktarlardaki kükürtler ile motorların düşük ve orta hızda işletilmesiyle % 5 i aşan yanmamış yakıtlar sebep olmaktadır. Bu miktardaki kükürtlerin önemli oranlarda kükürt oksit emisyonları meydana getirmesi sebebiyle insanlarda solunum rahatsızlıkları ve yapılar da hasarlara yol açmaktadır.



Şekil 2.9 Ortalama Güzerğah Hızına Bağlı HC Emisyonları

Aldehitler hastalık yapıcı olup çoğunlukla kokuludurlar. Diesel motorlardan kaynaklanan koku özellikle motor sayısının ve nüfusun fazla olduğu yerlerde bir sorun olarak önem arz etmektedir. Aldehitler (ABD 'de Arthur D. Little tarafından gerçekleştirilen) bir objektif koku tespit cihazı olan Diesel Koku Analiz Sistemi (DOAS) ile belirlenebilmektedir.

Diesel motor egzosunda bulunan belirli polisilik aromatik hidrokarbonlar kansorejen olarak bilinmektedir. Örneğin: Benzopren. Atmosferde bulunan zararlı olması muhtemel maddelerin halk tarafından daha fazla farkına varılması, daha etkili bazı araştırmaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Nitratlı polisiliklerin kararlı polisiliklerden normal olarak daha önemli psikolojik etkileri olduğundan araştırmalar halen sürdürülmektedir.

Egzos gazlarının genel sağlığa tüm etkileri biyolojik sistemlere olan etkilerinin incelenmesiyle belirlenebilmektedir. Canlılar üzerindeki etkilerin tespiti için karışık haldeki bakterilere basit testler tatbik edilmektedir. Bu emisyonların analizinde kütle spektrometresi ile gaz kromatografisi esasına

dayanan teknikler kullanılmaktadır. Sınırlanmamış özel emisyonların kapsamı yeni bilgilerin elde edilmesine bağlı olarak günden güne artmaktadır. Aşağıda bu emisyonlardan son zamanlarda incelenmesi zorunlu hale gelenler tanıtılmaktadır.

2.3.5.1. İS Emisyonları

İs oluşumu çoğunlukla eksik yanmanın bir sonucu olup genel olarak hava-yakıt oranı ile ters orantılıdır. Gerçekte hava-yakıt oranı 25:1 den daha az olan kimi diesel motorlar is üretmektedirler. İçten yanmalı motorların ürettiği is genel olarak üçe ayrılmaktadır.

a. Koyu, siyah ya da "sıcak" is: Yanmamış karbon partiküllerinden (kurumdan) oluşurlar ve çoğunlukla yüksek çalışma hızları, aşırı yüklenme ve yüksek işletme sıcaklıkları ile ilişkilidir.

b. Mavi is: Yanmamış motor yağı içerirler. Aşınmış piston seğmanları, silindir gömlekleri veya supab yuvaları sebebiyle yanma odasına aşırı miktarda giren motor yağı bu yanmamış yağa neden olmaktadır.

c. Beyaz yada "soğuk" is : Yanmamış sıvı yakıt damlacıkları sebebiyle oluşurlar ve genelde kimi motorların ilk hareket ve boşta konumlarıyla bağlantılıdır.

2.3.5.2. Koku Emisyonları

Egzosta kokuya neden olan kimyasal bileşikler tespit etmek güçtür. ABD 'de Çevre Koruma Ajansı (EPA) adlı kuruluş egzosa koku veren maddelerin tanımlanması için yöntem geliştirilmesi ve diesel motorlarda egzoz kokusu ile kokuya neden olan kimyasal maddelerin miktarları arasında bir bağlantı kurulması projelerini ,diğer bir bilimsel eşgüdüm kuruluşu olan "Coordinating Research Council" ile birlikte desteklemektedir. Şimdiki bilgiler ışığında koku türleri kabaca eşit koku yoğunlukları ile iki ana gruba ayrılabilir. Bunlar: Yağlı kerosen (oily-kerosene) kokusu ve yanık is (smoky-burnt) kokusudur. Tablo 2.4 de koku türleriyle ilişkili kimyasal maddeler sınıflandırılmıştır.

Tablo 2.4 Diesel Motor Egzosundaki Koku Bileşenleri

Koku Karakteri	İlgili Kimyasal Bileşik
Yağlı kerosen kokusu	Alkil benzenler, indan [$C_6H_4(CH_2)_3$], indene [C_9H_8]
Yağlı oksit kokusu	Alkenler, diolefinler, hidroksi siklo karbonil (CO radikalleri), indanlar
Yanık is kokusu	Hidroksi ve metoksi indanlar, hidroksi ve metoksi fenoller
Yanık kokusu	Furanlar, alkil benzoaldehitler
Tahriş edici keeskin koku	Daha hafif moleküllü fenoller, benzoaldehitler, metoksi benzenler

Sonuç olarak kokunun kesin nedenleri tam olarak bilinmemektedir. Bununla birlikte bir motor dizaynı kokunun yoğunluğu ve halkın kokuya olan tepkisiyle değişebilmektedir.

2.3.5.3.Kükürt Oksit Emisyonları

Egzos gazlarındaki kükürt oksitler iki türdür.Bunlar:Kükürt dioksit (SO_2) ve kükürt trioksit (SO_3)'tir.Kükürt trioksit egzosta bulunan su buharı ile çok çabuk reaksiyona girerek normalde sülfirik asit olarak dışarı atılmaktadır.Bu reaksiyon; $SO + H_2O \rightarrow H_2SO_4$ şeklinde ifade edilmektedir.

Sülfirik asit genellikle partikül numunesi almada kullanılan yöntemle benzer şekilde bir filitre yardımıyla tutularak ölçülmektedir.Sülfirik asit filtreden propan-2- veya propan-2- ve su gibi uygun bir çözücü ile çözündürülmektedir.Sonuçta oluşan çözelti klor anilik asit üretmek üzere baryum kloranileyt ile reaksiyona sokularak analiz edilmektedir.Klor anilik asit,kırmızı renkte olup 310 nm de spektro fotometrik olarak belirlenmektedir.

Baryum kloranileyt kükürtlü asit (sulphurous acid) ile de reaksiyona girmektedir.Bu asit kükürt dioksitin su içinde çözünmesi sonucu oluşmaktadır.Bu durumdan yararlanılarak kükürt dioksit ölçülebilmektedir.Kükürt oksitler yakıt içindeki kükürtün yanmasıyla ortaya çıkmaktadır.Bu nedenle kükürt oksit emisyonları,gerçekte yalnızca yakıt içindeki kükürt miktarının azaltılmasıyla düşürülebilir.Gerçi teknik imkanlar bakımından yakıttaki kükürt miktarının azaltılmasında bir takım zorluklar da mevcuttur.Çünkü hafif damutık yakıtların kükürt miktarı azaltılırken,ağır yakıtların kükürt miktarı artmaktadır.

2.3.5.4.Aldehit Emisyonları

Aldehitler,oksijen içeren ve genel fomülü $R-C \begin{matrix} \text{O} \\ // \\ \text{H} \end{matrix}$ olan bileşiklerdir.Burada; [R] karbon ve hidrojen içeren herhangi bir grubu göstermektedir. H yerine karbon içeren bir grup konursa bileşik,keton olmaktadır.Aldehitler,bilhassa oksijen bakımından zengin bir ortamda eksik yanma sonucu oluşmaktadırlar.Aldehitler,rahatsız edici veya kokulu olabilmektedirler.Örnek olarak keskin kokusuyla (bozulmuş tereyağı kokusu) akroleyn verilebilir.

Aldehitlerin analizinde değişik yöntemler kullanılmaktadır.Bu yöntemlerin kimisinde renk ölçme esasına ,bir kısmında da gaz kromatografisi yöntemi ile, doğrudan her aldehitin veya türevlerinin analizi yapılabilmektedir.

2.3.5.5.Amonyak Emisyonları

Amonyak (NH_3) oluşumları için oksijen bakımından zengin ortamların elverişsizliği sebebiyle, normalde diesel egzos gazlarında çok az miktarda amonyak bulunmaktadır.Bu bakımdan benzin motorlarında amonyak oluşumu diesel motorlara nazaran daha fazladır.

Amonyanın belirlenmesi,genellikle sulu bir çözelti içerisinde yakalanması sonrasında, özel bir cihaz yardımıyla ya da klasik yöntemlerle analiz edilerek yapılmaktadır.Gaz fazdaki amonyacı analiz etme sistemleri de mevcuttur.Bunların büyük bir kısmı proses endüstrisinde kullanılmaktadır.

2.3.5.6. Benzen Emisyonları

Benzen kansorejen bir maddedir. Benzene olan ilginin esas sebebi de bundan ileri gelmektedir. Bu kirleticinin büyük bir bölümü benzinli motorlardan kaynaklanmaktadır. Benzenin is ve partikül madde oluşumunda ara bir ürün olduğu da ileri sürülmektedir. (Lilly, 1987) Ancak diesel egzosunda benzen miktarının çok az olması dikkat çekici bir noktadır. Benzen emisyonlarının analizinde genellikle kılcal boru gaz kromatografisi kullanılmaktadır.

2.3.5.7. Polisilik Aromatik Hidrokarbon Emisyonları

Kimi zaman polinükleer aromatik hidrokarbonlar (PNA) olarak adlandırılan polisilik aromatik hidrokarbonlar (PAH) benzene benzemekle birlikte dört, beş veya altı halkanın birleşmesinden meydana gelen bileşiklerdir. Bazı polisilik aromatik hidrokarbonların kansorejen olmasına karşın bazıları da kansorojen değildir. Oluşum mekanizmaları konusunda bir çok teori ileri sürülmekte ise de henüz hiç biri tam olarak ispatlanamamıştır.

Polisilik aromatik hidrokarbonlar genellikle bir filtre veya soguk bir trap ya da bu ikisinin bileşimi ile yakalanmakta, uygun bir çözümü ile çözündürüldükten sonra, yüksek basınç sıvı kromatografi ile flüorışı tespit cihazı (fluorescence detection) veya gaz kromatografi ile birlikte bir kütle spektrometre dedektörü kullanılarak, ayrı ayrı belirlenebilmektedir.

2.3.5.8. Nitro Polisilik Aromatik Hidrokarbon Emisyonları

Nitro polisilik hidrokarbonlar (Nitro PAH) polisilik aromatik hidrokarbonlar ile benzer kimyasal yapıdadırlar. Burada fark bir nitro grubun (-NO₂) bir veya daha fazla halkaya tutunmuş olmasıdır. Bu bileşikler kararlı yapılarına karşılık daha fazla fizyolojik etkiye sahip olmaları nedeniyle ilgi uyandırmaktadırlar. Egzos gaz akımı içinde birlikte akan azot monoksit ve polisilik aromatik hidrokarbonlar bir filtre ile toplanılmaya çalışıldığında birbirleriyle reaksiyona girerek sonuçta filtre üzerinde nitro polisilik aromatik hidrokarbonlar oluşmaktadır.

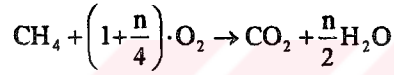
III.MOTOR EMİSYON STANDARLARI

3.1.STANDARLARDA TEMEL YAKLAŞIMLAR	47
3.1.1.Taşıt Emisyonlarının Belirlenmesinde İstatistiki Yöntem	47
3.1.2.Sabit Hacim Numune Alma (CVS) Metodu	47
3.1.3.Rollbock Tekniği	48
3.1.4.Katedilen Mesafe Başına Emisyon Miktarı Belirleme Yöntemi	48
3.1.5.Egzos Gaz Hacminin Yaklaşık Hesabı	49
3.2.BAŞLICA ÜLKE STANDARLARI	49
3.2.1.ABD Standardları	49
3.2.1.1.Hafif Taşıt Motorları için Emisyon Standardları	49
3.2.1.2.Ağır Taşıt Motorları için Emisyon Standardları	52
3.2.1.3.Sabit Sürat Motorları için Emisyon Standartları	53
3.2.2.Avrupa Standardları	53
3.2.2.1.Hafif Taşıt Motorları için Emisyon Standardları	53
3.2.2.2.Ağır Hizmet Motorları için Emisyon Standartları	54
3.2.2.3.Orta Hızlı Motorlar için Emisyon Standartları	54
3.2.3.Japonya Standardları	54
3.2.3.1.Taşıt Motorlar için Emisyon Standardları	54
3.2.3.2.Sabit Sürat Motorları için Emisyon Standardları	55
3.2.4.Motorlar için İS Emisyon Standardları	55
3.2.4.1.Görünürlük ya da Genel Kabul Kriteri	56
3.2.4.2.İS Emisyonu Test Metodları	56
3.2.4.3.Tipik İS Standardları	60
3.2.4.4.Taşıt Motorları için İS Standardları	60
3.2.4.5.Taşıtlar Dışındaki Motorlar için İS Standardları	64
3.3.TÜRKİYE STANDARLARI	65
3.3.1.Tip ve Kabul Deneyleri	66
3.3.1.1.Tip I Deneyi	66
3.3.1.2.Tip I Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	67
3.3.1.3.Örnek Hesaplamalar	73
3.3.1.4.Tip II Deneyi	75
3.3.1.5.Tip III Deneyi	75
3.3.2.Taşıt Motorları için Emisyon Standardları	76
3.3.2.1.Hafif Taşıt Motorları için Emisyon Standardları (TS 4236)	76
3.3.2.2.Taşıt Motorlarının İmalat Uygunluğunun Tespiti	79
3.3.2.3.Ağır Taşıt Motorları için Emisyon Standardları	80
3.3.2.4.Kullanımdaki Taşıt Motorları için Emisyon Standardları	80
3.3.3.Sıvı Yakıtlı Yakma Tesisleri Emisyon Standardları	80
3.3.3.1.Karbon Monoksit Emisyon Sınır Değerleri	80
3.3.3.2.Azot Oksit Emisyon Sınır Değerleri	80
3.3.3.3.Kükürt Oksit Emisyon Sınır Değerleri	81
3.3.3.4.İs ve Toz Emisyon Sınır Değerleri	81
III.BÖLÜME AİT SEMBOLLER	82

III.MOTOR EMİSYON STANDARLARI

Motorlardan kaynaklanan hava kirliliği,özellikle şehir merkezlerinde olmak üzere ulusal ve uluslararası düzeyde artan çevre kirliliği ile birlikte tartışılmaktadır.1960 ın sonlarında California havzası üzerinde asılı kalması sebebiyle panige yol açan fotokimyasal sis hava kirliliğinde başlangıç kabul edilmektedir.Bu olay dolayısıyla bu eyalette ilk yasal düzenlemeler ve temiz hava yönetmelikleri ortaya çıkmıştır.

Avrupa'da,Japonya'da ve ülkemizde temiz hava yönetmelikleri yürürlüktedir.Bu yönetmelikler; benzin ve diesel motor emisyonlarının insan ve çevreye olan etkilerinin çok daha duyarlı şekilde incelenmesini zorunlu kılmaktadır.Motorlarda güç oluşumu için yakılan yakıtların büyük bir kısmı, karbon ve hidrojen içermelerinden dolayı hidrokarbon denilen organik moleküllerden meydana gelmiştir.Bu moleküllerin oluşturduğu bileşiklere hidrokarbon bileşikleri de denilmektedir.Böyle bileşik oksijenle tam olarak yandığında aşağıdaki genelleştirilmiş reaksiyon oluşmaktadır.



Burada;n yakıttaki hidrojenin karbona oranıdır.Bütün hidrokarbonların oksijenle tam yanmasından karbon dioksit ve su oluşur.Ancak bir motorda koşullar tam yanma için elverişli değildir.Yanma esasen bir alev difüzyonu şeklinde gerçekleşmekte ve bu sebepten tam yanma olmamaktadır.Bu ise karbon monoksit gibi kısmen oksitlenmiş ürünler ile hidrokarbonlar ve oksijen içeren aldehytler gibi diğer ürünlerin oluşmasına olanak sağlamaktadır.

Yanma 2000° K e kadar yükselen sıcaklıklarda oluşmakta ve sonra bu sıcaklığın altına da inebilmektedir.Bu durumda yakıtın hidrojen karbon oranı,hidrojen ve karbon atomlarının bağlı dizilişleri çoğunlukla daha büyük moleküler ağırlıkta ürünler oluşturmak yada yarı grafit yapısıyla büyük ölçüde kondil isinden farklı olmayan bir karbon türüne dönüşmek üzere değişebilmektedir. Motorlardan yayılan bu tür emisyonlara is denilmektedir.

Bir diesel motorun yanma odasında daima fazla hava bulunur.Bu fazla havanın büyük bir kısmı hiç bir değişikliğe uğramadan motordan atılırken;oksijen ve azotun bir bölümü esasta azot monoksit oluşturmak üzere birbirleriyle reaksiyona girer.Bu reaksiyonlarda bir miktar azot dioksit te oluşabilmektedir.

Akaryakıtlar gerçekte tamamen hidrokarbonlardan oluşmamakta;bir miktar kükürt te içermektedirler. Kükürt miktarı yakıttan yakıtı değişmektedir.Ülkemizde taşıtlarda kullanılan motorin, kütleli olarak %1 oranında kükürt içermektedir.Oysa orta ve alçak hız motorlarında kullanılan yakıtlarda bu oran %5 e kadar çıkabilmektedir.Kükürt bileşikleri tümüyle yakıldığında,kükürt dioksit ile birlikte az bir miktar kükürt trioksit te açığa çıkmaktadır.

Bir motorun egzusunda sadece karbon dioksit,su veya fazla havadan kaynaklanan azot ve oksijen bulunmamakta;ayrıca karbon monoksit,azot oksitler,hidrokarbonlar,oksit bileşikleri,kükürt oksitler,kükürt bileşikleri ve karbon da bulunmaktadır.Yanma odasında meydana gelmesi olası reaksiyonların sayısı gözönüne alındığında,egzosun bir kaç yüz çeşit bileşik içerebilmesi,şaşırtıcı olmamaktadır.Tanımlama ve sınıflandırmanın teknik güçlükleri bir yana bırakılsa bile bir kaç bin egzos bileşeni sebebiyle bir motoru dizayn etmek devasa bir külfet olacaktır.Bu sebepten dolayı sınırlı sayıdaki elemanın belirlenmesiyle yetinilmektedir.

Karbon monoksit, yanmamış hidrokarbonlar ve azot oksitler dünyanın bir çok ülkesinde yasal sınırlandırmalar getirilen gaz türü emisyonlardır.Partiküller;egzos gazlarının çevre havası ile seyreltilmesinden sonra bir filitre üzerinde tutulabilen,suyun dahil edilmediği maddeler olarak tanımlanmaktadır.ABD'de kullanılan motorlarda partiküllere de yasal sınırlamalar getirilmiştir.Diğer ülkeler de ABD örneğini izlemektedir.

3.1.STANDARDLARDA TEMEL YAKLAŞIMLAR

Motor emisyonlarının en önemli kısmını egzos emisyonları oluşturmaktadır.Burada bir ikilem söz konusu olmaktadır.Yanmanın daha verimli hale getirilmesi NO_x emisyonlarının artmasına neden olabilmekte buna karşın fotokimyasal sisin yok edilebilmesi hidrokarbon ve azot oksit emisyonlarının azaltılmasıyla mümkün olabilmektedir.Bu ikilem motor veriminden ve gücünden fedakarlık yapılmasını zorunlu kılmaktadır.Bu kısımda standartların hazırlanmasında kullanılan temel yaklaşımlar anlatılmaktadır.

3.1.1.Taşıt Emisyonlarının Belirlenmesinde İstatistik Yöntem

Üretim hatlarından çıkan tüm motorlara emisyon testi uygulamak masraflara yol açan bir işlemdir.Genel bir kalite kontrolü yapılan motorların istatistiksel örnekleme yoluyla test edilmesi yeterli sayılmaktadır.Bu yaklaşımın kirletici kaynaklarının ortalamalardan daha fazla kirletici yaydığı durumlarda veya yönetmeliklerdeki hava kalitesi değerlerine tam uyum istendiği durumlarda tek başına yeterli değildir..Tüm araçlara uygulanabilen kısa,basit bir emisyon test işleminin ortaya konamaması sebebiyle hali hazırda en etkili test işlemi olarak sabit hacim örnekleme metodu kullanılmaktadır.

3.1.2.Sabit Hacim Numune Alma Metodu (CVS)

Taşıt motorlarında kullanılan bu metod soğuk bir ilk hareketle başlayarak kısa bir şehir turuna eşdeğer işlemlerden oluşmaktadır. Bu esnadaki hidrokarbon, karbon monoksit ve azot oksit emisyonlarının gerçek kütlelerinin tespitine çalışılmaktadır. Test; motorun ilk hareketini takip eden, önceden belirlenmiş bir çevrim uyarınca şasi dinamometresinde safha safha gerçekleştirilmektedir.

3.1.3.Rollbock Tekniği

Arzu edilen hava kalitesinin gerçekleştirilmesinde, emisyon miktarlarında yapılması gereken indirim oranlarının belirlenmesi için kullanılan bu teknikte önceki kirlilik mevcut kirlilikten çıkarılmakta ve emisyonlardaki azalma oranı ile sonucun benzeştiği kabul edilmektedir.(Ludwig el al.,1974)

$$R_p = \frac{(GF) \cdot [B_s] - B_D}{(GF) \cdot [B_s] - B_F} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.1)$$

Burada:

[R _p]	Azalma miktarını	[%],
[GF]	Emisyon artış faktörünü	[%],
[B _D]	Arzu edilen hava kalitesini	[%],
[B _s]	Mevcut hava kalitesini	[%],
[B _F]	Önceki hava kalitesini [%] göstermektedir. Bir tek kaynak için emisyon hedef değerleri şu şekilde bulunabilir.	

$$\text{Yeterli Emisyon Oranı} = \frac{100 - R_p}{100} \quad [\%]$$

3.1.4.Katedilen Mesafe Başına Emisyon Miktarı Belirleme Yöntemi

Taşıt motorlarında kullanılan bu yöntemde motor büyüklüğü ile kirletici konsantrasyonu arasındaki ampirik ters orantı, motor büyüklüğü ile egzoz gaz hacmi arasındaki doğru orantı ile dengelenmektedir. Ayrıca motor büyüklüğü genelde taşıt kütlesi ile doğru orantılıdır. Bu bağıntıları aşağıdaki şekillerde göstermek mümkündür.

$$\text{a.Kirletici Konsantrasyonu (C)} \propto \frac{1}{\text{Toplam Silindir Hacmi}} \quad (\text{Deneysel Tespit})$$

$$\text{b.Toplam Silindir Hacmi (S)} \propto \text{Taşıt Kütlesi (W)} \quad (\text{Genel Doğru})$$

$$\text{c.Egzoz Gaz Hacmi (V)} \propto \text{Toplam Silindir Hacmi (S)} \quad (\text{Kesin İlişki})$$

$$\text{d.Emisyon Kütlesi (M)} = \text{Emisyon Konsantrasyonu (C)} \cdot \text{Egzoz Gaz Hacmi (V)}$$

[K₁],[K₂],[K₃] Sabit sayıları göstermek üzere;

$$C = \sim K_1/S = K_1/W$$

$$V=K_2 \cdot S$$

$$CV=K_1 \cdot K_2$$

$$M= -K_3$$

Katedilen mesafe başına emisyon kütle miktarını, ölçü kabuleden standartların kullanımı tüm taşıt sahiplerini aynı tarzda etkileyeceğinden adil kabul etmek mümkündür.

3.1.5.Egzos Gaz Hacminin Yaklaşık Hesabı

Egzos hacmi motorun toplam silindir hacminin bir fonksiyonudur. Motor toplam silindir hacmi ise yaptığı işin bir fonksiyonudur.

$$V= -11.5+0.0281W-1.93 \cdot 10^{-4} W^2 \quad [ft^3/mil] \quad (3.2)$$

Burada:

[W]	Taşıt kütlesi	[lb]
[V]	Egzos Gaz Hacmini göstermektedir	[ft ³ /mil] olarak verilmiştir.

3.2. BAŞLICA ÜLKE STANDARDLARI

İlke olarak seyreltilmemiş ham egzosta karbon monoksit, yanmamış hidrokarbonlar ve azot oksitler ile birlikte sınırlandırılmamış emisyonlar ölçülebilmektedir. Bu sebepten bazı ülkelerde belirli tiplerdeki motorlarla ilgili standartlar egzoz bileşenlerinin ham egzosta ölçülmemesini ve bunun için başka tekniklerin kullanılmasını gerektirmektedir. Bu metodlar sadece teknik kaygılardan değil;sonucun belirlenmesinin özel bir yöntem gerektirmesinden dolayı da gerekmektedir.Bu kısımda motorlardan kaynaklanan emisyonların analizinde tüm dünyada kullanılan yöntemler ve ana hatlarıyla emisyon standartları anlatılmaktadır.

3.2.1.ABD Standartları

Emisyonlar hakkındaki yasal düzenlemelere ABD önderlik etmiştir.Standardlar,çevre hava kalitesini kabuledilebilir bir düzeye getirmek ve muhafaza etmek için kesin kurallar getiren Temiz Hava Yönetmeliği "Clear Air Act"nin çıkarılmasında büyük etken olmuştur.

Yolcu taşıtları,kamyon,kamyonetler,lokomotifler,gemiler ve diesel motor kullanılan fabrikalar tümüyle atmosferi kirletmektedirler.Bununla birlikte nisbi katkıları değişik olduğundan standartları da farklı kategorilerde ve farklı değerlerde olmaktadır.

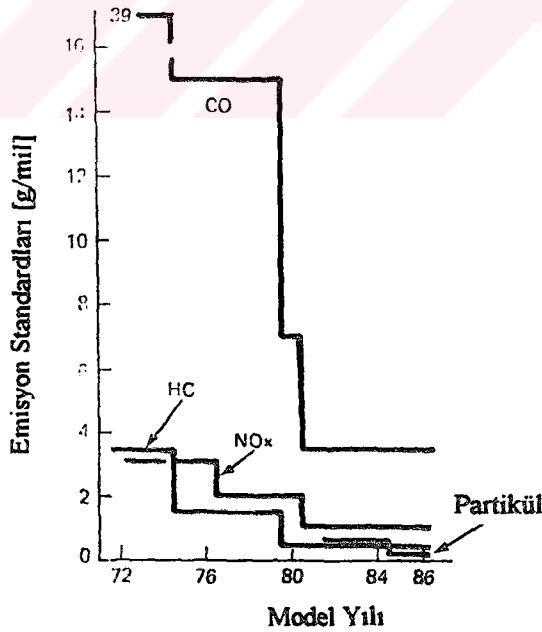
3.2.1.1.Hafif Taşıt Motorları için Emisyon Standartları

Hafif taşıtlarda kullanılacak her motoru test etmek zorunludur. Bu amaçla taşıt bir şasi dinamometresinde önceden belirlenen bir çevrime göre şehir merkezlerinde araç kullanımı koşulları tatbik edilerek işletilmektedir.Bu durumda gaz haldeki karbon monoksit,karbon dioksit,hidrokarbon ve

azot oksit emisyonları sabit hacim örnekleme sistemi adı verilen bir yöntem kullanılarak belirlenmektedir. Şekil 3.1 de böyle bir sistem şematik olarak gösterilmiştir. Ortam havası ile seyreltilen numune bir pompa yardımıyla sabit hızda numune torbasına gönderilir. Pompa debisinin egzoz debisinden daha yüksek olması sayesinde ortam havası pompaya emilmektedir.

Diesel motor egzozunda bulunan hidrokarbonlar nisbeten yüksek kaynama noktasına sahiptirler. Egzoz gazları numune torbasında biriktirildiklerinde çeperlerde düşük bir emisyon hızı varmışçasına yoğunlaşma eğiliminde olmaktadır. Bundan sakınmak için seyreltme odasından çıkan numune sürekli ısıtılan bir prob (alıcı) ile analiz cihazına nakledilir. Analiz cihazına giren numune boruları $\sim 191^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta tutulur. Analiz cihazı bu sıcaklıkta maksimum verimdedir. Esasen analiz cihazı 191°C sıcaklıkta çalışabilen bir alev iyonizasyon dedektörüdür. Cihaz kesintisiz olarak işletilerek çevrim boyunca ölçüm yapılmaktadır.

Partikül emisyonları aynı anda ve aynı donanım kullanılarak ölçülmektedir. Bu amaçla seyreltme tüneline ikinci bir alıcı daha konmaktadır. Esas filtreden geçebilen partikül maddeleri tutmak için, florokarbon ile kaplanmış cam yünü bir ikinci filtre de kullanılabilir. Seyreltme tüneline katedilen hacmin ve gaz emisyonlarının konsantrasyonlarının bilinmesiyle toplam motor emisyonları hesaplanabilmektedir. Ölçüm sonuçları birim mesafe başına kütle şeklinde verilmektedir. Şekil 3.2 de hafif taşıt motorları egzoz emisyon standartları görülmektedir.



Şekil 3.2 Hafif Taşıt Motorları için ABD Federal Egzoz Emisyon Standartları

3.2.1.2 Ağır Taşıt Motorları için Emisyon Standartları

Her motorda sorun olan test işleminden kurtulmak için taşıtın kendisi vites, şasi ve karoseriyle test tezgahına konmaktadır. Şu anda yalnızca taşıt motorları için emisyon standartları mevcut olup bu standartlar tablo 3.1 de görülmektedir.

Tablo 3.1 Ağır Taşıt Motorları için ABD Federal Egzos Emisyon Standartları

	MODEL		YILLARINA		GÖRE		EMİSYON STANDARDI [g/bhp.h]	
	1981	1982	1983	1984	1985	1986 sonrası		
Test	13 fazlı çevrim (Diesel)	→	→	13 fazlı / değişken çevrim	Değişken Çevrim	Değişken Çevrim		
Yöntemi	9 fazlı çevrim (Benzin)	→	→	Değişken çevrim	→	→		
HC	1.5	→	→	0.5(diesel) 1.3(benzin)	1.3	→		
NO _x	-	-	-	9.0(diesel) 10.7benzin	→	→		
HC+NO _x	10	→	→	-	-	-		
CO	25	→	→	35	→	→		

Test için motorlar sabit sürat, hızlanma, yavaşlama ve aşırı sürat kademelerini içeren süreksiz bir çevrim ile işletilmektedir. Bu çevrimin tamamlanması ~20 dakika sürmektedir. Bilgisayar kontrollu bir deney seti ile testler gerçekleştirilmektedir. Analiz donanımı hafif taşıt motorları için kullanılabilecek çok benzeyen bir sabit hacim numune alma sistemi içermektedir. Bununla birlikte bu sistemdeki gaz hızı düşük ve sıcaklığın muhafazası daha zordur. Sıcaklık değerleri Federal Kayıtlar Bürosunca (Federal Register) belirlenmektedir. Karbon monoksit, karbon dioksit ve azot oksitler hem kesintisiz ölçülmekte, hemde bir torbada toplanıp testin sonunda analiz edilmektedir. Hidrokarbonlar, seyreltme tüneline uygun bir noktadan sürekli ölçülmektedir.

Partiküller, hafif taşıt motorları gibi ölçülmektedir. Seyreltilmiş egzos gaz akımının numune alınan noktasında en fazla 52° C sıcaklığa izin verilmektedir. Bu değer, 52° C tan daha yüksek olursa partikül maddelerin hidrokarbon bileşenleri yok olabilmektedir. Bu ise düşük bir partikül miktarı ölçülmesine sebep olacaktır.

3.2.1.3.Sabit Sürat Motorları için Emisyon Standardları

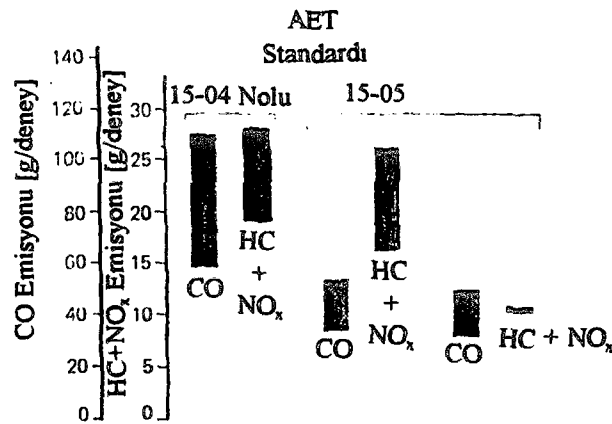
Sabit sürat motorlarından yayılan gaz emisyonlar çoğunlukla ham egzoz numunesi ile belirlenmektedir. Diesel motorları için ABD 'deki yönetmeliklerle, standard koşullara düzeltilmiş egzoz gaz hacminde %15 oksijene ve maksimum 600 ppm azot oksite müsaade edilmektedir.

Azot oksitlerin özellikle belirtilmesindeki amaç;sabit sürat tesislerinin ekonomikliğini etkileyen en önemli faktör oluşlarıdır. Diğer bir deyişle öteki emisyonların çok büyük zorluklarla karşılaşılmadan kontrol edilebilmesidir. Buna karşın fotokimyasal sisin oluşumuna katkısı daha fazla olan azot oksitlerin kontrolü daha zordur.

3.2.2.Avrupa Standardları

3.2.2.1.Hafif Taşıt Motorları için Emisyon standardları

Azami kütlesi 3500 kg veya daha az olan taşıtlar hafif taşıt olarak kabul edilmektedir. Emisyon sınırlandırılmalarının kaynağı AET nin 15 nolu standardıdır. Standard çeşitli değişiklikler görmüş ve en son 04 nolu yönetmeliği yayınlanmıştır. Öncekilere benzemeyen bu standardlar ile hem benzinli ve hemde diesel motorlar aynı kapsama alınmıştır. 03 nolu yönetmelikte öngörülen çevrim çerçevesinde, taşıt 4 km işletilmekte ve tüm egzoz gazları çok büyük bir numune torbasına doldurulmaktadır. İşletme çevrimi tamamlandıktan sonra numune torbasındaki egzoz gazları uygun analiz cihazlarına alınan numuneler yardımıyla analiz edilmektedir. Karbon monoksit, hidrokarbon ve azot oksit gibi önemli bileşenlerin konsantrasyonu bu şekilde bulunmaktadır. Numune torbasındaki gazların hacimlerinin ölçülmesiyle toplam emisyon oranı hesaplanabilmektedir. Bu oran test başına kirletici kütleleri biçiminde belirtilmektedir.



Şekil 3.3 Azami Kütlesi 3500 kg 'a kadar Olan Hafif Taşıt Motorları için AET Egzoz Emisyon Standardları

Görüleceği gibi bu test işlemleri diesel motorlarına tatbik edilecek olursa, yoğunlaşma sebebiyle numune torbasındaki hidrokarbonlarda bir kayıp meydana gelebilecektir. 04 nolu yönetmelik, ABD' deki tescil yönetmeliklerinde tanımlanan benzer bir sabit hacim numune alma sistemi getirmiştir. Şekil 3.3 te AET ülkelerinde geçerli hafif taşıt motorları için emisyon standartları görülmektedir.

3.2.2.2. Ağır Hizmet Motorları için Emisyon Standartları

1984 sonrası modeller için geçerli olmak üzere ağır hizmet diesel motorları için yürürlüğe konan egzoz emisyon standartları tablo 3.2 de görülmektedir. Bu emisyon standardı motorun tezgahta 13 fazlı bir sabit sürat çevrimi ile test edilmesini öngörmektedir. Bu fazlar boşta, nominal ve ara bir süratte %5, %25, %50, %100 yükleme şeklinde olmaktadır. Ölçümler ham egzoz gazlarından yapılmakta ve sonuçlar kw.h veya (bhp.h) başına gram emisyon olarak belirtilmektedir.

Tablo 3.2 Ağır Hizmet Diesel Motorları için AET Egzoz Emisyon Standartları

Model Yılı	HC	CO	NO _x
1984 sonrası	3.5(2.6)	14(10)	18(13.4)

3.2.2.3. Orta Hızlı Motorlar için Emisyon Standartları

Lokomotiflerde kullanılan gücü 200 Hp 'den fazla motorlar için Avrupa'da ayrı yönetmelikler bulunmaktadır. Bu tür motorların test işlemleri bir test tezgahında ve motor belirli dört konumda işletilirken gerçekleştirilmektedir. Ayrıca diesel motorlarla ilgili özel standartlar mevcut değildir. Buna karşın havanın birim hacmindeki kirletici kütlesi olarak müsaade edilen maksimum kirletici konsantrasyonunun belirtildiği çevre standartları bulunmaktadır. Motorlar bu standartları ihlal etmeyecek tarzda işletilmek zorundadır.

3.2.3. Japonya Standartları

3.2.3.1. Taşıt Motorları için Emisyon Standartları

Japonya'da taşıt motorları için emisyon standartları iki tip test yöntemini zorunlu kılmaktadır. Bunlar 10 pozisyonlu sıcak ilk hareketli ve 11 pozisyonlu soğuk ilk hareketli yöntemler olup her iki testte de taşıt şasi dinamometresinde işletilirken gerçekleştirilmektedir. Bu iki test sadece benzinli ve LPG ile çalışan taşıt motorları için geçerlidir. Tablo 3.3 te taşıt motorları için geçerli egzoz emisyon standartları görülmektedir.

Diesel motorlu taşıtlara testin tamamı uygulanmamaktadır. Ancak diesel motorlu taşıtlar yinede test tezgahına konmakta ve altı pozisyonlu bir test uygulanmaktadır. Belirlenmiş altı yükleme

hızında motor işletilmekte ve karbon monoksitin , hidrokarbonların ve azot oksitlerin ham egzoz gazlarındaki konsantrasyonları ölçülmektedir.

Tablo 3.3 Taşıt Motorları için Japonya Egzoz Emisyon Standartları

Kirlenici ve Motor Tipi	Model Yıllarına Göre Standartlar [ppm]				
	1981	1982	1983	1984 ve sonrası	
HC	Direkt püskürtmeli	510	510	510	510
	Önyanma odalı	510	510	510	510
CO	Direkt püskürtmeli	790	790	790	790
	Önyanma odalı	790	790	790	790
NO _x	Direkt püskürtmeli	540	540	540	470
	Önyanma odalı	340	290	290	290

Halen azot oksitlerin emisyon seviyeleri önyanma odalı ve doğrudan püskürtmeli motorlar için ayrı ayrı belirtilmektedir. Bu iki yanma sistemindeki emisyon özelliklerinin farklı karakterde olması bunun başlıca nedenidir. Japonya 'da taşıtlarda kullanılan tüm motor için aynı test işlemi ve standartları geçerli olup, 10 fazlı bir çevrim öngörülmektedir.

3.2.3.2.Sabit Sürat Motorları için Emisyon Standartları

Kükürt dioksit emisyonları kontrol edilmektedir. Bununla birlikte standartlar ve özgün donanımı Japonyanın özel bölgeleri için geçerlidir. Kükürt oksitlerin havadaki maksimum konsantrasyonunu 0.03 ppm in altında tutmak hedef olarak belirlenmiştir. Kükürt dioksit, karbon monoksit, azot dioksit ve partikül madde konsantrasyonlarını kapsayan genel çevresel değerler standardı da mevcuttur. Bu standartlar doğal olarak tüm taşıtları, denizdeki ve karadaki sabit emisyon kaynaklarını kapsamaktadır.

3.2.4.Motorlar için Is Emisyon Standartları

Motor egzozundaki is olgusu, hatalı işletim veya ayarsızlıklar sonucu oluşan kötü yanmanın bir belirtisi olarak uzun bir süredir incelenmektedir. Ancak hava kirliliğinin çevreye olan etkisinin giderek artmasıyla son yıllarda, tüm dünyada is emisyonlarına gittikçe artan sıkı yasal sınırlamalar getirilmektedir.

3.2.4.1. Görünürlük yada Genel Kabul Kriteri

İs emisyonlarını kontrol altında tutma çabalarında yasal düzenlemelere ve subjektif izlenimlere güvenmenin yeterli olmayacağı açıktır. İsin objektif olarak ifade edilebilmesi için görünürlük ya da (genel kabul kriteri) mertebesinin cihaz kullanılarak ölçülmesine ihtiyaç vardır. Bu kısımda böyle bir kriter tanıtılmaktadır.

Diesel motorlara kamuoyunun itirazının mertebesi egzoz isinin görünürlüğünün derecesine bağlı kalmaktadır. Bu itirazı sayısal bir kritere dönüştürme ihtiyacını gidermek için İngiltere'de Motor Sanayii Araştırma Kurumu (MIRA) ve İngiliz Sanayii ve Ticaret Bakanlığının Warren Spring Laboratuvarında değişik tipte bir çok taşıt motoru sabit hız ve tam yük koşullarında test edilmişlerdir. Bu testler tarafsız halk jürileri önünde gerçekleştirilmiş ve "Kabul edilebilir" ve "Kabul edilemez" egzoz is emisyonları belirlenmiştir.

Aynı anda araçlardaki Hartridge is ölçerler ile is yoğunluğu (optik direnç) ölçülmüştür. Kabul edilebilir is yoğunluğu ile motor büyüklüğü ve hızı arasında basit bir bağıntı elde edilmiştir. (Lilly, 1987)

$$K = C \cdot \sqrt{Q_n} \quad (3.3)$$

Burada :

- | | | |
|-------------------|--|---------------------|
| [K] | Kabul edilebilirlik kriteri | [Boyutsuz] |
| [C] | Karbon (kirletici) konsantrasyonu | [g/m ³] |
| [Q _n] | Egzoz gazları nominal debisi (birim zamanda süpürülen hacim) [lt/s] yi göstermektedir. | |

K=3 için gözlemcilerin %75 i, K=2 için %50 si ve K=1.5 için %25 i egzoz isini kabul edilemez bulmuşlardır.

İngiliz Standardları Enstitüsünden bir komite tarafından gerçekleştirilen benzer bir deneyle otomobil motorları için is standardı tesbiti aynı sonuçları ortaya koymuştur. Keza, MIRA ve Warren Spring Laboratuvarı testleri günümüz taşıt motorları için tekrarlamışlardır. Bu çalışma sonucunda Q_n de çok az düzeltme gerektiği tespit edilmiştir.

3.2.4.2. İs Emisyonu Test Metodları

Endüstri tesislerindeki motorlarda maksimum dizayn devrindeki, tam yükteki ve müsaade edilen herhangi bir aşırı yük konumundaki is emisyonlarını ölçmek yeterli olmaktadır. Bu testler motor piyasaya sürülmeden imalatçı firma tarafından ya da tesisteki yerine konduktan sonra, kullanıcılar tarafından işletme koşullarına uygun olarak gerçekleştirilmektedir. BS 2742 ve BS 2811 nolu İngiliz standardlarına uygun olarak yapılan optik direnç esaslı is ölçümlerinde Ringelman ölçeği kullanılmaktadır.

Taşıt motorları için ise durum biraz daha karmaşıktır. Motor üreticileri normal performans testleri sırasında tekrar edilebilir, tutarlı sonuçları garanti eden bir metodun geliştirilmesini istemektedirler. Bu en basit şekliyle motorun bir dinamometre üzerinde sabit koşullar altındaki karakteristik davranışlarının (moment, güç, yakıt sarfiyatı ve egzoz gazlarının optik direnci gibi) çalışma aralığını kapsayacak sayıda değişik hızlarda belirlenmesini gerektirmektedir. Çalışma aralığına uygun motor hızları; erişilebilecek maksimum hızdan, maksimum momentin elde edildiği hıza kadardır.

Taşıt motorlarının çevre yasalarına uyumunu belirleyen böylesi testler, şasi dinamometresi gibi pahalı donanımlar kullanılmasını zorunlu kılmasına ilaveten pratik te değildir. Çok daha çabuk ve basit bir denetimi yeğlenmektedir. "Serbest Hızlanma Testi" adı verilen böyle bir test Belçika otoritelerince kabul edilmektedir. Bu test için motor tam ısınmış ve rölantide çalışırken is ölçer egzoz çıkış borusuna bağlı olarak ölçüm yapmaktadır. Bu esnada aniden gaz pedalına basılarak tam gaza çıkılmaktadır. Bir buçuk saniye içinde de maksimum hıza çıkılmakta ve birkaç saniye bu durumda kalınmaktadır. Bu sıradaki is değerleri kaydedilmekte ve motor yeniden rölanti konumuna getirilmektedir. Bu işlemler birbirini izleyen \pm %2 hasaslukta üç optik direnç elde edilinceye kadar tekrar edilmektedir. Bu ölçümlerin ortalaması o motorun is emisyon değeri olarak kabul edilmektedir.

Bu testin taşıt motorlarının gerçek çalışma koşulları ile hiç bir benzerliği olmadığı açıktır. Bu sebepten teknik değerine kuşku ile bakılmaktadır. Özellikle Avrupa 'da kullanılan optik direnç esaslı is ölçerlerle bu test gerçekleştirildiğinde sürenin çok kısa olması nedeniyle yeterli hassasiyette ölçüm yapılamamaktadır. MIRA ve benzeri kuruluşlar tarafından yapılan araştırmalar değişik motorlara tatbik edilen serbest hızlanma testinden elde edilen is ölçüm sonuçlarının aynı motorların sabit koşullardaki güç eğrisi ile hiç bir ilişkisinin bulunmadığını göstermektedir. Değişik tip is ölçerlerle yapılan serbest hızlanma testlerinde de herhangi bir bağıntı elde edilememektedir.

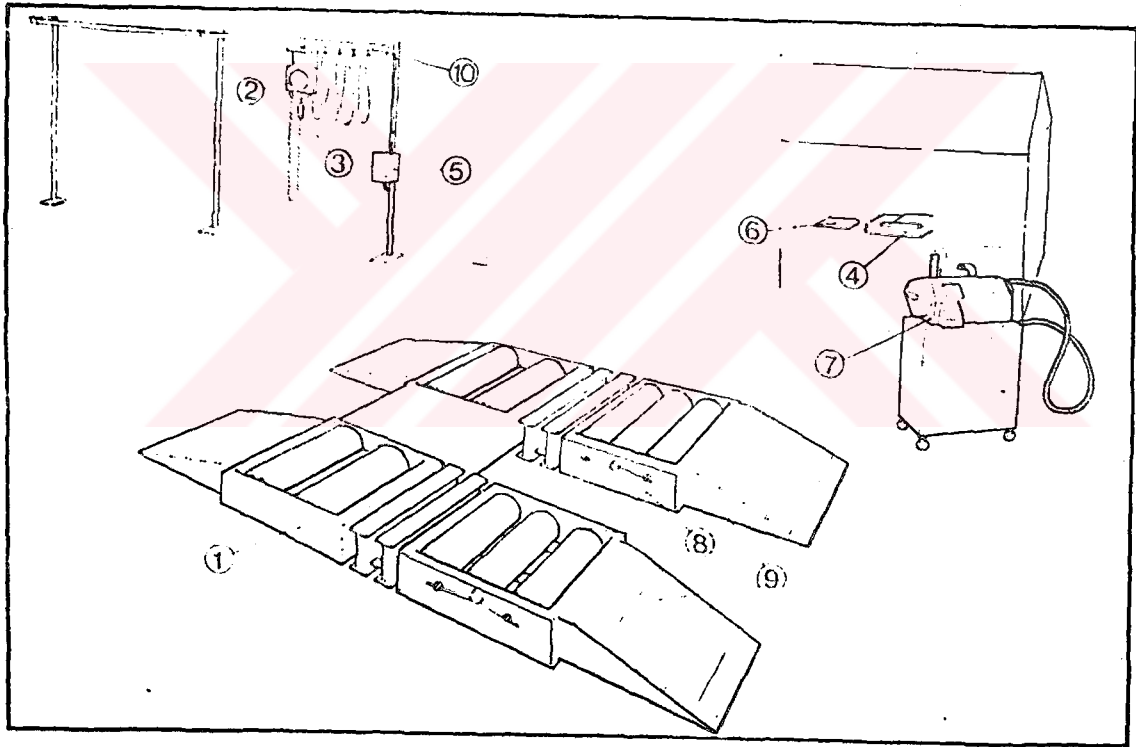
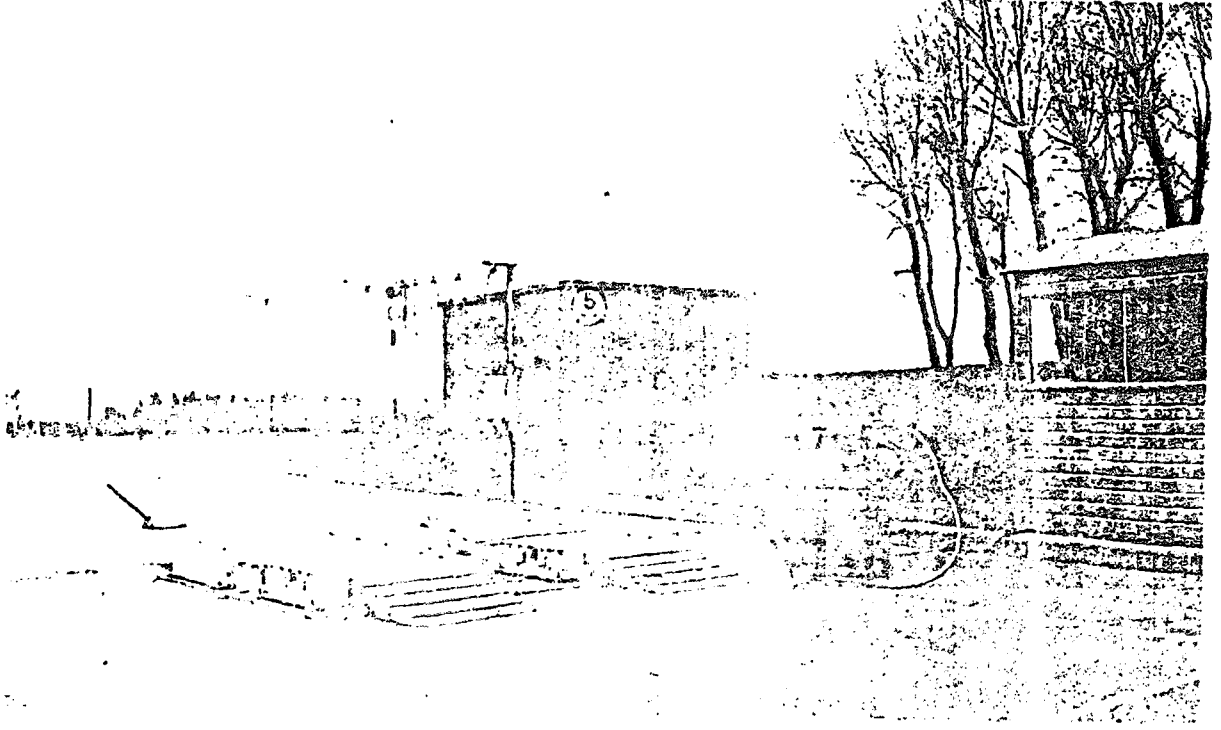
Tam hıza erişme süresi (rölanti devrinden maksimum devre erişme süresi) 15 saniyeyi aştığında maksimum is değerleri ile hızlanma süresi arasında bir ilişki kurulabilmektedir. (Lilly, 1987) Bu deney sadece doğal emişli dört stroklu motorlara tatbik edilmektedir.

İsveç ve Danimarka 'daki servis testlerinde MIRA 'nın kontrollü hızlanma koşullarının büyük ölçüde yerine getirildiği bir yolüstü testi uygulanmaktadır. Tam yüklü taşıt hızının 40-50 km ile sınırlayan vitesin kullanıldığı bu test esnasında pedal tam gaz pozisyonuna alınarak maksimum devrin %50 sinden %100 ü ne çıkılmaktadır. Hartridge is ölçer kullanılarak bu sürat kademeleri içinde ölçülen en yüksek değer kriter olarak alınmaktadır. Bu test sırasında Bosch tipi (ieke yardımıyla is ölçen) is ölçerlerin kullanımına da izin verilmektedir. Bu durumda ölçüm numuneleri maksimum devrin %50 sinde ve %75 inde alınmakta ve en koyulaşmış filitre kağıdı kriter olarak kabul edilmektedir. Normal karayollarında böyle bir testin kullanımı bir çok problemi beraberinde getirmektedir. Boş bir yolun gerekmesi bir kenara bırakılsa bile bir çok ülkede mevzuat ve güvenlik problemleri ortaya çıkmaktadır. Ayrıca Hartridge is ölçeri kullanıldığında cihazın büyüklüğü ve biri ışın kaynağı diğeri ise havalandırma

pompası için olmak üzere iki adet akü gerektirmesi yerleşim problemi de meydana getirmektedir. İngiltere 'de yapılan çalışmalar sonucunda güvenilir bir denetim testi geliştirilmiştir. (Lilly,1987) Bu bir yükleme testi olup taşıtın hareket iletilen tekerlekleri, dönebilen bir silindir düzeneğine yerleştirilmektedir. Daha sonra motor devri sınırlandırılmakta ve uygun viteste çalıştırılarak maksimum motor devrinde tekerlek süratünün 30-40 mil/h (48-64 km/h) i aşmaması sağlanmaktadır. Tam gaz pozisyonunda, taşıt frenleriyle hız azaltılarak düzgün bir şekilde maksimum devrin %40 ı mertebesine 10 saniyede inilmektedir. Bir x-y grafik çizerle is seviyeleri, % devir sayısına uygun olarak kaydedilmektedir. Daha sonra bu kaydedilen değerler kabul kriteri ile mukayese edilmektedir. Bu test işlemleri tutarlılık açısından üç kez tekrar edilmektedir.

Şekil 3.4 te ağır taşıtlar için kurulan bir test istasyonu nisbeten pahalı olmayan donanımlarının genel yerleşimi görülmektedir. Burada görülmekte olan yükleme silindirleri (1),x-y grafik çizeri (4) ve yardımcı takometreye (2) sürat sinyali sağlamaktadır. Hartridge Mk.III is ölçeri ve güç kaynağı (7) grafik çizerin çıktılarını toplamakta ve yeniden düzenlenmiş (modified) bir numune basınç kontrol elemanı ise grafik çizere gerekli sinyali sağlamaktadır. Sürücü yardımcı cihazlarına % devir sayısına kalibre edilmiş ibreli bir takometre ve yavaşlama oranını grafik çizerden kontroleden ışıklı bir ikaz lambası dahil edilmektedir. Üzerinde ölçüm aralığını değiştirme mandalı ve motor maksimum hızda çalışırken %100 değerine ayarlamakta kullanılan bir düğme bulunan el kumandası (3) bir diğer elemandır. Ayrıca test işlemi sırasında grafik çizeri devreye sokacak bir uzaktan kontrol elemanında bulunmaktadır. Grafik çizerde mevcut iki konumlu bir anahtar ile izin verilen maksimum yavaşlama oranı aşırı doldurmalı motorlar için saniyede hızının %10 u, doğal emişli motorlar için ise saniyede hızının %15 i olmaktadır. Deney süresince herhangi bir anda bu uygun yavaşlama oranları aşırsa ikaz lambası sönmekte ve test başarısız olmaktadır. Hızı %100 den %40 a yavaşlatma süresi 15 saniyeyi aşarsa ışık yanıp sönmekle ikaz etmekte ve grafik çizerin kalemi yukarı kalkmaktadır.Doğru olarak kabul edilen bir testte motor devir sayısı %40 ının altına düştüğünde grafik çizerin kalemi kalkmaktadır. Grafik çizerin kaleminin kalktığı her durumda diğer kayıtlar için tekrar başlama konumuna gelmektedir. Motorun test işlemi için egzoz numune basıncı, kontrol valfi ile 65-75 mmss na ayarlanmaktadır. Ayrıca is ölçer tüpündeki gaz sıcaklığının 70-140° C arasında olması sağlanmaktadır. Bu işlem is ölçer tüpü ısıtıcısı kullanılarak temin edilmektedir.

Yükleme silindirlerine ilaveten iki dingiline de hareket iletilen kamyonların testinde kullanılan taşıyıcı silindirler (8) gerekli olmadığı durumlarda kilitlenebilmektedir. Bu test işlemlerinde yasaların etkisini görmek mümkündür. Ülkeler kendi koşullarına uygun metodları geliştirmektedir. ABD 'de federal hükümet tarafından maksimum is emisyonunun tespitinde kullanılması öngörülen bir taşıt motoru test yöntemi de mevcuttur.(Lilly,1987) Bu test yöntemi motorun stoptan ilk iki vitese geçerek maksimum hıza getirilmesini takip eden maksimum tam yük konumundan maksimum tork konumuna erişilmesini içermektedir.Bu seri işletim



- 1 Yüklem Donanımı
2 Yardımcı Takometre
3 El Kumandası
4 Grafik Çizme Cihazı
5 Şalter

- 6 Test Kayıt Cihazı
7 Hartridge Mk. III Is Ölçeri ve Güç Kaynağı
8 Taşıyıcı Silindirler
9 Rampa
10 Askı

Şekil 3.4 İngilterede Kullanılan Yükleme Testi Donanımı

üç kez tekrar edilmekte, optik direnç, motor devir sayısı ve tork değerleri kesintisiz şekilde kaydedilmektedir. Bu test yöntemi tüm egzozan ölçüm yapan USPHS veya Celesco tipi optik direnç esaslı is ölçerlerin kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Testin her fazındaki is değerini belirlemek için kayıtlar yarım saniyelik zaman dilimlerine bölünmekte ve gerekli kriterin belirlenmesi için her çevrimdeki en yüksek 15 is değerinin aritmetik ortalaması alınmaktadır. Hızlanma ve yükleme pozisyonlarının maksimum is değerlerinin belirlenmesi için ara bir devir sayısındaki (bu maksimum tork devir sayısı veya maksimum motor devir sayısının %60 ından hangisi fazla ise o devir sayısı olmaktadır.) is değerinin maksimum is değerlerine ilave edilmesi ABD Otomotiv Mühendisleri Birliğince (Society of Automotive Engineers) pratik bir öneri olarak ortaya konmuştur. (Lilly, 1987)

32.4.3. Tipik İş Standardları

Nahoş kokusu ve aşırı isli egzozun görüşü tehlikeli şekilde azaltacağı korkusu, nisbeten zararsız olan is emisyonlarına da tepki gösterilmesine neden olmaktadır. Bundan dolayı motorlardan kaynaklanan is emisyonlarının kontrol altına alınması için bir çok sanayileşmiş ülkede değişik yasal düzenlemeler ortaya konulmakta, yürürlükteki endüstri yönetmeliklerine ilaveler yapılmakta, test metodları ve ölçüm cihazları geliştirilmektedir.

3.2.4.4. Taşıt Motorları için İş Standardları

Taşıt motorlarının is emisyonları değişken ve kimi zamanda geçici karakterde olmaktadır. Bu sebepten sanayileşmiş ülkelerdeki standartlarda çok çeşitli gelişmeler meydana gelmektedir. Bu standartlar, serbest hızlanma testi gibi basit kabul deneylerinden özenle hazırlanmış, kalite kontrol şartlarını da içeren testlere kadar genişlemektedir. Avrupa ve ABD 'de tutarlılığı kanıtlanmış test yöntemleri kullanılmakta ve problemlerin çözümünde mukayese ve örnekleme metodu benimsenmektedir.

Avrupa 'daki genel yaklaşımlara paralel olarak 1967 yılında ABD 'de yayınlanan is standartları bi tip deneyini zorunlu kılmıştır. Bu tip deneyi motorun tam yükünde, maksimum devir sayısında ve maksimum devir sayısının %45 i (ya da 1000 dev./dak. dan hangisi büyük ise) kademelerinde, sabit koşullarda altı noktadan ölçüm yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Aynı zamanda egzoz is yoğunluğunun; $K=2$ alınarak $C\sqrt{G} = K$ formülünden hesaplanan C değerinden daha düşük olması istenmektedir. Motor devir sayısına sınırlama getirilmesi Avrupa 'da kullanımda bulunan taşıtların denetimlerinden sonra ilave edilmiştir. Çok çeşitli koşullar altında gerçekleştirilen bu denetimler belirlenen bu hız kademeleri dışında motorların son derece nadiren tam gaz pozisyonunda işletildiğini göstermiştir. K için seçilen değer isin görünürlük kabul derecesinin yalnızca %50 sine isabet etmesine karşın, tüm dünyada maksimum is emisyonu maksimum motor devir sayısında ya da maksimum tork devir sayısında olduğu

kabul edilmektedir. Test kademeleri dışında kalan diğer bütün hızlarda is değeri gerçektende daha düşüktür. Şehir koşulları dikkate alındığında küçük strok hacimli motorların taksi v.b. taşıt olarak kullanımlarında birim zamanda süpürülen hacim 42lt/s nin altında ise maksimum is emisyonu; $k=2 \text{ m}^{-2}$ (Hartridge ölçeğinde 59.5 islilik) olacak şekilde sınırlandırılmaktadır. Birim zamanda süpürülen hacim 200 lt/s nin üstünde ise maksimum is emisyonu; $k=0.93 \text{ m}^{-1}$ (Hartridge ölçeğinde 33 islilik) ile sınırlandırılmaktadır.

Ayrıca motorun performansı; motor belirli bir işletme çevriminde çalışırken her biri 10 ar saatlik 10 periyotlardan oluşan (toplam 100 saatlik) bir test işleminin başında ve sonunda tespit edilmektedir. Buradaki işletme çevriminde motor belirli sürelerde tam yükte ve boşa-maksimum devir sayısında, tam yükte-maksimum tork devir sayısında ve 1/3 yükte-maksimum devir sayısında çalıştırılmaktadır. Son performans testinde motorun gücü ve özgül yakıt sarfiyatında %5 den daha fazla bir sapmaya müsaade edilmemekte ve isin belirlenen sınırların altında kalması istenmektedir. Buna ilaveten 100 saatlik test sırasında güçte, birbirini takip eden en fazla iki ölçümde %5 sapmaya izin verilmektedir. Tam yükte çalışma periyotlarının en fazla birbirini izleyen ikisinde is sınırlarının aşılmasına müsaade edilmektedir.

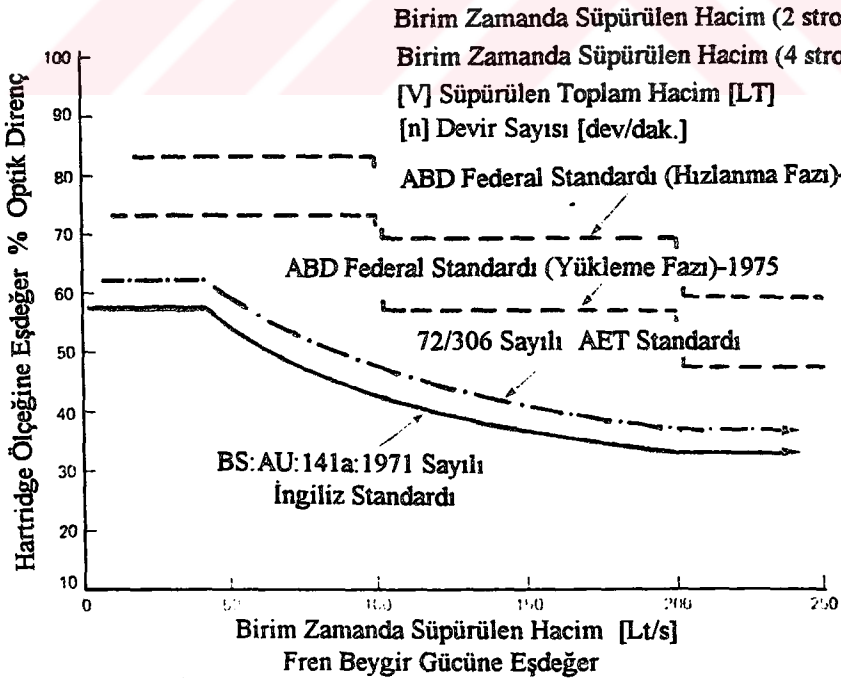
İngiliz standartlarında uygunluk ruhsatı için üreticilerin aynı seriden üç motoru test için teslim etmeleri gerekmektedir. Bu üç motordan birine Enstitü uzmanlarınca tip testi uygulanmaktadır. Bu çalışma için, motorlar tamamen rastgele olarak seçilmektedir. Daha sonra seriden bir diğer motora uygunluk testi tatbik edilmektedir. Bu test başlıca performans koşullarına karşılık gelen bir test olmaktadır.

Avrupa Topluluğunda bu standartlara paralel çalışmalar ECE 24 nolu standardın hazırlanmasıyla sonuçlanmıştır. Bu standard AET tarafından hemen hemen hiç bir değişikliğe uğratılmadan 72/306/EEC sayılı konsey direktifi olarak kabul edilmiştir. Tip ve uygunluk testleri İngiliz standardında olduğu gibidir. Elde edilen güç ile is değerinin kaydedildiği maksimum dizayn devir sayısının %45-%100 aralığında sabit koşullarda çalıştırılmaktadır. Bununla birlikte İngiliz standartlarında öngörülen 100 saatlik süreklilik testi gerekli bulunmamıştır.

Taşıt motor emisyonlarında koşulların önemi büyük olduğundan, testin işletmeye eşdeğer koşullarda gerçekleştirilmesi zorunlu olmaktadır. İngiliz standartlarında is emisyon sınır değerleri genel kabul kriteri kullanılarak belirlenmektedir. Ancak standard atmosfer koşullarının İngiliz standard atmosfer koşullarından (barometrik basınç 760 mmHg yerine 750 mmHg, hava sıcaklığı olarak 20° C yerine 25° C alınmakta) daha elverişsiz olması nedeniyle bu değerler biraz yüksek olmaktadır. Bu sebepten İngiliz standartlarında dönüşüm için düzeltme faktörleri belirtilmektedir. Nitekim, aynı is yoğunluğu değerleri ve birim zamanda süpürülen hacim formülü kullanılmasına karşın K değeri olarak 2.3 alınmaktadır. İs yoğunluğunun sabit üst sınırı; birim zamanda süpürülen hacmi 42 lt/s den az olan

motorlar için 2.26 m^{-1} (Hartridge ölçeğinde 62 islilik) ve 200 lt/s den fazla olan motorlar için ise 1.065 m (Hartridge ölçeğinde 37 islilik) kabul edilmektedir.

Denetim maksadıyla serbest hızlanma testi kullanılan ülkelerde, bir referans değer elde etmek için test sabit koşullarda tatbik edilmektedir. Işık absorpsiyon katsayısının gerçek değeri ölçümle bulunan değere 0.5 m^{-1} ilave edilerek ya da sabit koşullardaki birim zamanda süpürülen hacim ile bağlantılı bir sayı ile çarpılarak düzeltilmektedir. Bu şekilde düzeltilen iki değerden daha düşük olanı tüm taşıt motor tiplerinde geçerli değer olarak kabul edilmektedir. AET, is emisyonları kontrol altına alınması gerekli araçlar kapsamına tekerlekli tarım araçlarını ve ormancılıkta kullanılan traktörleride dahil etmiştir. Bu amaçla yayınlanan 77/537/EEC sayılı direktif, taşıt motorlarına getirilen is emisyon sınır değerlerinin aynen uygulanmasını zorunlu kılmakta, sadece hız aralığını maksimum devir sayısı ile bu devir sayısının %35 i olmasını gerektirmektedir. Bundan başka bu devir aralığında yalnızca tam yükün %80 nindeki is yoğunluğunun belirlenmesi öngörülmektedir. (Lilly,1987) Test işlemindeki bu değişiklikler işletme şartlarının incelenmesinde kullanılan cihazlara tatbik edilen ışıktaki değişikliğe yol açmaktadır. ABD standartlarında en önemli husus motorların işletme koşullarına eşdeğer test işlemlerinin hazırlanması olmaktadır. Ağır taşıt motorları için; azami kütlesi 8500lb (3850kg) den fazla olan yük taşıt motorları ya da 12 kişiden fazla insan taşımak üzere dizayn edilen taşıt motorları gibi sınıflandırmalara uygun farklı is emisyon sınır değerleri tanımlanmaktadır. Hafif taşıt motorlarından 1981 modelden sonrasının partikül emisyonları da sınırlandırılmıştır. Ağır hizmet motorlarının, motor serilerinin uygunluk ruhsatı için gerekli tüm işlemler Çevre Koruma Kurumu (EPA-Environmental Protect Agency)



Şekil 3.5 İs Emisyonu Sınır Değerleri (İngiltere, AET, ABD Federal)

tarafından, Federal Tescil Kurumuna (Federal Register) yaptırılmaktadır. Kullanılan test yönteminde; optik direnç hızlanma fazında %20, yükleme fazında %15, herhangi bir fazda maksimum %50 ile sınırlandırılmıştır. Optik direnç esaslı tüm egzostan-egzos çıkış borusu ucundan ölçüm yapan USPHS veya eşdeğer bir is ölçer kullanılmaktadır. Motor beygir gücüne bağlı olarak 600 mm lik dikey egzoz çıkış borusu çapının belirlenmesinde (motor büyüklüğünün isin görünürlüğüne etkisiyle) biraz artacağı dikkate alınmaktadır. Böylece 101 Hp den küçük motorlar, egzoz giriş kısmı çapı 51 mm olan cihazlarla test edilmekte, 300 Hp ye kadar her 100 Hp artış için bu çapın 25 mm artırılması öngörülmektedir. 301 Hp ve daha fazlası için bu çapın üst sınırı 127 mm olmaktadır.

Şekil 3.5 te ABD 'de, AET ve İngiltere'de geçerli is emisyon değerleri arasındaki kıyaslama görülmektedir. Burada USPHS tipi is ölçerden elde edilen is değerleri "Beer-Lambert Kanunu" kullanılarak Hartridge ölçeğindeki eşdeğerine düzeltilmiştir. ABD standartlarında en düşük is sınır değeri yükleme fazında olmasına rağmen yinede AET standartlarından bir hayli yüksektir. Is emisyon sınırları 100 Hp lik dilimler halinde verilmekte olup ara güç değerleri için belirsiz olmaktadır. 99 Hp lik motor ile 101 hp lik motorun tabi olduğu emisyon sınırı farklı olacağından bu durum motor üreticilerine bir avantaj sağlamaktadır.

ABD standartlarının katılığı tüm test işlemine olduğu kadar gerçek is sınırlarına çok fazla olmasa da yansımıştır. Bir motor serisinin is emisyonu uygunluk ruhsatı ve üretim izninin alınması en azından aynı seriden iki motorun test için teslimini gerektirmektedir. "Emisyon Referansları"nın elde edilmesi için her biri serinin özgün emisyon kontrol sistemini içeren bu motorlar is testlerine tabi tutulmaktadır. Bu is testleri motorun çalıştırılmasından hemen sonra, 125 saatlik maksimum dizayn devir sayısının %95-%100 ü arasında işletilmesinden sonra ve maksimum dizayn gücünün minimum %95 i yüklenerek gerçekleştirilmektedir. Bunlara ilaveten "Süreklilik Referansı"nın elde edilmesi için motorlardan biri 1000 saat aynı koşullarda işletilmekte ve 125 saatlik dilimlerde is testi çevrimine tabi tutulmaktadır. Her çevrimde bu testlerden elde edilen bilgiler, zaman ve optimum performans eğrisi arasındaki ilişkiyi belirlemek üzere kaydedilmektedir. 125 saatlik ve 1000 saatlik testlerden elde edilen is değerlerinin enterpolasyonuyla çizilen bu eğrilerden her bir işletme safhasındaki is değerleri belirlenebilmektedir. Bu değerler tespit edilen sınır değerlerin altında ise 100 saatlik ve 125 saatlik test sonuçları arasındaki farklardan "sapma faktörleri" belirlenmektedir. Daha sonra bu değerler emisyon referans motorlarından 125 saatlik testlerde elde edilen is değerleri ile toplanmaktadır. Her bir safha için elde edilen son değerlerin tespit ve tastik edilen sınır değerlerde kalması zorunlu olmaktadır.

Bu standartlarla yalnızca test işlemleri ve is emisyon sınır değerleri belirlenmemekte, hava sıcaklığı ve basıncı, hava giriş basıncı ve egzoz karşı basıncı gibi deney koşullarına da sınırlamalar getirilmektedir. Testlerde kullanılan tüm cihazların ve egzoz sistemi ve şasi dinamometresi gibi donanımların kalibrasyon yöntemleri ve teknik özellikleri verilmektedir. Süreklilik testi esnasında tam

manasıyla sınırlı düzeyde bir bakıma müsaade edilmektedir. Tespit edilen süreklilik testinin temel özelliklerinin katı sınırlamalarına uygun olarak is testleri için iki çeşit yakıt kullanılmaktadır.

Yasalar ruhsat uygulamalarında EPA' nın yetkili olduğunu, tüm test donanımları ve cihazlarının aynı kurum tarafından onaylanması gerektiğini belirtmektedir. Test programında ve tespit edilen muhafaza işlemlerinde herhangi bir değişikliğin bildirilmesi zorunludur. Test işlemi onaylanıncaya kadar beklenmekte ve testte elde edilen bilgilerin her safhası ; örneğin, sonuçlar üzerinde etkisi bulunmamasına rağmen is ölçümlerinin alındığı saatler bile belirtilmektedir. EPA'nın teftiş kurullarının denetimi için ruhsata tabi motorların üretimini kapsayan kayıtların muhafaza ve tedariki içinde kuralları bulunmaktadır. Genelde üretici firma tesislerinde testlerin yapılmasına izin verilirken sonradan, emisyon veya süreklilik referansları için EPA kendi tesislerinde (Ann Arbor test tesisleri - Michigan) test edilmek üzere motor talep edebilmektedir. Bundan sonra, testlerde arzu edilen yeterli düzeyi bulunamaz veya üretilen motorlar gerekli standartları sağlayamaz ise ruhsat iptal edilebilmekte yada test için daha başka motorların EPA'ya teslim edilmesi istenmektedir.

Kullanılan uygunluk denetimleri daha öncedende belirtildiği gibi eyaletten eyalete farklı olabilmektedir. Denetim, basit bir Ringelman ölçeği kullanılarak kolay şekilde yapılabildiği gibi daha tatmin edici olarak USPHS film şeridi yada eş değer bir saydam fotoğrafik koyuluk ölçeği kullanılarak ta yapılabilmektedir. Diğer taraftan test işlemi; serbest hızlanma yöntemi ya da (is yoğunluğunun egzoz çıkış borusu ucuna bağlanarak ölçüldüğü) optik direnç esaslı taşınabilir bir is ölçer yapımla yapılmaktadır. Son olarak test işlemi; motor yükteyken hızlanma ve seyir koşullarını kapsayacak şekilde bir şasi dinamometresinde gerçekleştirilebilmektedir.

Kuzey Amerika ve AET dışındaki ülkelerin bu konudaki yaklaşımları farklıdır. Söz gelimi İsveç'te önceki kısımlarda anlatılan kontrollu hızlanma testi kullanılmakta olup, is emisyon sınır değerleri yük taşıtları için Hartridge ölçeğiyle 35 islilik (veya Bosch ölçeğinde 3.5) otobüs motorları için Hartridge ölçeğiyle 25 islilik (veya Bosch ölçeğinde 2.5) alınmaktadır. Japonya'da JISD1101 sayılı standarda uygun olarak sabit koşullar testi kullanılmakta olup, is emisyon sınır değerleri maksimum dizayn devir sayılarının %40-%60 ı için Bosch ölçeğinde 5 alınmaktadır. Bu testi; bir serbest hızlanma testi izlemektedir. Öte yandan Avustralya'da 24 no'lu AET standardına uygun 30 no'lu standard kullanılırken Kanada'da A.B.D.federal standartları yürürlüktedir.

3.2.4.5. Taşıtlar Dışındaki Motor İis Standartları

Bu standartlar sabit tesislerde kullanılanlara ilaveten lokomotiflerde ve gemilerde ana ve yardımcı makina sistemlerinde kullanılan motorlar ile bilhassa liman içinde kullanılan küçük tekne motorlarını kapsamaktadır.

Nispeten daha az olan büyük motorlar için her ülkede yasal sınırlamalar getirilmektedir. Burada amaç hemen hemen tüm ülkelerdeki yasal düzenlemelerde yer alan temiz hava kalitesi

yönetmeliğinin is emisyon sınır değerlerini sağlamaktır. Bu standartlar zararlı ve rahatsız edici gazların yada genel konforu bozması muhtemel " Siyah İs" emisyonunu yasaklamaktadır.

Yasalar ekseriya yerel olarak uygulanmakta ve insiyatif çoğunlukla trafik polisi veya sabit tesisler için müfettişlerde olmaktadır. Bu sebepten tüm emisyon değerleri oldukça kabaca tanımlanmış olup seviyelere uyulması zorunludur.

İngiltere'de genel olarak Ringelman ölçeğine göre 2 numaradan (Hartridge ölçeğinde 70, Bosch ölçeğinde 5 numara isliliğe eşdeğer) sonrası "Siyah İs" olarak kabul edilmektedir. Sabit tesislerde veya gemilerde sabit koşullar altındaki yapılan emisyon muhtemelen bundan oldukça yüksektir. A.B.D.'deki belirli eyaletlerin kendi is yönetmelikleri mevcut olup bunların çoğunluğunda is seviyesinin sabit koşullar altında Ringelman ölçeğine göre 1 numarayı aşmaması öngörülmektedir.

Liman içinde kullanılan deniz motorlarının hava kalitesi yönetmeliklerini ihlal etmesi mümkün görülmemektedir. Bununla birlikte, kimi yerel yetkililerin limanlarda motorların yükleme ile yüksüzleştirme periyodlarında ve jeneratör motorlarının düşük yüklerde çalıştırılmaları sırasında meydana gelebilen beyaz isin miktarı konusunda tereddüt etmeleri dikkat edilecek ilginç bir noktadır.

A.B.D.'deki bazı eyaletlerde lokomotif motorları için sabit koşullardaki ve hızlanma esnasındaki (geçiş hallerinde) is'in kontrolü konusunda da yönetmelikler mevcuttur. Bu son yönetmeliğe aşırı doldurmalı motorların turboşarj hızlarına erişinceye kadar yaydıkları aşırı ise olan itirazlar yol açmaktadır. Kanada da benzer kontrol sistemleri mevcuttur.

Avrupa' da ise benzer kontroller hazırlanmaktadır. The Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) adlı kuruluş araştırma ve deney laboratuvarına (ORE) hazırlattığı standartları üyesi olan ülkelere yayınlamaktadır. Bu standartlar, sabit koşullar altında hava debisi 1 kg./s ve daha fazla olan motorlar için Bosch ölçeğinde 1.6 numara is sınır kabul etmektedir. Bunun altındaki hava debilerinde ise 0.2 kg/s hava debisi için Bosch ölçeğinde 2.5 numaraya kadar is artışına müsaade etmektedir.

3.3.TÜRKİYE STANDARLARI

Motor emisyonları için yasal sınırlamalar Türkiye'de 2872 sayılı ve 9 Ağustos 1983 tarihli Çevre Kanununda öngörülen amaç ve ilkeler doğrultusunda hazırlanan ve 2 Kasım 1986 tarihinde 19269 sayılı Resmi Gazete ile yürürlüğe konan Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği ile getirilmiştir. Bu yönetmelikte 17 tür hava kirleticisi emisyon sınır değerleri ile birlikte belirtilmiştir. Ayrıca hava kirliliği seviyesinin ölçüm ve tespiti için kabul edilen yöntem de anlatılmaktadır. Kirletici vasfı yüksek tesisler için emisyon sınır değerleri ayrı ayrı belirtilmiştir. Ayrıca motorlu karayolu taşıtları için emisyon sınır değerleri ve test yöntemlerinin belirlenmesi görevi Türk Standartları Enstitüsü'ne verilmiştir.

Türk Standartları Enstitüsü tarafından motorlu karayolu taşıtlarının gaz kirleticileri için emisyon sınır değerleri (TS 4236) ve benzin veya diesel motorlarından kirletici gazların emisyonuna

göre taşıtların tip ve kabul deneyleri (TS 5648) adlarında hazırlanan standardlar 28 Mart 1988 tarihinde yayınlanmıştır. Bu standartlarda taşıt motorlarından gaz şeklindeki kirletici olarak yalnızca karbon monoksit, hidrokarbon ve azot oksitler varsayılmış ve emisyon sınır değerleri belirtilmiştir.

3.3.1. Tip ve Kabul Deneyleri (TS 5648)

Motorlu karayolu taşıtlarının çevreye yaydıkları gaz kirleticilerin ölçülmesi amacıyla Türk Standardları Enstitüsünce yayınlanan TS 5648 no'lu standardta taşıtın dahil olduğu kütle sınıfına göre aşağıda belirtilen farklı tipte deneylere tabi tutulması öngörülmektedir. Bu deneyler için taşıtın en az 3000 km.yol katetmiş olması gerekmektedir.

Bujili-benzin motorlu taşıtların tip I, tip II ve tip III deneylerine tabi tutulması, diesel motorlu taşıtların ise yalnızca tip I deneyiyle test edilmesi gerekmektedir. Bu deneylerden tip I deneyi ile; soğuk ilk hareketten sonra gaz kirleticilerin ortalama emisyonunun ölçülmesine, tip II deneyi ile; boşta çalışma (rölanti) hızındaki karbon monoksit emisyonunun belirlenmesine, tip III deneyi ile; krank karteri gazlarının emisyonunun incelenmesine çalışılmaktadır. Deneyler esnasında kullanılacak benzin ve motorinin özellikleri aynı standardta belirtilmiştir.

3.3.1.1. Tip I Deneyi

Bu deney kütlesi azami 3500 kg.olan taşıtlara uygulanmaktadır. Daha öncedende belirtildiği gibi bu deney ile soğuk ilk hareketten sonra gaz kirleticilerin ortalama emisyonunun ölçümü yapılmaktadır. Bu amaçla taşıt motoru ile birlikte şasi dinometresinde iken her biri 15 safhadan oluşan 4 seyir çevrimine tabi tutulmaktadır. Bu seyir çevrimlerinin safhaları tablo 3.4 te görülmektedir.

Dinamometre ile taşıta yol yükü simülasyonu uygulanmaktadır. Deney için kullanılan sabit hacimli numune alma sistemiyle egzoz gaz numunesi kontrollü şartlar altında sürekli çevre havası ile seyreltilmektedir. Bu sistemde seyreltilmiş egzoz gazları numune torbalarında biriktirilmekte ve toplam hacmi ölçülmektedir. Diesel motor egzozunun numune alma donanımları yoğuşumu önlemek için ısıtılmakta ve sıcaklığın $190^{\circ} \pm 10^{\circ} \text{C}$ olmaktadır. Üç tür sabit hacim numune alma sistemi de kullanılabilir. Bu numune alma sistemleri şekil 3.1., 3.6. ve 3.7 de görülmektedir.

Her üç sistemde de su buharı yoğuşumunu önlemek için egzoz gazları yeterli miktarda ortam havası ile seyreltilmektedir. Egzoz borusu ucunda maksimumum $\pm 1.25 \text{ kPa}$ kadar statik basınç değişimlerine müsaade edilmektedir. Numune torbalarında biriktirilen egzoz gazlarının analizlerinde şu cihazlar kullanılmaktadır.

- Karbon monoksit ve karbon dioksit yayılmamış kızılötesi (non-dispersive infra-red= NDIR) ışın absorpsiyon cihazı kullanılmaktadır
- Hidrokarbonların analizinde bujili benzin motorları için propan gazı ile kalibre edilen ve karbon atomları eşdeğeri olarak ifade edilen alev iyonizasyon dedektörü (Flame İonization Detector=FID) ile

yapılırken diesel motorları için hidrokarbon analiz dedektörü; valfleri, bağlantı boruları v.s.190° ±10° C' a kadar ısıtılabilen alev iyonizasyon dedektörü ile yapılmaktadır.

c. Azot oksitler kimyasal ışıklı (Chemiluminescent=CLA) veya yayılmamış morötesi ışın rezonans (Non-Dispersive Ultraviolet Resonance = NDUVR) absorpsiyon cihazı ile analiz edilmektedir. Her iki cihazda da NO₂ - NO dönüştürücüsü bulunması zorunlu olmaktadır. Numune torbaları lamine polietilen /poliamid filmleri veya florlanmış polihidrokarbon malzemelerden yapılmaktadır. Şekil 3.6 ve 3.7 de gösterilen numune alma sistemlerinde seyreltme havası için gerekirse önceden ısıtılacak filtre bulunmaktadır. Bu filtrelerde iki kağıt tabaka arasına sıkıştırılmış aktif karbon bulunmaktadır. Bu sayede seyreltme havasında bulunan hidrokarbon esaslı emisyon ürünleri azaltılmakta ve kararlı hale getirilmektedir.

3.3.1.2. Tip I Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Analiz cihazlarından okunan kirlenici konsantrasyon değerleri aşağıda verilen formüller yardımıyla hesaplanmaktadır.(TS 5648,1988) Emisyon değerleri TS 4236 (1988) da yer alan emisyon sınır değerleri ile karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmalar neticesinde emisyon sınır değerlerini aşmayan motorlara uygunluk ruhsatı verilmektedir.

Kirlenici Kütleli Emisyonlarının [M_i] Hesaplanması:

$$M_i = V_{mix} \cdot Q_i \cdot K_H \cdot C_i \cdot 10^{-6}$$

Burada:

[M_i] İ isimli kirlenicinin emisyon kütlesi [g/deney]

[V_{mix}] Seyreltilmiş egzoz gazlarının standard koşullara (273.2° K ve 101.33 kPa) düzeltilmiş hacmi [lt/deney]

[Q_i] İ isimli kirlenicinin normal sıcaklık ve basınçtaki yoğunluğu [g/lt] olup bu değerler:

Karbon monoksit için(CO)=1.250 g/lt

Hidrokarbonlar için (CH_{1,85}) =0.619 g/lt

Azot oksitler için (NO_x)=2.050 g/lt dir.

[K_H] Azot oksitlerin kütleli emisyonlarının hesaplanmasında kullanılan rutubet düzeltme faktörü [Boyutsuz]

[C_i] Seyreltilmiş egzoz gazındaki İ isimli kirlenicinin seyreltme havasındaki miktarına bağlı düzeltilmiş konsantrasyonu [ppm]

Egzoz Gaz Hacminin [V_{mix}] Belirlenmesi ;numune alma sistemine bağlı olarak iki şekilde yapılmaktadır.

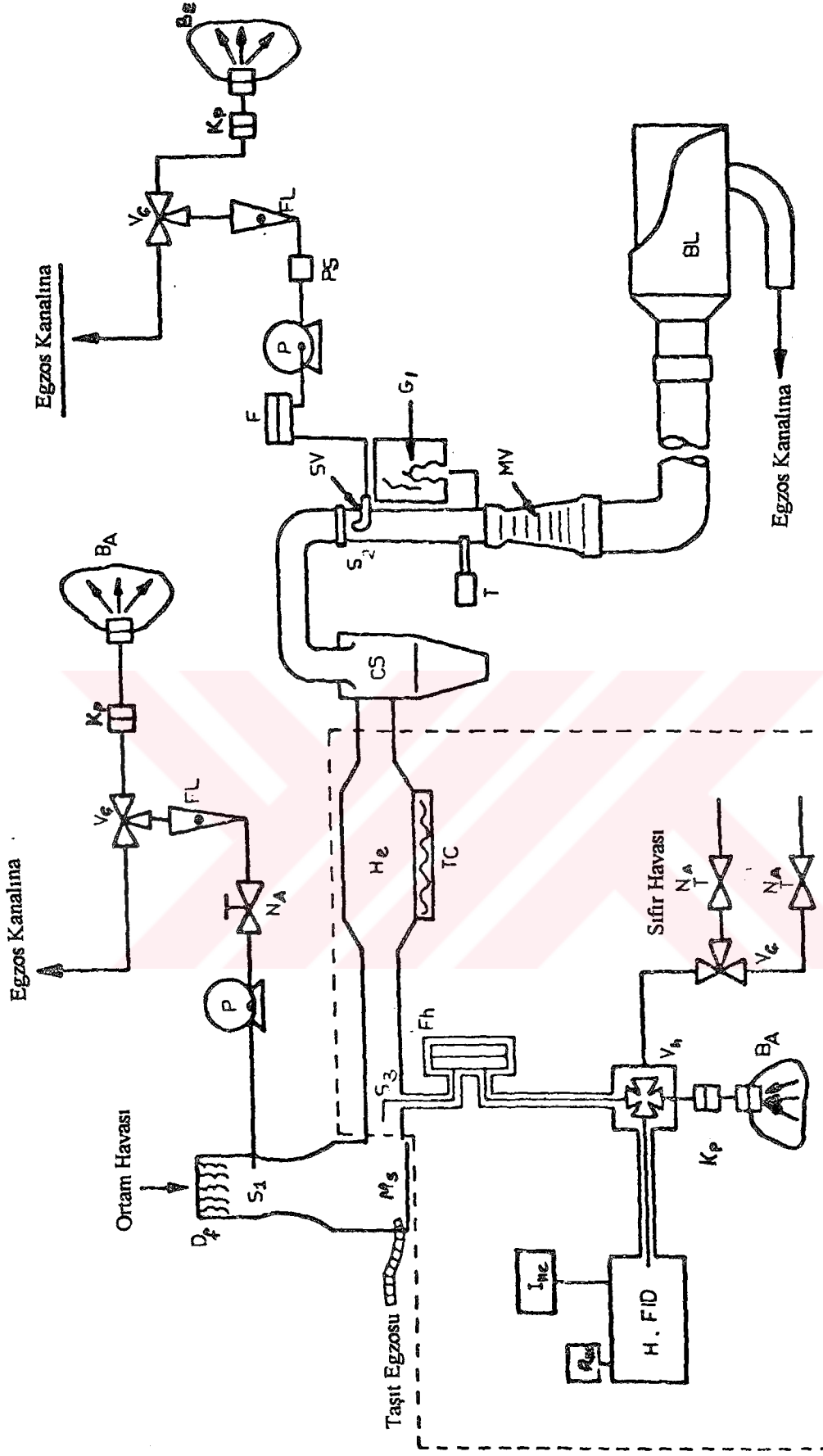
Tablo 3.4 Tip I Deneyi Seyir Çevrimi

No	Adı	İŞLETME KOŞULLARI			SÜRELER			EI Kumandalı Vites Halinde Vites Kademesi
		Fa z	İvme m/s ²	Hız [km/s]	İşletme [s]	Faz [s]	Kümülatif Zaman [s]	
1	Boşta Çalışma (Rölanti)	1	-	-	11	11	11	6s PM+5s K ₁
2	Hızlanma	2	1.04	0-15	4	4	15	1
3	Sabit Hız	3	-	15	8	8	23	1
4	Yavaşlama	4	-0.69	15-10	2	5	25	1
5	Yavaşlama,Kavrama Açılıyor		-0.92	10-0	3		28	K ₁
6	Boşta Çalışma (Rölanti)	5	-	-	21	21	49	16s PM+5s K ₁
7	Hızlanma		0.83	0-15	5		54	1
8	Vites Değiştirme	6	-	-	2	12	56	-
9	Hızlanma		0.94	15-32	5		61	2
10	Sabit Hız	7	-	32	24	24	85	2
11	Yavaşlama	8	-0.75	32-10	8	11	93	2
12	Yavaşlama,Kavrama Açılıyor		-0.92	10-0	3		96	K ₂
13	Boşta Çalışma (Rölanti)	9	-	-	21	21	117	16s PM+5s K ₁
14	Hızlanma		0.83	0-15	5		122	1
15	Vites Değiştirme		-	-	2		124	-
16	Hızlanma	10	0.62	15-32	9	26	133	2
17	Vites Değiştirme		-	-	2		135	-
18	Hızlanma		0.52	35-50	8		143	3
19	Sabit Hız	11	-	50	12	12	155	3
20	Yavaşlama	12	-0.52	50-35	8	8	163	3
21	Sabit Hız	13	-	35	13	13	176	3
22	Vites Değiştirme		-	-	2		178	-
23	Yavaşlama	14	-0.86	35-10	7	12	185	2
24	Yavaşlama,Kavrama Açılıyor		-0.92	10-0	3		188	K ₂
25	Boşta Çalışma (Rölanti)	15	-	-	7	7	195	7s PM

PM = Vites boşta kavrama kapalıdır. (Debriyaj basılmamıştır)

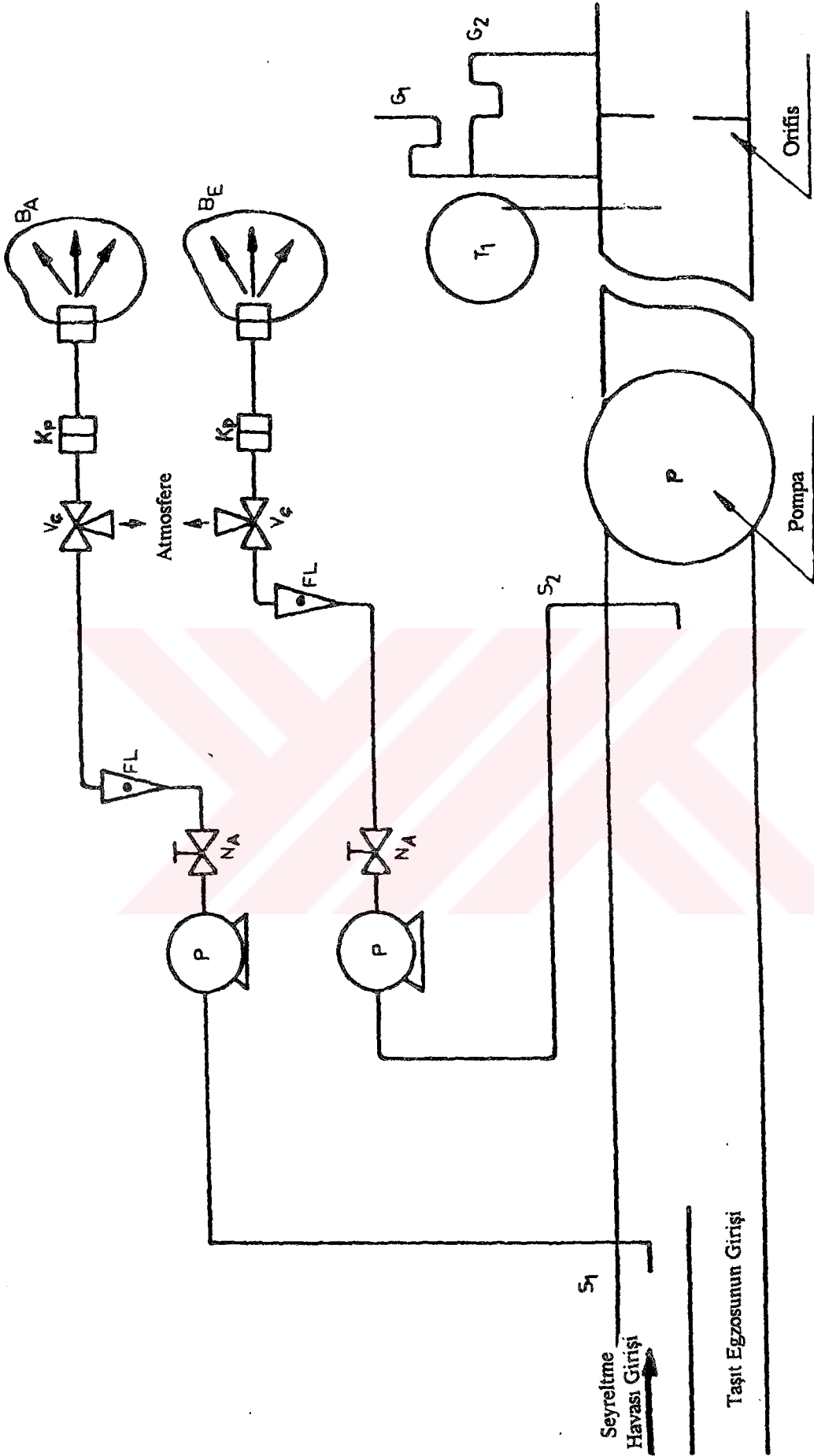
K₁= Birinci vites dişlisi takılmıştır ve kavrama açıktır. (Debriyaj basılmıştır.)

K₂= İkinci vites dişlisi takılmıştır ve kavrama açıktır. (Debriyaj basılmıştır)



Sadece Diesel Deneyi için Gerekli

Şekil 3.6 Kritik Akım Venturi Lüleli Seyreltme Cihazlı Numune Alma Sistemi (CFV-CVS)



Şekil 3.7 Sabit Akışın Orifis ile Sağlandığı Değişken Seyreltme Cihazı Diyagramı (CFO-CVS)

a.Sabit akış kontrolünün orifis veya venturi ile sağlandığı durumlarda, volümetrik akışı gösteren parametreler sürekli kaydedilerek deney süresindeki toplam hacim hesaplanmaktadır.

b.Pozitif deplasmanlı pompanın bulunduğu sistemde seyreltilmiş egzoz gazlarının hacmi aşağıdaki formülle bulunmaktadır.

$$V = V_0 \cdot N_r \quad (3.5)$$

Burada:

- [V] Seyreltilmiş egzoz gazlarının düzeltilmeden önceki hacmi [lt/deney]
 [V₀] Pozitif deplasmanlı pompa tarafından deney koşullarında sevk edilen gazın hacmi [lt/devir]
 [N_r] Bir deneydeki pompanın toplam devir sayısı [devir/deney]

Pozitif deplasmanlı pompa sisteminden hesaplanan hacminin standard şartlara düzeltilmesi ise aşağıdaki formül yardımıyla yapılmaktadır.

$$V_{\max} = V \cdot K_1 \frac{P_B - P_i}{T_p} \quad (3.6)$$

Burada:

- [K₁] İndirgeme faktörü olup $K_1 = \frac{273.2 \cdot K}{101.33} = 2.6961$ [K/kPa]
 [P_B] Deney yapılan yerdeki barometrik basınç [kPa]
 [P_i] Pozitif deplasmanlı pompanın girişindeki vakum [kPa]
 [T_p] Pozitif deplasmanlı pompaya giren seyreltilmiş egzoz gazlarının ortalama sıcaklığı [°K]

Numune Kabındaki Kirleticinin Düzeltilmiş Konsantrasyonlarının [C_i] Hesabı

$$C_i = C_e - C_d \left(1 - \frac{1}{DF} \right) \quad (3.7)$$

Burada:

- [C_i] Seyreltilmiş egzoz gazındaki İ isimli kirleticinin seyreltme havasındaki miktarına bağlı olarak düzeltilmiş konsantrasyonu [ppm]
 [C_e] Seyreltilmiş egzoz gazındaki İ isimli kirleticinin ölçülen konsantrasyonu [ppm]
 [C_d] Seyreltme havasındaki İ isimli kirleticinin ölçülen konsantrasyonu [ppm]

[DF] Seyretme faktörü olup aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$DF = \frac{13.4}{C_{CO_2} + (C_{HC} + C_{CO}) \cdot 10^{-4}} \quad (3.8)$$

Burada:

- [C_{CO_2}] Seyreltilmiş egzoz gazlarının CO_2 konsantrasyonu [% hacim]
 [C_{HC}] Seyreltilmiş egzoz gazlarının HC konsantrasyonu [ppm C eşdeğeri]
 [C_{CO}] Seyreltilmiş egzoz gazlarının CO konsantrasyonu [ppm]

Rutubet Düzeltme Faktörünün [K_H] Hesaplanması

Rutubetin azot oksitler üzerinde ihmal edilemez bir etkisi vardır. Bu etkiyi düzeltmek için aşağıdaki formüller kullanılmaktadır.

$$K_H = \frac{1}{1 - 0.0329 \cdot (H - 10.71)} \quad (3.9)$$

$$H = \frac{6.211 \cdot R_a \cdot P_d}{P_B - P_d \cdot R_a \cdot 10^{-2}} \quad (3.10)$$

Burada:

- [H] Mutlak nem [g su buharı/kg kuru hava]
 [R_a] Ortam havasının bağıl nemi [%]
 [P_d] Ortam sıcaklığındaki buhar doyma basıncı [kPa]
 [P_B] Deney yapılan yerdeki atmosfer basıncı [kPa] dir.

Diesel Motorlarda HC Emisyonları Ortalama Konsantrasyonunun [C_{HC}] Bulunması:

Diesel motorlarının kütesel HC emisyonlarının bulunması için gerekli olan ortalama HC konsantrasyonu aşağıdaki formülle hesaplanır

$$C_e = \frac{\int_{t_1}^{t_2} C_{HC} dt}{t_2 - t_1} \quad (3.11)$$

Burada:

- $\left[\int_{t_1}^{t_2} C_{HC} dt \right]$ Deney süresince ($t_2 - t_1$) ısıtılmış FID cihazının kaydettiği değerlerin integralidir

[C_e] Seyreltilmiş egzoz gazlarında karbon eşdeğeri cinsinden ölçülen HC konsantrasyonu [ppm]
Gerektiğinde eşitliklerde C_e direkt olarak C_{HC} 'nin yerine de kullanılmaktadır.

3.3.1.3. Örnek Hesaplamalar

Örnek1.Aşağıda ortam şartları ve analiz cihazlarından okunan değerleri verilen tip I deneyinin kirlетici emisyonlarının kütleli değerlerini bulunuz.

ortam şartları

ortam sıcaklığı [t]=23° C

barometrik basınç [P_B]=101.33kPa

bağıl nem [R_a]=%60

buhar doyma basıncı [P_d]=3.20kPa

seyreltilmiş egzoz hacmi [V_{mix}]=51.961 m³ (ölçülen değer standard koşullara indirgenmiştir.)

Analiz Cihazlarından Okunan Değerler

Kirleticinin Adı	Seyreltilmiş egzostaki konsantrasyonu	Seyreltme havasındaki konsantrasyonu
C _{HC} (1)	92 ppm	3.0 ppm
C _{CO}	4.70 ppm	0.0 ppm
C _{NO_x}	70 ppm	0.0 ppm
C _{CO₂}	1.6 %hacimsel	0.03 %hacimsel

(1)ppm karbon eşdeğeri cinsinden

K_H Rutubet Düzeltme Faktörü

$$H = \frac{6.211 \cdot R_a \cdot P_d}{P_B - P_d \cdot R_a \cdot 10^{-2}} = \frac{6.211 \cdot 60 \cdot 3.20}{101.33 - 3.20 \cdot 60 \cdot 10^{-2}}$$

H=11.9959 g su buharı /kg kuru hava

$$K_H = \frac{1}{1 - 0.0329 \cdot (H - 10.71)} = \frac{1}{1 - 0.0329 \cdot (11.9959 - 10.71)}$$

K_H=1.0442

DF Seyreltme Faktörü

$$DF = \frac{13.4}{C_{CO_2} + (C_{HC} + C_{CO}) \cdot 10^{-4}} = \frac{13.4}{1.6 + (92 + 470) \cdot 10^{-4}}$$

$$DF = 8.091$$

C_i Düzeltilmiş Konsantrasyonlar

$$C_i = C_e - C_d \left(1 - \frac{1}{DF} \right)$$

$$C_{i_{HC}} = 92 - 3 \cdot \left(1 - \frac{1}{8.091} \right) \Rightarrow C_{i_{HC}} = 89.371 \text{ ppm}$$

$$C_{i_{CO}} = 470 - 0 \Rightarrow C_{i_{CO}} = 470 \text{ ppm}$$

$$C_{i_{NO_x}} = 70 - 0 \Rightarrow C_{i_{NO_x}} = 70 \text{ ppm}$$

Kütlesel Emisyonlar[M_i]

$$M_i = V_{\text{mix}} \cdot Q_i \cdot K_H \cdot C_i \cdot 10^{-6}$$

$$M_{i_{HC}} = 51.961 \cdot 10^3 \cdot 0.619 \cdot 1.89.371 \cdot 10^{-6}$$

$$M_{i_{HC}} = 2.88 \text{ g/deney HC kirleticinin kütleli emisyonu}$$

$$M_{i_{CO}} = 51.961 \cdot 10^3 \cdot 1.25 \cdot 1.470 \cdot 10^{-6}$$

$$M_{i_{CO}} = 30.5 \text{ g/deney CO kirleticinin kütleli emisyonu}$$

$$M_{i_{NO_x}} = 51.961 \cdot 10^3 \cdot 2.05 \cdot 1.0442 \cdot 70 \cdot 10^{-6}$$

$$M_{i_{NO_x}} = 7.79 \text{ g/deney NO}_x \text{ kirleticilerinin kütleli emisyonu}$$

Örnek 2: Örnek 1 deki deney pozitif deplasmanlı pompa kullanılan bir numune alma sistemi ile tekrar edilmiştir. Pozitif deplasmanlı tulum baya ait aşağıdaki bilgilerden seyreltilmiş egzoz gaz hacmini bulunuz.

pompa hacmi	[V _o]=2.439 lt/devir
vakum	[P]=2.80 kPa
gaz sıcaklığı	[t]=51° C
pompa devir sayısı toplamı	[N _r]=26000 devir/deney

$$V_{\text{mix}} = ?$$

$$V_{\text{mix}} = K_1 \cdot V_o \cdot N_r \cdot \frac{P_B - P_i}{T_p} = 2.6961 \cdot 2.439 \cdot 26000 \cdot \frac{101.33 - 2.80}{324.2}$$

$$V_{\text{mix}} = 51960.89 \text{ Lt/deney}$$

3.3.1.4. Tip II Deneyi

Bu deney diesel'li olanlar hariç olmak üzere tüm taşıt motorlarına tatbik edilmektedir. Motor rölantide çalışırken ve ilk hareket mekanizması devre dışı iken tip I deneyinin hemen ardından yapılmaktadır. Egzostaki karbon monoksit konsantrasyonu %hacim birimiyle ölçülmektedir. Normal (klasik) veya yarı otomatik şanzımanlı vasıtaların denendiği durumlarda, vites boşa iken ve debriyaja basılmadan (kavrama halinde iken) gerçekleştirilmektedir. Tam otomatik vitesli şanzımanlarda ise vites seçici (dişli seçici) "boş" veya "park" pozisyonunda iken deney gerçekleştirilmektedir.

Egzos gaz numunesi almak için egzosu numune kabına bağlayan boruya ve mümkün mertebe egzosa yakın bir noktada numune alma probu takılmaktadır. Ölçüm her bir karakteristik pozisyon için yapılmaktadır. Bu karakteristik pozisyonlar; motorun rölantide ulaşabileceği en yüksek hız veya imalatçı firmanın tavsiye ettiği hızdan 100 devir sayısı eksiğinden daha büyük olanı, rölanti hızı elemanlarının harekete geçmesiyle elde edilecek en yüksek hız, imalatçı firmanın tavsiye ettiği hızdan 250 devir sayısı daha az veya otomatik kavramaların aniden ayrılması durumundaki hız gibi üç hızdan en küçük olanı şeklinde sayılmaktadır. Birden fazla karbüratörlü motorlarda, karbüratörlerin hepsi aynı ayarda olmak zorundadır.

CO ve CO₂ konsantrasyonları, ölçüm cihazlarının gösterdiği veya kaydettiği değerlerden uygun kalibrasyon eğrileri kullanılarak elde edilmektedir. Dört stroklu motor karbon monoksit konsantrasyonu aşağıdaki formül ile düzeltilmektedir.

$$C_{CO_{\text{düzeltilmiş}}} = C_{CO} \cdot \frac{15}{C_{CO} + C_{CO_2}} \quad [\% \text{ hacim}] \quad (3.12)$$

Burada C_{CO} ve C_{CO₂} dört zamanlı motorlarda ölçülen konsantrasyon değerleri olup toplamları % 15 den fazla ise düzeltme yapılmamaktadır.

3.3.1.5. Tip III Deneyi

Bu deney diesel motorlu taşıtlar hariç tüm motorlu taşıtlara uygulanmaktadır. Bu deneyde karter havalandırma sistemi emisyon bakımından kontrol edilmektedir. Rölanti imalatçı firmanın tavsiyelerine uygun olarak belirlenmektedir. Bu deney için motor taşıtıyla birlikte bir şaşı dinamometresi üzerine getirilmekte ve tablo 3.5 deney koşulları tatbik edilmektedir.

Bu esnada motorun bütün giriş, çıkış açıklıkları olduğu gibi bırakılmakta ve yağ çubuğu deliğine bağlanan eğik bir manometre ile karter basıncı ölçülmektedir. Bu ölçülen basınç değeri atmosfer basıncını aşmıyorsa motorun yeterli olduğu kararı verilmektedir. Bu deney sırasında karter basıncı ±0.01 kPa'lık tolerans ile ölçülmektedir.

Tablo 3.5. Tip III Deney Koşulları

Koşul	Araç Hızı [km/h]	Frenin Absorpslayacağı güç
1	Rölanti	Yok
2	50±2	Tip I deneyinde olduğu gibi
3	50±2	2 nolu koşulda verilen × 1.7

Karter basıncı tablo 3.5 te verilen koşulların her hangi birinde atmosfer basıncını aşarsa, imalatçının isteğine bağlı olarak şimdi izah edilecek şekilde ilave bir deney gerçekleştirilmektedir. Bu deneyde motorun bütün giriş açıklıkları yine olduğu gibi bırakılmaktadır. Esnek malzemeden yapılmış ~5 lt hacimli bir hazne (balon, köruk, torba v.s.) karter gazlarının girmesine başlangıçta izin vermeyecek şekilde yağ çubuğu deliğine bağlanmaktadır. Bu haznenin her ölçümden önce boş olmasına dikkat edilmelidir. Tablo 3.5 da verilen her koşul için 5 dakika süreyle karter gazlarının numune torbasına girmesine müsaade etmek üzere şekil 3.8 de görülen kontrol vanası açılmaktadır. Tüm ölçüm koşulları için bu süre zarfında numune torbası şişmiyorsa aracın yeterli olduğuna karar verilmektedir.

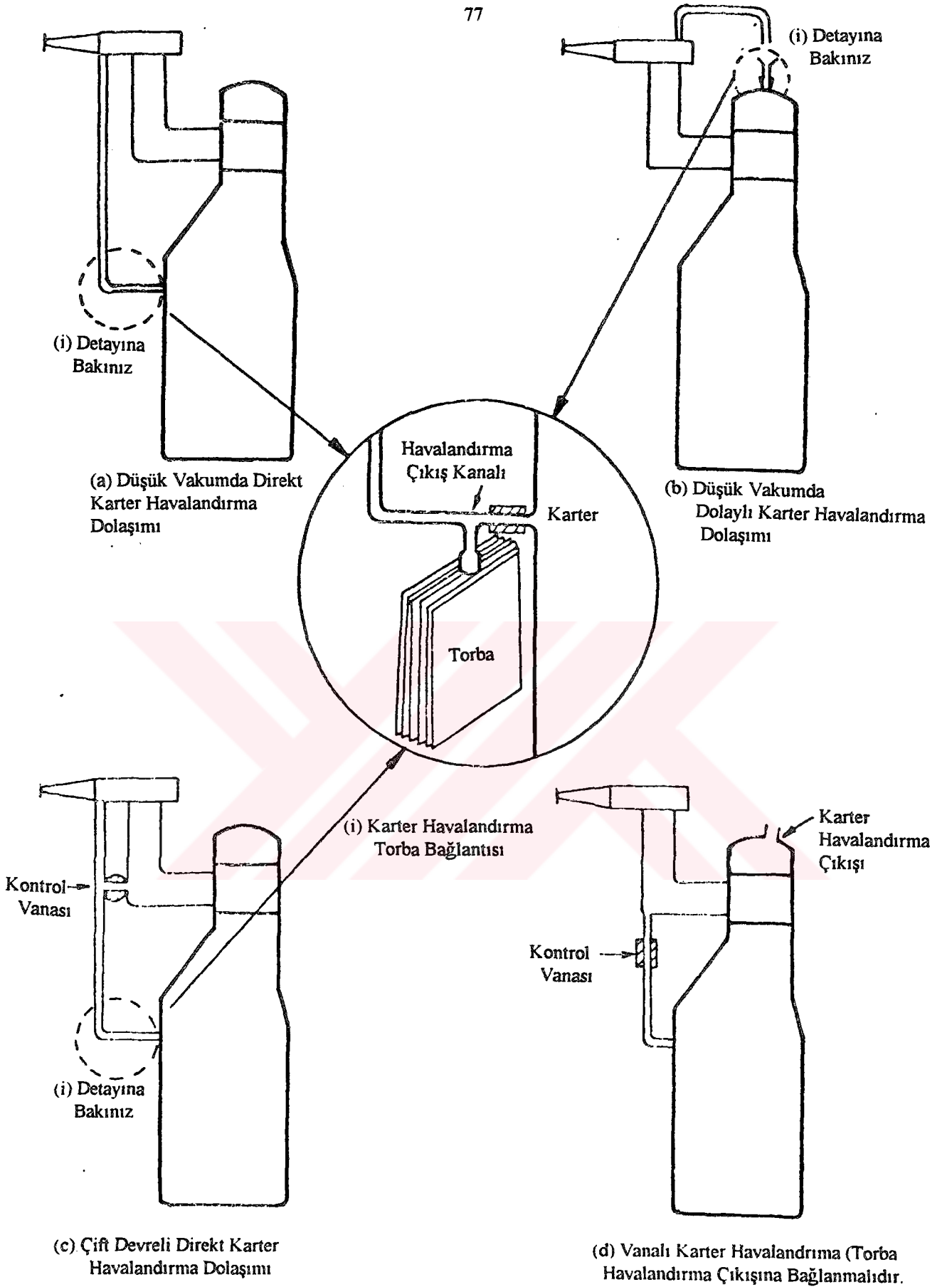
Motorun yapısı yukarıda açıklanan bir deney için elverişli değilse gazların sirkülasyonuna imkan verenler hariç olmak üzere bütün delikler kapatılmaktadır. Numune torbası, karter gazlarını hava filitresine taşıyan havalandırma sistemine ilave bir yük getirmeyecek şekilde uygun bir T bağlantısı yapılarak deney gerçekleştirilmektedir.

3.3.2. Taşıt Motorları için Emisyon Standardları

Türkiye 'deki motor emisyonlarına Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (1986) ile iki başlık altında sınırlama getirilmektedir. Motorlu Karayolu Taşıtları ve Sıvı Yakıtlı Yakma Tesisleri için ayrı ayrı emisyon standartları belirlenmiştir. Buradaki tesis kavramına motorlarında dahil edildiği aynı yönetmelik hükümlerinde belirtilmekte olup emisyon sınır değerleri dört ara başlık altında anlatılacaktır. Motorlu karayolu taşıt emisyon sınır değerleri Türk Standardları Enstitüsünce yayınlanan TS 4236 ile belirlenmiştir.

3.3.2.1. Hafif Taşıt Motorları için Emisyon Standardları (TS 4236)

Karayolu taşıt motorları için emisyon standartları imalat safhasındaki taşıt motorları ile halen kullanılmakta olan taşıt motorları için farklılıklar göstermektedir. Emisyon değerlerini belirleme deneyleri önceki kısımda anlatılmıştır. Bu kısımda karayolu taşıtları motorları için getirilen emisyon sınır değerleri anlatılmaktadır.



Şekil 3.8 Tip III Deneyi Ek Donanımları

İmalat safhasında azami kütlesi 3500 kg a kadar olan taşıtların motorlarının tip I deneyine tabi tutulmaları öngörülmektedir. Bu deneyde taşıta 50 km/h süratine eşdeğer yük ve ataleti bir dinamometre yardımıyla tatbik edilmekte ve deney 13 dakika sürmektedir.

Deney esnasında egzoz gazları seyreltilmekte ve numune torbasında yada torbalarında biriktirilmektedir. Seyreltilmiş egzoz gazlarının toplam hacmi ölçülmektedir. Bu deney üç kez tekrarlanmaktadır. Boş taşıt kütlesine 100 kg ilave edilerek tesbit edilen referans taşıt kütlesine göre karbon monoksit, hidrokarbon ve azot oksit emisyon sınır değerleri tablo 3.6 da görülmektedir.

Tablo 3.6 Taşıt Motorları Emisyon Sınır Değerleri (TS 4236)

Taşıt Referans Kütlesi [kg] (1)	L ₁ Karbon Monoksit [g/deney] (2)	L ₂ Hidrokarbon ve Azot Oksit Emisyonları Toplamı [g/deney] (2)
1020 (dahil) e kadar	58 (70)	19.0 (23.8)
1020-1250	67 (80)	20.5 (25.6)
1250-1470	76 (91)	22.0 (27.5)
1470-1700	84 (101)	23.5 (29.4)
1700-1930	93 (112)	25.0 (31.3)
1930-2150	101 (121)	26.5 (33.1)
2150 den fazlası	110 (132)	28.0 (35.0)

(1) Taşıt referans kütlesi; yakıt deposu dolu soğutucusu yağı, yedek tekerleği ve gerekli takı -avadanlık dahil kütlesine 100 kg ilave edilerek bulunmaktadır.

(2) Parantez içindeki değerler imalata uygunluk için belirlenen emisyon sınır değerlerini göstermektedir.

Deneye tabi tutulan taşıt motorunun üç ayrı deney sonucunun aritmetik ortalamasının tablo 3.6 daki değerleri aşmaması ve hiç bir deney sonucunun ortalama değerinin %10 'undan fazla olmaması öngörülmektedir. Bahse konu üç deney sonucunun aritmetik ortalaması (X_o) sınır değerlerin %100-110 u arasında bulunuyorsa azami 10 deney yapılmaktadır. Bu deneylerden sonra karar 10 deneyde elde edilen sonuçların ortalamasına bağlı olmaktadır. Her bir kirletici için birinci deney sonucu V_1 , ikinci deney sonucu V_2 olmak üzere karbonmonoksit emisyonu ile hidrokarbon ve azot oksit emisyonlarının toplamı için elde edilen V_1 değerleri 0.7L yi aşmaması durumunda sadece bir deney yeterli olmaktadır. Karbon monoksit ile hidrokarbon ve azot oksit emisyonları toplamı için V_1 sonuçları $V_1 < 0.85L$ ve bu değerlerden biri için $V_1 > 0.7L$ ise ikinci bir deney daha yapılmaktadır. İkinci deney sonucunda V_2 değerleriyle ($V_1 + V_2$) $\leq 1.7L$ ve $V_2 \leq L$ şartlarını sağlaması gerekmektedir.

Diescl motorlar hariç olmak üzere tüm taşıt motorlarının tabi olduğu tip II deneyinde isc rölantide ki bir motordan yayılan egzoz gazlarının içerisindeki karbon monoksit miktarının hacimsel

olarak %3.5 i aşmaması istenmektedir. TS 5648 nolu standardda tavsiye edilen rölanti devir sayısına uyulmuyorsa bu oranın %4.5 i geçmemesi istenmektedir.

Yine diesel motorlar hariç olmak üzere taşıt motorları karter havalandırma sistemlerinin emisyonu izin vermeyecek şekilde yapılması zorunlu olmaktadır. Tablo 3.6 da verilen emisyon sınır değerlerinin aşılmaması durumunda emisyon uygunluk belgesi verilmesi öngörülmektedir. Bu belgenin diğer bir adı da Taşıt Tip Ruhsatı'dır. Taşıt tip ruhsatı kapsamının hangi şartlarda genişletileceği TS 4236 da belirtilmektedir.

3.3.2.2. Taşıt Motorlarının İmalat Uygunluğunun Tespiti

İmal edilen seriden bir taşıt alınması ve yukarıda belirtilen üç tip deneyin uygulanması öngörülmektedir. Bu deneylerden elde edilen emisyon değerlerinin tablo 3.6 da parantez içinde verilen değerleri aşmaması zorunludur. Bundan sonra ise diğer iki taşıt motorunun tip I deneyine birer kez tabi tutulması gerekmektedir. İlk alınan taşıt motoruna toplam üç kez tip I deneyi uygulanmaktadır. Tip I deneyi sonuçlarının aritmetik ortalaması bulunmakta ve bu ortalama emisyon değeri hesaplanacak standard sapma ile düzeltilmektedir. Standard sapma (s) aşağıda verilen formül ile her kirletici için ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

$$s^2 = \sum \frac{(X - X_o)^2}{n_i - 1} \quad (3.13)$$

Burada :

[X] Deneye tabi tutulan taşıt motorlarından elde edilen her hangi bir tip I deney sonucunu

[n_i] Deneye tabi tutulan taşıt motor sayısını göstermektedir.

İmalatın standarda uygunluğu $(X_o + k \cdot s) < L$ şartını sağlaması ile mümkün olmaktadır. Bu son verilen bağıntıdaki [L] tablo 3.6 da verilen karbon monoksit hidrokarbon ve azot oksit emisyon sınır değerlerinin toplamı, [k] deneye tabi tutulan taşıt motor sayısına [n_i] bağlı istatistik faktörü olup tablo 3.7 den seçilmektedir.

Tablo 3.7 İstatistik Faktörü [k] (TS 4236)

n _i	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k	0.973	0.613	0.489	0.421	0.376	0.342	0.317	0.296	0.279

n _i	11	12	13	14	15	16	17	18	19
k	0.265	0.253	0.242	0.233	0.224	0.216	0.210	0.203	0.198

$$n_i > 19 \text{ için } k = \frac{0.860}{\sqrt{n_i}}$$

Ayrıca teste tabi taşıt motorlarından bir tanesine tip II ve tip III deneyleri tatbik edilmektedir. Bu deney sonuçlarının da standartlara uygun olması gerekmektedir.

3.3.2.3. Ağır Taşıt Motorları için Emisyon Standartları

Şoför dahil 6 kişiye kadar insan taşımak üzere tasarlanmış taşıtlar dışında kalan yolcu ve yük taşımaya mahsus taşıt motorlarının tip ruhsatı ve imalata uygunluğunun kontrolü için hidrokarbon ve azot oksitlerin emisyon toplam sınır değerleri, tablo 3.6 daki L_2 değerleri 1.25 ile çarpılmak suretiyle elde edilmektedir.

3.3.2.4. Kullanımdaki Taşıt Motorları için Emisyon Standartları

Bir taşıt motorunun rölantide çalışırken egzoz gazlarının karbon monoksit konsantrasyonu hacimsel olarak %4+0.5 sınırını aşmaması, egzoz sisteminin delik, yırtık olmaması ve bağlantılarının tam olması zorunludur. Ayrıca benzin motorlarında karter havalandırma hortum veya borularının emme manifolduna veya hava filtresine bağlı olması ve atmosfere gaz kaçağı olmaması gerekmektedir. Bu konrollerin trafik polisi veya diğer görevlilerce yapılacağı belirtilmektedir.

3.3.3. Sıvı Yakıtlı Yakma Tesisleri Emisyon Standartları

Taşıt motor emisyon standartları dışında kalan sabit veya hareketli sıvı yakıtlı tüm tesislerin uyması gereken emisyon sınır değerleri "Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği"nde belirtilmektedir. Gelecekte daha kapsamlı motor emisyon standartları yayınlanıncaya kadar sıvı yakıtlı tesis kavramına diesel ve benzin motorları da girdiğinden bu yönetmelik hükümlerine tabi olması kaçınılmaz görülmektedir. Burada sıvı yakıtlı yakma tesislerinin tabi olduğu dört emisyon sınır değeri anlatılacaktır.

3.3.3.1. Karbon Monoksit Emisyon Sınır Değerleri

Hacimsel oksijen miktarının %3 esas kabul edildiği egzoz gazındaki karbon monoksit emisyonunun maksimum 175 mg/m^3 olacağı belirtilmektedir.

3.3.3.2. Azot Oksit Emisyon Sınır Değerleri

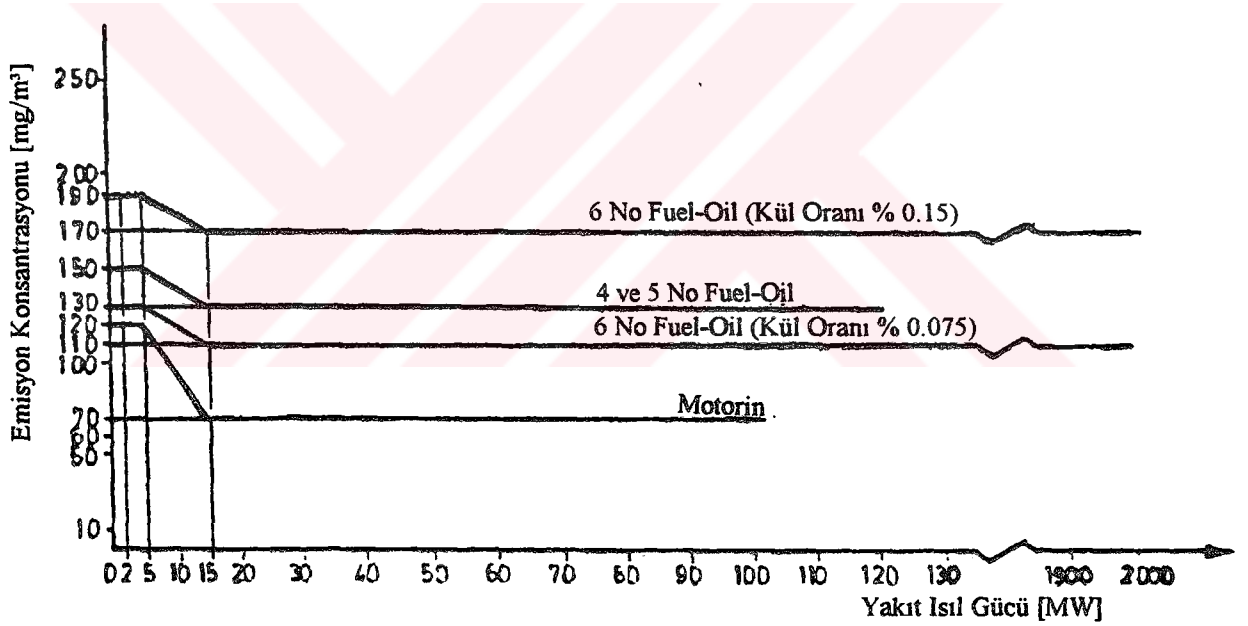
Azot oksit emisyonlarının egzoz gazlarının yeniden çevrime katılması veya ikincil hava ile alev sıcaklığının düşürülmesi gibi tekniklerin kullanılması zorunludur. Yakma ısı gücü 50 MW ve üzerinde olan yeni tesislerin hacimsel oksijen miktarının %3 kabul edildiği egzoz gazlarında NO ve NO₂ emisyonlarının (NO₂ eşdeğeri ile) 800 mg/m^3 değerini aşamayacağı ve eski tesisler için ise bu sınır değerin 1000 mg/m^3 olduğu belirtilmektedir.

3.3.3.3.Kükürt Oksit Emisyon Sınır Değerleri

Sıvı yakıt kullanılan tesislerde egzoz gazlarındaki SO_2 ve SO_3 (eşdeğer SO_2 olarak verilmektedir) ölçümlerinin belirtilen sınır değerleri aşması durumunda bir kükürt arıtım tekniği kullanmak zorunluluğu getirilmiştir. Bu emisyon sınır değerleri; yakıt ısı gücü 300 MW a kadar olan tesislerde egzoz gazında %3 hacimsel oksijen esas alındığında 1700 mg/m^3 , ısı gücü 300 MW veya üzerinde olanlar da ise 800 mg/m^3 olarak verilmektedir.

3.3.3.4.İs ve Toz Emisyon Sınır Değerleri

Yakıt ısı gücü 2 MW a kadar olan tesislerde motorin yakanlarda ısılilik derecesinin Bacharach ölçeğinde 2 yi geçmemesi istenmektedir. Eski tesisler için bu değerelekleneceği belirtilmektedir. Yakıt ısı gücü 2 MW ın üzerinde olan tesislerin egzoz gazlarındaki toz biçimindeki emisyonlar, soğrulan sülfirik asit çıkarıldıktan sonra ve hacimsel oksijen miktarı %3 esas alındığında şekil 3.9 da verilen sınır değerleri aşmaması istenmektedir.



Şekil 3.9 Sıvı Yakıtlarda Toz Emisyon Sınırları

III.BÖLÜME AİT SEMBOLLER

[B _A]	Numune kabı	[Boyutsuz]
[B _D]	Arzu edilen hava kalitesi	[%]
[B _E]	Numune torbası	[Boyutsuz]
[B _F]	Önceki hava kalitesi	[%]
[B _L]	Numune toplama körüğü	[Boyutsuz]
[B _S]	Mevcut hava kalitesi	[%]
[C]	Kirletici konsantrasyonu	[g/m ³],[μg/m ³],[ppm]
[C _d]	Seyreltme havasındaki kirletici konsantrasyonu	[ppm]
[C _e]	Seyreltilmiş egzosta ölçülen kirletici konsantrasyonu	[ppm]
[C _i]	İ isimli kirleticinin düzeltilmiş konsantrasyonu	[ppm]
[C _r]	Devir sayacı	[Boyutsuz]
[C _s]	Partikül tutma siklonu	[Boyutsuz]
[C _{CO}]	Seyreltilmiş numunedeki CO konsantrasyonu	[ppm]
[C _{HC}]	" " HC "	[ppm C]
[C _{CO₂}]	" " CO ₂ "	[% hacim]
[DF]	Seyreltme faktörü	[Boyutsuz]
[D _f]	Isılabilir filtre	[Boyutsuz]
[FL]	Akışmetre	[Boyutsuz]
[GF]	Emisyon artış faktörü	[Boyutsuz]
[G _{1,2}]	Basınç ölçüm noktası	[Boyutsuz]
[H]	Mutlak nem	[g su buharı/kg kuru hava]
[H _e]	Isı eşanjörü	[Boyutsuz]
[HFID]	Isıtılmış alev iyonizasyon dedektörü	[Boyutsuz]
[I _{HC}]	Hidrokarbon anlık konsantrasyonu entegrasyon elemanı	[Boyutsuz]
[K]	Kabuledilebilirlik kriteri	[Boyutsuz]
[K _H]	Rutubet düzeltme faktörü	[Boyutsuz]
[K _p]	Çabuk kapanabilen kaplin	[Boyutsuz]
[k]	Taşıt sayısı istatistik faktörü	[Boyutsuz]
[L]	Toplam emisyon miktarı	[g/deney]
[L _e]	Etkin ışık güzergah uzunluğu	[m]
[L _h]	Isıtılmış numune hattı	[Boyutsuz]
[M]	Kirletici emisyon kütlesi	[μg],[mg],[g/mol]
[MV]	Kritik akış venturi tüpü	[Boyutsuz]

[M _i]	İ isimli kirletici emisyon kütlesi	[g/deney]
[M _a]	Seyreltme odası (Karışım odası)	[Boyutsuz]
[N _A]	Akış kontrol vanası	[Boyutsuz]
[N _t]	Toplam pompa devir sayısı	[dev/dak]
[n]	Yakıttaki hidrojenin karbona oranı	[Boyutsuz]
[n _d]	Deneye tabi tutulan taşıt sayısı	[Boyutsuz]
[P _B]	Deney ortamındaki barometrik basınç	[kPa]
[PS]	Kısma vanası	[Boyutsuz]
[PDP]	Pozitif deplasmanlı pompa	[Boyutsuz]
[P _a]	Ortam sıcaklığındaki buhar doyma basıncı	[kPa]
[P _i]	Pompa girişindeki vakum	[kPa]
[Q _i]	İ isimli kirleticinin standard yoğunluğu	[g/l]
[Q _e]	Egzos gazlarının nominal debisi	[lt/s]
[R _{HC}]	HC Anlık konsantrasyonu kayıt cihazı	[Boyutsuz]
[R _e]	Ortam havasının bağıl nemi	[%]
[R _p]	Hava kirliliğinde azalma miktarı	[%]
[S]	Toplam silindir hacmi	[lt]
[SV]	Kritik akım venturi tülesi	[Boyutsuz]
[S _{1,2}]	Numune alma noktası	[Boyutsuz]
[s]	Standard sapma	[Boyutsuz]
[TC]	Sıcaklık kontrol sistemi	[Boyutsuz]
[T _p]	Pompaya giren gaz sıcaklığı	[°K]
[T _{1,2}]	Sıcaklık ölçüm noktası	[Boyutsuz]
[V]	Egzos gaz hacmi	[lt/deney],[ft ³ /mil]
[V _e]	Çabuk hareketli valf	[Boyutsuz]
[V _h]	Isıtılmış çok yönlü valf	[Boyutsuz]
[V _o]	Pompanın bir devrindeki gaz hacmi	[lt/devir]
[V _{mix}]	Standard şartlara düzeltilmiş egzos gaz hacmi	[lt/deney]
[W]	Taşıt kütlesi	[kg],[lb]

IV. EMİSYON ANALİZ CİHAZLARI

4.1.KARBON DİOKSİT ANALİZ CİHAZLARI	85
4.2.KARBON MONOKSİT ANALİZ CİHAZLARI	87
4.3.AZOT OKSİT ANALİZ CİHAZLARI	87
4.4.HİDROKARBON ANALİZ CİHAZLARI	88
4.5.OKSİJEN ANALİZ CİHAZLARI	90
4.6.PARTİKÜL ANALİZ CİHAZLAR	91
4.7.İS ANALİZ CİHAZLARI	92
4.7.1.Mukayese Yöntemiyle İS Ölçümü Yapan Aparatlar	92
4.7.2.Leke Yöntemiyle İS Ölçümü Yapan Cihazlar	93
4.7.3.Optik Direnç Esaslı İS Ölçüm Cihazları (Opacimeteres)	96
4.7.3.1.Numuneden İS Ölçümü Yapan Cihazlar	97
4.7.3.2.Tüm Egzostan İS Ölçümü Yapan Cihazlar	99
4.7.4.İS Ölçerlerin Kalibrasyonu ve Kalibrasyon Bağlıları	102
4.7.5.Optik Sistem-Spektral Dağılım İlişkisi	105
4.7.6.Optik Direnç Esaslı İS Ölçerlerin Özellikleri	105
IV.BÖLÜME AİT SEMBOLLER	107

IV.EMİSYON ANALİZ CİHAZLARI

Analiz cihazları egzoz gazlarının ölçülmesinde, özellikle de seyreltilmiş egzoz gaz akımındaki kimi zaman düşük seviyelerde olabilen gazların hasasiyetle tespit edilmesinde ve mevcut diğer gazların önemli herhangi bir etkisi olmaksızın egzoz gazlarının analiz edilmesinde kullanılmaktadır.

Yönetmelik ve standartlar karbon monoksit, hidrokarbon ve azot oksit emisyonlarını kapsadığından bu kısımda bu emisyonlara uygun analiz cihazları anlatılmaktadır. Bununla birlikte sınırlandırılmamış emisyonların analizinde kullanılan bazı ölçüm yöntem ve cihazları da verilmektedir. Seçilen yöntemler amaca özgü laboratuarlarda kullanılan donanımlar ile daima kontrol edilmelidir.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan başlıca analiz cihazlarının veya analiz sistemlerinin çalışma prensipleri burada belirtilmektedir. Bilindiği gibi cihazların özellikleri, üreticiden üreticiye ve modelden modele farklılıklar göstermektedir. Bu sebepten burada verilen bilgilerle cihaz ve sistemlerde kullanılan prensipler gösterilmektedir.

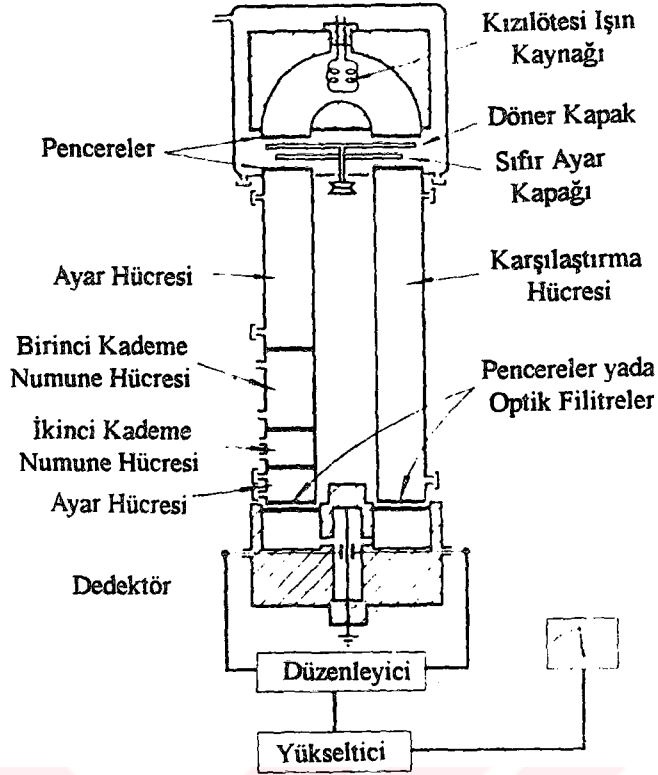
Emisyon analiz cihazlarının ortak bir özelliği emisyonların hacimsel konsantrasyonlarını belirlemek üzere kalibre edilmeleri olmaktadır. Konsantrasyonlar ppm; "parts per milion" (milyonda bir ünite) olarak ifade edilmektedir.

4.1.KARBON DİOKSİT ANALİZ CİHAZLARI

Karbon dioksit için yasal sınırlamalar bulunmamakla birlikte karbon dioksit analiz sistemi yine de tanıtılmaktadır. Karbon dioksit yayılmamış kızılötesi ışın absorpsiyon (NDIR "non-dispersive infra-red") cihazı kullanılarak kesintisiz olarak ölçülmektedir. Kızılötesi ışınların karbon dioksit tarafından absorplanmasından (soğurulmasından) yararlanılarak bu ölçüm yapılmaktadır. Kızıl ötesi radyasyon ışınları karbon dioksit içerisinden geçirildiğinde, soğrulduklarından şiddetleri, azalmaktadır. Azalmanın derecesi ışınların geçtiği yerde bulunan karbon dioksit miktarına bağlı olup; karbon dioksit miktarı arttıkça ışınların şiddeti o oranda azalmaktadır.

Şematik diyagramı şekil 4.1 de verilen böyle bir analiz cihazı açıkça görüleceği gibi dört ana parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar kızılötesi radyasyon kaynağı, karşılaştırma hücresi, numune hücresi ve elektronik devreleriyle birlikte dedektördür.

Kızılötesi ışın kaynağı, çoğu kez ısıtılmış bir teldir. Radyasyon ışınlarının bir kısmı karşılaştırma hücresinden diğer kısmı numune hücresinden geçirilmektedir. Radyasyon ışınları numune ve karşılaştırma hücresinden çıkmadan hemen önce bir filitreden geçmektedir. Bunlar ince tabaka halinde yan tesir (interference) filitresi ya da absorplama özelliği olmayan uygun bir gaz ile (genelde karbon dioksit içermeyen hava veya azot) ile doldurulmuş bir gaz filmidir. Karşılaştırma hücresi genelde karbon dioksit içermeyen kuru hava ile doldurulmaktadır. Numune hücresine gaz numunesi konulmaktadır.



Şekil 4.1 CO, CO₂ ve NO ölçümünde Kullanılan Yayılmamış Kızılötesi Işın Absorpsiyon Cihazı (NDIR)

Numune ya fasıllı biçimde veya çoğunlukla diesel motor analizlerinde yapıldığı gibi kesintisiz şekilde numune hücresine konulmaktadır. Bazı analiz cihazlarında bir kaç analiz çıkışı mevcuttur. Bu kısmen elektronik devreler ile kısmende farklı uzunluktaki iki parçadan oluşan bir numune hücresi kullanılarak gerçekleştirilmekte olup farklı uzunluktaki bu parçadan kısa olanı daha geniş konsantrasyon aralıklarında, uzun olanı ise seyreltilmiş gaz karışımlarında kullanılmaktadır.

Çok çeşitli ve farklı dedektör mevcuttur. Bunların en yaygın olanı Luft tipi dedektördür. Bu cihaz basınç farkıyla hareket edebilen ince bir diyafram (membrane) ile ayrılmış iki sızdırmaz odacıktan oluşmaktadır. Burada diyaframın hareket miktarı ile ölçme yapılmaktadır.

Basınç farkı aşağıdaki şekillerde meydana gelmektedir. Dedektörün her iki odacığın analizi yapılan gaz ile (burada karbon dioksit ile) doldurulmaktadır. Işınlar dedektörün diğer yüzüne giderken karbon dioksit tarafından soğrulur ve karbon dioksitin sıcaklığı artar. Olay kapalı hacim içinde olduğundan basınç artar. Karşılaştırma kısmı kızılötesi kaynaktan gelen radyasyonun tamamını alırken numune kısmı numune gazın içerdiği karbon dioksitin absorplaması sebebiyle daha az miktarda radyasyon alır ve bundan dolayı da basınç farkı oluşur. Basınç farkı sonucu, diyafram numune tarafına doğru hareket etmektedir. Ölçüm bu hareket sayesinde yapılmaktadır.

Bir tip dedektör, birbirine gaz devresi ile iştirakli absorpsiyon odacığın ve rezervuar odacığın oluşmaktadır. Bu cihazla her iki odacık analiz edilecek gazla, yani karbon dioksit ile doldurulmaktadır. Alınan radyasyon absorpsiyon odacığın gazı ısıtmakta, genişletmekte ve bu sayede rezervuar

odacığına bir akış meydana getirmektedir. Odacıklar arasındaki akış, uygun bir alıcı kullanılarak belirlenmektedir. Akım kesici kullanılarak iki odacık arasındaki gaz hareketi ile dalgalı sinyal elde edilebilmektedir. Isınma gibi yan tesirleri azaltmak ve daha kolay kontrol imkanı vermek için elektronik akım kesiciler de kullanılmaktadır. Açıkça görüldüğü gibi analiz cihazlarının dizaynı, gaz sevki özellikleri ve dedektör yapısı bakımından ustalık gerektirmektedir.

4.2.KARBON MONOKSİT ANALİZ CİHAZLARI

Karbon monoksit te yayılmamış kızılötesi ışın absorpsiyon (NDIR"non-dispersive infra-red) cihazları kullanılarak belirlenmektedir. Bu cihazın çalışma prensibi karbon dioksit için anlatılanla aynıdır. Aradaki fark karbon monoksit için (ince tabaka halindeki) yan tesir filitresi kullanılmamakta bunun yerine karbon monoksiti ,karbon dioksitin istenmeyen tesirlerinden korumak için filitre odacıkları saf karbon dioksit ile doldurulmaktadır. Dedektör kısmında ise karbon monoksit bulunmaktadır.

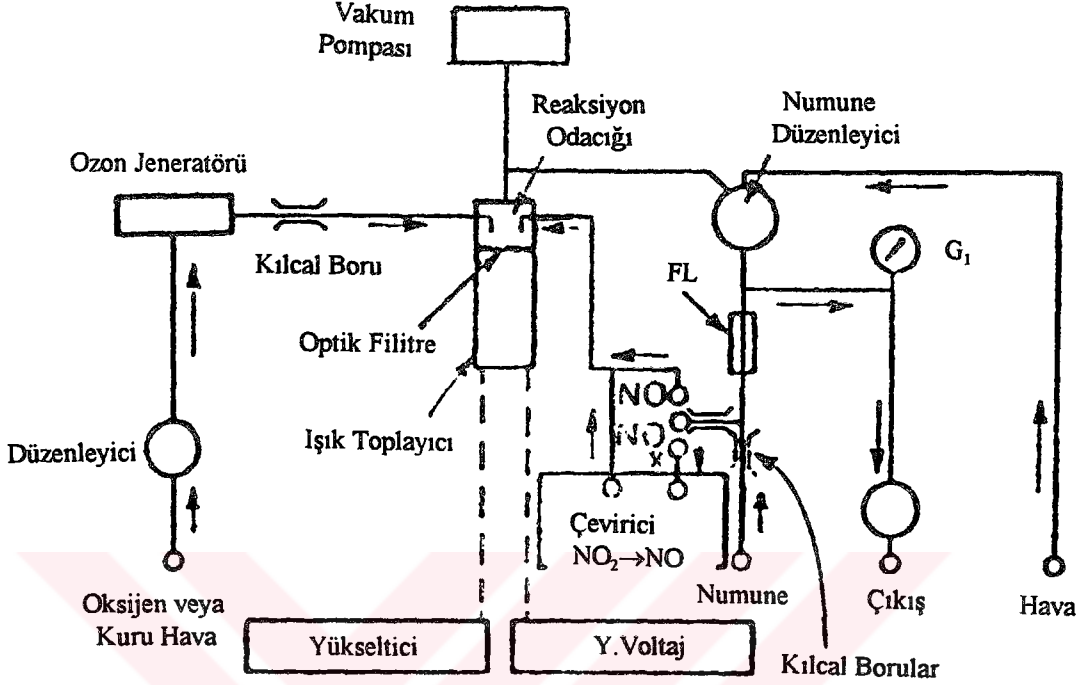
4.3.AZOT OKSİT ANALİZ CİHAZLAR

Prensip olarak azot monoksitler de yayılmamış kızılötesi absorpsiyon cihazlarıyla ölçülebilmektedir. Bu durumda da yan tesir filitreleri kullanılmamaktadır. Azot monoksit ölçümlerinin karbon monoksit ve karbon dioksitin yan tesirlerinden korumak için filitre odacıkları karbon dioksit ve karbon monoksit karışımıyla doldurulmaktadır. Şüphesiz dedektör kısmında da azot monoksit bulunmaktadır.

Su buharı kızılötesi radyasyonu absorplamaktadır. Diesel motor egzosunun ham veya hava ile seyreltilmiş olsun olmasın su buharı içermesinden dolayı ölçülecek gaz numunesinin suyu alınmak zorundadır. Bu işlem kendinden etkili silikajel veya magnezyum perklorat gibi nemden arındırıcılar kullanılarak gerçekleştirilmektedir.(Lilly,1987) Çubuk şeklindeki kurutucular, analiz cihazlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kızılötesi absorpsiyon cihazı yerine, kimyasal ışımali (chemiluminescence) analiz cihazı tercih edilmektedir. Bu cihazın avantajı sadece azot monoksiti değil azot dioksiti (ya da N_2O_3 ü) de ölçebilmesidir. Bu özellik büyük orta hızlı motorlardan yayılan egzosun ölçülmesinde önemlidir. Düşük hız ve yüksek hava-yakıt oranı gibi belirli işletme koşullarında azot oksitlerin %30 kadarı azot dioksit olarak ölçülmüşesede yüksek hızlı diesel motorlardan kaynaklanan azot oksit emisyonları, büyük ölçüde azot monoksit oluşturmak eğilimindedir. Bununla birlikte daha büyük motorlar daha fazla oranda azot dioksit yayabilmektedirler. İşte bu sebepten azot dioksit ölçümünün önemi artmaktadır.

Kimyasal ışımali analiz cihazının şematik bir gösterimi şekil 4.2 de verilmiştir. Bu cihazla azot monoksit ölçmek için egzos gazı reaksiyon odacığına alınır. Burada cihazda üretilen ozon ile reaksiyona girer. Bu esnada bir elektrik sinyali ile azot dioksit oluşturulmaktadır. Moleküller, radyasyon fotonları yayınarak gevşerler ve normal enerji seviyelerine geri dönerler. Bunlar bir filitre ve reaksiyon odacığı



Şekil 4.2 Azot Oksitlerin Ölçülmesinde Kullanılan Kimyasal Işımalı Analiz Cihazı
(Chemiluminescence.C.L.A.)

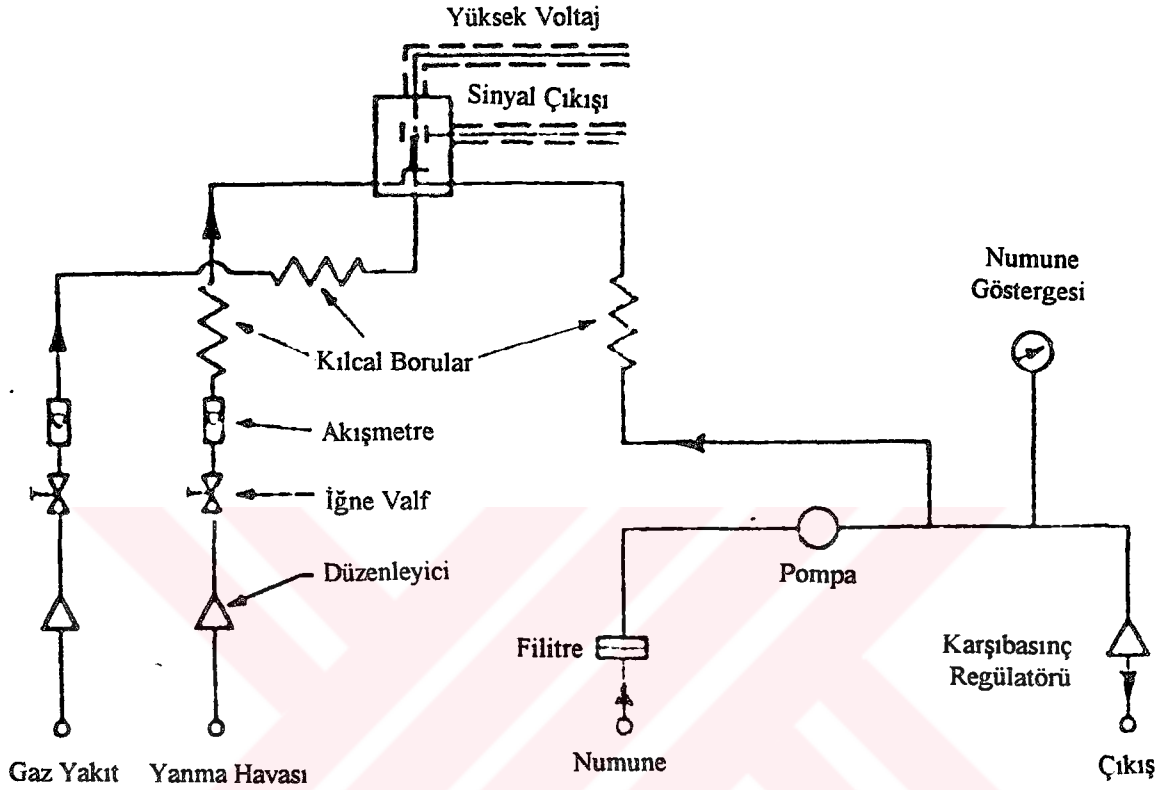
içine yerleştirilen ışın toplayıcı tüp yardımıyla belirlenir ve yükseltilir. Işın toplayıcının çıkışı azot monoksit konsantrasyonu ile orantılı olmaktadır.

Cihaz azot dioksitin belirlenmesinde kullanılırken egzoz gaz numunesi ozon ile reaksiyona gireceği odacığa doğrudan gönderilmek yerine bir dönüştürücüye (converter) girmektedir. Burada ısısal veya katalitik olarak azot dioksit azot monoksit'e dönüştürülür. İndirgenen bu gaz daha sonra ozon reaksiyon odacığine gönderilerek toplam azot monoksit miktarı ölçülmektedir. Toplam azot monoksit miktarı, azot dioksit'e dönüştürülen azot monoksit ile egzoz numunesindeki orijinal azot monoksitten meydana gelmektedir. Çoğu standartlarda azot oksitler toplam olarak ifade edildiğinden, kimyasal ışmalı analiz cihazları (doğrudan böyle ölçüm yaptığından) tercih edilmektedir.

4.4. HİDROKARBON ANALİZ CİHAZLARI

Motorlardan yayılan hidrokarbonlar alev iyonizasyon dedektörü (FID "flame ionization detector") kullanılarak ölçülmektedir. Şekil 4.3 te şematik olarak gösterilen bu cihaz gaz

kromatografisinde de kullanılmaktadır. Gerekli elektronik sinyali temin eden ve ölçümleri gösteren donanımı ile birlikte bir bütün oluşturmaktadır.



Şekil 4.3 Yanmamış Hidrokarbonların Ölçülmesinde Kullanılan Alev İyonizasyon Dedektörü (F.I.D)

Diesel egzoz hidrokarbonlarının oldukça yüksek moleküler ağırlıkta ve buna bağlı olarak kaynama noktalarının daha yüksek oluşları sebebiyle, gaz numunenin her hangi bir katı yüzeye temasının neden olacağı yoğuşum kayıplarından sakınmak zorunlu olmaktadır. Bu işlem, tüm numune boruları ve analiz cihazının numune ile temas halindeki tüm elemanları 191°C sıcaklıkta tutularak gerçekleştirilmektedir. Bu sıcaklık diesel egzoz hidrokarbonları için maksimum belirlenme sıcaklığı olarak tespit edilmiştir. (Lilly, 1987)

Hidrokarbonların alev içinde yakılmasıyla iyonlar oluşmaktadır. Alev iyonizasyon dedektöründe egzoz gaz numunesi akış hızının kontrol edilebilmesi için kılcal bir borudan geçirilerek hidrojen veya helyum karışımı ya da havadaki hidrojen ve azot karışımının yakılmasıyla elde edilen bir alev gönderilmektedir. Bu son karışımlar, egzoz numunesinde bulunan farklı oksijen düzeylerinden kaynaklanan daha az istenmeyen tesire (interference) izin verdiği için tercih edilmektedir.

Alevin karşısında bir potansiyel fark tesis edilerek; hidrokarbonlar yanarken oluşan iyonların orada bulunan elektrotlardan herhangi birine hareket etmesi sağlanmaktadır. Bu olay yükseltilinebilinen ve ölçülebilen bir elektrik akımı meydana getirmekte kullanılmaktadır. Akımın şiddeti alevden geçen karbon atomlarının miktarıyla orantılı olmaktadır. Analiz cihazı bilinen bir hidrokarbon gaz (ekseriya propan) ile test ve ayar edilmektedir. Ölçüm değerleri genellikle ppm C (ppm karbon eşdeğeri) olarak ifade edilmektedir. Bu cihaz hidrokarbonların birer birer tespit edilmesine ihtiyaç duyulmadığı durumlarda mevcut hidorkarbonların toplam miktarının ölçülmesine imkan vermektedir.

4.5.OKSİJEN ANALİZ CİHAZLARI

Oksijen emisyonlarının sınırlandırıldığı ülke bulunmamaktadır. Bununla birlikte diğer motor parametrelerini kontrol imkanı vermesi nedeniyle motorlardan kaynaklanan ham egzoz içindeki oksijen konsantrasyonunu ölçmek çok yarar sağlayabilmektedir. Bu cihazların bir türü elektrokimyasal pil esasına göre çalışmaktadır. Bir diğerinin çalışma prensibi oksijenin paramağnetik (mıknatısla çekilebilme) özelliğine dayanmaktadır.

Elektrokimyasal pil esaslı analiz cihazları genel olarak aralarında elektriği ileten bir sıvı veya jel (pelte) bulunan iki elektrottan oluşmaktadır. Pil, oksijen difüzyonuna imkan veren bir politetrafloretan diyaframın arkasına monte edilmektedir. Cihaz bu sayede oksijenin kısmi basıncını ölçebilmektedir.

Bu cihazın yaygın tiplerinde elektrolit olarak potasyum klorit bulunan altın bir katot ve gümüş bir anot mevcut olduğundan oksijenin diyaframdan difüzyona uğramasıyla katotta aşağıdaki reaksiyon meydana gelmektedir. $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ Anotta ise; $4Ag + 4Cl^- \rightarrow 4AgCl + 4e^-$ reaksiyonu oluşur. Elektrotlar arasına bir kutuplama gerilimi (a polarizing voltage) uygulanırsa, meydana gelecek akım, oksijenin kısmi basıncıyla orantılı olacaktır. Açıkça görüleceği gibi elektrokimyasal piller pahalıdır. Ancak pillerin kolayca değiştirilebilir kartuşlar şeklinde yapılabilmesiyle bu problemin ortadan kaldırılması mümkün gözükmektedir.

Paramağnetik bir cismin mağnetik sahada kuvvet çizgileri düzgün hale gelir. Bu Faraday tarafından 1851 de ispat edilmiştir. Faraday oksijen ile dolu cam kürenin mıknatıs tarafından çekildiğini göstermiştir. Modern oksijen analiz cihazları da iki küreden oluşmaktadır. Birbirlerine bir çubuk ile bağlı olan bu küreler jimnastikçi halteri (dambıl) şeklinde olup kürelerdeki oksijenin sızdırmazlığı sağlanmıştır. Test yapılan gaz içindeki simetrik bakımdan düzgün olmayan mağnetik sahaya küre düzeneği tümüyle asılır. Küre düzeneği mağnetik sahanın en yoğun kısmında bağımsız kuvvet çizgilerini oluşturur. Test edilen gazda oksijen mevcut olduğu zaman bu mağnetik saha da etkileneceğinden küreler dışarı doğru itilir. Küre düzeneğine etki eden döndürme momenti numune gazın paramağnetliği ile orantılı olmaktadır. Bu döndürme momenti ya doğrudan ölçülmekte veya

çoğunlukla olduğu gibi (küre çevresinde ki sargı şeklindeki bir geri besleme sistemiyle) küresel düzeneği sabit tutmak için gerekli akım ölçülerek tespit edilmektedir.

Açıkça görüleceği gibi bu cihaz paramağnetik diğer gazların bozucu etkisine de maruzdur. Azot monoksit ve azot dioksit bozucu etkisi olan iki elemandır. Bir atmosfer basınçtaki azot monoksit aynı basınçtaki oksijen değerinin ~yarısı kadar bozucu tesir sağlarken, azot dioksit 1/3 ü kadar bozucu etki meydana getirmektedir. Ancak, bu gazlar şans eseri egzoz gazlarında çok az miktarlarda bulunmaktadır. Bu sebepten bunların etkisi normal olarak ihmal edilebilir seviyededir. (Lilly, 1987)

Paramağnetik ve elektrokimyasal pil esaslı oksijen analiz cihazları, motor sanayinde egzoz gazlarının içerdiği her seviyedeki oksijenin ölçülmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Zirkonyum oksit esaslı bir elektrokimyasal aygıt oksijene, daha doğrusu karbon monoksit önlem olarak kullanılmaktadır. Zirkonyumlu algılayıcılar zirkonyum oksitten oluşan cidarın bir yüzündeki oksijen konsantrasyonu değiştiğinde, bu cidar doğrultusunda bir potansiyel fark elde edileceği esasıyla çalışmaktadır. Potansiyel fark zirkonyum cidarın her bir yüzünde bulunan platin elektrotlar yardımıyla belirlenmektedir. Bu potansiyel fark çok küçük bir akım meydana getirdiğinden ve bu nedenle de zirkon/oksijen pilinde yeterli etkiyi sağlamıyacağından çoğunlukla bir transistör aracılığıyla yükseltilmektedir.

Bu tür analiz cihazlarında, karşılaştırma gazının oksijen konsantrasyonu daima numune oksijen konsantrasyonundan önemli derecede fazla olduğundan: egzoz incelemeleri için normal çalışma aralığını kapsayan bir kaç karşılaştırma gazına ihtiyaç bulunmaktadır. Benzer olarak, düşük oksijen konsantrasyonlarında egzostaki karbon monoksit probdaki oksijen ile reaksiyona girerek oksijen konsantrasyonunu azaltmakta ve analiz cihazı eksik değer göstermektedir. Stoikometrik hava yakıt-oranı civarında bu reaksiyon etkili olmakta ve zirkonyum pilde hızlı bir sinyal değişimini meydana getirmektedir. Bu sebeplerden egzoz aparatlarında üç yollu katalizatörlerle birlikte kullanılmaktadır.

4.6.PARTİKÜL ANALİZ CİHAZLARI

Partikül, egzoz gazlarının çevre havası ile seyreltikten sonra filitre edildiğinde filtreden tutulan su dışındaki her türlü madde olarak tanımlanmaktadır. Partikül analiz cihazları, temiz hava ile seyreltilmiş egzoz ürünlerinin karıştırıldığı bir tünel, ürünlerin ölçüm için dışarı alınabildiği bir prob ve bir filtreden oluşmaktadır. Numune alma sistemlerinin bir bölümünü oluşturan bu aparatlar şekil 3.1, 3.6 ve 3.7 de görülmektedir. Tünelin boyutları standartlarda verilmektedir. Ölçüm için numune almadan önce egzoz ürünlerinin seyreltme havası ile iyice karışmış olması temel bir yaklaşımdır.

Partiküllerin kütleleri çok küçük olup gaz özellikleri gösterirler. Bu sebepten seyreltilmiş egzoz gaz akımından kinetik bakımdan sabit özelliklerde numune alma imkanı yoktur. Numune alma probunun sıcaklığı belirli bir değeri aşmamalıdır. Bu değer ABD standartlarında 52° C olarak verilmektedir. (Lilly, 1987) Sıcaklığın sınırlandırılmasının bir çok teknik sebebi bulunmaktadır. Örneğin

filtrasyon sıcaklığının 50° C ta tutulması ile bu sıcaklıkta katı ve sıvı halde bulunan maddeler toplanabilmekte, diğer maddeler gaz şeklinde olacağından filtrasyonda tutulamamaktadırlar. Sıcaklık 150° C yükseltirse kaynama sıcaklığı, 50-150° C arasında olan maddeler filtrasyondan dışarı atılmış olmaktadır. Bu ise daha az miktarda partikül madde tespiti demektir. Bu tartışmalar filtrasyon sıcaklığının sınırlandırılması gerektiğini açıkça göstermektedir. Filtrasyonda biriken madde miktarı tartılarak belirlenmektedir.

İs ile partikül madde emisyon hızı arasındaki ilişki halen çözümlenememiştir. Bunun bir sebebi is değerinin tam olarak ölçülmesindeki zorluklardır. İis ölçüm cihazları, ister Hartridge tipi (optik direnç esaslı), isterse Bosch tipi (leke ölçme esaslı) is ölçer olsun emisyonların değişken özelliklerinden yararlanılarak ölçüm yapmaktadırlar. Bu durum ölçüm değerinin yetersizliğini ortaya koymaktadır.

Motor işletme koşullarına bağlı olarak partikül bileşimleri; %5 hidrokarbon + %95 karbon'dan %80 hidrokarbon + 20 karbona kadar değişiklikler gösterebilmektedir. Işığın geçirme ve yansıtma özelliği olmadığından karbon yüksek bir is değerinin ölçülmesine neden olmaktadır. Halbuki hidrokarbon tanecikleri bulunan bir numune; hidrokarbonun nisbeten yüksek ışık geçirgenliği ve yansıtma özelliklerinden dolayı daha düşük bir is değeri ölçülmesine sebep olmaktadır. Sorun biraz açıldığında, farklı hidrokarbonların farklı optik özellikleri olacağı ve sıvı hidrokarbonların tanımlanmasında kullanılan ışığı kırma indislerinin farklı olacağı gibi kavramlarla karmaşık hale gelmektedir. Buna rağmen mevcut optik, fotoakustik, osilatör kullanımı gibi yöntemlerin geliştirilmesine ve partikül emisyonlarının tespitinde kesintisiz değer alınması imkanları araştırılmaktadır.

4.7.İS ANALİZ CİHAZLARI

İis, en basit şekilde emisyonların optik özelliklerinden yararlanılarak ölçülmektedir. Yönetmelik ve standartlarda belirtilen is ölçüm cihazları tiplerine göre sınıflandırılarak anlatılmıştır. Bu tipler basit bir sınıflandırma şeklindedir.

4.7.1.Mukayese Yöntemi ile İis Ölçümü Yapan Aparatlar

Bu belirleme yönteminde; standard siyah renklerden oluşan bir skala ile is renk koyuluğu doğrudan doğruya gözle karşılaştırılmaktadır. İis koyuluğunun derecelendirilmesinde çoğunlukla "Ringelman Ölçeği" kullanılmaktadır. Bu ölçek; üzerinde alanının %20 si, %40 ı, %60 ı ve %80 i siyah çizgilerle karartılan bir dizi diyağram bulunan beyaz bir karttan ibarettir. Düşey ve yatay çizgilerle karartılan bu diyagramlar yukarıda verilen karartılma yüzdelere göre sırayla 1,2,3,4 Ringelman derecesi olarak adlandırılmaktadır. Bu ölçekte hiç siyah çizgi içermeyen beyaz diyagram 0, tümüyle karartılan diyagram ise 5 Ringelman derecesi olarak belirlenmiştir. İisin içinde bulunduğu ışığın yol açtığı renk ile ölçeğin içinde bulunduğu ışığın vereceği rengin kıyaslanmasında, optik bakımdan

şartların aynı olmaması sebebiyle kuşku ile bakılmasına karşın Ringelman ölçeği sanayi tesislerinin dışarıdan denetimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İngiliz standardlarında bu ölçeğin kullanımı tarif edilmektedir. Işık geçirgenliğinin ringelman derecesi olarak kalibre edilmesi için "standard gökyüzü" tanımı da aynı standard ta yer almaktadır. Ülkemizde özellikle katı yakıt yakan tesislerin emisyonlarının derecesinin belirlenmesinde kullanılması yönetmeliklerle öngörülmektedir. Ülkemiz için bu tesislerin is emisyon sınır değeri 2 ringelman derecesi olarak belirtilmektedir. (Resmi Gazete,1986)

Üzerinde koyuluğun değişik tonları bulunan, ışık ve partikül madde geçişine izin veren "fotografik siyahlık ölçeği" tercih edilen bir diğer kıyaslama skalasıdır. Burada, isin mukayesesi; benzer optik koşullarda yapılmaktadır. Koyuluk derecesi % ışık geçirgenliği ile orantılı olarak kalibre edilmektedir. Bu durumda bile is "siyah" değilse hatalı ölçüm mümkün olmaktadır. ABD 'de bu tip kıyaslama aparatlarının USPHS (ABD halk sağlığı kurumu) nun referans fotografik ölçeğini içeren değişik biçimleri de mevcuttur.

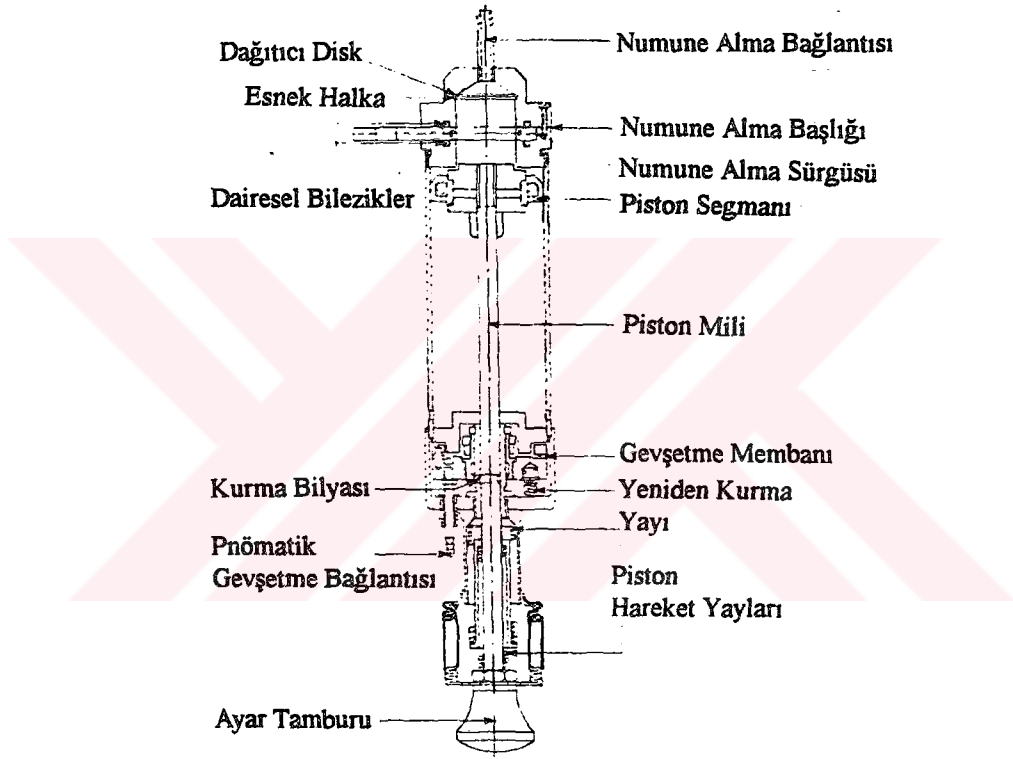
Bu sınıf aparatların hareketli araçlardan yayılan isin belirlenmesinde kullanılması çok sınırlıdır. Çünkü sürekli değişen aydınlanma düzeyi nedeniyle; önceki renk ve görüş açısı değişeceğinden, hız ve yük değişimlerinde farklılık gösteren emisyonların isliliğinin tespitinde tek başına yeterli olmamaktadır.

4.7.2. Leke Yöntemiyle İS Ölçümü Yapan Cihazlar

Bu cihazlar, egzos gazlarının beyaz renkte kağıt filitreden geçirilmesi sonucu, filitre üzerinde biriken karbon zerrecelerinin oluşturduğu lekenin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Bu lekenin renk koyuluğunun derecesi isin yoğunluğuna bağlıdır. Ölçümün tutarlılığı için belirli bir filitre alanından geçen egzos gazlarının hacmi sabit ve filitre özellikleri tanımlanmış olmalıdır. Ayrıca egzos gaz numunesi filitreden sabit hızla geçirilmelidir. Numunenin egzos sisteminden çıktığı noktadaki aşırı basınç dalgalanmaları hatalı ölçümlere neden olmaktadır. Hatalı ölçüme neden olan bir diğer olgu filitre üzerindeki buhar yoğunlarıdır. Bütün bunlara ilave olarak filitre bir miktar partikül geçişine de izin verdiği için, egzos gazlarında yüksek oranda aerosol bulunması durumunda, eksik is yoğunluğu ölçümü yapılmış olacaktır. Bu sebeplerden bu tip is ölçüm cihazlarını mavi/beyaz isin mevcut olduğu durumlarda kullanmak mümkün olmamaktadır.

Bu tip cihazların en basit biçimi RCC-B model Bacharach is ölçeridir. Bu cihazda numune, bir prob ve elle çalışan bir pompa yardımıyla egzos gazları içerisinden emilmektedir. Genellikle 1/4 inç (6.35mm) çapında bir prob kullanılmakta ve egzos gazlarına 2 1/2 inç (63.5mm) daldırılmaktadır. Egzos gazlarının koyulaştırdığı plastik astarlı beyaz kağıt filitre 10 basamaklı bir siyah seri ile karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma da gözle yapılmaktadır. Bu seride tümüyle beyaz olana 0 , tümüyle siyah olana ise 9 diğer serilere de sırayla 1 den 8 e kadar Bacharach derecesi denmektedir.

Burada da gözle değerlendirmenin subjektif hatalara yol açması kaçınılmazdır. Ayrıca, pompanın elle çalışması sebebiyle bu cihazın motorlardan ziyade kazanlardan kaynaklanan is emisyonlarının incelenmesinde yararlı olmaktadır. Bu tip cihazların geliştirilmiş bir örneği Almanya 'da Bosch tarafından üretilmektedir. EFAW/65 nolu bu modelde yukarıda anlatılan aksaklıkların bir çoğu halledilmiştir. Dışardan bir güç kaynağına ihtiyaç göstermeyen bu model is ölçer şekil 4.4 te görülmektedir.

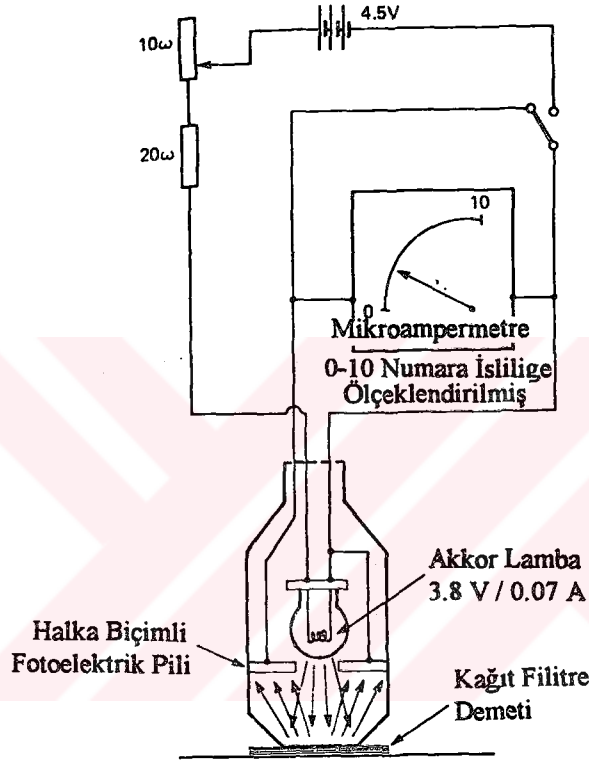


Şekil 4.4 Bosch Tipi Numune Alma Pompası (EFAW/65)

Bu cihazda, gaz numunesi alınmadan önce pompa pistonu içerde (minimum hacim) konumuna el ile getirilmekte ve bir bilyalı yay mekanizmasıyla orada tutulmaktadır. Numune almak için pistonun dışarı doğru hareketini (maksimum hacim) başlatmak için basınçlı hava ile piston milinin bilya-yay mekanizmasından kurtulması sağlanmaktadır. Bu esnada piston, hareket ettirici yayların etkisiyle dışarı doğru çekilmektedir. Numune alma işlemi bu sayede bir bir buçuk saniyede gerçekleşmektedir. Bu cihazın strok hacmi 0.33 lt olup yüzey alanı 8 cm² olan dairesel filtresi mevcuttur. Numune filtreden geçerek pompa içerisine dolmaktadır. Ayrıca imalatçılar tarafından bu tip pompaların garanti edilen husuları belirtilmektedir. Bu pompa sayesinde numune alma sistemi; numune alma boruları içindeki

dinamik basınçlardan ve dolayısıyla piston hareketlerinin etkisinden korunmaktadır. Numune alma kısmındaki statik basıncın 15 inç su sütunu (380 mmss) nu aşmaması önerilmektedir. (Lilly,1987)

Kağıt filitre üzerindeki leke şekil 4.5 te görülen EFAW/68 model bir değerlendirme cihazı yardımıyla belirlenmektedir.



Şekil 4.5 Bosch Tipi İş Lekesi Değerlendirme Cihazı (EFAW/68)

Bu cihaz kısaca bir yansıtma ölçer (relectometer) olup, üzerinde iş lekeli bulunan filitre demetinden yansıyan akkor lamba ışığının, ışığı voltaja dönüştüren bir fotoelektrik pilinde meydana getirdiği akımın ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Hatalı ölçümün önlenmesi için lamba, fotoelektrik pili ve filitre demeti uygun bir açıda sisteme yerleştirilmektedir. Lekeli filitrenin konduğu zemin en az 12 temiz filitrenin üst üste dizilmesiyle oluşturulmaktadır. Fotoelektrik pilinden çıkan akım bir mikro ampermetre yardımıyla ölçülmektedir. Bu ampermetre kadranı 1 den 10 a kadar sayılarla skalendirilmiş olup buna Bosch ölçeği denilmektedir. Bu cihazın periyodik olarak sıfır ve ölçüm aralığı ayarı için zaman zaman test edilmesi gerekmektedir.

Bosch tipi iş ölçer kullanımı, işletme koşulları değişmeyen motorlarla sınırlı kalmaktadır. Cihaz bu motorlar dışında yetersiz kalmaktadır. Ancak numune alma aparatının basit ve dayanıklı

olması, kullanım ve hassasiyetinin uzman eleman gerektirmemesi sebebiyle tercih edilmektedir. Daha hassas değerlendirme cihazları, gerektiğinde kullanılmak üzere deney istasyonlarında bulundurulmaktadır. İş için getirilen yeni sınırlamalardan dolayı Bosch tipi is ölçme aparatı duyarlılığının az olması sebebiyle yetersiz kalmaktadır. Bu sorun dizaynı ve üretimi profesör Hans List (Avusturya/Graz) tarafından gerçekleştirilen AVL 409 model otomatik kumandalı is ölçer ile giderilmiştir. Bu cihazın numune alma pompasının strok hacmi 1lt olup filtre yüzey alanı 8 cm² dir.

Tam yükte kısa süreli hızlanmalardan kaynaklanan egzoz isinin ölçülmesi için yukarıda belirtilene benzer bir pompa kullanılmaktadır. Toplayıcı (integrating) tipi is ölçer olarak adlandırılan bu cihazın, pistonun hareketi basınçlı hava ile yavaşlatılmakta ve 7 saniyeye kadar uzatılmaktadır. Böylece filtrede biriken karbon miktarı hızlanma sırasındaki is emisyonunun ortalama değerini ifade etmektedir. Filtre yüzey alanı 1.1 cm² ye indirilen ve islilik derecesi Bacharach ölçeği yardımıyla değerlendirilen bir başka numune alma pompası da EFAW/65 B model olarak mevcuttur. Leke yardımıyla is ölçümü yapan Bosch tipi is ölçerler ile egzoz gazlarındaki mavi/beyaz renkteki is doğru ve güvenilir olarak ölçülememektedir.

4.7.3. Optik Direnç Esaslı İş Ölçüm Cihazları (Opacimeters)

İsli ortam optik bir ölçü olarak tanımlanmaktadır. İşin yoğunluğu; ışık hüzmesinden geçirilen isin, ışınları soğurması yada is hüzmesinden geçirilen ışınların, is tarafından soğrulması, miktarına bağlı olarak kolaylıkla ölçülmektedir. Böyle bir cihazın ışın kaynağı egzoz gazları ile doldurulmuş boyutları bilinen bir ışık güzergahı ve güzergahın sonunda (ışık kaynağının karşısında) absorplanmayan ışınları elektrik akımına çevirip ölçülmesine olanak sağlayan bir fotoelektrik pil olarak sayılabilir. Fotoelektrik pil isin yol açtığı ışık şiddetindeki azalmayla doğru orantılı olarak bir voltaj meydana getirmektedir. Işık şiddetindeki azalma aşağıda olduğu gibi ekseriya % birimiyle ifade edilmektedir. (Lilly, 1987)

$$N = 100 \cdot \left(1 - \frac{I}{I_0} \right) \quad [\%] \quad (4.1)$$

Burada:

[N] Optik direnç [%]

[I] İşli egzoz varken ışık güzergahındaki ışık şiddeti [Cd]

[I₀] Temiz hava varken ışık güzergahındaki ışık şiddetini [Cd] göstermektedir.

Işık şiddetindeki azalma Beer-Lambert Kanununa uygun olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\frac{I}{I_0} = e^{-C_p \cdot a \cdot Q_p \cdot L_e} \quad [\text{Boyutsuz}] \quad (4.2)$$

Burada:

[C _p]	Siyah ise yol açan partikül konsantrasyonu	[g.10 ⁻³ karbon/m ³]
[a]	Bir gram partikülün yüzey alanı	[m ² /g]
[Q _p]	Partikül yok olma katsayısı	[Boyutsuz]
[L _e]	İsli egzoz içindeki ışığın etkin güzergah uzunluğunu [m] göstermektedir. İsin yoğunluğu aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.(Lilly,1987)	

$$k_a = C_p \cdot a \cdot Q_p \quad [m^{-1}] \quad (4.3)$$

Burada:[k_a] parametresi "ışık emilme katsayısı" veya "is yoğunluğu " olarak tanımlanmaktadır. Bu sayı, optik direnç ve etkin ışık güzergah uzunluğuna bağlı olup aşağıda verilen bağıntı ile de hesaplanabilmektedir.

$$k_a = \frac{-1}{L_e} \ln \left(1 - \frac{N}{100} \right) \quad [m^{-1}] \quad (4.4)$$

[k_a] nın birimi [m⁻¹] olup birim olarak önceki kısımda bahsedilen (leke yöntemiyle ölçüm yapan cihazlardaki) gaz numune hacminin filtre yüzeyine oranına benzetilebilmektedir. Ayrıca, motorların bir çok işletme pozisyonunda ortaya çıkan karbon partikülleri için [a] ve [Q_p] değerleri birbirine yakın ise [k_a] katsayısı egzostaki karbonun kütleli konsantrasyonu ile doğru orantılı olmaktadır. İs yoğunluğu da denen [k_a]; optik direnç ölçüm düzeneğinden bağımsız bir parametredir. Şu da unutulmamalıdır ki etkin güzergah uzunluğu [L_e] ışık kaynağı ile fotoelektrik pili arasındaki geometrik mesafe olmayıp ışığın is içinde aldığı yoldur.

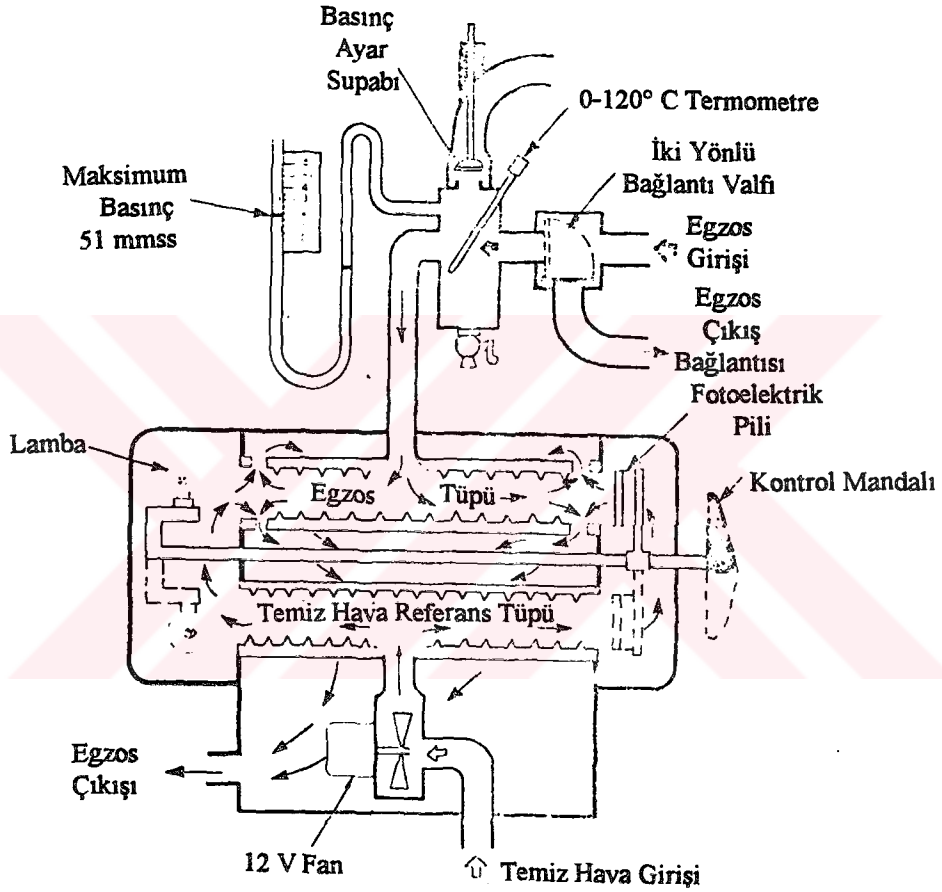
Optik direnç esaslı is ölçme cihazları numuneden ve tüm egzostan ölçüm yapan olmak üzere iki tipte olmaktadır. Tüm egzostan ölçüm yapan cihazlarda kendi içinde egzoz devresine bağlanan ve egzoz çıkış borusu ucuna bağlanan olarak ikiye ayrılmaktadır. Numuneden is ölçümü yapan cihazlar, leke yardımıyla is ölçümü yapan cihazlardan, işletmeye ara verilmeden ölçüm yapma imkanı vermeleri ve bu sayede de değişik işletme koşullarını inceleme fırsatı tanımaları nedeniyle daha avantajlıdırlar. Tüm egzostan ölçüm yapan cihazlarda ise egzoz emisyonlarının toplam is yoğunluğu ölçülmektedir. Egzoz devresine bağlanan is ölçüm cihazları, egzoz sisteminin bir elemanı gibi monte edilirken, egzoz çıkış borusu ucuna bağlanan is ölçüm cihazları sabit ya da seyyar olabilmektedir. Bu cihaz ışık güzergahından tüm egzozu geçirecek boyutlarda bir tüp bulundurmakta ya da ışık demeti tüm egzostan geçerek fotoelektrik piline ulaşacak biçimde dizayn edilmektedir. Bu dizaynlara egzoz borusu boyutları da tesir ederek etkin güzergah uzunluğu [L_e] belirlenmektedir.

4.7.3.1. Numuneden İs Ölçümü Yapan Cihazlar

Bu tip cihazların en basit şeklinde, egzoz gaz numunesi bir prob yardımıyla egzoz sisteminden dışarıya alınmakta ve bir ucunda fotoelektrik pili, diğer ucunda akkor lamba bulunan bir tüpten

geçirilmektedir. Sıfır ayarı tüpten temiz hava geçirilerek kontrol edilmektedir. Bu cihazın sıfır ayarının bozulmasına tüpten geçirilen hava akımının sabit olmaması, ışık kaynağının ve fotoelektrik pilinin kirlenmesi neden olmaktadır. Ayrıca is partiküllerinin ve yoğunlaşma sebebiyle oluşan damlacıkların ışık difüzyonu da diğer bir hata kaynağı olmaktadır.

Bu tipe dahil edilen bir is ölçme cihazı BP-Hartridge tarafından dizayn edilmiş ve geliştirilmiştir. Hartridge is ölçeri denilen bu cihaz şematik olarak şekil 4.6 da verilmiştir.



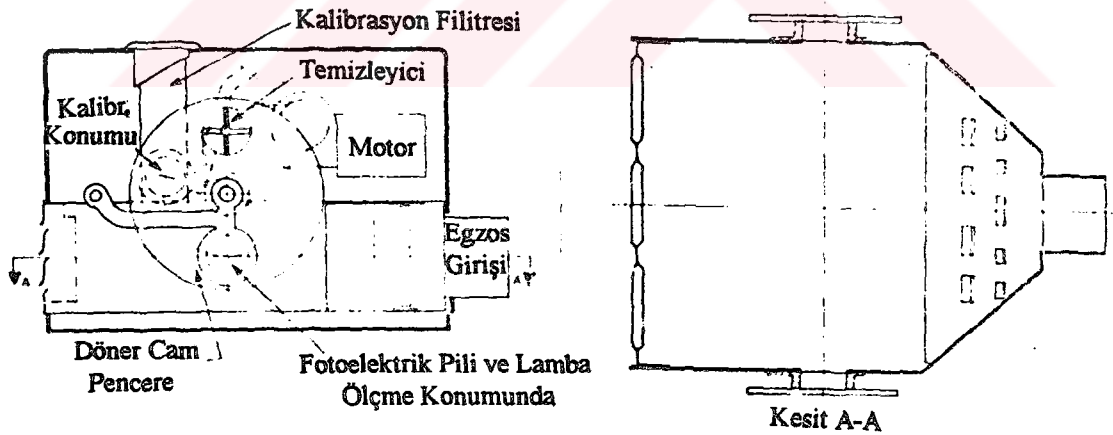
Şekil 4.6 Hartridge Tipi İS Ölçer

Bu cihazda 18 inç (456mm) uzunluğunda iki adet ölçme tüpü bulunmaktadır. Bu tüplerden birine basınç kontrolünün bir valf ile sağlandığı bir prob ile numune alınmakta, diğerine ise elektrikli bir pompa ile temiz hava üflenmektedir. Akkor lamba ve fotoelektrik pili bir kol aracılığı ile iki tüptede kullanılabilir hale getirilmiştir. Bu sayede sadece ölçüm yapılırken fotoelektrik pili ve lamba ise maruz kalmaktadır. Ölçüm esnasında ventilasyon havası, egzos gazlarının yönünü bir miktar saptırmaktadır. Tüplerdeki iç yüzeylerin siyahlığı ve yuvarlak kanatçıklar, ışığın yansıma ve difüzyon etkilerini en aza indirmektedir.

Bu cihaz numune alma hattındaki basınç değişmelerinden olumsuz şekilde etkilenmektedir. Eğer numune, egzoz susturucusundan sonraki bir noktadan alınıyorsa numune hattına bir miktar azalma hacmi ilave edilmektedir. Ayrıca sürekli ölçüm gerektiğinde fotoelektrik pilinin sıcaklığının yükselmemesine dikkat edilmelidir. Bunun için, kimi durumlarda numune alma hattına soğutucu monte edilmesi de gerekmektedir. Bu cihaz, numune alma sistemine giren egzoz gaz hacmindeki farklılıklara bağlı olarak meydana gelen is yoğunluğundaki ani değişmeleri, miliampermetrenin duyarlılığının nisbeten yavaş olması nedeniyle hassas olarak göstermemektedir. Buna rağmen bu cihaz Avrupa 'da test istasyonlarında ve taşıt motorlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Biri ışık kaynağı için diğeri de hava pompası için olmak üzere iki büyük akü gerektirdiğinden taşıtlar için bu cihaz büyük sayılacak boyutlardadır.

4.7.3.2. Tüm Egzozan Is Ölçümü Yapan Cihazlar

Şekil 4.7 de görülen UTAC is ölçeri bu tip cihazlara örnek olarak verilmektedir. Fransa 'da "Union Technique de L' Automobile et du Cyle" tarafından dizayn edildiği için bu kuruluşun adını oluşturan kelimelerin ilk harflerinin biraraya getirilmesiyle UTAC is ölçeri denilen bu cihaz Hartridge is ölçerine benzer bazı özelliklere sahiptir. Ancak motor egzoz çıkışına bağlanmış bir boru yardımıyla egzoz gazlarının tamamı, genişliği Hartridge is ölçerinin tüp uzunluğuna eşit (456mm) bir odacığa alınmakta ve atmosfere buradan atılmaktadır. Odacık üzerinde bulunan delikler cam ile kaplanmışır. Bu



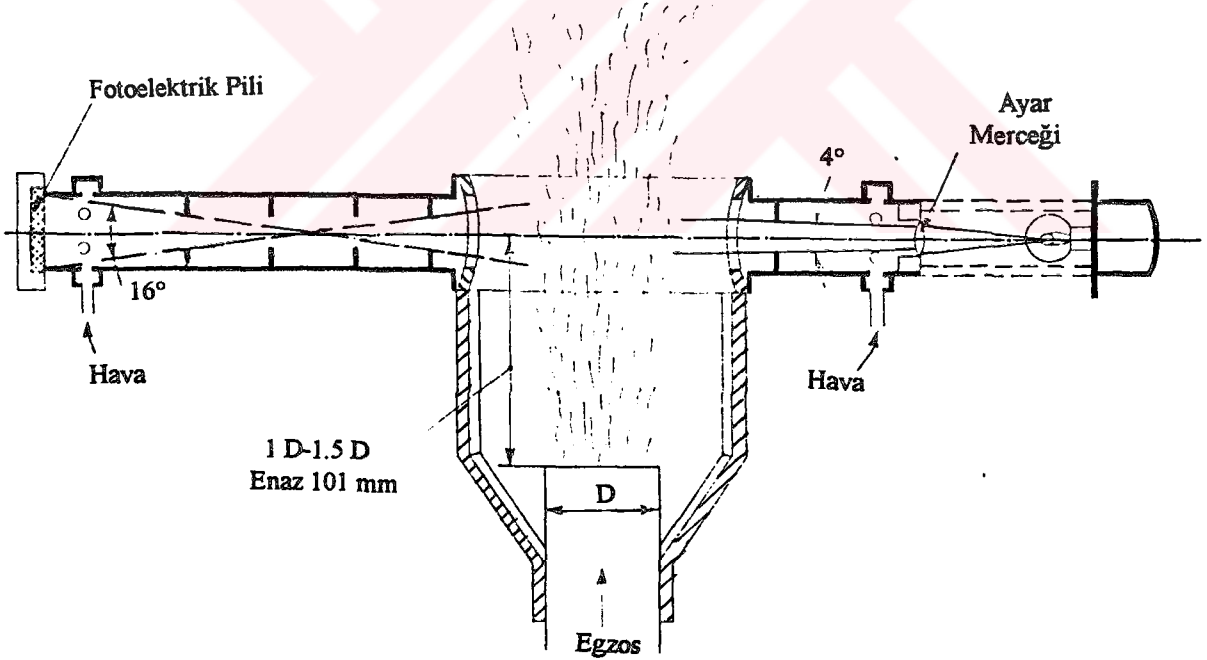
Şekil 4.7 UTAC Tipi Is Ölçer

camlar bir motor aracılığıyla döndürülmekte ve daima temiz olması sağlanmaktadır. Lamba ve fotoelektrik pili Hartridge is ölçerine benzer şekilde (ölçüm odacığının pencereleri karşısında) temiz hava tüpünün doğrultusuna da getirilebilmektedir. Kalibrasyon amacıyla temiz hava tüpü

doğrultusuna getirilebilen bu aperlara nötr yoğunluk filitreleri takmak için donanımlar da mevcuttur.

Sabit koşullar altında bu cihazın Hartridge is ölçerle aynı sonuçları vermesi beklenebilir. Ancak açık bir ölçüm odacığındaki optik koşullar ile kanatçıklı kapalı bir tüpteki optik koşullar birbirine benzemediğinden bu mümkün olmamaktadır. Yine değişken koşullardaki isin araştırılması amaçlanmasına karşın, UTAC is ölçerinde de egzoz çıkış hacmi ile ölçüm için odacığa giren gaz hacimleri arasında azımsanmayacak bir fark bulunmaktadır. Özellikle küçük motorlarda (strok hacmi 1.5 lt nin altında olanlar) ölçüm odacığının doldurulmasında karşılaşılan güçlükler elektrikselsel duyarlılık kadar etkili olmaktadır.

Taşıt motorlarını test üzere dizayn edilen bu cihaz egzozun tümünün ölçüm odacığından doğrudan dışarıya verildiği durumlarda en iyi ölçümü yapabilmektedir. Ağır hizmet motorlarının is ölçümünde USPHS (ABD halk sağlığı kurumu) tarafından dizayn edilen, tüm egzozdan ve egzoz çıkış borusu ucundan ölçüm yapan cihazlar kullanılmaktadır. Bu tipteki is ölçüm cihazları; dışarı atılan egzoz gazlarındaki damlacık biçimli isin (plume) tespit edilmesi esas alınmaktadır. Şekil 4.8 de gösterilen ve ışık kaynağı ile fotoelektrik pilinden oluşan ölçüm cihazı, egzoz borusuna sıkı bir şekilde bağlanan



Şekil 4.8 USPHS Tipi Is Ölçer

rijit bir çemberin üstüne konmuştur. Bu cihazda odaklanan ışın demeti is damlacıkları içinden paralel doğrular şeklinde geçmektedir. Fotoelektrik pilinden geçen akımı ölçen uygun bir gösterge ve kayıt

elemanına bağlanarak değişen motor çalışma koşullarına hızlı uyum sağlayan bir cihaz elde edilebilmektedir. Gerektiğinde sisteme basınçlı temiz hava verilerek sistem soğutulmakta ve cihazın is tarafından kirlenmesi önlenmektedir.

Cihaz hem sabit hem değişken koşullarda çalışmaya elverişlidir. Ancak ışığın absorplandığı is damlacığının çapının küçük olması bir hassasiyet eksikliğine yol açabilmektedir. Ayrıca tümüyle siyah olmayan is, ortamdaki aydınlatmadan etkilenmekte ve cihazın yanlış değer göstermesine neden olmaktadır.

Optik direnç esaslı is ölçüm cihazları, esasen deney standında ya da şasi dinamometresinde kullanılmaktadır. İis damlacığının şeklinin bozulmasına izin vermeyen bir egzoz sistemine ihtiyaç gösterirler. Bu şekil bozukluğuna büyük çaptaki egzoz boruları sayesinde oluşan düşük egzoz çıkış hızları ve türbülanslar neden olmaktadır. Bu nedenle egzoz çıkış borusu çaplarına bir sınırlama getirilmektedir. 127mm çapındaki egzoz borusunda is damlacıklarını bozucu etkiler ortaya çıkmakta olup bundan daha büyük çaplı egzoz çıkış borularında bu cihaz kullanılamamaktadır.(Lilly,1987) Açık havadaki ölçümlerde ise is damlacıklarının rüzgardan korunması gerekmektedir

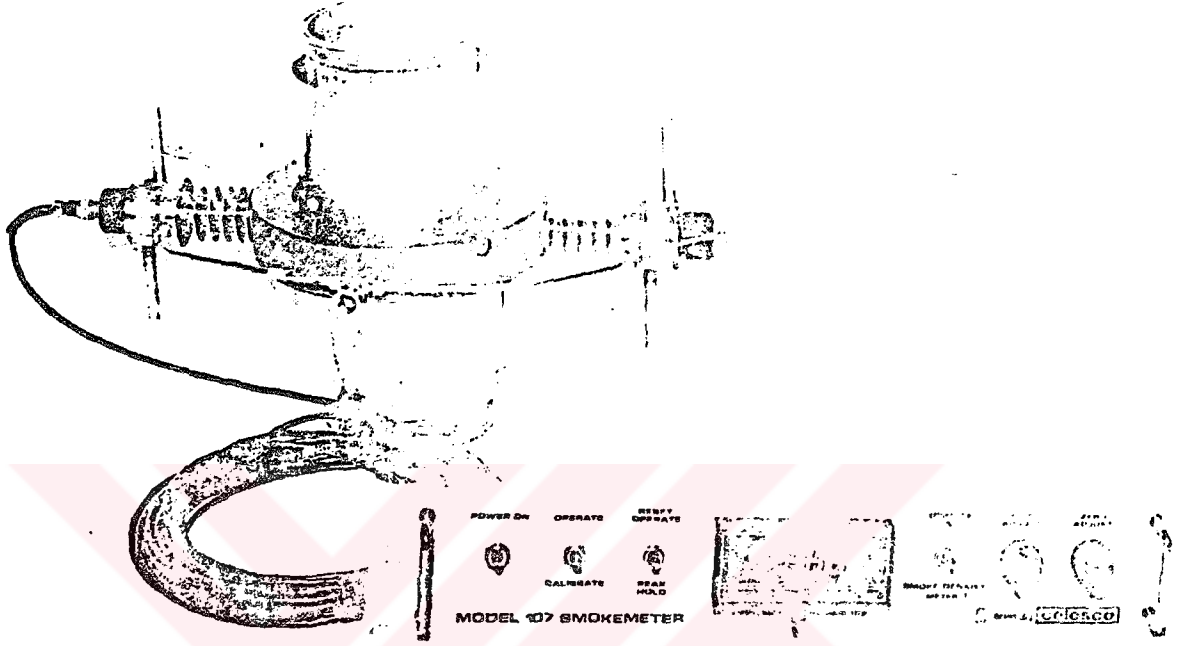
Tüm egzozan-egzoz devresine bağlanarak is ölçümü yapan bir cihazın ana elemanları 2811 nolu İngiliz standardı ile tanımlanmaktadır. Bu cihaz bir lamba ve projektörden oluşan ışık kaynağı, aynı eksen üzerinde egzoz gaz akımı karşısına yerleştirilen fotoelektrik pili ve uygun kontrol donanımlarıyla birlikte optik yoğunluk ya da % koyuluk olarak kalibre edilmiş bir göstergedan meydana gelmektedir. Belirlenmiş bir duyarlık süresi bulunmakta olup egzoz, hüzme uzunluğu 0.3-6 m olan bir ışıktan geçirilmektedir. Açıkça görüleceği gibi sabit endüstri tesisleri için ortaya konan bu cihaz, değişken koşullar nedeniyle taşıt motorlarında kullanılamamaktadır.

Bu ihtiyacı karşılamak ve yaygın olarak kullanılan optik direnç esaslı is ölçerlerin eksikliklerini gidermek amacıyla "Celesco Berkeley Controls Inc.of California-USA" adlı bir Amerikan şirketince şekil 4.9 da gösterilen Celesco model 107 is ölçeri geliştirilmiştir. Bu modelde önceki deneyimlerde kullanılmıştır. (Lilly,1987)

Deney standında egzoz sistemlerinin test edilmesi için tasarlanan düzenekte, dedektör, egzoz sisteminin düşey bir bölümüne sokulan 150 mm çapındaki bir boru üzerinde bulunmaktadır. Paslanmaz çelikten yapılmış bir radyasyon siperi bulunan bu boru, ışık kaynağı, dedektör ve odaklama elemanları çelik bir zıvana üzerinde bulunmakta olup ısısal sapmaları önlemek için su ile soğutulmaktadır. Optik sistemi soğutmak ve kurum birikimini önlemek için basınçlı hava kullanılmaktadır. Işık kaynağı, 565 nm dalga boyunda yeşil ışık veren bir diyot olup emisyon frekansı 600 Hz dir.

Ölçüm için kullanılan foto diyot dedektörü ışık kaynağı frekansına ayarlanmakta ve böylece çevredeki aydınlıktan etkilenmemektedir. Çıkış yükseltülerek şekil 4.9 daki gibi dijital bir göstergede optik direnç, % koyuluk veya ışık absorpsiyon katsayısı olarak gösterilmekte ve kaydedilmektedir. USPHS ve Hartridge is ölçerlerin ölçümleri karşılaştırıldığında doğrusal bir bağıntı olduğu

görülmektedir. Cihazların aynı egzoz sıcaklığında çalıştığı durumlar için bu bir anlam ifade edebilir. Aksi takdirde sıcaklık etkisini sadece normal gaz kanunlarıyla açıklamak mümkün olmamaktadır.



Şekil 4.9 Celesco Model 107 Is Ölçer (Egzos Devresine Bağlanan Tip)

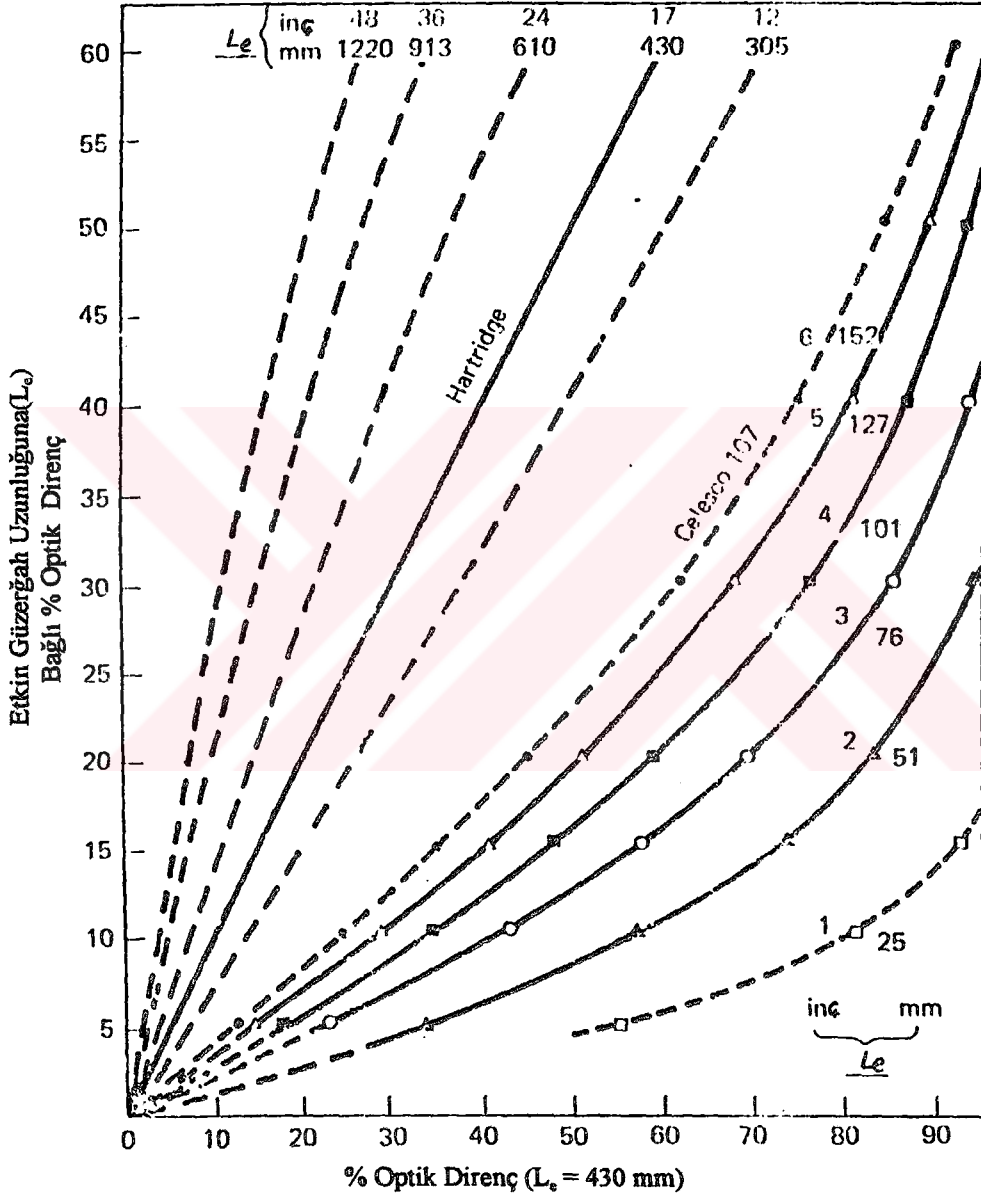
4.7.4. Is Ölçerlerin Kalibrasyonu ve Kalibrasyon Bağlılıkları

Optik direncin ölçülmesi esasına dayanan is ölçerler fotoelektrik pili akımına bağlı olarak değer göstermektedirler. Işık güzergahına optik direnci bilinen nötr yoğunluk filitre demeti konularak kalibre edilmektedirler.

Benzer olarak Bosch tipi is ölçme cihazları koyuluğun %50 olduğu nokta, temiz filitre demeti arasına konan, mat siyah renkte ve yüzey alanının yarısı delik olan bir filitre ile kalibre edilmektedir.

Optik direnç esaslı is ölçme cihazlarında etkin güzergah uzunluğunun $[L_e]$ etkisi şekil 4.10 gözükmemektedir. Burada aynı egzozun değişik etkin güzergah uzunlukları için Beer-Lambert kanununa göre hesaplanan optik dirençleri ile aynı egzozun etkin güzergah uzunluğu 0.43 m olan Hartridge tipi is ölçerde tespit edilen optik dirençleri karşılaştırılmaktadır. $[L_e]$ nin küçük değerlerinde ($L_e < 152$ mm) ufak bir değişim optik direnç değerlerinde çok büyük farklara yol açmakta ve cihaz bu durumda is yoğunluğu değişimlerine de duyarsız kalmaktadır. Şekil 4.10 un incelenmesinde Hartridge tipi is ölçerinde okunan değer düşey eksenden girilip yatay eksene bir paralel çizilir, bu paralelin eğrileri kestiği noktalardan da düşey eksene paraleller çizilirse, etkin güzergah uzunluğuna bağlı olarak bulunan

% optik direnç, yatay eksenindeki Hartridge ölçeğine göre çok farklı değerlerde olacaktır. Öte yandan $[L_e]$ nin büyük değerleri ($L_e > 305$ mm) için cihaz is yoğunluğundaki değişimlere çok duyarlı olmakta, etkin güzergah uzunluklarındaki değişikliklere ise duyarsız kalmaktadır. Etkin güzergah uzunluğu ~ 0.5 m olan optik direnç esaslı is ölçerler en uygun cihazlar olarak gözükmektedir. (Lilly, 1987)



Şekil 4.10 Etkin Işık Güzergah Uzunluğunun Optik Dirence Etkisi

Optik direnç esaslı is ölçerlerin ışık etkin güzergah uzunluğunun belirlenmesi konusunda kesin bir kural bulunmamaktadır. Özellikle bu tip cihazlarda yaygın olarak kullanılan ventilasyon havası; fotoelektrik pili ve ışık kaynağı yüzeylerine üflenmektedir. Bu hava akımının is damlacıklarını

bozmaması için bir önlem bulunmamaktadır. Yine bu kısımlarda egzoz gazlarının seyrelmesi kaçınılmaz olmaktadır. Bir cihazın etkin ışık güzergah uzunluğunun belirlenmesi için egzoz gazları aynı anda etkin ışık güzergah uzunluğu bilinen bir cihazdan da geçirilmektedir. İki cihazda okunan optik direnç değerlerinden bilinmeyen etkin güzergah uzunluğu aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.(Lilly,1987)

$$L_e = L_o \frac{t+273}{t_o+273} \cdot \frac{\ln\left(1-\frac{N}{100}\right)}{\ln\left(1-\frac{N_o}{100}\right)} \quad [m] \quad (4.5)$$

Burada:

[t] Kalibre işlemine tutulan is ölçere giren egzoz gazlarının sıcaklığı [°C]

[N] Kalibre işlemine tutulan is ölçerin optik direnci [%]

[L_e] Kalibre işlemine tutulan is ölçerin etkin ışık güzergah uzunluğu [m]

[L_o, N_o, t_o] Bilinen is ölçerin aynı parametreleri olup aynı birimlerle ifade edilmektedir. [L_e]nin belirlenmesinde kullanılan başka bir yöntemde is ölçerden egzoz gazlarını normal olarak geçirmek ve sonra ventilasyon havasını geçici olarak keserek bu işlemde elde edilen iki optik direnç değerini [N,N_o] yukarıdaki formülde kullanmaktır. İki hesaplamada da sonuç motor egzoz emisyonlarındaki isin değişken özelliklerine bağlı kalmaktadır. Bu durum işlemin kontroledilemez yönünü oluşturmaktadır.

[L_e] bilindiği takdirde değişik is değerlerinin kıyaslanmasıyla, aynı cihaza % optik direnç ölçeğine ilaveten [k_a] is yoğunluğu ölçeğinin de monte edilmesi mümkün olmaktadır. Kurulacak bağıntılar ancak iki is ölçerin aynı motordan çıkan egzoz gazlarını aynı anda ölçmesi ile güvenilir olacaktır. Bu durumda iki is ölçerdeki gaz sıcaklıklarının aynı olduğu varsayılmaktadır. Ancak egzoz devresine bağlanan ile egzoz çıkış borusu ucuna bağlanan is ölçerlerin mukayesesinde bu geçerli olmayacaktır. Çünkü; mutlak sıcaklık, etkin ışık güzergah uzunluğu ile ters orantılı olup burada ihmal edilemeyecek boyuttadır.

Motor egzoz emisyonlarındaki is oluşumuna karbon partiküllerinin sebep olduğu varsayımına dayanan bir başka kalibrasyon yönteminde sabit koşullarda m³ başına gram karbon kütlesi belirlenmektedir. Bu işlem için hacmi ölçülen egzoz gazları, karbon zerrecilerinin tamamını tutabilen bir filtreden geçirilmektedir. Filtre kütlesindeki meydana gelen artıştan karbon kütlesi hesaplanmaktadır. Hartridge ve Bosch tipi is ölçerler yukarıda anlatılan yöntemlerle mukayese edilmiş ve tablo 4.1 deki sonuçlar elde edilmiştir.(Lilly,1987)

Karbon konsantrasyonunun belirlenmesi yönteminin ısılilik değerlerinin tespitindeki hata payı, ihmal edilebilir düzeyde olmayıp; Hartridge ölçeğine göre ± 7 mertebesindedir.

Tablo 4.1 Hartridge ve Bosch Tipi İs Ölçerlerin Ölçüm Değerlerinin Mukayesesi

Hartridge tipi is ölçer sonuçları [% optik direnç]	Karbon konsantrasyonu ölçüm sonuçları [g/m ³]	Bosch tipi is ölçer sonuçlar [Bosch Derecesi]	Işık absorpsiyon katsayıları [m ⁻¹]
10	0.038	1.1	0.26
20	0.100	2.0	0.53
30	0.142	2.8	0.84
40	0.197	3.4	1.19
50	0.265	3.9	1.62
60	0.300	4.4	2.11
70	0.460	4.9	2.81
80	0.620	5.5	3.75
90	0.835	6.2	-
100	-	-	∞

4.7.5. Optik Sistem-Spektral Dağılım İlişkisi

İs ölçerler bir göz gibi, isi, görünebilme ya da optik direnç özellikleriyle değerlendirirler. Bu nedenle, fotoelektrik pili dedektör ve ışık kaynağından oluşan optik sistemin, spektral dağılıma (distribution), insan gözü gibi duyarlı olması tercih edilmektedir. Bu durum, ışık dalga boylarının 550-570 nm olduğu aralığa azami duyarlılığı; 430 nm altındaki ve 680 nm nin üstündeki dalga boylarına ise en az tepkiyi gerektirmektedir.

Ölçüm aralığı geniş bir dedektör ile birlikte tungsten flamanlı (akkor lamba) bir ışık kaynağı kullanıldığında sıcaklık, renğiyle kontrol edilmeli ve fotoelektrik piline seçici bir filtre takılmalıdır. Filtre yerine, ışık yayılım özellikleri gerekli spektral dağılımı sağlayan bir ışık kaynağı kullanılarak ta benzer sonuçlar elde edilebilmektedir. Diesel egzoz isinin uzun dalga boylu ışığı (kırmızı ışık), kısa dalga boylu ışıktan (mavi ışık) daha az zayıflattığına dair kimi iddialar mevcuttur. (Lilly, 1987) Ayrıca egzoz gaz sıcaklığı 300° C in altına düşerken, karbon partiküllerinin katılaşmasının (coagulation) arttığı ve isin soğrulma karakteristiğindeki değişmeye bağlı olarak ışık absorpsiyonunun azaldığı ifade edilmektedir.

4.7.6. Optik Direnç Esaslı İs Ölçerlerin Özellikleri

Uluslararası standartlar örgütü (ISO) optik direnç esaslı is ölçerler için kalibrasyon standartlarını yayınlamaktadır. Bu özel standartlarda, Avrupa'da geçerli olan yaklaşım kabul

edilmiştir. Bu yaklaşımda sabit koşullar altında is ölçümü yapılacağı vurgulanmaktadır. Bu nedenle, Hartridge ve UTAC tipi is ölçerleri gibi cihazlar esas alınmaktadır.

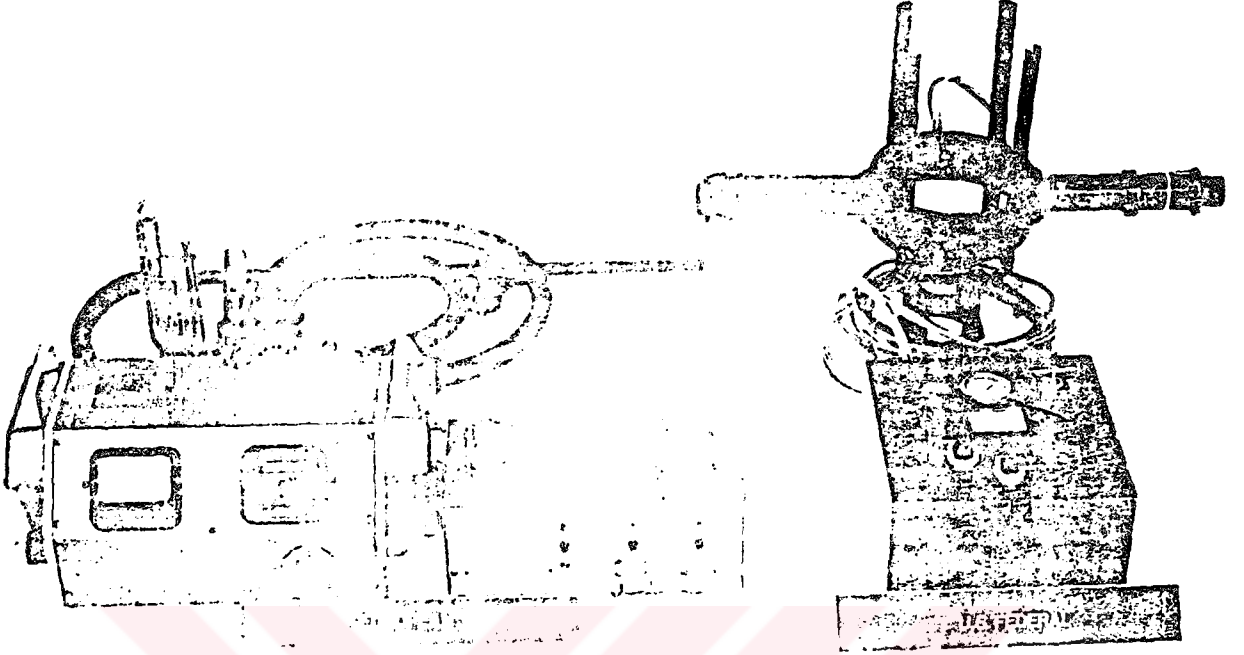
Bu standartlardaki teknik özellikler bölümünde: Is ölçme cihazlarında bir ölçüm hücresinin bulunması gerektiği belirtilmektedir. Bu hücrede bulunan gazların sıcaklığı 60-120° C arasında sınırlandırılmaktadır. Bu hücre gözlem ışığının absorpsiyon katsayısının, 100° C lik standard sıcaklığa göre düzeltilmesine imkan vermektedir. Cihazların fiziksel özellikleri toleranslarıyla birlikte belirtilmekte ve tüm is ölçüm değerleri ışık absorpsiyon katsayısı (k_a) yani is yoğunluğu şeklinde verilmektedir. Gerekli şartların sağlanması için test yöntemleri ve cihazları ile tip deneyleri ve uygunluk testleri aynı standardta belirtilmektedir. Test sıcaklıklarına ait ayrıntılar ve tekrarlama testlerinde elde edilen geçerli ortalama sonuçların istatistiksel değerlendirme yöntemi de belirtilmektedir.

ABD 'de is ölçerlerin uygunluğunun belirlenmesini kurallara bağlamak üzere SAE (Otomotiv Mühendisleri Birliği) tarafından bir deney paketi önerilmektedir. Bu deney paketi, is ölçerlerin performansının kontrolü için bir standard yöntem olduğu kadar, is ölçer dizayn kılavuzu olarak kullanılabilir. ABD 'deki gelişmelere paralel olarak, egzoz devresine ya da egzoz çıkış borusu ucuna bağlanan tüm egzozan ölçüm yapan is ölçerler hakkında yayınlar bulunmaktadır. Bu gelişmeler değişken motor koşullarında is ölçümü yapabilecek modelin elde edilmesine yöneliktir.

Tip testi yapan is ölçerler için iki seri test belirlenmiştir. Birinci seride cihazın spektral tepkisi, optik direnç kalibrasyonunun doğrusallık karakteri, sabit hatası, giren voltaja ve ortam aydınlığına duyarlılığı, elektiriksel tepki süresi, şok ve titreşim direnci ve optik sistemin paralellik fark açılarının (collimation angles) ayarlanması gibi temel optik ve elektiriksel karakteristikler belirlenmektedir. İkinci seri testlerde, bir motordan elde edilen is kullanılarak bir tip is ölçer bir diğeri ile mukayese edilmektedir. Bu amaçla etkin ışık güzergah uzunlukları belirlenmektedir. Motor sabit koşullarda, tam yükte, hızlanma ve yük azaltma gibi işletme pozisyonlarında değişik is düzeylerinde çalıştırılmaktadır. Bu çalışma pozisyonlarında sıcaklığın, ışığın, kurumun ve titreşimin cihaz üzerindeki etkileri tespit edilmeye çalışılmakta, değişik karakteristik pozisyonlar için emisyon sınır değerleri belirlenmektedir. Ayrıca is yoğunluğu (k_a) ile % optik direnç arasındaki ilişki birkaç, "etkin ışık güzergah uzunluğu" değeri için tablo haline getirilmektedir.

Leke yardımıyla is ölçümü yapan aparatlar için dikkate değer en kapsamlı standard Japonya Endüstri Standardı (JIS D 8004-1971) dir .Bu standard, Bosch tipi ve sıvı pistonlu dönel tip (Liquid piston rotary) numune alma pompalarını ve Bosch tipi is değerlendirme cihazını esas almaktadır. Aparatların konstrüksiyon özellikleri ve boyutları bu standardta belirtilmekte ve standarda uygun kağıt filitre için referans bilgiler verilmektedir. Her iki numune alma pompası ve is değerlendirme cihazının performans doğrulama testleri ve uyulması zorunlu emisyon sınır değerleri yine bu standardta belirtilmektedir.

Şekil 4.11 de Avrupa 'da yaygın "numuneden" is ölçümü yapan (Hartridge) ve Amerika 'da



Şekil 4.11 Tipik Avrupa (Hartridge) ve ABD (USPHS) İs Ölçerler

federal standartlara uygun "tüm egzostan-egzos çıkış borusu ucundan" is ölçümü yapan (USPHS) cihazlar görülmektedir.

IV. BÖLÜME AİT SEMBOLLER

[a]	Bir gramlık partikülün yüzey alan	[m ² /g]
[C]	Kirletici konsantrasyonu	[g/m ³],[µg/m ³],[ppm]
[C _p]	Siyah ise yol açan partikül konsantrasyonu	[µg karbon/m ³]
[I]	İsli egzoz ortamındaki ışık şiddeti	[Cd]
[I ₀]	Temiz hava " " "	[Cd]
[K]	Kabuledilebilirlik kriteri	[Boyutsuz]
[k _a]	Işık absorpsiyon katsayısı (is yoğunluğu)	[m ⁻¹]
[L _e]	Etkin ışık güzergah uzunluğu	[m]
[L ₀]	Bilinen etkin güzergah uzunluğu	[m]
[N]	Optik direnç	[%]
[N ₀]	Bilinen optik direnç	[%]
[Q _n]	Egzos gazlarının nominal debisi	[lt/s]
[Q _p]	Partikül yok olma katsayısı	[Boyutsuz]
[t _{1,2}]	Ölçüm yapılan kısımdaki egzoz gazlarının sıcaklığı	[°C]
[t ₀]	Bilinen cihazın ölçüm yaptığı kısımdaki egzoz gazlarının sıcaklığı	[°C]

V MOTORLARDA KİRLETİCİ OLUŞUMLARI

5.1. MOTOR YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN ETKİLERİ	109
5.1.1. Yanma Odası Biçiminin Etkisi	109
5.1.2. Yanma Odası Yüzey/Hacim Oranının Etkisi	110
5.1.3. Emme Kanalı Biçiminin Etkisi	111
5.1.4. Sıkıştırma Oranının Etkisi	111
5.1.5. Ateşleme Sisteminin Etkisi	112
5.1.6. Yakıt Püskürtme Sisteminin Etkisi	113
5.1.7. Aşırı Doldurmanın ve Emme Manifoldu Basıncının Etkisi	115
5.2. MOTOR İŞLETME KOŞULLARININ ETKİLERİ	115
5.2.1. Hava/Yakıt Oranının Etkisi	115
5.2.2. Ateşleme Zamanı ve Püskürtme Başlangıcının Etkisi	118
5.2.3. Devir Sayısı ve Yükün Etkisi	119
5.2.4. Egzos Karşibasınç ve Supab Zamanlamasının Etkisi	120
5.2.5. Soğutma Suyu Sıcaklığının Etkisi	120
5.2.6. Diğer İşletme Koşullarının Etkisi	121
5.3. YAKIT ÖZELLİKLERİNİN ETKİLERİ	121
5.3.1. Benzinin Emisyonlara Etkisi	121
5.3.2. Diesel Yakıtlarının Emisyonlara Etkisi	123
5.4. KİRLETİCİ OLUŞUM MEKANİZMALARI	124
5.4.1. Karbon Dioksit Oluşumu	124
5.4.2. Karbon Monoksit Oluşumu	125
5.4.3. Benzin Motorlarında Yanmamış Hidrokarbon Oluşumları	126
5.4.3.1. Silindir İçindeki Oyuk Hacimlerin Etkisi	127
5.4.3.2. Alevin Silindir Yüzeyinde Sönmesinin Etkisi	129
5.4.3.3. Yanma Kalitesinin İyi Olmamasının Etkisi	130
5.4.3.4. Motor Yağının Yakıtı Absorplamasının Etkisi	130
5.4.4. Diesel Motorlarda Yanmamış Hidrokarbon Oluşumları	130
5.4.5. Azot Oksit Oluşumu	132
5.4.6. İS Oluşumu	133
5.4.6.1. Yanma Odasındaki Hava Hareketlerinin Etkisi	135
5.4.6.2. Devir Sayısı ve Yükün Etkisi	136
5.4.6.3. İS Oluşumunu Arttıran Sebepler	136
5.4.7. Partikül Oluşumu	137
5.4.8. Koku Oluşumu	138

V. MOTORLARDA KİRLETİCİ OLUŞUMLARI

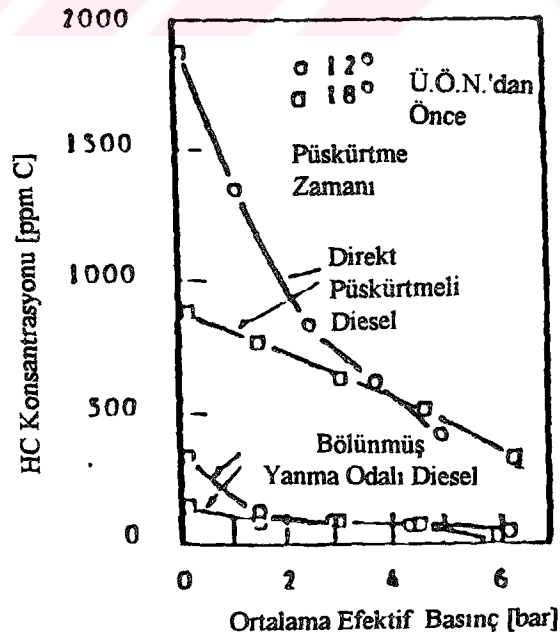
Bu bölümde ilk önce kirletici oluşumuna etki eden faktörler; motorun yapısal özellikleri, işletme koşulları ve yakıt özelliklerinin etkileri başlıkları altında incelenmektedir. Daha sonra tüm dünyada kirletici olarak kabul edilen karbon monoksit, yanmamış hidrokarbonlar ve azot oksitler ile kimi ülkelerde kirletici olarak kabul edilen is ve partikül emisyonlarının oluşum mekanizmaları belirtilmektedir.

5.1. MOTOR YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN ETKİLERİ

Benzin ve diesel motorlarında, motor konstrüksiyonuna ilişkin çeşitli parametreler egzoz emisyonlarında kirletici bileşenlerinin miktarını önemli ölçüde etkilemektedir.

5.1.1. Yanma Odası Biçiminin Etkisi

Motor performansına ve egzoz emisyonlarına etki eden en önemli faktörlerden biri yanma odası biçimidir. Yanma odası biçiminden yüzey sıcaklıkları, hava hareketleri, türbülans miktarı ve buna bağlı olarak yanma hızı, alev sönme bölgesi kalınlığı, benzin motorlarında vuruntu eğilimi, diesel motorlarında karışımın oluşma süresi ve kalitesi etkilenmektedir. Gerektiğinde motorun sıkıştırma oranı sabit tutulup, yanma odası şekli değiştirilerek yüzey/hacim oranı değiştirilebilmektedir. Diesel



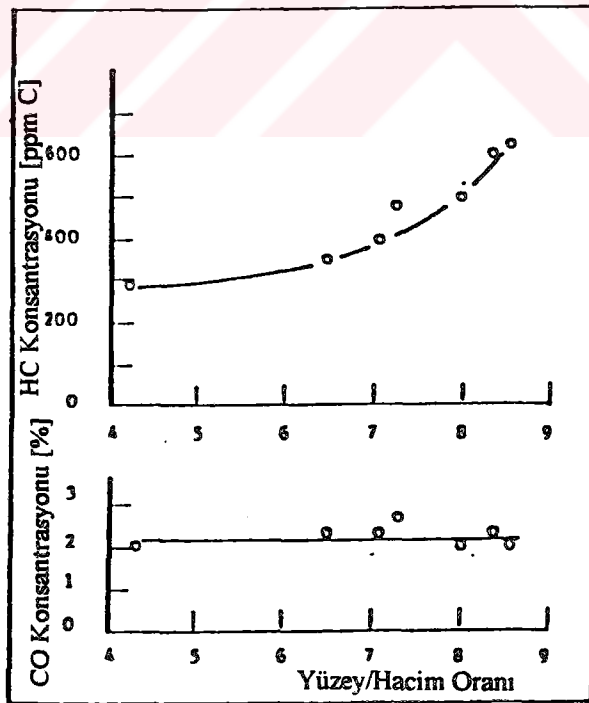
Şekil 5.1 Direkt Püskürtmeli ve Ön yanma Odalı Diesel Motorlarda HC Emisyonları

motorlarda da yanma odası tipleri ve biçimi emisyon miktarlarını etkilemektedir. HC emisyonları açısından direkt yanma odalı ile ön yanma odalı motorlar arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır.

Şekil 5.1 incelendiğinde düşük yüklerde bu fark daha belirgin olarak görülecektir. bölünmüş yanma odalı diesel motorlarda ön yanma odası ile ana yanma odası arasındaki kanalın yapısı egzoz emisyonlarını etkilemektedir. Kanal kesit alanının küçültülmesi partikül ve HC emisyonlarını azaltırken NO_x emisyonlarının artmasına neden olmaktadır.(Adoğlu,1992)

5.1.2. Yanma Odası Yüzey/Hacim Oranının Etkisi

Yüzey/hacim oranının belirlenmesinde piston üst ölü noktada iken yanma odası hacmi ve toplam yüzey alanı esas alınmaktadır. Motora ait çap, strok gibi büyüklüklerin oranı sabit tutularak, motor boyutları küçültüldüğünde yüzey/hacim oranı artacaktır. Aynı şekilde sıkıştırma oranının artırılması, silindir sayısının artırılması, strok hacminin azaltılması, strok/çap oranının azaltılması durumlarında da yüzey/ hacim oranları artış gösterecektir. Yanma odası yüzey alanı arttıkça cidarlara olan ısı iletimi artmakta ve cidarlar yakınındaki alev sönme bölgesi kalınlaşmaktadır. Bu bölgede yanma tamamlanamadığı için HC emisyonu, alev sönme bölgesindeki bu kalınlaşmaya bağlı olarak artmaktadır. Motor yüzey/hacim oranındaki artış CO emisyonunda bir değişikliğe yol açmamakla birlikte NO_x emisyonlarını bir miktar azaltmaktadır.Şekil 5.2 de bu durum açıkça görülmektedir.



Şekil 5.2 Yüzey/Hacim Oranının HC ve CO Emisyonlarına Etkisi

Motor strok $\text{\c{c}ap}$ oranının artırılması, $\text{y}^{\text{z}}\text{ey/hacim}$ oranını azaltmaktadır. Bu durum HC emisyonlarını azaltmaktadır. Ancak motor tasarımında mevcut yaklaşımlar, strokun kısa tutularak s $\text{u}^{\text{r}}\text{t}^{\text{u}}\text{nme}$ kayıplarının azaltılması şeklindedir. Uzun stroklu motorlar daha yüksek, ağır ve pahalı olmaktadır. B $\text{u}^{\text{t}}\text{u}^{\text{n}}$ bunlara bağlı olarakta birim k $\text{u}^{\text{t}}\text{le}$ başına maksimum g $\text{u}^{\text{c}}\text{leri}$ daha az ve yakıt sarfiyatları daha fazla olmaktadır. Motor strok/ $\text{c}^{\text{a}}\text{p}$ oranı sabit kalacak şekilde, strok hacmi artırıldığında $\text{y}^{\text{z}}\text{ey/hacim}$ oranı azalmaktadır. Bu durumda motorun toplam strok hacmi sabit kalmak $\text{u}^{\text{z}}\text{ere}$ silindir sayısı azaltılarak, silindir başına olan strok hacmi artırılıp; $\text{y}^{\text{z}}\text{ey/hacim}$ oranı azaltılabilmekte ve bu sayede de HC emisyonu da azaltılmaktadır. Yüksek devir sayılı diesel motorlarda, artan devir sayısı ile birlikte karışımın iyileştirilmesi amacıyla enjekt r $\text{c}^{\text{ı}}\text{k}^{\text{i}}\text{ş}$ hızları artırılmaktadır. Bu durum k $\text{u}^{\text{c}}\text{u}^{\text{k}}$ yanma odası hacmine sahip motorlarda, yakıt h $\text{u}^{\text{z}}\text{mesinin}$ karşı cidara $\text{c}^{\text{a}}\text{rparak}$, burada bir miktar yakıtın toplanmasına yol a $\text{c}^{\text{m}}\text{aktadır}$. Bu nedenle silindir başına k $\text{u}^{\text{c}}\text{u}^{\text{k}}$ strok hacimli motorlara gidildik e HC emisyonu artış göstermektedir.

5.1.3.Emme Kanalı Biçiminin Etkisi

Emme kanalının biçimi, t $\text{u}^{\text{r}}\text{b}^{\text{u}}\text{lans}$ seviyesini ve hava hareketlerini etkileyerek motorlarda karışımın ve yanma olaylarının iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır. B $\text{u}^{\text{y}}\text{lece}$ egzoz gazları emisyonunda değişmektedir. Ancak emme kanalı, yanma odasındaki hava hareketlerini arttıracak şekilde tasarlandığında motorun vol $\text{u}^{\text{m}}\text{etrik}$ verimi olumsuz şekilde etkilenmekte ve maksimum motor g $\text{u}^{\text{c}}\text{u}$ azalmaktadır. Bu nedenle amaca g $\text{u}^{\text{r}}\text{e}$ durumun optimize edilmesi gerekmektedir. $\text{O}^{\text{z}}\text{ellikle}$ emisyon bakımından $\text{u}^{\text{s}}\text{u}^{\text{n}}\text{l}^{\text{u}}\text{kleri}$ bulunan fakir karışımlı motorlarda, yanmayı iyileştirmek a $\text{c}^{\text{i}}\text{sından}$ emme sisteminden kaynaklanan hava hareketlerine gerek duyulmaktadır. B $\text{u}^{\text{y}}\text{lece}$ CO ve HC emisyonları azaltılabilmekte ve karışımın hava yakıt oranı belirli sınırların $\text{u}^{\text{z}}\text{erine}$ $\text{c}^{\text{i}}\text{karıldığında}$ NO x emisyonları da yeterince d $\text{u}^{\text{s}}\text{u}^{\text{k}}$ seviyeye indirilebilmektedir. Benzin motorlarında ayrıca emme kanalının oluşturduğu hava hareketleri ve yakıt p $\text{u}^{\text{s}}\text{k}^{\text{u}}\text{rtme}$ zamanlamasından yararlanılarak yanma odasında kademeli dolgu elde edilmesi de m $\text{u}^{\text{m}}\text{k}^{\text{u}^{\text{n}}}$ olmaktadır. Kademeli dolgu sayesinde sağlanan fakir karışımın avantajlarından yararlanılarak emisyon miktarının d $\text{u}^{\text{s}}\text{u}^{\text{r}}\text{u}^{\text{lmesi}}$, motorun vuru n^{u} eğiliminin azaltılması ve yakıt t $\text{u}^{\text{ke}}\text{timi}$ a $\text{c}^{\text{i}}\text{sından}$ motor performansının iyileştirilmesi de m $\text{u}^{\text{m}}\text{k}^{\text{u}^{\text{n}}}$ olmaktadır.

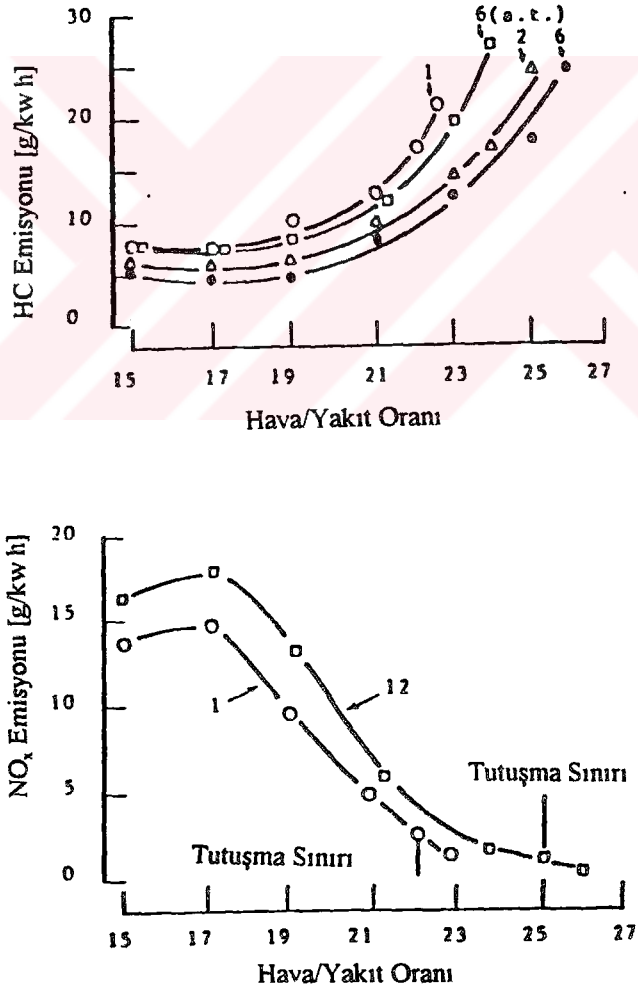
5.1.4.Sıkıştırma Oranının Etkisi

Motorun sıkıştırma oranının artırılması, ısı l verimin artmasını sağlamaktadır. Bu durumda $\text{o}^{\text{z}}\text{g}^{\text{u}}\text{l}$ yakıt t $\text{u}^{\text{ke}}\text{timi}$ azalmakta ve motordan elde edilen maksimum g u^{c} daha fazla olmaktadır. Ancak benzin motorlarında sıkıştırma oranının artırılması vuru n^{u} olayı ile sınırlıdır. Sıkıştırma oranının azaltılmasıyla yanma odası $\text{y}^{\text{z}}\text{ey/hacim}$ oranı azalacağından, HC emisyonları da azalmaktadır. Ancak bu durum motor performansını olumsuz y $\text{u}^{\text{z}}\text{de}$ etkilemektedir. Sıkıştırma oranının azaltılmasıyla motorun ısı l verimindeki azalma sonucu egzoz gaz sıcaklığı artacaktır. Bu durumda egzoz sistemindeki

oksitleme reaksiyonları iyileşecek ve HC emisyonu azalacaktır. Ancak motor verimindeki düşme sonucu motor gücü de azalacağından; özgül HC emisyonlarında artış olacaktır. Motorun sıkıştırma oranının artırılması, ulaşılan maksimum sıcaklıkları arttırdığından NO_x emisyonunu olumsuz şekilde etkilenmektedir.

5.1.5. Ateşleme Sisteminin Etkisi

Benzin motorlarında açığa çıkan enerji miktarının zamana göre değişimi, alev yüzey alanı ile alev yayılma hızının çarpımıyla orantılı olmaktadır. Yakıtın türü, karışımın özellikleri, yanma odasındaki türbülans miktarı gibi etkenler alev yayılma hızını etkilemektedir. Alev cephesinin yüzey alanındaki artış ise birden fazla buji kullanımı sonucu yanmanın çok merkezden başlatılması ile sağlanabilmektedir. Yanma odasına dağılmış olarak birden fazla buji kullanıldığında alev sönme bölgesi



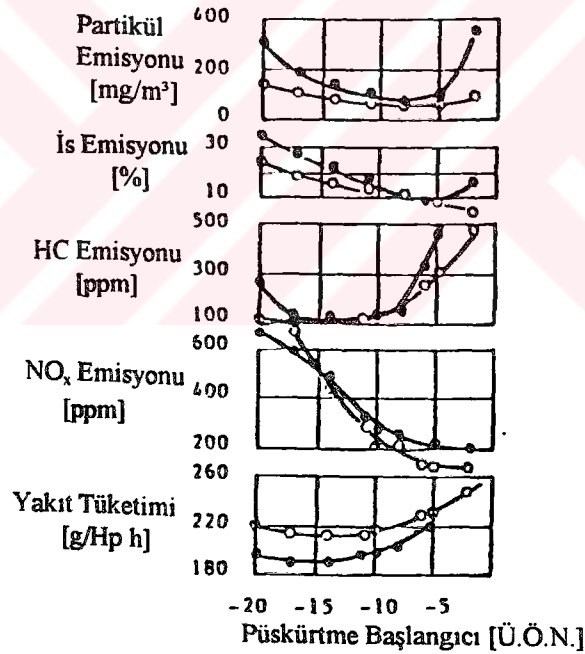
Şekil 5.3 Buji sayısının HC ve NO_x Emisyonlarına Etkisi

incelmekte ve HC emisyonları azalmaktadır. Yanmanın iyileşmesi, ısıl verimin artması motor performansını iyileştirirken, NO_x emisyonu açısından olumsuz etki yapmaktadır. Bu durum şekil 5.3 te görülmektedir.

5.1.6. Yakıt Püskürtme Sisteminin Etkisi

Diesel motorlarda yakıt püskürtme sisteminin yapısı, püskürtme zamanlaması, yanma odasına giren yakıtın debisi gibi özellikler, yanma performansını ve emisyonları etkilemektedir. Karışımın iyi olmaması ve yakıtın tam yanmaması sonucu is miktarı artmaktadır. Ayrıca HC, CO ve NO_x oluşumu da yakıt püskürtme sisteminin yapısı ve motora olan uyumu ile orantılı olmaktadır.

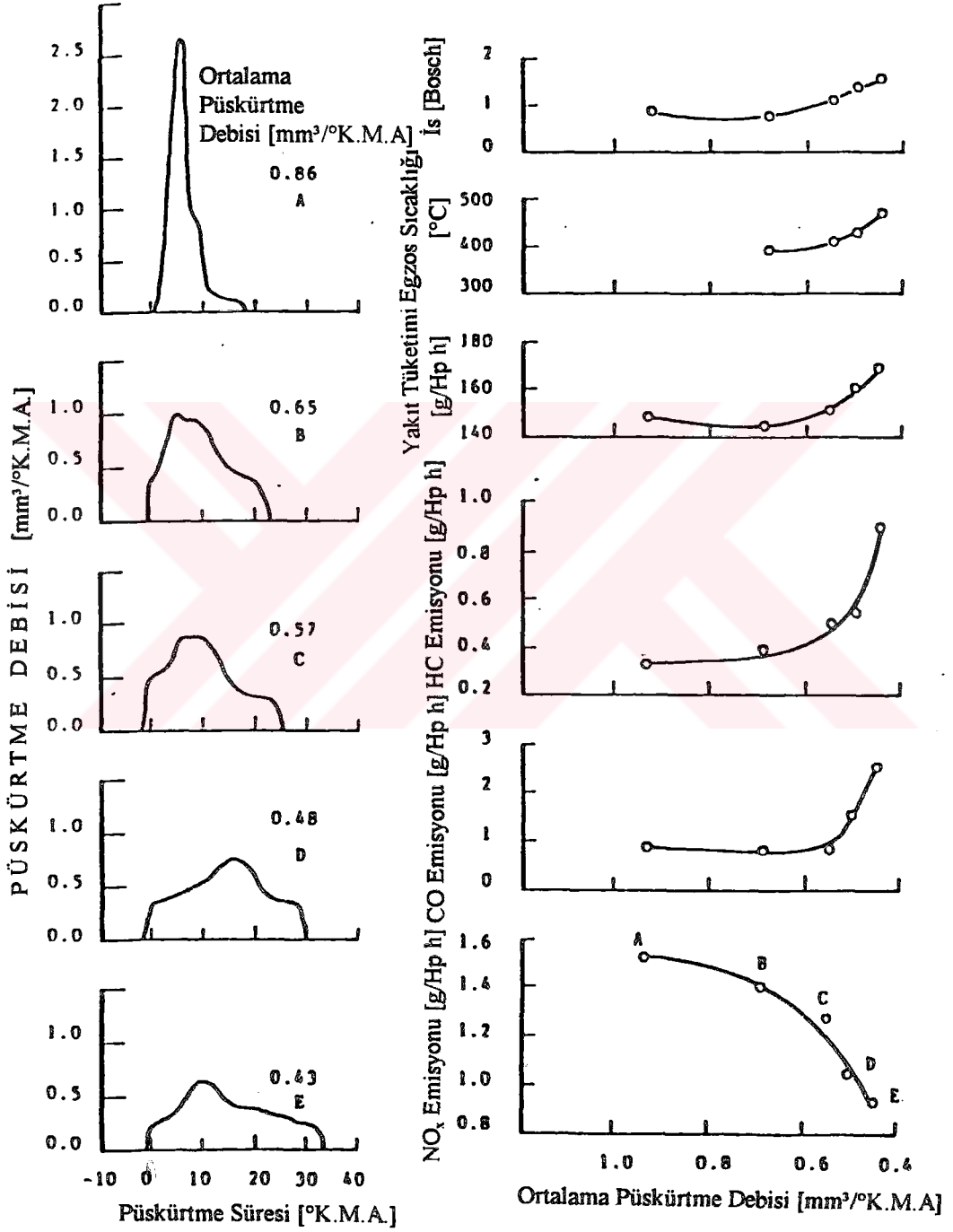
Yakıt püskürtme zamanı emisyonların miktarını etkilemektedir. Püskürtme başlangıcının geciktirilmesi sonucu, yanma başlangıcının ileriye alınmasına yol açmakta ve yanmamış HC miktarını arttırmaktadır. Ancak bu durumda sıcaklıkların düşmesi ile birlikte NO_x emisyonları azalmaktadır. Yakıt püskürtme başlangıcının emisyonlara etkisi şekil 5.4 te görülmektedir.



Şekil 5.4 Yakıt Püskürtme Başlangıcının Emisyonlara Etkisi

Diesel motorlarda yanma odasına püskürtülen yakıtın debisi, karışımın oluşum hızı ile birlikte yanma hızını belirlemektedir. Yakıt püskürtme hızındaki artış NO_x emisyonlarını arttırmaktadır. Gecikmiş püskürtme ile bu artış bir miktar önlenebilirse de, bu durumda da yanmanın tamamlanamamasına ilişkin sorunlar ortaya çıkacağından HC emisyonları artacaktır. K.M.A. (Krank

Mili Açısı) başına püskürtülen yakıt miktarındaki değişimin emisyonlara etkisi şekil 5.5 te görülmektedir. Normal püskürtmenin tamalanmasından sonra yanma odasına yakıtın girmesi yanmamış hidrokarbon oluşumuna yolaçmaktadır. Yüksek hızlarda hareket eden enjektör iğnesi, püskürtme



Şekil 5.5 Yakıt Püskürtme Debisinin Emisyonlara Etkisi

sonunda geri dönerken basınç dalgalanmaları sebebiyle yanma odasına bir miktar ek yakıt girebilmektedir. Sonradan giren bu yakıtın atomizasyonu ve yanması sorun olmaktadır. Bu durum HC ve is emisyonlarını arttırmaktadır.

Basınç dalgalanmaları; püskürtme basıncı, enjektör iğnesi yay sertliği, yakıt borularının çapı ve uzunluğu gibi elemanlarla kontrol edilmeye çalışılmaktadır. Enjektör iğnesi kapandıktan sonra altında kalan hacmin büyük olması da yanma odasına sonradan giren yakıt miktarını, dolayısıyla da HC ve is emisyonlarını arttırmaktadır.

5.1.7. Aşırı Doldurmanın ve Emme Manifoldu Basıncının Etkisi

Aşırı doldurma genel olarak egzoz gazlarının sahip olduğu enerjiden yararlanılarak motorun gücünü arttırmak için uygulanan turbin-kompresör ünitesinden oluşmaktadır. Aşırı doldurma çevrim boyunca ulaşılan sıcaklık seviyelerini arttırdığından genelde HC emisyonlarını azaltıcı, diğer taraftan NO_x emisyonunu artırıcı etkiye sahip olmaktadır. Ancak motor gücünün artırılmasıyla birim güç başına emisyon değerlerinde bir miktar azalma sağlanabilmektedir.

Aşırı doldurma durumunda, silindir içinde erişilen maksimum sıcaklık seviyeleri ile birlikte egzoz gazı sıcaklıkları artmakta ve egzoz sürecindeki oksitleme reaksiyonları için zaman yeterli olmaktadır. Ayrıca karışımın iyileştirilmesi sonucunda yanma da iyileşmektedir. Sonuç olarak hem direkt püskürtmeli, hem de bölünmüş yanma odalı motorlarda aşırı doldurma sonucunda HC emisyonları azalmaktadır.

Buna karşın NO_x oluşumunda sıcaklık düzeyi ile birlikte oksijen konsantrasyonu da etkin rol oynadığından aşırı doldurma sonucundaki yakıt/hava oranına bağlı olarak NO_x emisyonu artmaktadır.

Benzin motorlarında emme manifoldu basıncı, gaz keleşi konumu ile değişmektedir. Düşük emme manifoldu basınçlarında yanma başlangıcı ve alevin ilerlemesi açısından sorunlar bulunmaktadır. Bu nedenle, HC emisyonlarının konsantrasyonu artmaktadır. Ancak tutuşma sorunlarının bulunmadığı durumlarda CO emisyonu etkilenmemektedir. Emme manifoldu basıncı ile dolgu debisi de arttığından hem HC hem CO emisyon debileri artmaktadır.

5.2. MOTOR İŞLETME KOŞULLARININ ETKİLERİ

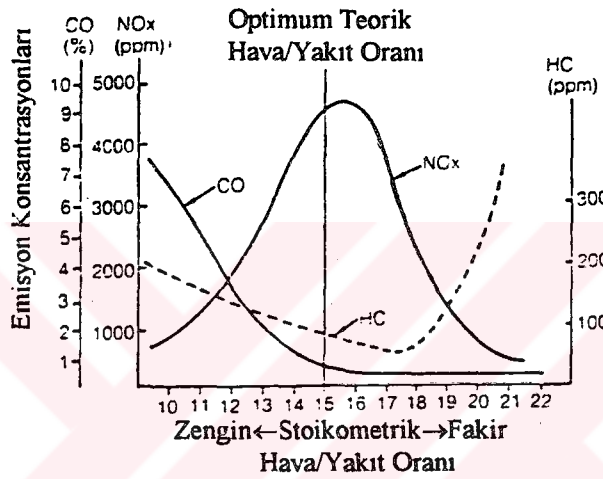
Motorun ilk hareketi, hızlanması ve yavaşlaması gibi durumlarda; kirletici oluşumuna etki eden faktörler değiştiğinde egzoz gazları içindeki kirletici birleşenlerinin miktarları değişmektedir.

5.2.1. Hava /Yakıt Oranının Etkisi

Genelde stoikometrik değerinden biraz daha fakir hava/yakıt oranlarında CO ve HC emisyonları minimum düzeye inebilmektedir. Bununla birlikte bu karışım oranında NO_x emisyonu

maksimum seviyeye çıkmaktadır. Daha da fakir hava/yakıt oranlarında NO_x emisyonunun azalmasına karşın alevin sönmesi sonucu HC emisyonları aniden artmaktadır.

Stoikometrik değerinden çok zengin hava/yakıt oranlarında NO_x emisyonları azalmakta buna karşın HC ve CO emisyonları artmaktadır. Karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonları ile azot oksit emisyonları birbirleri ile ters orantılıdır. (Mazda, 1993) Bu durum şekil 5.6 da görülmektedir.



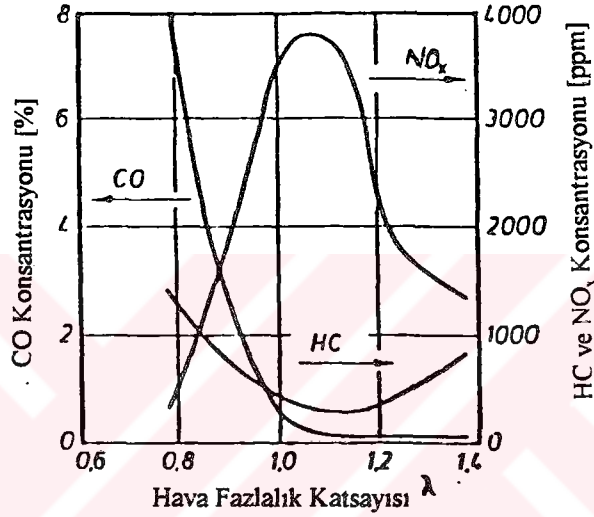
Şekil 5.6 Hava/Yakıt Oranının Emisyonlara Etkisi

Motorlarda yakıtın yanması kuramsal yanmadan değişik koşullarda gerçekleştiğinden gerçek hava miktarı teorik hava miktarından her zaman daha fazla olmaktadır. Gerçek hava miktarının teorik hava miktarına oranı olan hava fazlalık katsayısının benzin ve diesel motorlarda egzoz emisyonuna önemli etkisi bulunmaktadır. Şekil 5.7.de hava fazlalık katsayılarının benzin ve diesel motorların kirlenici emisyonlarına etkisi görülmektedir.

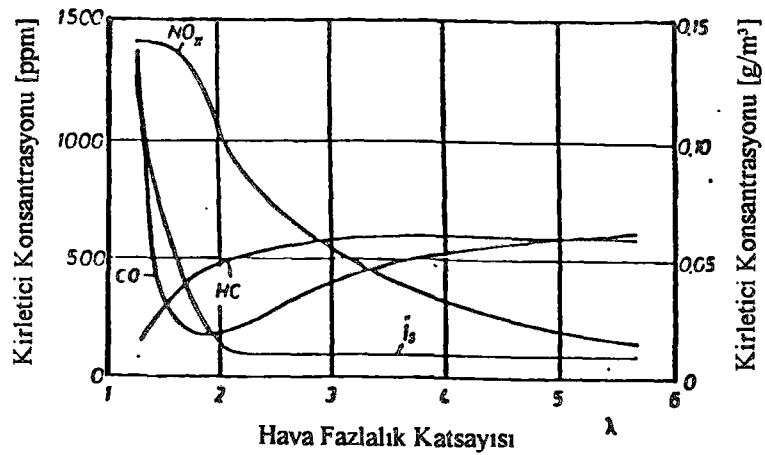
Hava fazlalık katsayısının genel ortalama değeri kadar, yanma odasının çeşitli konumlarındaki değerleride emisyon miktarını etkilemektedir. Benzin motorlarında ilk hareket, hızlanma, maksimum yük gibi bazı çalışma durumları hariç karışım oranının stoikometrik değer civarında sabit olarak tutulması, ayrıca tüm yanma odasında karışımın homojen olması, silindirler arasında karışım oranında farklılıklar bulunmaması amaçlanmaktadır. Karbüratörlü sistemde bu koşullar sağlanmaktadır. Benzin püskürtme sistemlerinde bile belirtilen şartlarının tümünün sağlanması zor olmaktadır. Diğer taraftan motordan maksimum güç alınabilmesi için hava fazlalık katsayısının 0.9 değerinde, ekonomik

çalışabilmesi için de 1.1 değerinde olması gerekmektedir. Fakir karışımlara doğru gidildikçe tutuşma güvenliği azalacağı için yanmamış HC emisyonları artacaktır. Ayrıca çok zengin karışımlara doğru gidildikçe de oksijen yetersizliği nedeniyle yanma tamamlanamayacağından HC emisyonu artış gösterecektir. Diğer taraftan oluşan CO in CO_2 e dönüşümü için yeterli oksijenin sağlanabilmesi için karışımın mümkün olduğunca fakirleştirilmesini gerektirmektedir.

NO_x lerin oluşumu; hem sıcaklığın hem de mevcut havanın miktarının fonksiyonu olduğundan, hava fazlalık katsayısının değişimi ile önemli ölçüde etkilenmektedir. Yanma için optimum şartların sağlandığı stoikometrik karışım oranı civarında NO_x emisyonu maksimuma ulaşmaktadır. Karışımın



a) Benzin Motoru



b) Diesel Motor

Şekil 5.7 Hava Fazlalık Katsayısının Emisyonlara Etkisi

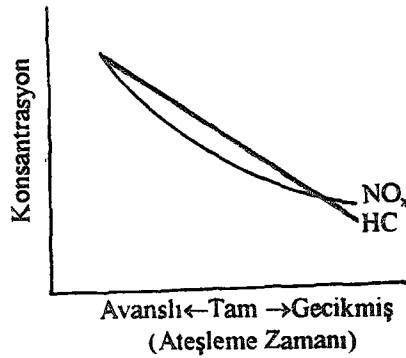
fakirleşmesi ile yanma sıcaklığı azaldığından, zengin karışımlarda ise oksijen konsantrasyonu azaldığından NO_x konsantrasyonu düşebilmektedir

Diesel motorlarda karışım oranı motorun yük durumu ve devir sayısına bağlı olarak değişmektedir. Ancak diesel motorlar genellikle fakir karışım ile çalışmakta olduğundan CO ve HC emisyonları benzin motorlarına oranla daha azdır. Diğer taraftan sıcaklık seviyelerinin yüksek olması ve fakir karışımla çalışma sonucu; fazla oksijen bulunması nedeniyle NO_x emisyonları daha fazla olmaktadır. Hava fazlalığının azalması durumunda diesel motorlarında ayrıca is emisyonunda artış göstermektedir.

Heterojen yanma sisteminde egzoz gazları içindeki emisyon miktarlarının ölçümü yanıltıcı olmaktadır. Kısmi yüklerde karışım oranının stoikometrik değerden daha fakir olması sonucu egzoz gazları fazla hava ile seyreltilmiş durumda olmaktadır. Bunun sonucu olarak karışımın zenginleştirilmesi ile ölçülen HC emisyon miktarında, fazla havanın etkisini stoikometrik karışım oranına indirgeyecek şekilde düzeltme yapıldığında; düzeltilmiş HC emisyonunun diesel motorlarda zenginleşen karışım oranı ile azaldığı görülecektir. Bu nedenle değerlerin birim motor gücü başına emisyon miktarı olarak tanımlanan özgül emisyon değerleri [g/kw-h] şeklinde verilmesi daha gerçekçi bir yaklaşımdır.

5.2.2. Ateşleme Zamanı ve Püskürtme Başlağıcının Etkisi

NO_x ve HC emisyonları ateşleme zamanı ile de ilişkili olmaktadır. Şekil 5.8.de de görüldüğü gibi geciktirilmiş ateşleme zamanı ile NO_x emisyonlarını büyük ölçüde azaltmak mümkündür. Gecikmiş ateşleme sebebi ile yanma optimum yanmadan daha yavaş gerçekleşmektedir. Bu sayede yanma odası sıcaklığının azalması ile NO_x emisyonları azalabilmektedir.

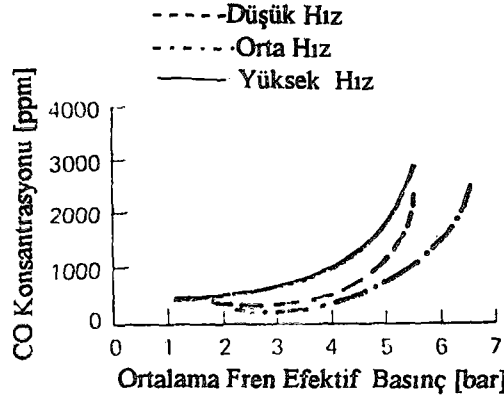


Şekil 5.8. Ateşleme Zamanının NO_x ve HC Emisyonlarına Etkisi

Gecikmiş ateşleme ile HC emisyonları da azalabilmektedir. Bunun sebebi; yavaş yanmanın egzoz sisteminde HC emisyonlarının oksitlenmesini kolaylaştıran yüksek sıcaklıklara yol açması olarak açıklanmaktadır.(Mazda,1993) Benzin motorlarında, ateşleme avansının değişimi sonucu motorun gücü, soğutma suyuna giden ısı miktarı ve egzoz gazlarının sıcaklığını etkilemektedir. Egzoz gazlarının sıcaklığındaki farklılık HC,CO ve NO_x emisyonunu değiştirmektedir. Ateşleme avansının artırılmasıyla yanma odasının sıcaklığı ve basıncı artmaktadır. Bunun sonucu olarak cidarlardaki alevin söndüğü bölge küçülmekte ve HC emisyonunu azaltıcı etki yapmaktadır. Ancak diğer taraftan egzoz sisteminin sıcaklığı düştüğünden hidrokarbonların egzoz sürecindeki oksitlenmesi azalmakta sonuçta toplam HC emisyonları artmış olmaktadır. Ateşlemenin geciktirilmesi ile sağlanan toplam HC emisyonlarındaki azalmaya karşın motor performansı olumsuz yönde etkilenmekte; güçte azalma ve özgül HC emisyonlarında bir artış olmaktadır. CO emisyonu ise ateşleme avansındaki değişimlerden fazla etkilenmemektedir. Diesel motorlarda püskürtme başlangıcının geciktirilmesi ile NO_x emisyonlarında bir azalma elde edilmektedir. Ancak bu durumda is emisyonlarında bir artış söz konusu olmaktadır. Daha fazla geciktirilmiş bir püskürtme ise HC emisyonlarının aniden yükselmesine yol açmaktadır.

5.2.3.Devir Sayısı ve Yükün Etkisi

Motorun devir sayısındaki artış sonucu yanma odasındaki akışkan hareketleri hızlanacak ve türbülans şiddeti artacaktır. Sonuç olarak daha iyi karışım sağlanacak; benzin motorlarında alev sönme bölgesi azalacak ve yanma hızı artacaktır. Yanma iyileşeceğinden genelde HC emisyonları azalacaktır. Devir sayısındaki artış sonucu ısı kayıpları fazlalaşmakta ve yanma süresi kısalmaktadır. Buna bağlı olarak NO_x emisyonu azalma göstermektedir. Ancak bu etkinin mertebesi karışım oranına bağlı olmaktadır. Diesel motorlarında devir sayısının artması ile birlikte mekanik verimdeki düşüşü karşılayabilmek ve motorun ortalama efektif basınç değerini sabit tutabilmek için yanma odasına ilave yakıt göndermek gerekmektedir. Ayrıca üst ölü noktadan önce yanma odasına giren yakıt miktarı da artmaktadır. Sonuç olarak artan sıcaklık seviyeleri sayesinde HC ve CO emisyonları azalırken NO_x emisyonu artmaktadır. Motor devir sayısı ve karışım oranı sabit kalacak şekilde ve ateşleme zamanında maksimum momenti sağlayacak şekilde ayarlama yapılarak yükün artırılması durumunda, emisyonu etkileyen bir çok etken söz konusu olmaktadır. Ancak çeşitli etkilerin birleşmesi sonucu yükteki değişim HC ve CO emisyonlarının kontrasyonlarında belirgin bir artmaya yol açmamaktadır. HC ve CO emisyonlarında konsantrasyonlarda (ppm) olarak bir değişim olmasada, bu kirletici bileşenlerin debilerinde (kg/h) bir değişim olmaktadır. Bu nedenle daha düşük beygir gücü gerektiren durumlarda HC ve CO emisyonlarının azaltılması bakımından bu bir avantajdır. Yükte birlikte sıcaklık seviyelerindeki artış sonucu NO_x emisyonu artmaktadır.



Şekil 5.9 Ön Yanma Odalı Bir Diesel Motorun CO Emisyonu ile Yük Arasındaki İlişki

Diesel motorlarında yükün değişimi ile karışım oranında değiştiğinden hava/yakıt oranının etkisi kısmında ele alınan hususlar burada da geçerli olmaktadır. Ön yanma odalı bir diesel motora ait karbon monoksit emisyon eğilimi, hava/yakıt oranı ve yükleme durumunun fonksiyonu olan ortalama fren efektif basınca bağlı olarak şekil 5.9. da görülmektedir.

5.2.4.Egzos Karşibasıncı ve Supab Zamanlamasının Etkisi

Egzos karşibasıncı ile yanma odasındaki artık gazların miktarı değişmektedir. Egzos gazlarının fazla miktarda yanmamış HC içeren son kısmının yanma odasında kalması HC emisyonunu azaltmaktadır. Ancak fakir karışımlarda karışımın daha da seyreltilmesi yanma açısından sorunlar oluşturacağından, bu durumda HC emisyonu artacaktır. Örneğin motorun boşa çalışma koşullarında egzos karşibasıncının artırılması HC emisyonunu arttıracaktır.

Egzos supabı ile emme supabı yada portunun aynı anda açık olduğu süre olan supab bindirmesi olayı; egzos karşı basıncına benzer şekilde artık gazların miktarını etkileyerek, NO_x emisyonunun değişmesine neden olmaktadır. Zengin karışımlara doğru gidildikçe supab bindirmesindeki artış ile NO_x emisyonu azalmakta buna karşın CO emisyonu artmakta HC emisyonu ise etkilenmemektedir.

5.2.5.Soğutma Suyu Sıcaklığının Etkisi

Soğutma suyu sıcaklığının düşük olması yanma hızını o oranda azaltmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda ise volümetrik verimin düşmesi ile oksijen konsantrasyonu azalmaktadır. Soğutma suyu sıcaklığı yanma odası cidar sıcaklıklarının değişimine neden olmaktadır. Soğutmaya giden ısı miktarındaki artış cidar sıcaklıklarını düşürmektedir. Bu durum HC emisyonunu arttırmakta, diesel motorlarda beyaz isin başlıca sebebi olmaktadır. Soğutma suyu sıcaklığının düşük olması motorun başlangıçtaki çalışması ile de ilgili olduğundan gecici de olabilmektedir.

5.2.6. Diğer İşletme Koşullarının Etkisi

Diğer işletme koşulları olarak emisyonlara yanma odası cidarlarındaki birikimler ve havadaki nem oranının etkisi bilinmektedir. Motorun kullanım süresinin artmasıyla birlikte yanma odası cidarlarında oluşan pürüz yapıdaki birikimler yakıtı bünyelerinde tutarak yanmasını önlemekte ve HC emisyonunu arttırmaktadır. Karışım içindeki nem miktarının artışı, alev sıcaklığını düşüreceğinden NO_x emisyonunun azalmasına neden olmaktadır. HC emisyonu ise fazla etkilenmemektedir.

5.3. YAKIT ÖZELLİKLERİNİN ETKİLERİ

Benzin ve diesel motorlarında kullanılan yakıtların özellikleri ve bünyelerinde buldukları katkı maddeleri kirletici emisyonlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu kısımda yakıtların kirletici emisyonuyla ilgili özellikleri anlatılmaktadır.

5.3.1. Benzinin Emisyonlara Etkisi

Benzinde bulunan tüm petrol hidrokarbonları gerçekte 4 ana grubun elemanlarıdır. Bu 4 ana grup: Parafinler, naftenler (sikloparafinler), olefinler ve aromatiklerdir. Gruplar yükselen oktan sayısına göre sınıflandırılırsa; düz zincir parafinler, dallanmış zincir parafinler, olefinler, naftenler ve aromatikler şeklinde sıralanırlar. Kimi benzinlere parafinik, kimilerine de naftenik benzin denmesinin sebebi daha fazla oranlarda naftenik ve parafinik bileşikler içermelerindedir. Özel karakteristikteki bileşikler aracılığıyla benzin üretmek için çeşitli arıtma prosesleri kullanılmaktadır. Tablo 5.1. bu proseslerden elde edilen benzin türlerini göstermektedir.

Tablo 5.1. Farklı Rafine Proseslerinden Elde Edilen Hidrokarbon Tipleri (Ludwig el al.,1974)

Prosesin Adı	Parafinler ve Naftenler [%]	Olefinler [%]	Aromatikler[%]
Basit Destilasyon	98-100	1	1
Termal Kıraking	50	25	25
Katalitik Kıraking	40	40	20
Katalitik Reformasyon	54	1	45
Alkilasyon	100	0	0

Benzinden türeyen reaktif hidrokarbon emisyonlarının etkileri incelendiğinde; özellikle önemli miktarda aşırı reaktif hidrokarbon içeren yakıt karışımları az reaktif yakıtlara nazaran egzoz hidrokarbonu reaktivitesinde önemli artışlar meydana getirmektedir. Böyle durumlarda reaktif olefin konsantrasyonu çok fazla olan yakıtlar, en reaktif egzoz emisyonlarını oluştururlar. Öte yandan deneysel veriler ticari uygulamaların farklılığı sonucunda değişen olefin ve aromatik konsantrasyonlarının egzoz hidrokarbon emisyonu reaktivitesine hiç yada çok az etki ettiğini göstermektedir. Yakıttaki olefinlerin

azalması; parafinlerin parçalandığı ve yanma esnasında olefinlerin oluştuğu piroliz reaksiyonları sebebiyle egzoz olefinlerindeki azalmalar bir sınır değere erişmektedir.

Yakıtların içerdiği aromatiklerin artmasının reaktif türlerinin miktarını etkileyebileceği ileri sürülmektedir.(Ludwig el.al.,1974) Egzostaki hidrokarbonların kullanılan yakıtın karakterini yansıması genel bir doğru olmasına rağmen yakıtların içerdiği aromatikler ile egzozun fotokimyasal reaktivitesi (reaksiyona girmek kabiliyeti) arasındaki ilişki basit bir bağıntı olmayıp bugüne kadar tam olarak ortaya konamamıştır. Şu an önerilebilecek böyle bir bağıntı yanmada olduğu gibi çok fazla karmaşık bir fonksiyon olacaktır. Yakıtların içerdiği aromatiklerin artması motorlu taşıt egzozlarındaki polinükleer hidrokarbonların (kansorejen özellikleri bulunan bileşikler içeren bir hidrokarbon ailesi) miktarları üzerinde etkisi mümkündür. Muhtemelen polinükleer aromatikler (PNA) yakıttaki aromatik konsantrasyonuna bağlı olarak artmakta ve kurşunun (Pb) yok edilmesi ile de azalma göstermektedir. Bununla birlikte A.B.D.deki kayıtlara göre PNA emisyonlarının sadece % 2 - 10 u taşıt motorlarından kaynaklanmaktadır. (Ludwig el al.,1974) Kansorejen özellikleri bulunan bazı bileşikler içeren maddelere kimi yerlerde polinükleer organik maddeler veya kısaca POM'da denilmektedir. PNA netice olarak POM'un bir alt sınıfıdır.

Bir yakıt ne kadar uçucu ise, yani kaynama noktası ne kadar düşük ise buhar basıncı o kadar yüksek olmaktadır. Benzinin en önemli özelliklerinden birisi de Reid buhar basıncıdır. Benzinin buhar basıncı depolandığı iklime göre yüksek ise buharlaşmadan dolayı yakıt tankı ve karbüratörden yayılan HC emisyonları o oranda fazla olacaktır. Ayrıca yanma odasında yanmanın tam olması için yakıtın muntazam bir şekilde buharlaşması gerekmektedir. Bu sağlanmadığı takdirde yanmamış hidrokarbon emisyonları artacaktır. Yanma için karışımdaki benzin buharlarının hacimsel olarak belli bir orandan aşağı olmaması gerekmektedir. Aksi takdirde karışım tutuşmamayabilmektedir. Karışımın tutuşmaması demek aynı oranda atmosfere kirletici atılması demektir. Bunun için benzin içindeki kolay buharlaşan hafif hidrokarbonların, ayarlanması gerekmektedir. Bu işlem için benzinin %10 buharlaşma noktası, reid buhar basıncı değerine göre ayarlanmaktadır.

Yanma odasında basınç ve sıcaklığın kritik bir değere ulaşmasından sonra 25 m/s hızla yayılan alev cephesinden uzakta bulunan karışımlar kendiliklerinden tutuşabilmekte yanma anormal bir hal almaktadır. Bunun sebebi yanmanın başlangıcında CO ve CO₂ ten başka peroksitler ve aldehitler meydana gelmektedir. Çok kararsız olan bu bileşikler kritik bir basınç ve sıcaklıkta patlayarak darbeleri yani vuruntuyu meydana getirmektedir. Bu peroksitler yakıtın cinsine ve kimyasal bileşimine bağlı olmaktadır. Yavaş yanan ve ağır olan aromatik hidrokarbonlar, hafif fakat hızlı yanan parafiniklerden daha az vuruntu meydana getirmektedirler. Yakıtın cinsine bağlı bir özellik olan vuruntu oluşumu ile sıcaklık çok fazla artacağından çöküntü sonucu bir kısım hidrokarbonlar yanmadan siyah is şeklinde egzostan dışarı atılacaktır.

Vuruntu direncini artırıcı katkı maddelerin ilavesiyle yakıt özelliklerinin sebep olduğu kirletici emisyonları da değişmektedir. Oktan sayısını arttırmak amacıyla benzine katılan katkı maddelerinin başında kurşun tetraetil gelmektedir. Vuruntu direncini arttırmak için demir pentakarbonil de kullanılmaktadır. Yakıtta katılan bu katkı maddelerinin bir bölümü yanma odasında kalarak supablarda ve buji civarında birikim oluşturmaktadır. Egzos hidrokarbon emisyonlarının miktarı ve/veya reaksiyona girme kabiliyeti yanma odasında biriken tortular sebebiyle artmaktadır. Benzine ilave edilen kurşun bileşiklerinin %1 i değişime uğramadan egzostan dışarı atılırken %20-25 i egzoz sistemi içinde veya motor yağı içinde kalmaktadır. Saatte 50 km/h hızla giden bir taşıtın motorundan benzin içindeki kurşun bileşiklerinin ancak %5 i egzostan dışarı atılırken, hızın 100 km/h e çıkması durumunda %2000 artış olduğu saptanmıştır.(Adoğlu,1992) Diğer taraftan, kurşunun genel sağlığa ve egzoz sisteminde kullanılan katalitik konvertör sistemlerine olumsuz etkileri nedeniyle ABD 'de ve Avrupa 'da bu tür benzin kullanılmaktadır. Ülkemizde ise 1993 yılında kurşunsuz benzin kullanan ilk taşıtlarla birlikte bu tür benzin üretimine başlanmıştır.

Benzinlerde kraking prosesi esnasında stabil olmayan olefinler yüksek yüzdelerde meydana gelmektedir. Olefinler benzinin oktan sayısını arttırdıkları halde hava ile temaslarında oksitlenerek gom denilen yapışkan maddeleri teşkil etmektedirler. Bu maddeler emme ve egzoz sistemlerinde isliliğe neden olmaktadır.

Benzinlerde, standartlarda izin verilen azami kükürt miktarları kütlece %0.1-0.25 ile sınırlandırıldığından bu tür emisyonlara katkısı ihmal edilebilecek düzeydedir.

5.3.2.Diesel Yakıtların Emisyonlara Etkisi

Diesel yakıtlarının yaygın olarak piyasada iki çeşidi mevcuttur. Bunlar 1 numara ve 2 numara diesel yakıtı olarak adlandırılmaktadırlar. Bir numara diesel yakıtı hafif kerosen benzeri bir yakıt olup kesintili orta yük motorlarında kullanılmaktadır. İki numara diesel yakıtı daha ağır, daha ucuz ve kaynama aralığı daha geniş olup sürekli yüksek güce ihtiyaç gösteren uzakyol taşımacılığındaki motorlarda kullanılmaktadır. Normalde bir diesel motoru ya bir numara ya da iki numara diesel yakıtla çalışmak üzere inşa edilmektedir. Bir numara diesel yakıtı için dizayn edilen bir motor iki numara diesel yakıtı kullanılarak işletilirse bu durum aşırı isliliğe ve ağır bir yanık kokusuna sebep olabilmektedir. Yüksek özgül ağırlık, azami kaynama noktası ve viskozite bir bütün olarak yanma verimini azaltabilmekte, bunun neticesi olarakta egzostaki is artabilmektedir.

Katkı maddeleri, içten yanmalı motorlarda yakıtlarında yanmayı iyileştirmek için kullanıldığı gibi daha az kötü kokusuyla orijinal kokunun kabaca gizlenmesi içinde kullanılmaktadır. Benzinin emisyonlara etkisinde de anlatıldığı gibi katkı maddeleri metal içeriyorsa egzosta daha fazla ve farklı zehirleyici maddeler meydana getirebilmektedir.

Diesel motorlarda kullanılan yakıtların en önemli özelliği olan yakıtın kendi kendine tutuşabilme kabiliyetini gösteren setan sayısı olmaktadır. Motorun sıkıştırma stroku sonunda yakıtın püskürmeye başladığı andan tutuşmaya kadar zaman içerisinde geçen zaman uzarsa, bu gecikme süresi sonunda içerde birikmiş olan yakıtın hepsi birden tutuşarak ani bir basınç yükselmesine sebep olmaktadır. Buna diesel vuruntusu denmekte olup benzin motorundaki vuruntuya benzer mahzurları vardır. Gecikmenin aşırı olması durumunda bu olayın çok şiddetlenmesine neden olmaktadır. Bununla beraber bu sürenin çok kısaltılması durumunda yakıt enjektörden püskürür püskürmez tutuşarak enjektör memesinin aşırı ısınmasına sebep olacaktır. Bu ise yakıtın kriting olmasına, karbonlaşma yaparak kötü ve isli yanmasına yol açacaktır.

Sonuç olarak setan sayısının düşük olması normal çalışma konumuna gelinceye kadar olan "beyaz isli" çalışma süresini dahada uzatmaktadır. Tutuşma gecikmesini azaltmak (setan sayısını yükseltmek) amacıyla kullanılan baryum amil nitrat ve kalsiyum kökenli katkı maddeleri partikül (karbonlu ve vernikli tortular) emisyonlarını arttırmaktadır.

Benzinde çok az miktarda bulunan kükürt; motorinde kütlece %1 oranında bulunabilmektedir. Kükürt yanma esnasında yakıtla birlikte yanmaktadır. Bu yanma sonucunda kükürt dioksit (SO_2) veya daha fazla oksijenle birleşerek kükürt trioksit (SO_3) meydana gelmektedir. Kükürt trioksit (SO_3) yakıtın yanması sırasında ortaya çıkan su buharı ile birleşerek sülfirik asiti (H_2SO_4) oluşturmaktadır. Normalde çok düşük düzeylerde kalan sülfirik asit konsantrasyonları yakıtın içerdiği kükürt miktarına bağlı olarak artmaktadır.

5.4. KİRLETİCİ OLUŞUM MEKANİZMALARI

5.4.1. Karbon Dioksit Oluşumu

Karbon dioksit emisyonları tamamen yakıt miktarı ile kontrol edilebilmektedir. Ne kadar fazla yakıt yakılıyorsa o kadar fazla karbon dioksit emisyonu oluşacaktır. Karbon dioksit yanmanın doğal bir sonucu olduğundan sınırlandırılmamaktadır. Bununla birlikte yanmanın imkan nisbetinde tam olduğunu göstermesi bakımından yakılan yakıt miktarına göre hesaplanan maksimum değerinde olmalıdır. Isı bırakma süreci de önemli bir parametre olduğundan maksimum karbon dioksit emisyonunun elde edildiği işletme şekli motorun maksimum verimle çalıştığı işletme şekli olmayabilmektedir.

Karbon dioksit oranı yanma derecesini belirlemektedir. Rölantide ya da kısmi yük altında motor ısındıktan sonra hava fazlalık katsayısının 1 olduğu durumda optimum yanma için karbon dioksit değerinin hacim itibarıyla %14 veya daha fazla olması gerekmektedir.(Mazda,1993) Karbon dioksit miktarı düşük iken kirletici emisyonların oranlarında düşük ise bu durum egzoz sisteminde bir sızıntı olduğunun belirtisidir. Karışımındaki hava miktarı fazla ise egzoz gazlarındaki serbest oksijen miktarı da

fazla olacaktır. Maksimum karbon dioksit miktarına bağlı olarak oksijenin yüzdesi zengin karışımdan fakir karışıma geçişin bir göstergesi olmaktadır. Tablo 5.2 de karbon dioksit, karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonlarının katalizatörlü bir egzoz sistemindeki optimum değerleri görülmektedir.

Tablo 5.2 Optimum Emisyon Değerleri (Mazda,1993)

$\text{CO}_2 \geq \% 14$	$\text{CO} \leq \% 0.1$	$\text{HC} < 20 \text{ ppm}$
--------------------------	-------------------------	------------------------------

5.4.2.Karbon Monoksit Oluşumu

Karbon ve karbon içeren bileşiklerin tam yanmaması, değişik miktarlarda karbon monoksit oluşturmaktadır. Bu olay sadece karbonun oksijenle birleşme reaksiyonunun tipine bağlı değildir. Bunun yanısıra yanma odasındaki koşullara da bağlıdır. Gaz veya sıvı hidrokarbonlu yakıtın oksijenle girdiği zincirleme reaksiyon sonucunda karbon monoksit oluşur. Sonra karbon monoksit OH^\cdot ile karbon dioksit oluşturmak üzere reaksiyona girer. Bu ikinci reaksiyonun hızı birincisinin 1/10 kadardır. Bu mekanizmanın özelliği başlıca dört parametre ile hidrokarbonun her türlü yanması sırasında karbon dioksit konsantrasyonunun kontrol edilebilmesidir. Bu parametreler:

- Oksijen konsantrasyonu
- Alev sıcaklığı
- Yüksek sıcaklıktaki gaz etkinlik süresi
- Yanma odasındaki girdaptır

Oksijen konsantrasyonu; karbon monoksit ve karbon dioksit oluşumunu belirlemektedir. Oksijen, başlangıç reaksiyonunda (yakıt molekülü ile girdiği reaksiyon) ve OH^\cdot oluşumunda gerekmektedir. Başlangıç reaksiyonunda oksijenin fazla olması daha çok karbon monoksitin karbon dioksite dönüşümüne imkan verir.

Alev sıcaklığı; hem karbon monoksit oluşumunu ve hem de karbon monoksitin karbon dioksite dönüşümünü etkiler. Bu iki reaksiyonunda hızı sıcaklık artışı ile üstel orantılıdır.

Ayrıca karbon monoksit oluşumu ile kıyaslandığında nisbeten reaksiyon hızının daha yavaş olması ve gaz etkinlik süresinin daha uzun olması karbon dioksit oluşumunu arttırmaktadır.

Artan yanma gazları türbülansı, reaksiyon elemanlarına, nisbeten yavaş olan gaz haldeki difüzyon proseslerini de katmaktadır. Bu sayede ilave bir mekanizma sağlandığından tüm reaksiyon hızları artmaktadır.

Yüksek miktarda karbon monoksit oluşumu karışımın zengin olduğunun bir ifadesidir. Aşırı yakıt basıncı, öngörülen karışım oranını değiştirebilmektedir. Yakıt püskürtme sisteminin hatalı çalışması da bir diğer etkenlerdir. Ayrıca kirli hava filitresi, karterin iyi havalandırılmaması veya arızalı bir start otomatığı gibi etkenler de karışımı zenginleştirmektedir. Benzin motorlarının karbon monoksit emisyonları, diesel motorlara nazaran daha az hava ile çalıştırıldıklarından daha fazladır.

Diesel motorlarda düşük yüklerde hava/yakıt oranı 100:1 i aşabilmektedir. Hava/yakıt oranının çok yüksek olduğu bu gibi durumlarda karşılaşılan karbonmonoksit konsantrasyonu bir kaç ppm olmaktadır.(Lilly,1987) Aşırı yüklemelerde hava/yakıt oranı, doğal emişli indirekt püskürtmeli (ön yanma odalı) diesel motorlarda 20:1e, aşırı doldurmalı direkt püskürtmeli (ön yanma odasız) diesel motorlarda ise 25:1 e düşmektedir. Bu durumda karbon monoksit konsantrasyonu 3000 ppm civarında olmaktadır. Diesel yakıtı için bu durum stoikometrik şartlara indirgenğinde hava/yakıt oranının 15:1 olmasına karşılık gelmektedir. Bu ise gerekli oksijenin daima mevcut olduğunu gösterir. Kısaca diesel motorlarda aşırı CO oluşumu bir arıza belirtisi olabilir.

5.4.3.Benzin Motorlarında Yanmamış Hidrokarbon Oluşumu

Hidrokarbonlar daha doğru deyişle organik emisyonlar hidrokarbon yakıtların eksik yanması sonucu oluşmaktadır. Toplam hidrokarbon emisyonu yanma veriminin bir ölçüsü olmasına rağmen,kirletici emisyonların tam bir göstergesi olmamaktadır. Egzos gazları çok sayıda hidrokarbon bileşiklerini içermektedir. Buji ateşlemeli motorların egzos gazlarının içerdiği hidrokarbon türlerinin oranları katalitik dönüştürücü kullanıldığı durumlar için tablo 5.3 te gösterilmiştir.

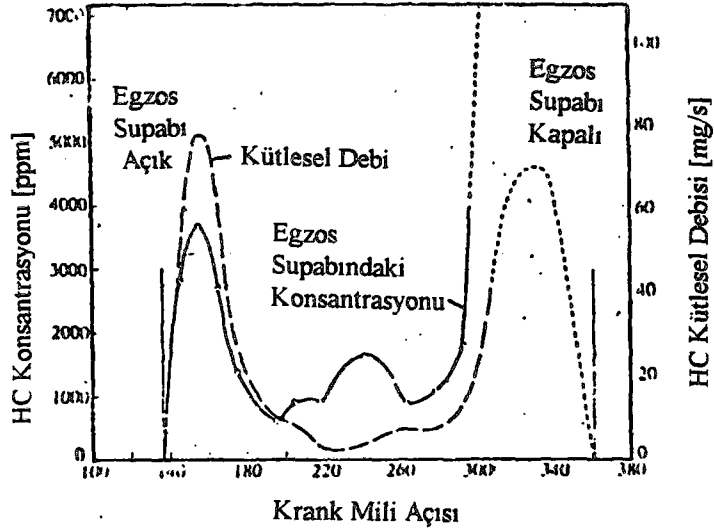
Tablo 5.3 Egzos Emisyonlarındaki Hidrokarbon Türlerinin Oranları [%]

Egzos Sistemi	Parafinler	Olefinler	Asetilen	Aromatikler
Katalizatorsöz	33	27	8	32
Katalizatorlü	57	15	2	26

Buji ateşlemeli bir motorun egzos gazları içindeki yanmamış hidrokarbon konsantrasyonları, normal çalışma şartlarında 1000-3000 ppm arasında olmaktadır. Bu ise motora giren yakıt miktarlarının % 1-2.5 ne karşılık gelmektedir.(Dülger,1992) Buji ateşlemeli ve karbüratörlü motorlarda hidrokarbon emisyonuna yol açan başlıca dört faktör bulunmaktadır.Bunlar:

- Yanma odası içindeki küçük oyuklara giren karışımın alevin sönmesi nedeniyle yanmaması
- Alevin yanma odası cidarlarına temas ederek sönmesi ile cidar civarında yanmamış yakıt/hava karışımı kalması
- Motorun çalışması esnasında bazı çevrimlerde yanmanın eksik olması veya karışımın tutuşmaması
- Emme ve sıkıştırma sırasında yakıtın silindir yüzeylerindeki yağ tabakası tarafından emilmesi ile genişleme ve egzos sırasında bu yağlı yakıtın egzosa karışmasıdır.

Yukardaki olaylar karışımın hiç tutuşmaması dışında silindir cidarlarına yakın kısımlarında yanmamış hidrokarbon oluşumuyla sonuçlanır. Bu sebeple yanmamış hidrokarbonlar silindir içinde eşit şekilde dağılmamaktadır.



Şekil 5.10 Egzos Supabındaki HC Konsantrasyonu ve Kütlesel Debi

Egzos içindeki yanmamış hidrokarbon konsantrasyonunun değişiminin tesbiti için çeşitli deneyler yapılmaktadır. Bu çalışmaların birinde egzos supabı çıkışına bir örnekleme supabı yerleştirilerek egzos konsantrasyonları tespit edilmiştir. Şekil 5.10 bu çalışmalardan elde edilen hidrokarbon konsantrasyonlarının zamanla değişimini göstermektedir.

Hidrokarbon konsantrasyonu egzos işlemi sırasında sabit kalmamaktadır. Egzos supabının açıldığı ve egzos işleminin sonuna yaklaşıldığı sıralardaki yüksek hidrokarbon konsantrasyonu, egzos gazlarının büyük bir kısmının atıldığı ve yüksek basınç farkı altında oluşan kütleli gaz akışının sonucu olmaktadır. Egzos işleminin sonlarına doğru oluşan yüksek hidrokarbon konsantrasyonu ise üst ölü noktaya yaklaşan pistonun, silindir cidarlarına yakın yüksek hidrokarbon konsantrasyonlu karışımı egzos supabına itmesinden kaynaklanmaktadır.

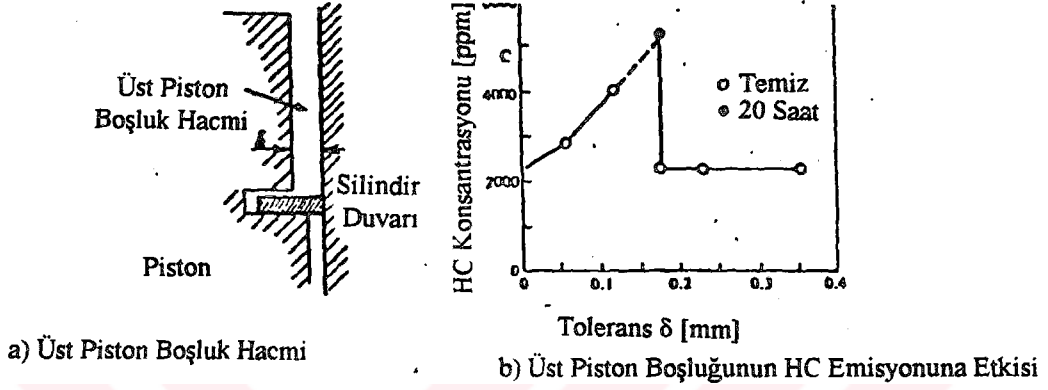
5.4.3.1. Silindir İçindeki Oyuk Hacimlerin Etkisi

Seğmanlarla yanma odası duvarı arasında kalan küçük hacimlere alevin ilerlemesi mümkün olmadığından; bu boşlukların yanmamış hidrokarbon teşekkülüne katkısı büyük olmaktadır. Bu hacimlerin en geniş piston seğmanı ve silindir duvarı arasında kalanı olmaktadır. Bunun yanı sıra bujilerin vida boşlukları, buji elektrodunun etrafındaki hacim (diesel motorlarda enjektör yuvası ve meme etrafındaki hacim) supabların etrafındaki oturma yüzeyi boşlukları da bu hacimlerle aynı etkiyi yapmaktadır. Tablo 2.4 de bu hacimlerin boyutları ve önemi bir V-6 motoru için verilmektedir.

Tablo 5.4 Bir V-6 Motoru için Yanma Odasındaki Oyuk Hacimler

Hacmin Adı	cm ³	%
Silindir başına strok hacmi	632	-
Silindir başına sıkıştırma hacmi	89	100
İlk seğmanın üstündeki hacim	0.93	1.05
İlk seğmanın arkasındaki hacim	0.47	0.52
İlk seğman arasındaki hacim	0.68	0.77
İkinci seğman arasındaki hacim	0.47	0.52
Toplam seğman boşluğu hacmi	2.55	2.90
Buji vida boşlukları	0.25	0.28
Silindir kapağı conta boşluğu	0.30	0.34
Toplam oyuk hacmi	3.10	3.50

Bu oyuk hacimlerin motorun çalışması esnasındaki önemi şu şekilde açıklanabilmektedir. Sıkıştırma esnasında yükselen silindir basıncı yanmamış karışımı bu hacimlere girmeye zorlamaktadır. Bu hacimler küçük olduğundan yüzey/hacim oranları büyük olmakta ve içeri giren gazın sıcaklığı ısı transferi yoluyla duvar sıcaklığı mertebesine düşmektedir. Yanma esnasında basınç yükseldikçe, yanmamış karışım bu hacimlere girmeye devam etmektedir. Alev bu hacimlere geldiğinde içerdeki soğuk gazları tamamen yakacak şekilde ilerleyememekte ve sönmektedir. Silindir basıncı düşmeye başlayınca da bu yarı yanmış karışım bulunduğu hacimlerden yanma odasına, geri dönerek hidrokarbon emisyonlarına ilave olmaktadır. Sıkıştırma ve yanma esnasında karışım bu hacimlere dolmaktadır. Ü.Ö.N 'dan yaklaşık 15° sonra silindir basıncı düşmeye başlayınca da tekrar bu hacimlerden dışarıya, yani yanma odasına dönmektedir. Bu olayın önemli bir sonucu, silindir içindeki karışımın kütlesinin %5-10'unun maksimum silindir basıncının olduğu sırada bu hacimlere dolması ve yanma işlemine katılmaması olmaktadır. Bu gaz karışımının büyük bir kısmı genişleme esnasında geri dönmekte ve bujinin konumuna bağlı olarak %50 den fazla yanmamış yakıt/hava karışımı içerebilmektedir. Bu olayın yanmamış hidrokarbon emisyonuna katkısı açıktır. Piston, piston seğmanı ve silindir duvarı arasındaki boşlukların değiştirilmesinin hidrokarbon emisyonunu nasıl etkileyeceği Wentworth tarafından incelenmiştir.(Dülger,1992) Wenworth çalışmalarında boşlukların seğmanlarla doldurularak ortadan kaldırılmasıyla,oyuk hacimlerin hidrokarbon emisyonuna olan etkisinin yok edileceğini göstermiştir. Haskell ve Legate, tek silindirli bir motor kullanarak üst piston yan boşluk mesafesinin hidrokarbon emisyonuna etkisini incelemiştir.(Dülger,1992) Şekil 5.11 de yan boşluk mesafesi ve hidrokarbon emisyonunun bu boşlukta değişimi görülmektedir.



Şekil 5.11 Piston Üst Boşluk Hacminin HC Emisyonuna Etkisi

Piston üst yan boşluğu arttıkça hidrokarbon emisyonları artmaktadır. Mesafe 0.18 mm ye eriştiği anda hidrokarbon emisyonu, sıfır boşluk değerine düşmekte ve bu noktadan sonrada sabit kalmaktadır. Bu olayın nedeni, bu boşluk değerinden sonra alevin sönmeden boşluk hacmi içinde ilerleyip karışımı yakabilmesi olmaktadır.

5.4.3.2. Alevin Silindir Yüzeyinde Sönmesinin Etkisi

Silindir yüzeyine yakın tabaka içinde alev söndüğü Daniel tarafından ispatlanmıştır. (Dülger,1992) Alevin silindir duvarına değdiği andaki alev bölgesinin çekilen fotoğrafları duvara bitişik, içinde yanma olmayan ince bir bölgenin varlığını göstermektedir. Bu bölgenin kalınlığı 0.05-0.4 mm arasında değişmektedir. Aşırı yükte bu kalınlık daha da azalmaktadır.

Soğuk yanma odası duvarları ısıyı soğurmakta ve alev içindeki aktif elemanların reaksiyonunu engellemektedir. Alev bu şekilde söndüğü zaman ön yanma bölgesinde yanmamış karışım bırakmaktadır. Alevin duvarda sönmesi olayını, alevin içindeki reaksiyonların sonucu açığa çıkan ısı miktarının, duvarlara verilen ısı miktarına olan oranı belirlemektedir.

Silindir duvarlarının pürüzlülüğünün egzoz hidrokarbon emisyonuna etkisi de Wenworth tarafından gösterilmiştir. Wenworth yaptığı deneyde, toplam yanma odası yüzeyinin %32 'sinin işlenerek parlatıldığında, ortalama egzoz hidrokarbon konsantrasyonunun %14 azaldığını tespit etmiştir. (Dülger,1992)

5.4.3.3. Yanma Kalitesinin İyi Olmamasının Etkisi

Alevin yanma odasını baştan başa geçmeden, yanmamış karışım kütlesi içinde sönmesi bazı motor işletme koşullarında önemli bir hidrokarbon emisyonu oluşum nedenidir. Eğer basınç ve sıcaklık çok hızlı düşerse, alev sönmebilmekte ve çok yüksek hidrokarbon konsantrasyonlarına sebep olmaktadır. Bu olay en çok rölantide ve düşük yükte meydana gelmektedir. Hava/yakıt oranı, egzoz gazı sirkülasyonu ve ateşleme zamanı alevin sönmesini önleyecek şekilde ayarlansa bile, motorun çalışması sırasında bazı çevrimlerde, bu değişkenleri kontrol eden sistemlerin farklı dinamik karakterleri dolayısıyla alevin sönmesi olayı meydana gelebilmektedir.

5.4.3.4. Motor Yağının Yakıtı Absorplamasının Etkisi

Yakıt içindeki ve yanma odası yüzeylerindeki motor yağının egzoz hidrokarbon miktarını arttırdığı bilinmektedir. Egzoz hidrokarbon konsantrasyonunun düzensiz olarak yükseldiği deneylerde motor çalışma şartlarının düzgün olmasına rağmen, piston üstündeki yağın bu yüksek hidrokarbon emisyonuna neden olduğu gösterilmiştir. Yakıtta motor yağı katılmasıyla, hidrokarbon emisyonunun katılan yağla orantılı olarak arttığı gözlenmiştir. %5 yağ içeren yakıtla çalışan motorun egzoz hidrokarbon seviyeleri 10 dakikalık bir süre içinde, temiz bir motora göre 2-3 katına çıkabilmektedir. Yanma odası yüzeylerindeki yağ tabakasının gaz halindeki yakıtı emmesi ve daha sonradan ortama salması, bu olayların sebebi olarak açıklanmaktadır.

Absorbe etme ve salma mekanizması şöyle çalışmaktadır: Emme ve sıkıştırma strokları sırasında, silindir içindeki yakıt buharı konsantrasyonu, emme borularındaki yakıt konsantrasyonuna yakın olmaktadır. Böylece, yaklaşık olarak bir krank mili devrinde silindir duvarlarındaki, yağ tabakası yakıt buharını emecektir. Sıkıştırma işleminin sonlarına doğru yakıt buharı basıncı arttığından yakıtın emilmesi devam edecektir. Yanma sırasında silindir içindeki yakıt buharı konsantrasyonu buharı sifıra yakın olduğu için absorbe edilen yakıt buharı, yağ tabakasından silindir içindeki yanma ürünlerine geçecektir. Genişleme ve egzoz strokları esnasında da ortalama yakıt buharının salınması devam edecektir. Bu yakıt buharının bir kısmı silindir içindeki yüksek sıcaklıktaki yanma ürünleriyle karışacak ve oksitlenecektir. Buna rağmen, sınır tabaka içinde kalan veya çevrimin sonuna doğru ortama salınıp soğuk gazlarla karışan yakıt buharı oksitlenmeyecek ve yanmamış hidrokarbonlara ilave olacaktır.

5.4.4. Diesel Motorlarda Yanmamış Hidrokarbon Oluşumu

Diesel motorlarda, yanmamış hidrokarbon emisyonları hava/yakıt oranından bağımsızdır. Yanmamış hidrokarbonlar yakıt püskürtme sistemindeki hatalardan meydana gelmektedir. Bunlardan bazılarının üstesinden gelinebildiği halde diğerleri bir motorun doğal olarak geniş bir hız aralığında işletilmesinden kaynaklanmaktadır.

Yakıt püskürtme sistemlerinin hidrokarbon emisyonlarına sebep olan çözümlenebilir sorunları; ikincil püskürmeler ve enjektör meme haznesi hacminin büyüklüğüdür. Yakıt borularında etkili olan basınç dalgalanmaları sebebiyle esas püskürtmeden sonra enjektör memesi tekrar açılarak, çok az bir yakıt püskürtebilmektedir. İkincil püskürmeler genleşme stroku sonunda meydana geldiğinden, yakıt tam olarak yanamaz ve egzoz supabı açıldığında egzoz sisteminden dışarı atılır.

Püskürmeler sonunda yakıt enjektörünün haznesinde bir miktar yakıt kalmaktadır. Bu yakıt genellikle yanma için koşulların müsait olmadığı genleşme stroku sırasında buharlaşarak haznenin dışına çıkar ve egzoz gazları ile birlikte ortama atılır.

Püskürtme zamanının geciktirilmesi genellikle azot oksit emisyonlarını kontrol etmekte kullanılmaktadır. Ancak, bu bir çok motorda hidrokarbon emisyonlarında bir artmaya neden olmaktadır. Bu durum içerdiği bir çok faktörden dolayı karışımın ilk yanma mitarında bir azalmaya ve yanmanın tamamlanması için mevcut sürenin kısılmasına sebep olmaktadır. Bu ise hidrokarbon emisyonlarını artırıcı bir durumdur.

Yakıt zerrelere, yük ve hız pozisyonlarına göre en uygun dağılım ve ilerlemenin kazandırılması için yakıt püskürtme donanımının ayarlanabilir olması sebebiyle hidrokarbon emisyonları hava/yakıt oranına bağlı değildir. Tam yükte yanmamış hidrokarbonlara; yanma türbülansındaki oksijen eksikliği neden olmaktadır. Pratikte bu önemli bir sorun teşkil etmemektedir. Çünkü; motorun dizaynı esnasında tam yük sınırlandırıldığından bu problem çözümlenmiş olmaktadır. Hafif yüklerde çok fazla miktarda havanın içine nisbeten daha az yakıt püskürtülmektedir. Bu durumda yanma odasındaki bölgeler hızla tutuşma sınırının altına inebilmektedir. Yakıt zerrelere aşırı dağılıp ilerlemesi yüksek hidrokarbon emisyonlarına sebep olabilmektedir. Yakıtın bir cidara ulaşması, yanma esnasında buharlaşmanın oldukça yavaşladığının ve geciktiğinin belirtisi olmaktadır. Bu gerçekleştirilmesi için bir hayli emek sarfedilen, yakıtın yanma odası cidarına püskürtüldüğü MAN M sistemine rağmen doğruluğu ileri sürülen bir husustur.(Lilly,1987)

Benzin motorlarında yanmamış hidrokarbon oluşumları kısmında anlatıldığı gibi diesel motorlarda da piston üst kısmı yan boşluğu yüksek hidrokarbon emisyonlarının oluşmasına imkan vermektedir. Bu kısımdaki yakıt/hava karışımına alev erişememektedir. Bu sebepten ;genelde bu kısımdaki boşluk mümkün mertebe azaltılmaktadır. Bu çözüm çok küçük piston üst kısmı yan boşluğuna neden olmaktadır. Alternatif bir önlem, en üst seğmanı piston kafası ile yekpare yapmaktır. Bu durumda piston üst kısmı artacağından bu da bir sınırlamaya tabidir.

Yakıt ta, hidrokarbon emisyonlarında önemli bir etkiye sahiptir. Ağır hidrokarbonlar daha alçak son kaynama sıcaklığına sahiptir. Son kaynama sıcaklığı yüksek olan yakıtlar, daha fazla partikül emisyonuna neden olmaktadır. Bu durum bir ikilem yaratabilmektedir. Ancak diesel motorlarda kullanılan yakıtlar mevcut ikilemi zorunlu kılmaktadır.

5.4.5. Azot Oksit Oluşumu

Egzostan yayınan azot oksit miktarının hava fazlalık katsayısı ile ilişkisi yanmamış hidrokarbonlarda olduğunun tam tersidir. Bunun nedeni karışımın fakirleşmesiyle hidrokarbonların büyük ölçüde yanmasına karşın, mevcut serbest oksijenin sıcaklık ve basınç arttıkça azot ile reaksiyona girmesidir.

Azot oksit emisyonları yanma odasında iki mekanizma ile oluşmaktadır. Bunlar: "Zeldovich" ve "Hızlı NO" mekanizmalarıdır. Her iki mekanizmada da yanma havasındaki azot ve oksijenin reaksiyonlar sonucu azot oksitler üremektedir. Zeldovich mekanizması $O + N_2 \rightarrow NO + N$ (1) ve $N + O_2 \rightarrow NO + O$ (2) şeklinde iki reaksiyondan ibaret olup (1) reaksiyonu ile reaksiyonun hızı belirlenmektedir.

Bu mekanizma büyük ölçüde sıcaklığa bağlı, atomik oksijen (O) konsantrasyonu ile doğru orantılı ve yakıt türünden bağımsızdır. İzotermal alev sıcaklıkları sayesinde son emisyonlar, ürün partiküllerinin etkili ömürlerinin son sıcaklıkları ile orantılı olmaktadır. "Hızlı NO" mekanizması bir kısım hidrokarbonun azot molekülleri ile reaksiyonunu içermektedir. Bu mekanizma az bir ölçüde sıcaklığa bağlı olup yalnızca fakir karışımların yandığı bir diesel motorda karşılaşılan NO emisyonlarının nisbeten küçük bir kısmından sorumlu olmaktadır. Bu sebepten "Zeldovich" mekanizması diesel motorlardaki azot monoksit emisyonlarının kontrol altında tutulmasında önem kazanmaktadır. Azot monoksitin büyük ölçüde yanma prosesinin başlangıcında oluştuğu ikinci önemli bir noktadır.

Fosil yakıtların yanması sırasında azot oksit oluşumunda ileri sürülen bir diğer mekanizmada $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$ şeklinde verilmektedir. (Ludwig el al.,1974) Bu reaksiyonun denge koşullarının, alev sıcaklığı, basınç, her bir gazın konsantrasyonu, farklı sıcaklık düzeylerinde kalma süreleri ve soğutma hızları gibi değişkenlere bağlı olduğu belirtilmektedir. NO_x karışımını meydana getiren elemanların konsantrasyonlarının dengesi yanma esnasında ve ısı çekilme proseslerinde karşılaşılan yukarıdaki parametrelerdeki değişikliklerin bir fonksiyonudur.

NO oluşumu yüksek sıcaklık ile kolaylaşmaktadır. NO_2 ye dönüşüm ise bir egzotermik (ısı veren) ikinci mertebe reaksiyon olup düşük sıcaklıkla daha kolay gerçekleşmektedir. Ayrıca azot dioksitin N_2 ve O_2 ye bozunması hızlı sıcaklık düşürme ile engellenebilmektedir.

Yüksek yanma sıcaklıkları, hızlı soğuma ve egzoz gazlarının aniden genişmesi, yüksek azot monoksit konsantrasyonlu (alçak azot dioksit konsantrasyonlu) emisyonları ve başlangıçtaki reaksiyon elemanlarına dönüşmeyi önleyici gecikmiş reaksiyonları arttırmaktadır.

Diesel motorların azot oksit emisyonlarında püskürtme zamanlaması en etkili faktörlerden biridir. Püskürtme zamanının geciktirilmesiyle, tüm diesel motorlarda azot oksit emisyonlarında yararlı azalmalar elde edilmektedir. Direkt püskürtmeli (ön yanma odasız) motorlarda, gecikmiş yanma başlangıcı A.Ö.N. yı 5° geçeden Ü.Ö.N.yı $2-4^\circ$ geçeye kadar yapılabileceğinden, artan is ve yakıt

sarfıyatına bağılı olarak aşırı masrafta dikkat çekicidir. Normal olarak nisbeten yanma daha fazla geciktirildiğı için ön yanma odalı motorlar daha az NO_x emisyonları oluşturma eğilimindedir. Ön yanma odalı motorların yanma başlangıcı, genelde A.Ö.N.yı 2° geçeden Ü.Ö.N.yı 2° geçeye kadar yapılabildiğinden yakıt ekonomisinde ciddi bi artışa neden olmaksızın püskürtme geciktirilebilmektedir. Azot oksitleri azaltmak için aşırı gecikmeli püskürtme yapılacak olursa hidrokarbon emisyonlarında ani bir yükselme başlamaktadır.

Püskürtme hızı da NO_x emisyonlarını etkilemektedir. Püskürtme hızı arttığında emisyonlar da artmaktadır. Bunun nedeni yakıt sokulması sırasında fazla dağılımın çok sıcak bir aleve yol açmasından dolayı daha büyük miktarlarda NO üremesidir.

Yanma sıcaklıklarının artmasına yol açan her hangi bir etki NO_x emisyonlarının fazlalaşmasına sebep olmaktadır. Çevrim sıcaklığını ve dolayısıyla da azot oksitleri azaltmada etkili olan; benzin ve diesel motor egzoz gazlarının yeniden çevrime katılması durumunda partikül emisyonları artmaktadır. Yakıt/hava oranının yükseltilmesi azot oksitleri arttırmaktadır. Bununla birlikte endirekt püskürtmeli motorlar ön yanma odası koşulları sayesinde yakıt bakımından zengin karışımlara rağmen daha az NO_x oluşturmaktadır.

Sıkıştırma oranının yükseltilmesi çevrim sıcaklıklarını arttıracığından NO_x emisyonları fazlalaşmaktadır. Bununla birlikte geciktirilmiş püskürtme, sıkıştırma oranının artırılmasına olanak vermektedir. Pratikte bütün bunlardan elde edilecek sonuç oldukça küçüktür. Aşırı doldurma da benzer bir etkiye sahiptir. Bu durumda fazla yüklerde, çevrim sıcaklıklarının düşük tutulabilmesi için giriş havası sıcaklığının azaltılması tercih edilmektedir.

5.4.6.İs Oluşumu

İs; ışığın kırılmasına, yansımaya ya da geçmesine engel olan katı veya sıvı çok küçük parçacıkların egzoz gazlarında asılı durumda bulunması olarak tanımlanabilir. Motor egzoz gazlarından kaynaklanan is iki başlık altında sınıflandırılmaktadır. Bunlar:

a. Direkt ışık altında mavi/beyaz görünen, yanmamış, kısmen yanmış veya ayrılmış durumda yakıt ve yağlama yağı zerrelere içeren is şeklidir.

b. Gri/siyah görünen katı karbon zerrelere içeren is şekli olup yakıtın tam yanmaması sonucu oluşabilmektedir.

Mavi bileşenin esas sebepleri piston seğmanlarının sızdırmazlığının bozulması ya da supab yataklarının aşınması sonucu yanma odasına giren aşırı yağlama yağıdır. Bununla birlikte tanecik çapı takriben 0.5 µm olan yanmamış yakıt ta mavi is olarak egzosta görünebilmektedir.

Beyaz bileşenin başlıca nedeni ise, yakıt sokulma periyodundaki çok düşük yanma odası sıcaklığıdır. Takriben tanecik çapı 1.3 µm olan yakıt zerrelere egzosta böyle bir is şeklinde gözükmektedir. Düşük çevre sıcaklıklarında veya yüksek rakımlı yerlerde motorun ilk hareketi

sırasında oluşan ve motor ısınınca ortadan kalkan is buna örnek olarak verilebilir. Diğer taraftan çok geç yakıt püskürtme veya sıkıştırma oranının çok düşük seçilmesi ya da işletme şartlarına uygun olmayan diğer bileşenler gibi dizayn hataları da bu duruma yol açabilmektedir. Motorun çalışması esnasında sürekli olarak gözüken beyaz isin sebebi ise yanma odasına her hangi bir nedenle su sızmasıdır.

Gri/siyah is motorun tam yük veya tama yakın yükleme pozisyonlarında, püsküren yakıtın maksimum dizayn değerini aşması veya hava girişinde bir engel bulunması sonucu oluşmaktadır. Normal işletme esnasında bu tür is düşük ısı verime ve karbon monoksit gibi zehirleyici bileşenlerin aşırı oranlarda yayılımına da yol açmaktadır. Motor gücünün sınırlandırılmasıyla bu durum önlenmektedir.

Siyah aşırı is emisyonları bakım tutumun yeterli olmamasından da ileri gelebilmektedir. Örnek olarak; hava filtresinin kirliliği, yakıt enjektörleri veya yüksek basınç yakıt pompasının yanlış ayarları verilebilir. Bu tür is, esas itibariyle ortalama çapı 0.02-0.12 µm olan geniş bir ölçü aralığındaki sert veya yumuşak karbon zerrelere içermektedir. Ayrıca bu büyüklükler yakıt miktarı arttırılırken is emisyonunda değişen bir kaç tip yanma sistemine de bağlıdır. Genelde ön yanma odasız sistemlerde yakıt miktarının artmasına bağlı olarak egzozun görülebilirliği de artar. Oysa girdap oluşturan ön yanma odalı motorlarda yakıt miktarının kritik bir seviyeye ulaşması halinde is emisyonunun aniden artması mümkündür.

Diesel motorların egzozunda işletme şartları ne olursa olsun bir miktar karbon zerresi daima mevcuttur. Bu nedenle diesel motorların is emisyonlarının sıfır olması mümkün değildir. Yakıt özellikleri de is emisyonlarını etkilemektedir. Artan setan sayısı beyaz is oluşturma eğilimini azaltmakta, ekseriya yarı kaynama noktasının düşmesi ile gösterilen uçuculuk özelliğinin fazla olması ise, arttırmaktadır

.Diğer taraftan kimyasal bileşim, setan sayısı ve uçuculuk siyah isin oluşumunda karmaşık bir etki yapmaktadır. Bağıl yoğunluğun artmasıyla sokulan yakıtın kütlesi fazlalaşacağından siyah is oluşumunda artacaktır. Yakıtlara katık olarak az miktarda alkalın bileşikleri, örnek olarak baryum ilavesinin siyah isi azaltacağı belirtilmektedir.(Lilly,1987) Fakat bu bileşiklerin kullanımına standardlar imkan vermediği gibi bu türdeki yakıtın sevkinde de problemler mevcuttur.

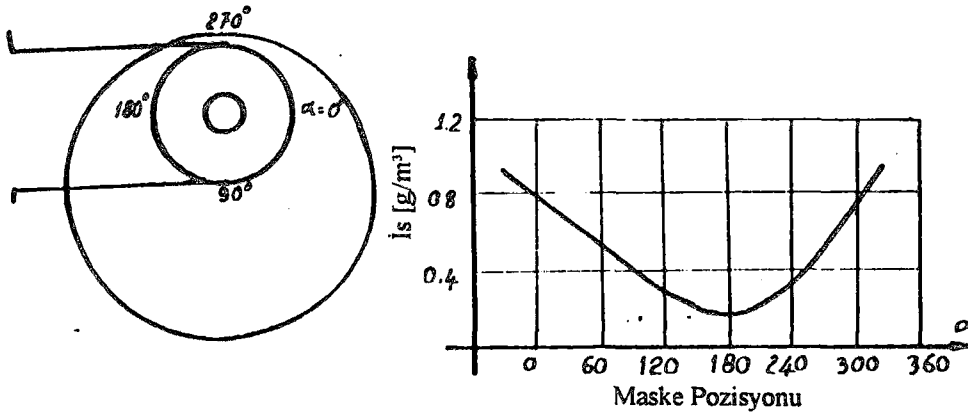
Günümüzde is oluşumuna etki eden faktörlerin bilinmesine karşın is oluşumu esnasında meydana gelen reaksiyonların detayları henüz açıklığa kavuşmamıştır. Is, yanma odası içerisinde sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde yeterli oksijenin bulunmaması sonucu gaz fazındaki yakıt moleküllerinin, katı partiküllere dönüşmesi ile meydana gelmektedir. Diesel motorlarda is teşekkülü yanma alevinde çekirdek fazı ve is partiküllerinin oluşumları şeklinde iki kısımda düşünülmektedir. Çekirdek fazı bir çok kimyasal reaksiyon sonucu yaklaşık 0.5 A° çapındaki çok küçük is partiküllerinin oluşması olarak tanımlanmaktadır. Bu reaksiyonlar yakıt moleküllerinin bir araya toplanmasıyla

(Aggregation) veya yakıt moleküllerinin hidrojen almasıyla (Dehydrogenation) sonuçlanmaktadır. Normal olarak diesel yakıtı molekülünde 12-22 karbon atomu ve yaklaşık iki katı kadar hidrojen atomu mevcuttur. Oluşan is partiküllerinde ise yaklaşık 10^5 karbon atomu ve çok az hidrojen atomu bulunmaktadır. Diesel motorun yanma alevinde görülen is partikülleri çekirdek fazından sonraki ağır hidrokarbon kökleri (radikalleri) olarak tanımlanmaktadır.(Yavaşlıol,1988)

Yanma odasında isin oluşması ve yanmaya katılması birbiri ardı sıra meydana gelmektedir. Yanma esnasında oluşan isin çok az bir kısmı yanmaya katıldığından, is büyük oranda genişleme strokunda egzoz gazlarında görülebilmektedir.

5.4.6.1. Yanma Odasındaki Hava Hareketlerinin Etkisi

Silindir içerisindeki hava hareketlerinin artması yakıtın buharlaşmasını ve buharlaşan yakıtın oksijenle karışmasını hızlandırdığından is oluşumunu azaltmaktadır. Şekil 5.12 de strok hacmi 1 lt olan ve 1100 dev/dak ile çalıştırılan direkt püskürtmeli bir motorda maske pozisyonuna bağlı olarak egzosta oluşan is miktarının değişimi görülmektedir. Maskeli supab ile silindire giren havanın hareketi sağlanmaktadır. Emme kanalına göre maske pozisyonu silindir içerisinde yaratılan hava hızının mertebesini belirlemektedir. Maskeli supabta $\alpha=180^\circ$ maske pozisyonunda silindir içindeki hava hızı maksimum mertebede olmaktadır. 180° lik maske pozisyonundan uzaklaştıkça hava hızları azaldığından is oluşumu fazlalaşmakta ve maksimum hava hızının sağlandığı şartlarda ise minimum mertebede is

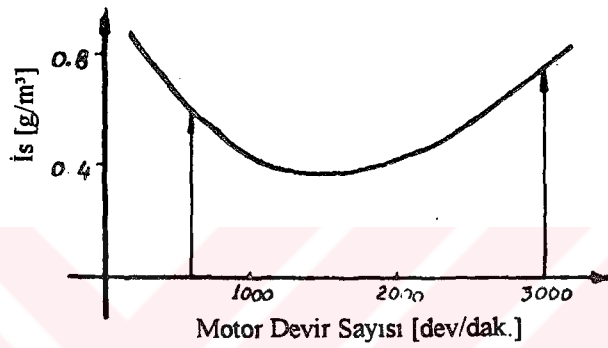


Şekil 5.12 Maske Pozisyonuna Bağlı Olarak İs Oluşumu

meydana gelmektedir.

5.4.6.2.Devir Sayısı ve Yükün Etkisi

Motorun işletme devir sayısı aralığına bağlı olarak is oluşumu da değişmektedir. Düşük motor devir sayılarında silindir içinde elde edilen hava hareketleri az olduğundan iyi bir karışım teşkili sağlanmaması sonucu is oluşumu artmaktadır. Şekil 5.13 te görüldüğü gibi motor devir sayısı arttıkça, hava hareketlerinin artması karışım teşkilini iyileştirdiğinden yanma sırasında meydana gelen is



Şekil 5 13 Motor İşletme Hızının Is Emisyonlarına Etkisi

devir sayısı arttıkça alevin yayılma hızı türbülanstaki artışa bağlı olarak fazlalaşmaktadır. Belirli bir devir sayısından (1500 dev/dak) sonra, yanmanın tamamlanabilmesi için gerekli sürenin olmaması ve devir sayısı artışı oranında yanmaya ayrılan sürenin kısalması nedeni ile yanma tamamlanamadan çevrim bitmektedir. Yanmaya katılmayan yakıt, egzostaki is konsantrasyonunu, motor devir sayısı arttıkça fazlalaştırmaktadır.

Araçlarda yapılan araştırmalarda yük arttıkça isin de artmakta olduğu ve olduğu ve bu artışın yüksek hızlarda daha da çoğaldığı anlaşılmaktadır. Bunun sebebi; artan yükte yakıt miktarının fazlalaşmasıyla hava fazlalık katsayısında meydana gelen azalma olmaktadır.

5.4.6.3.İs Oluşumunu Arttıran Etkenler

Her hangi bir nedenle yanma odasına yeterli hava girmemesi, örneğin hava filtresinin tıkalı oluşu isi arttıran önemli sebeplerden biridir. Bu durum da motor düşük devirde veya kısmi yüklerde işletilirken normal çalışıyormuş izlenimi vermektedir. Ancak yük yada devir sayısı biraz yükseltildiğinde siyah is oluşumu gözle izlenebilmektedir.

İs teşekkülü yanma olayının bir neticesi olduğuna göre yanma olayına tesir edecek her faktör is üzerinde de etkili olmaktadır. Bu nedenle, soğutma suyu sıcaklığının ise olan etkisi araştırılmıştır.

Deneylerde, suyun giriş sıcaklığı sabit tutulmuş çıkış sıcaklığı suyun debisini değiştirmek suretiyle ayar edilmiştir. Dışardan verilecek suyun sıcaklığı ne kadar düşük olursa yanma hızı o nispette azaldığından is teşekkülü artmaktadır. Soğutma suyu sıcaklığı 35° C nin üzerine çıkmasıyla çeper sıcaklıkları arttığından völümetrik verim düşmekte ve is oluşumu artmaktadır.(Adoğlu,1992)

Yakıtın püskürtülmesindeki yetersizlikler de is oluşumunu arttırmaktadır. Enjektör püskürtme basıncının düşük olması veya enjektör meme deliklerinin aşınma sebebiyle genişlemesi sayesinde yakıtın iri çaplı damlacıklar halinde püskürtülmesi is oluşumunu artırıcı yönde etkili olmaktadır. Püskürtmenin uygun zamanda yapılmaması da is oluşumunu arttırabilmektedir. Püskürtmenin geç yapılması ile bilhassa yüksek devir sayılarında yanma için mevcut sürenin kısalması sebebiyle is oluşumunu arttırmaktadır.

Yanma odasında yeteri kadar kompresyon basıncının olmaması da isi arttırmaktadır. Sıkıştırma sonu basıncının düşmesi sıkıştırma sonu sıcaklığının da düşük olmasına yol açmaktadır. Düşük ortam sıcaklığı ise, püskürtme sırasında oluşan damlacıkların buharlaşmasını geciktirmektedir. Dolayısıyla karışım teşkili olumsuz yönde etkilenmektedir.

Yakıt cinsininde is teşekkülü üzerinde tesiri büyüktür. Bilhassa viskozitesi ve uçuculuğu ile bu durum kendisini göstermektedir. Muhtelif viskozitedeki yakıtlarla yapılan deneylerde, viskozite arttıkça isinde arttığı görülmüştür. Bunun sebebi artan viskozitede yakıt damla çaplarının büyümesidir. Uçuculuk azaldıkça, teşekkül eden is miktarı da çoğalmaktadır. Yakıtta yağlama yağı ilave edilirse is teşekkülünün arttığı görülecektir.

5.4.7.Partikül Oluşumu

Partiküller, karbon ve ağır hidrokarbonların yakıttaki kükürt ile birlikte meydana getirdiği sülfirik asit zerrecilerinin karışımından oluşmaktadır. Motorlardaki sülfirik asit emisyonları sınırlandırılmamış emisyonlar sınıflandırılmasına dahil edilmiş olup aynı adı kısımda anlatılmıştır.

Karbon ve hidrokarbon partikülleri motordaki heterojen yanma sebebiyle yakıtın eksik yanmasından ileri gelmektedir. Benzinli motorlardaki partikül emisyonları miktar bakımından diesel motorlardan yayınandan daha az olmaktadır. Genel olarak yakıt püskürtme sisteminin ve yanma sisteminin uygun hale getirilmesi ile partikül emisyonlarında bir azalma meydana getirilmektedir. Hidrokarbon emisyonlarını azaltma çabaları ekseriya daha az partikül sonucunu vermektedir. Ancak düşük partikül düzeyleri için özellikle partiküllerin indirgenmesine çaba göstermek gerekmektedir.

Yakıtın da partikül emisyonları bakımından etkisi mevcuttur. Yüksek son kaynama sıcaklığına sahip yakıtlar daha fazla partikül emisyonuna neden olmaktadır. Bununla birlikte yakıt kalitesini iyileştirmek için, öncedende belirtildiği gibi üretim tarzına önem verildiğinde partikül emisyonu azalabilmektedir.

5.4.8.Koku Oluşumu

Egzos kokusu aromatik hidrokarbon bileşikleri ve aldehitleri gibi oksitlenmiş organik moleküllerinden ileri gelmektedir. Oksitlenmiş organik moleküllerin, yakıt püskürtme ve bitişleri ile ilk hareket esnasında egzosta bulunduğu gözlenmiştir. Aldehitler motor egzozundaki kokuya katkıda bulunmalarına rağmen tek bir grup bileşik olarak ortaya çıkmamaktadır.

Koku tam olarak tanımlanamadığından, azaltmak için çok etkili yöntemlerde geliştirilememektedir. Bununla birlikte bir motorda yanmamış hidrokarbon emisyonlarını azaltmak için yapılan her şeyin kokuyu da azalttığı gözlenmiştir.

VI. EMİSYONLARIN KONTROLU

6.1. KARTER EMİSYONLARININ KONTROLU	140
6.2. BUHARLAŞMA EMİSYONLARININ KONTROLU	142
6.2.1.Buhar Geri Kazanım Sistemleri	144
6.2.2.Karbon Filtreli Buharlaşma Kontrol Sistemleri	144
6.3. EGZOS EMİSYONLARININ KONTROLU	147
6.3.1.Motor Düzenekleriyle Emisyonların Azaltılması	148
6.3.2.İlave Düzeneklerle Emisyonların Azaltılması	151
6.3.2.1.Hava Püskürtme Sistemleri	151
6.3.2.2.Partikül Tutucu Sistemler	152
6.3.2.3.Su Püskürtme Sistemleri	153
6.3.3.Egzos Gazlarının Yeniden Çevrimi	153
6.3.3.1.Egzos Gazlarının Basınç Kontroluyla Yeniden Çevrimi	156
6.3.3.2.Egzos Gazlarının Vakum Kontroluyla Yeniden Çevrimi	157
6.3.3.3.Egzos Gazlarının Yük Kontroluyla Yeniden Çevrimi	159
6.3.4.Egzos Sistemlerine İlave Edilen Elemanlarla Emisyonların Azaltılması	159
6.3.4.1. Isı Reaktörleri	161
6.3.4.2.Katalitik Konvertörler	161
6.3.4.2.1.Oksitleyici Konvertörler	163
6.3.4.2.2.İndirgeme Konvertörleri	164
6.3.4.2.3.Üç Yollu Konvertörler	164
6.4. ALTERNATİF GÜÇ KAYNAKLARI	165
6.4.1.Kademeli Dolgulu Motor	166
6.4.2.Diesel Motor	167
6.4.3.Wankel Motoru	167
6.4.4.Gaz Turbini	167
6.4.5.Stirling Motoru	168
6.4.6.Rankine Çevrimli Motor	168
6.4.7.Hibritler	168
6.4.8.Elektriki Sistemler	169
6.5. TAMAMLAYICI KONTROL STRATEJİLERİ	169
6.5.1.Test ve Bakımların Planlaması	169
6.5.2.Kontrol Elemanlarının Yeniden Uyarlanması	170
6.5.3.Gaz Yakıt Sistemleri	170
6.5.4.Trafik Akışının Kontrolü	171
6.5.5.Ekspres Taşıt Trafiğinin Düzenlenmesi	171
6.5.6.Toplu Taşımacılığın Geliştirilmesi	172
6.5.7.Motorlu Taşıt Kullanımının Sınırlandırılması	172
6.5.8.İş Saatlerinde Değişiklikler Yapılması	173

VI. MOTOR EMİSYONLARININ KONTROLU

Motorlardan yayılan gaz şeklindeki kirleticiler; egzoz sisteminden, karter havalandırma sisteminden, yakıt tankından ve benzinli motorların karbüratöründen kaynaklanmaktadır. Bu sebepten emisyon kontrol sistemleri farklılıklar göstermektedir. Bilindiği gibi bu emisyonları tümüyle ortadan kaldırmak mümkün olmadığından azaltılması şeklinde genel bir yaklaşım geçerli olmaktadır. Ayrıca insan ve diğer canlılara zararlı oldukları tespit edilen belli başlı emisyonların azaltılması fikri uygun görülmüştür. Zararlı oldukları çeşitli şekillerde belirlenmiş bulunan CO, HC ve NO_x emisyonlarına ilave olarak bir çok ülkede diesel motorlardan yayılan is ve partiküller de bu kapsama dahil edilmektedir.

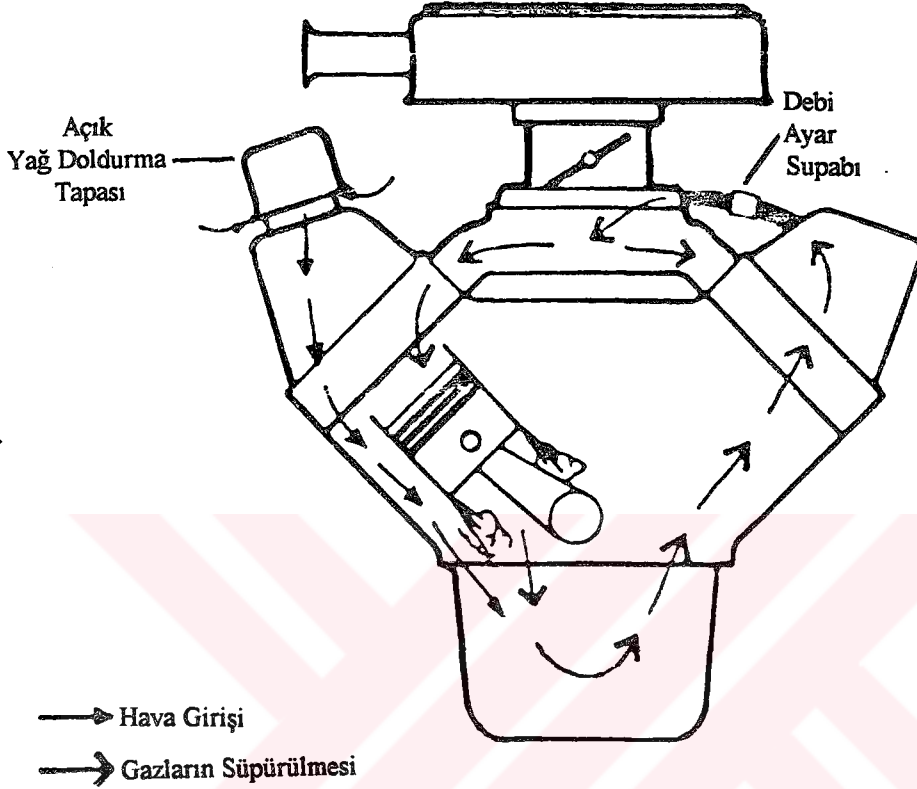
6.1. KARTER EMİSYONLARININ KONTROLU

Sıkıştırma ve yanma olayları sırasında; yanma odalarında oluşan yüksek basınç nedeniyle bir kısım gazlar, seğmanlardaki sızdırma sonucu alt kartere geçmektedir. Bu gazlar içinde yanma ürünleri, yanmamış yakıt buharı ve su buharı bulunmaktadır. Buharlaşan yağlama yağı ile birlikte bu gazların karter havalandırma sistemi ile ortama atılması gerekmektedir. Böylece alt karterdeki basınç artışı önlenmekte, su buharının yoğunlaşarak oluşturacağı korozyon etkileri azaltılmaktadır. Kartier havalandırması vasıtasıyla ortama HC, CO₂, CO, H₂O, H₂, O₂, N₂, NO₂ ve NO gibi bileşenler atılmaktadır. Ancak bunların içerisinde yanmamış hidrokarbonlar önemli bir yer tutmaktadır. Emisyon önlemi alınmamış bir motorda bu miktar, toplam hidrokarbon emisyonlarının %20 si kadardır.

Yanma odasından seğmanlardaki sızdırmalar nedeniyle alt kartere kaçan yanmamış yakıt ve yanma ürünü gazlar ile karterde buharlaşan yağlama yağı, pistonun üst ölü noktadan alt ölü noktaya hareketi sırasındaki pompalama işlemi sonucunda dışarıya atılmaktadır. Ayrıca üzerinde havalandırma kanalları bulunan yağ doldurma tapasından kartere giren hava, kirletici gazlarla karışmakta ve karter havalandırma borusu çevresinden geçen hava akımının yol açtığı basınç düşmesiyle de (Venturi etkisi) karter emisyonları dışarıya verilebilmektedir.

1963 te ABD 'deki taşıt motorlarında "Positive Crankcase Ventilation" kelimelerinin baş harflerinden oluşan PCV (pozitif karter havalandırma) sistemi kullanılmaya başlanmıştır. (Ludwig el al., 1974) PCV sisteminde dolgu girişindeki emiş ile kartere sızan yanma gazları tekrar yanma odasına aktarılmaktadır. PCV sisteminin bir türünde açık havalandırma kanallı yağ doldurma tapası 1963-1967 yılları arasında yaygın olarak kullanılmaktaydı. Şekil 6. 1 de bu tür bir havalandırma sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Burada, taşıtın normal işletilmesi esnasında yanma havası, havalandırma kanallı yağ doldurma kapağından geçerek yanma odasına girmektedir. Ağır yüklerde ya da hızlı ivmelenmede emme manifoldundaki vakum az ve kartere kaçaklar fazladır. Bu esnada karterdeki basınç artmakta ve sistemin yetersizliğinden dolayı olarakta yağ doldurma kapağından gaz kaçağı olmaktadır. Bir miktar

hidrokarbon emisyonuna izin veren bu sistem borulu karter havalandırma alanındaki en büyük gelişmedir.

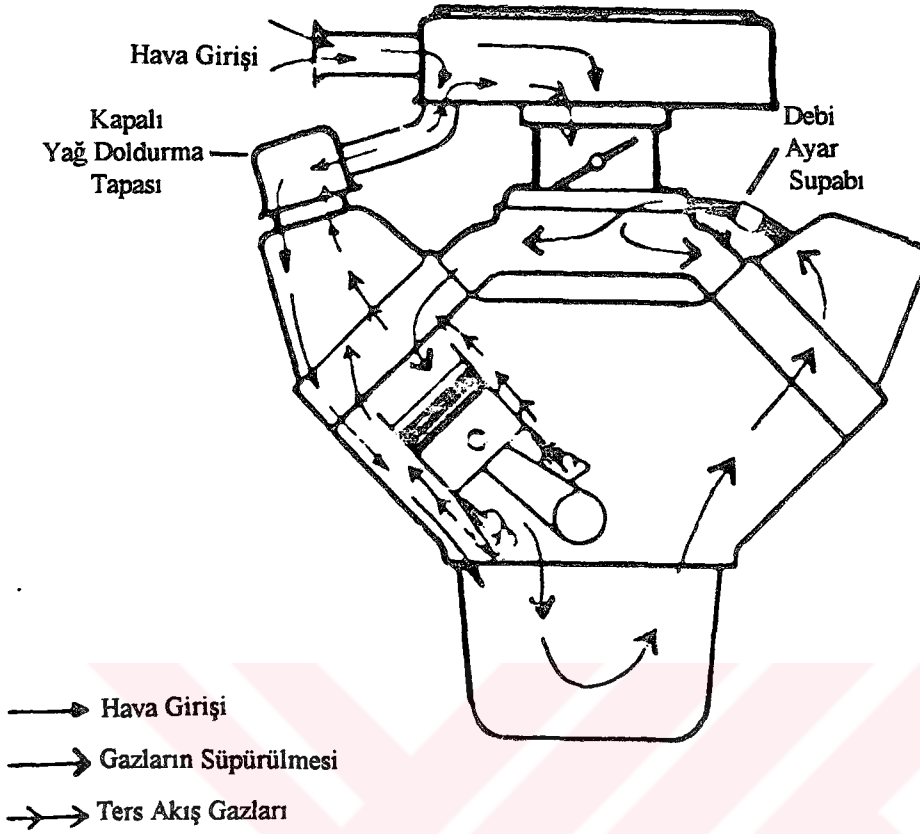


Şekil 6. 1 Açık PCV Sistemi

1968 de karter emisyonlarına ABD 'de getirilen sıkı kontroller kapalı PCV sisteminin geliştirilmesine vesile olmuştur. Şekil 6. 2 de bu sistem şematik olarak görülmektedir.

Kapalı PCV sisteminin elemanları temelde açık PCV sistemininkiyle aynıdır. Ancak sisteme hava, havalandırma kanallı yağ doldurma kapağından değil, hava filtresine bağlanan bir hortumla gelmektedir. Bu düzenleme ile yüksek hızlarda ortaya çıkan fazla buharların ters akışı emme havasıyla karıştırılmış olmaktadır. Gerçekten tam bir kontrol bu şekilde sağlanmış olmaktadır.

Her iki sistemde de karbüratöre giren hava fazlaştığından PCV sistemlerinden gelen karışımın, motorun çalışması üzerinde kayda değer bir etkisi bulunmamaktadır. Ancak emme manifolduna giren hava az ise karter havalandırma sisteminden ilave edilen karışım hava/yakıt oranını bozabilmekte ve düzensiz çalışmaya neden olabilmektedir. Bundan dolayı emme manifoldundaki emiş yüksek olsada olmasada havalandırma sistemindeki akışı düzenleyecek bir debi ayar supabı kullanılmaktadır.



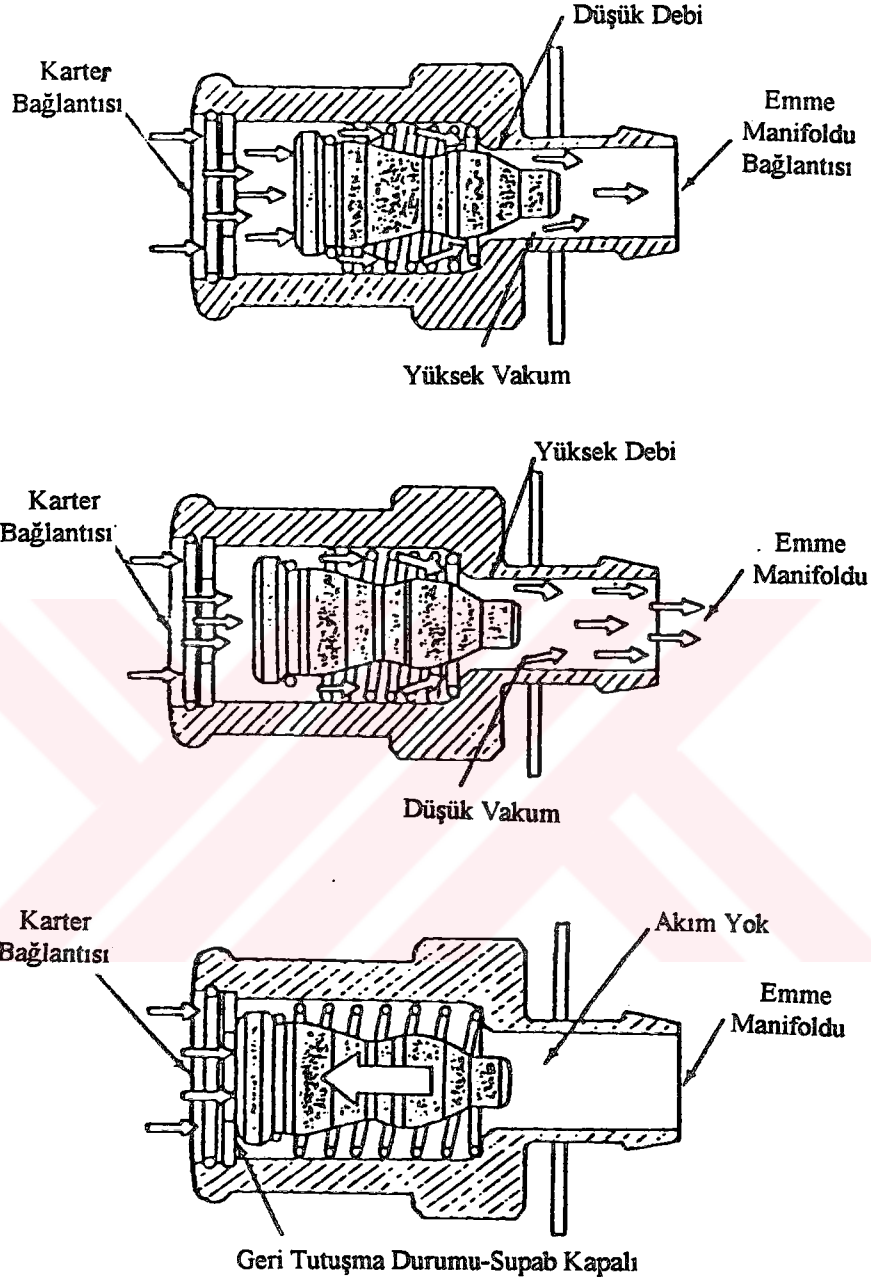
Şekil 6. 2 Kapalı PCV Sistemi

Şekil 6. 3 te böyle bir supab görülmektedir. Değişken orifisli bir supab olan debi ayar supabı geçen akımın debisini yay yardımıyla ayarlamaktadır. Düşük hızlarda minimum debi sağlanırken motorun hızı artırıldığında veya fazla yüklerde emme manifoldundaki basıncın azalmasına karşın, karter basıncı artacağından debi ayar supabı da maksimum debi konumuna gelmektedir. Böylece hava/yakıt karışım oranının değişmesi engellenmektedir. Ayrıca emme manifoldunda bir tutuşma durumunda debi ayar supabı tam kapalı konuma gelerek alevin kartere ulaşmasını engellemektedir.

Sonuç olarak karter emisyonlarının kontrolü açık PCV sisteminde motorun çok yüksek hızlarda çalışması durumunda ayar supabının debisi yeterli olmadığından yağ doldurma tapasının hava giriş kanallarından yüksek basıncın etkisi altında gazlar atmosfere kaçabilmektedir. Bu durumun önlenmesi için yağ doldurma kapağındaki havalandırma kanallarının kapatıldığı ve karter havalandırmasının hava filitresi üzerinden yapıldığı sistem olan kapalı PCV sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır.

6. 2. BUHARLAŞMA EMİSYONLARININ KONTROLÜ

Diesel yakıtlarına oranla daha uçucu olması nedeniyle bilhassa benzinin buharlaşma şeklindeki emisyonu daha fazla olmaktadır. Bu sebepten buharlaşma emisyonlarının kontrolü özellikle benzinli



Şekil 6. 3 Debi Ayar Supabı

motorlarda önem kazanmaktadır. Yakıt deposunda bulunan benzin, buharlaşma sonucu havalandırma kanallarından atmosfere kaçabilmektedir. Aynı şekilde karbüratördeki benzin de hiç bir önlem alınmadığı takdirde buharlaşma sonucu atmosfere atılmaktadır. Özellikle sıcak ortamlarda bu yollarla dış ortama atılan hidrokarbon miktarları önemli mertebelere ulaşmaktadır. Bu nedenle 1970 yılında

ABD nin California eyaletinde yürürlüğe giren standartlarla ilk kez, buharlaşma yolu ile atmosfere atılan yakıt miktarlarına sınırlamalar getirilmiştir. Bu amaçla geliştirilen yakıt buharı toplama sistemlerinde aktif karbon filitre (canister) elemanı, motorun normal çalışması sırasında dışardan emilen hava yardımıyla yakıt deposunun ve karbüratörün havalandırma işlemini yerine getirmektedir.

Buharlaşma emisyonlarının kontrolünde kullanılan iki tür sistem mevcuttur. Bunlar: Buhar geri kazanım sistemi ve karbon filitreli buharlaşma kontrol sistemidir. Her iki sistemde de yakıt tankının sızdırmaz olması, hava girişine müsait ancak buhar çıkışına kapalı olması ve bir dolum sınırlayıcı eleman ile donatılmış olması gerekmektedir. Ayrıca yakıt tankının stop esnasında yakıt buharlarını da muhafaza edebilecek hacimde ve dayanıklılıkta olması gerekmektedir.

6. 2. 1. Buhar Geri Kazanım Sistemleri

Bu sistemlerde karter, yakıt deposu ve karbüratörden çıkan yakıt buharlarının toplandığı bir depo olarak kullanılmaktadır. Sıcak stop (hot soak) sonrası karterdeki sıcaklık düşüşü karbüratörden kaynaklanan buharları kartere emecek kadar bir negatif basınca (vakum'a) neden olmaktadır. Yakıt tankında sıcaklık nedeniyle oluşan buharlar önce bir yoğuşturucu ve sıvı-buhar ayırıcıya gönderilmekte, burada yoğuşan yakıt tanka dönerken buharlar kartere emilmektedir. Motor çalıştırıldığında pozitif karter havalandırma (PCV) sisteminin harekete geçmesiyle karter buharlardan temizlenmektedir.

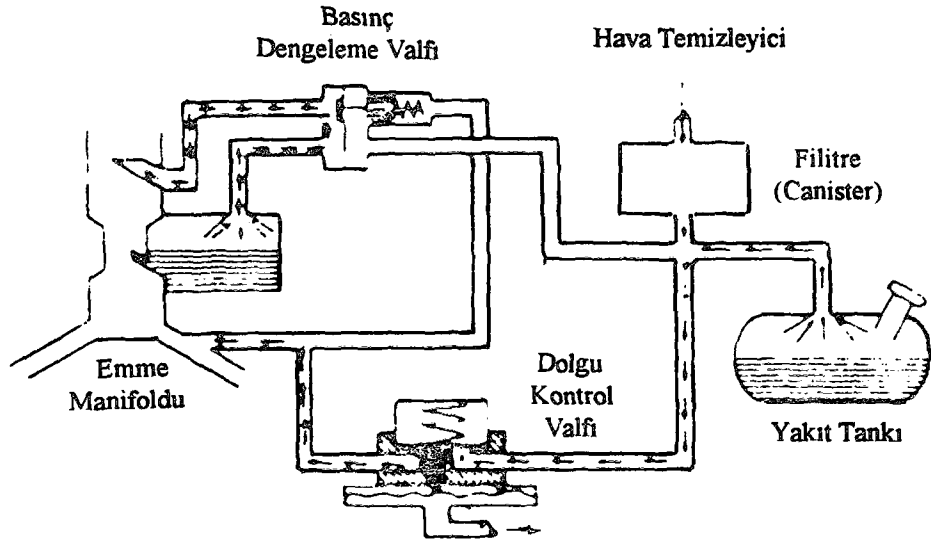
Bu sistemlerde yakıtın ısıl genişlemesine imkan vermek üzere yeterli boşluğun kalmasını sağlayan bir dolum sınırlayıcı eleman ile donatılmış sızdırmaz bir yakıt tankına ihtiyaç bulunmaktadır. Sistemin, yakıt kullanılırken tanka hava girmesini sağlayan ancak yakıt buharlarının atmosfere kaçmasını önleyen bir vakumdan koruma elemanı ile donatılması da gerekmektedir.

6. 2. 2. Karbon Filtreli Buharlaşma Kontrol Sistemleri

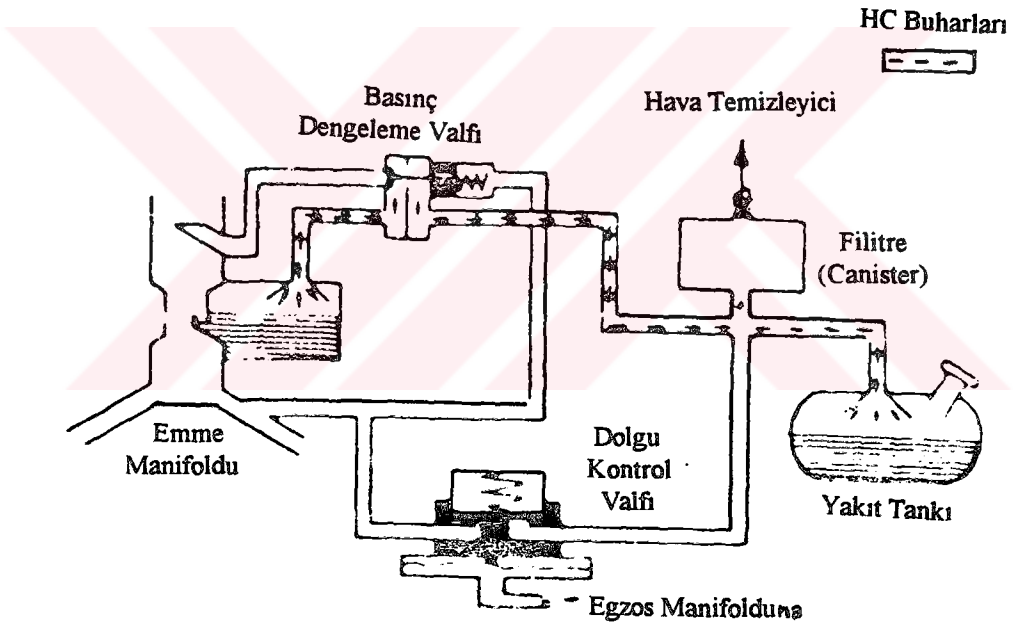
Şekil 6. 4 te şematik olarak gösterilen karbon filitreli buharlaşma kontrol sisteminde, bir aktif karbon filitre (canister) ile yakıt buharları yakalanmaktadır. Bu yakalanan buharlar, yanma odasında yakılmak için tekrar emme sistemine dönecekleri zamana kadar karbon filitre de tutulmaktadır.

Sıcak stop periyodunda yakıt tankından gelen buhar, bu sistemde de bir yoğuşturucu ve ayırıcıya gönderilmektedir. Burada yoğuşan yakıt, tanka dönmektedir. Yakıt tankında buna rağmen biriken buhar, karbüratörden gelen yakıt buharı ile aktif filitre elemanından geçirildikten sonra dış ortama verilmektedir.

Motor çalıştırıldığında emilen taze dolgu havası aktif karbon filitre elemanından geçerken, karbon moleküllerince emilen yakıt buharlarını yerinden koparıp üzerine alarak yanma odalarına taşımaktadır. Şekil 6. 5 te aktif karbon filitre elemanının çalışması görülmektedir. Bu sistemin günümüzdeki uygulamalarına ilişkin bir örnek şekil 6. 6 da görülmektedir.



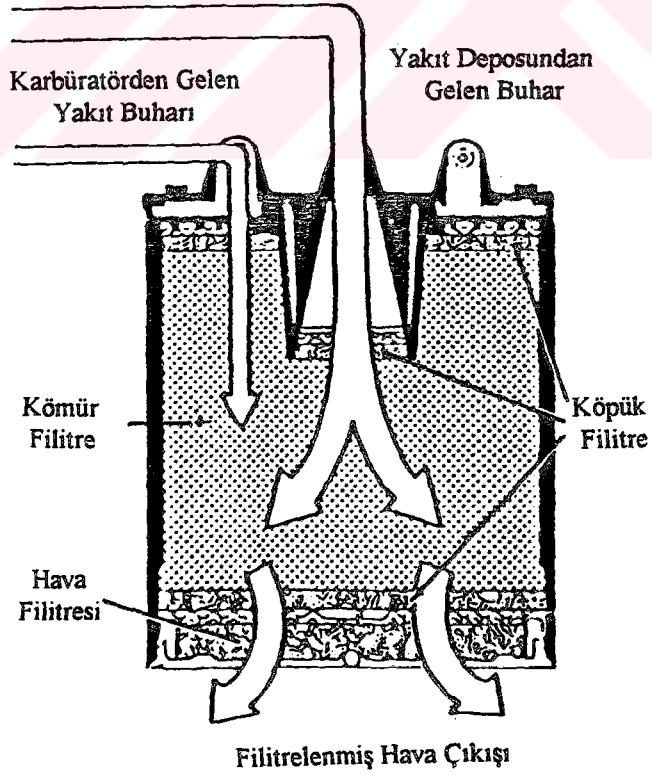
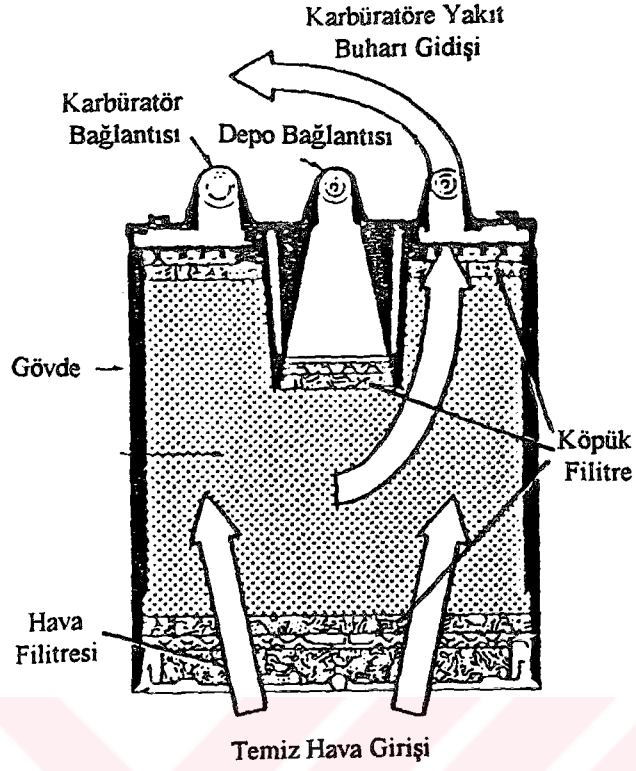
a) Dolgunun Hazırlanması Durumu



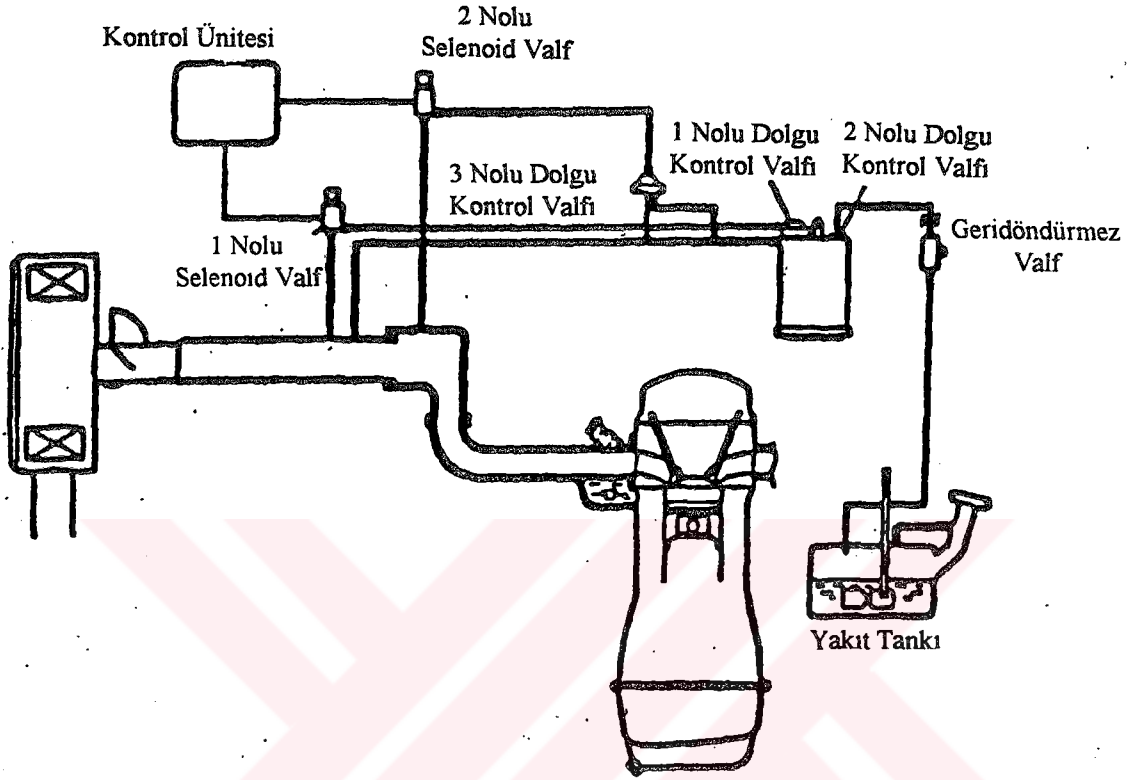
b) Sıcak Stop Durumu

Şekil 6. 4 Karbon Filtre (Canister) ile Buharlaştırma Emisyonlarının Kontrolü

Burada sisteme, soğutma suyu ve emme havası sıcaklığı, hava debisi veya motor devir sayısı algılayıcılarından gelen sinyallerle elektriki olarak kumanda edilmektedir. Motor çalışırken emme havası sıcaklığı yada soğutma suyu sıcaklığı 50°C ı aştığında aktif karbon filtre üzerinde bulunan elektriki kumandalı esas dolgu supabı ile yakıt buharlarının emme manifolduna girmesi sağlanmaktadır. (Mazda, 1993) Motor 1500 dev/dak dan daha yüksek bir devir sayısı ile çalışırken tam



Şekil 6. 5 Karbon Filtre Elemanının Çalışması



Şekil 6. 6 Elektronik Kumandalı Buharlaştırma Kontrol Sistemi

gaza yakın ya da emme manifoldunda düşük vakum durumlarında ilave bir dolgu kontrol supabı daha açılarak daha fazla yakıt buharının emme manifolduna girmesi sağlanmaktadır. Motorun emme manifoldundaki vakum 1 nolu dolgu kontrol supabını açtığı anda, temiz hava, aktif karbon filitreye girmekte ve bu esnada aktif karbon molekülleri tarafından emilen yakıt buharları açığa çıkmaktadır. Bu açığa çıkan yakıt buharları yakılmak üzere emme manifolduna emilmektedir. Emme manifoldundaki vakum ya da yakıt tankındaki basınç belirlenen değerleri aştığında 2 nolu dolgu kontrol supabı yakıt tankını vakumdan ve aşırı basınçtan korumaktadır.

6. 3. EGZOS EMİSYONLARININ KONTROLÜ

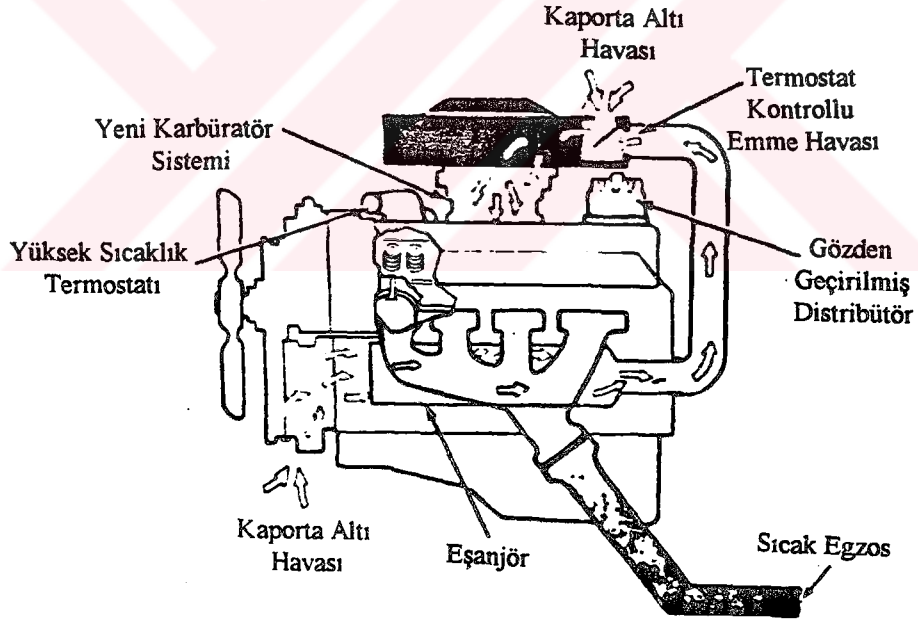
Egzos emisyonlarıyla ortama atılan kirleticilerin başında karbon monoksit, hidrokarbonlar ve azot oksitlerin geldiği daha önceki bölümlerde belirtilmişti. Motorlar için yürürlüğe konan ilk emisyon standartlarında azot oksitler için emisyon sınır değerlerinin geniş tutulması sebebiyle egzos emisyon kontrol sistemleri özellikle hidrokarbon ve azot monoksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik

gelişmeler sağlanmıştır. Ancak son zamanlarda NO_x emisyonlarına getirilen yeni sınırlamalar bu emisyonun da kontrolünü zorunlu kılmaktadır. Kirletici oldukları tüm dünyada kabul edilen CO, HC ve NO_x in kontrolü teorik olarak fakir karışımları zorunlu kılmaktadır. Egzos emisyonlarının azaltılmasında iki temel yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar:

- Motor sistemlerinde çeşitli değişiklikler yapılmak suretiyle yanmanın optimize edilmesi ve bu sayede kirletici emisyonların en aza indirilmesi,
- Kirleticilerin ilave düzeneklerle indirgenmesinden sonra ortama atılmasıdır.

6. 3. 1. Motor Sistemleriyle Emisyonların Azaltılması

Yanma optimize edilerek, yanma odasında oluşan kirletici emisyonların azaltılması esas alınmaktadır. Yanma odasındaki karbon monoksit oluşumu yanmamış yakıtın bir sonucudur. Bu sebepten azaltılması optimum yakıt/hava oranını ve oldukça fakir karışımlar şeklinde yakıtın yakılmasını gerektirmektedir. Bununla birlikte aşırı fakir hava/yakıt karışımları yanmanın aksamasına, hidrokarbon emisyonlarının artmasına ve motor gücünde azalmaya neden olmaktadır.



Şekil 6. 7 Egzos Emisyonlarının Azaltılmasında Kullanılan Motor Sistem Değişiklikleri

Hidrokarbon emisyonlarının büyük bir kısmı yanmamış yakıttan oluşmaktadır. Hidrokarbon emisyonları, karbon monoksit emisyonlarının azaltılmasına benzer yöntemlerle azaltılmaktadır. Emisyonların azaltılması için yapılan düzenlemeler ve sistem değişiklikleri şekil 6. 7 de görülmektedir. Bu düzenlemeler fakir hava/yakıt oranlarında çalışmayı sağlamak için geliştirilmiş yakıt dağıtım

sistemini, optimum ateşleme avansını ve su ile soğutulan bölgeleri azaltmak üzere yanma odası biçimindeki değişiklikleri kapsamaktadır.

Günümüzde hava/yakıt oranlarının hassas olarak sağlanabilmesi için elektronik kumandalı yakıt püskürtme sistemleri kullanılmakta, yetersiz havanın neden olacağı eksik yanmanın önüne geçmek için yavaşlama esnasında hava keleşinin daha yavaş kapanması, buna karşın, yakıtın daha hızlı kapatılması sağlanmaktadır.

Tablo 6. 1 Motorlarda Yapılan Düzenlemelerin Egzos Emisyonlarına Etkileri

Emisyon Kontrol Düzenekleri	Egzos Kirlenmeleri		
	CO	HC	NO _x
Fakir karışım			
%10 Civarındaki karışımlar	↓ (1)	↘	↗
%10 dan fakir karışımlar	→	→ ↗	↘
Karışım dağılımının iyileştirilmesi	↓	↘	↗
Emme havasının ısıtılması	↘	↘	↗
Rölanti devrinin yükseltilmesi	→	↘	↗
Geciktirilmiş ateşleme	→	↘	↓
Sıkıştırma oranının düşürülmesi	↗	↘	↘
Yüzey/hacim oranının azaltılması	→	↘	→
Supab bindirme süresinin uzatılması	↗	→	↓

(↓) Sıfıra yakındır. (↘) azaltır (↗) azaltıcı etkisi vardır (↗) artırıcı etkisi vardır (→) etkisi yoktur.

Tablo 6. 1 de motorlarda yapılan düzenlemeler ile egzos emisyonlarına etkileri görülmektedir. Motorlarda yapılan tüm sistem değişikliklerinin esas motorun rölanti devrinde, normal çalışma devrinde ve boşta yüksek devirlerde nisbeten fakir ve sabit hava/yakıt karışımları sağlamaktır. Zamanında ateşleme için hassas kumanda sistemleri kullanıldığı gibi bazı durumlarda motor boşta çalışırken gecikmeli ateşleme de (yakıtın yanma süresini uzatmak için) kullanılmaktadır. Bütün bunlara ilave olarak bir çok motor özel hava temizleyiciler ve karbüratörü ısıtılmış hava ile (hemen hemen sabit sıcaklıkta) besleyen kanallarla donatılmaktadır. Sıcak havanın karbüratöre verilmesinin nedeni havanın daha iyi kontrol edilebilmesi ve daha fakir karışımların elde edilmesine katkıda bulunması olmaktadır. Bir çok sistemde hava/yakıt karışımının yanma odasındaki dağılımını iyileştirmek ve bu sayede de daha fakir karışımların kullanılmasını sağlamak için soğutma suyu sıcaklığının yüksek olmasını temin eden termostat ayarlı radyatörler kullanılmaktadır. Bu durumda rölantide, hava keleşinin fazla açılması ve geçikmiş ateşleme sebepleri ile oluşan ilave soğutma yükünü karşılamak için kapasitesi yüksek soğutma

sistemleri kullanılmaktadır. Aksi takdirde eksik yanmaya ve yüksek hidrokarbon emisyonlarına neden olacağından yanma odası; suyla soğutulan bölgelerden alevi uzak tutacak şekilde biçimlendirilmektedir.

Karışımın iyi dağılımı homojen yanmaya daha fazla yaklaşmayı ve fakir hava/yakıt oranlarında daha iyi performansı sağlamaktadır. Karşıt akışlı yeni egzoz dizaynları ile yakıtın yoğunlaşması önlenmektedir. Motorun ısınması sırasında yakıtın yoğunlaşmasını önlemek için emme manifoldu portları akışı kolaylaştırmak üzere yuvarlatılmakta ve pürüzsüz hale getirilmektedir. Aynı amaçla emme manifoldlarında düzenlemeler yapılarak yanma odaları ile karbüratör arasındaki mesafeler eşit hale getirilmektedir.

Hidrokarbon ve karbon monoksit emisyonları yakıtça fakir karışımlar elde etmek için karbüratörün ayarlanması ile de azaltılmaktadır. Fakir hava/yakıt karışımlarının yol açtığı düzensiz rölanti ve durma olaylarını azaltmak için rölanti hızı arttırılmaktadır. Daha yüksek hız daha fazla gaz keleşi açıklığına bağı olarak daha fazla hava hareketlerine yol açacağından hidrokarbon emisyonlarını ve diesel motorlarda beyaz is emisyonlarını azaltmaktadır.

Motorun normal hızı esnasında yanma odasına giren dolgudaki yakıt özelliklerine uygun karbüratör kullanımı sonucu; yüksek soğutma suyu sıcaklığı ve karbüratöre gönderilen ısıtılmış havanın yol açacağı karbüratör öksürmesi (lean surge) büyük ölçüde önlenmektedir.

Motor boşta iken hava/yakıt karışımının aşırı zengin olacak şekilde (bu durum hidrokarbon ve karbon monoksit emisyonlarında artışa sebep olur) ayarlanmasını olanaksız hale getirmek ve bunu emniyete almak için çoğu karbüratörde rölanti karışım ayarını sınırlayan bazı elemanlar kullanılmaktadır.

Ateşleme zamanı egzoz emisyonlarının miktarını etkilemektedir. Çoğu sistemde vakum avansının kontrolünü tam olarak yapmak için vakum kontrol mekanizmaları kullanılmaktadır. Normal çalışma hızı ve ivmelenme sırasında normal avanslı ateşlemeyi sağlayan, rölanti durumunda ise ateşlemeyi geçiktiren kumanda sistemleri geliştirilmiştir. Ateşlemenin geçiktirilmesi yanma için müsaade edilen süreyi arttırmaktadır. İstenen rölanti hızına erişmek için daha büyük bir hava keleşi aralığı kullanılmaktadır. Bu ise dolgunun daha iyi karışmasına yarayacaktır. Büyük hava keleşi aralığının yararları yüksek rölanti hızları kullanılarak arttırılmaktadır.

Optimum emisyon kontrolünün sağlanmasında kullanılan ateşlemeyi geçiktirici teknikler üreticiden üreticiye değişmektedir. Basit bir düzenekte klasik vakum ve merkezkaç avans mekanizmasına sahip bir distribütör ile portlu bir vakum kaynağı kullanılmaktadır. Rölanti ve yavaşlama esnasında hava keleşinin kapalı olması nedeniyle hiç bir vakum avansı oluşmamaktadır.

Bazı motorlarda işletme konforu ve emisyon kontrolü; vites kombinasyonları ve yavaşlamanın başlangıcı esnasındaki tam vakum avansı yardımıyla optimize edilmektedir. İstenen distribütör etkisini elde etmek için iki alternatif vakum kaynağı mevcuttur. Bunlar: Karbüratör portu ve emme manifoldu portudur. Gerektiği durumlarda kontrol supabı vasıtasıyla uygun vakum kaynağı seçilmektedir.

Bazı taşıt motorlarında kapalı hava keleşi pozisyonunda ateşlemeyi geliştirmek için bir distribütör vakum avans mekanizması kullanılmaktadır. Bu bilinen distribütör vakum cihazı ile vakum avansı ve vakum rötarı işlemlerinin birleştirildiği bir mekanizmadır.

Yanma odası cidarlarının suyla soğutulmasının neden olduğu hidrokarbonlar yanma verimini de azaltmaktadır. Bu sebepten yanma odası yüzey/hacim oranı hidrokarbon emisyonlarının azaltılmasında önemli bir faktördür. Geliştirilmiş silindir kaveri (Silindir kapağı) ve yüksek sıkıştırma oranları sayesinde yanma odasının suyla soğutulmasının neden olduğu verimdeki azalma karşılanmaktadır.

Soğutma sistemleri rölanti esnasında geçikmeli ateşleme sebebiyle ortaya çıkan büyük ısı yükünü karşılayabilecek elastikiyette olmaktadır. Ayrıca uzun süreli rölantide çalışma durumunda aşırı ısınmayı önlemek için bir çok motorda sıcaklığı izleyen bir algılayıcı yardımıyla sıcaklık normale dönünceye kadar avanslı ateşlemeyi sağlayabilen donanımlarda monte edilebilmektedir.

6. 3. 2. İlave Düzeneklerle Emisyonların Azaltılması

Bu düzenekler motorun çalışması ile doğrudan ilişkisi olmayan yalnızca egzoz emisyonlarını azaltmayı amaçlayan ilave elemanlar gerektiren sistemlerdir.

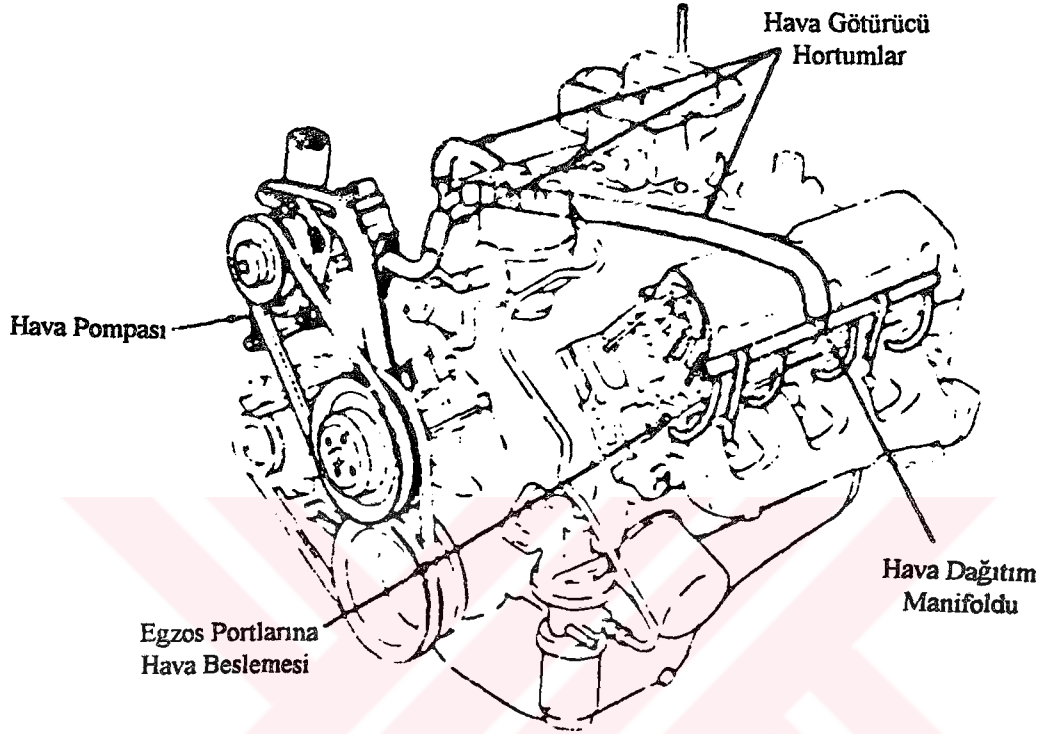
6. 3. 2. 1. Hava Püskürtme Sistemleri

Hava püskürtme sistemleri esasta normal vitese sahip otomobil motorlarında kullanılmaktadır. Egzoz hidrokarbonu ve karbon monoksit emisyonlarını azaltmak amacıyla kontrollü bir şekilde her egzoz portuna alçak basınçta hava püskürtülmektedir. Hava püskürtmekle iki sonuç elde edilmektedir. Bunlar:

- a. Egzoz sıcaklığı nispeten yüksek iken egzoz manifoldundaki hidrokarbon ve karbon monoksitin daha fazla yanması sağlanmaktadır.
- b. Egzoz valfi civarında ters egzoz akışına yol açarak taze dolgunun silindirleri çok fazla süpürmesi önlenmektedir. Yüksek hız ve yüksek güç durumu, supab bindirmesi (valve overlap) koşullarını kötüleştirinceğinden düşük süratle işletme esnasında bu ikinci sonuç önem kazanmaktadır.

Bu metodla emisyonlarda optimum azalma, motor işletme koşullarına uygun hava püskürtme oranları, dikkatli ayarlanmış hava/yakıt karışım oranları ve ateşleme avansı ile kimi durumlarda ısıtılmış karbüratör havası kullanımı ile sağlanmaktadır. Bazı motorlar kapalı hava keleşi pozisyonunda da geçikmeli ateşlemeye ihtiyaç göstermektedirler. Hava püskürtme sisteminin ana elemanları şekil 6. 8 de görülmektedir.

Tüm hava püskürtme sistemlerinde hep aynı esasa dayanan pozitif deplasmanlı döner paletli hava pompası (Rotary-vane air pump) kullanılmaktadır. Yüksek hızlarda ve tam açık hava keleşi pozisyonunda yüksek hava giriş hızları sebebiyle egzoz sistemlerini yüksek karşıbasınç ve aşırı sıcaklıklardan korumak için hava pompası gövdesine bir basınç ayar valfi konulmaktadır. Hava pompasının bastığı hava; hortumlar ve dağıtım manifoldundan geçerek tamamı egzoz portlarına iştirakli hava püskürtme borularına girmektedir. Bir çok hava püskürtme sisteminde rölanti esnasında geçikmeli ateşleme de yapılmaktadır. Yine bir çok hava püskürtme sisteminde portlu vakum kaynağı veya diyaframlı distribütör ve vakumlu avans mekanizmalarının birlikte kullanımıyla motorun rölanti ve yavaşlama periyodlarında ateşleme gecikmeli olarak yapılmaktadır.

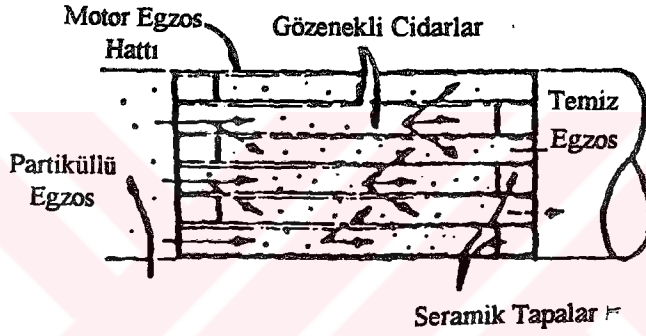


Şekil 6. 8 Ford Thermactor Egzoz Emisyon Kontrol Sistemi

6. 3. 2. 2. Partikül Tutucu Sistemler

Diesel motorların partikül emisyonları, kurşunsuz yakıt kullanılan buji ateşlemeli motorlara göre 20 kat daha fazla olmaktadır. (Adoğlu, 1992) Diesel yakıtların bakiye bırakma özellikleri burada etkindir. Bu partiküller esas olarak kurum ile az miktardaki adsorbe edilmiş veya yoğunlaşmış hidrokarbonlar ile sülfat ve kül karışımından oluşmaktadır.

Ülkemizde motorlar için halen partikül sınırlandırılması mevcut değildir. ABD 'de partikül emisyonlarına sınırlandırma getirildiği daha öncede belirtilmişti. Partikül emisyonlarının azaltılmasında kullanılan ve egzoz çıkışına bağlanan bu tutuculara örnek olarak şekil 6. 9 da görülen seramik tek parçalı ve tel örgü biçimindeki diesel egzoz partikül tutucular verilebilir. Ayrıca tutucuların üzerinde toplanan maddeleri yakarak tutucuyu temizleyen regenerasyon elemanlarında eklenebilmektedir. Ancak diesel motorlarda egzoz gazlarının düşük sıcaklıkta olması bu partiküllerin yanabileceği sıcaklıkların (500-600°C) sağlanmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle çeşitli katalizatorler kullanılarak karbon taneciklerinin 80-200° C civarındaki düşük sıcaklıklarda yanması temin edilmektedir.



Şekil 6. 9 Partikül Tutucular

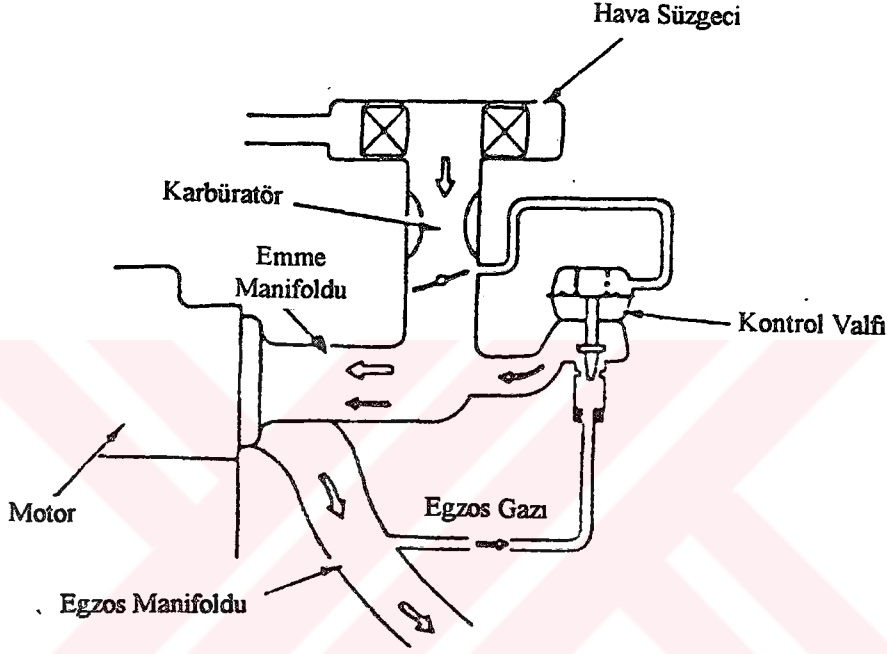
6. 3. 2. 3. Su Püskürtme Sistemleri

Egzos gazları içerisindeki NO_x miktarını düşürmek amacıyla kullanılabilen bu sistemlerde çevrim sıcaklık seviyelerinin düşmesine paralel olarak NO_x emisyonu azalmaktadır. Benzin motorlarında su püskürtme işlemi emme manifolduna yapıldığından, buharlaşma etkisi ile eklene su miktarının neden olduğu kayıp bir miktar karşılanarak volümetrik verimin düşmesi kısmen önlenmektedir. Diesel motorlarda su püskürtme işlemi tutuşma gecikmesini arttırmakta, beyaz ve siyah isin fazlalaşmasına neden olmaktadır. Pratikte getirdiği diğer zorluklar sebebiyle de bu yönteme fazla rağbet edilmemektedir.

6. 3. 3. Egzos Gazlarının Yeniden Çevrimi

Motordaki yanma olayı sırasında üretilen NO_x miktarı, yanma odasında ulaşılan sıcaklıklara bağlı kalmaktadır. Egzos gazlarının yeniden çevrime verilmesi sistemlerinin esası, etkisiz (inert) egzoz gazları ile taze dolgunun seyreltilerek yanma gazlarının maksimum sıcaklığının ve buna bağlı olarakta

azot oksit emisyonlarının azaltılması olmaktadır. Ancak bu sistemler motorun çalışması ve gücünü olumsuz şekilde etkilemekte ve yakıt tüketiminde de artışa neden olabilmektedir. Bu sebepten egzoz çıkış gazlarının %10-20 sinin emme manifolduna verilerek yeniden çevrime katılmasının optimum çözüm olduğu uygulamalardan anlaşılmaktadır. (Lilly, 1987)



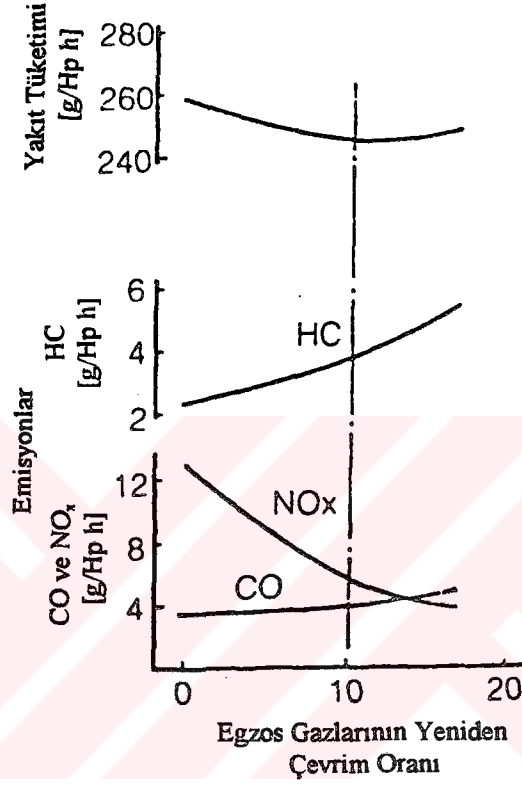
Şekil 6.10 Egzoz Gazlarının Yeniden Çevrim Sistemi(EGR)

Çevrime yeniden katılan egzoz gazlarının yüzdesinin motorun çalışma koşullarına bağlı olarak dikkatli bir şekilde ayarlanmaması durumu; motorun durmasına, teklemesine veya düzensiz çalışmasına neden olabilmektedir. Ayrıca egzoz gazlarının debisini ayarlayan supabta karbon birikimi bu ayarı bozabilmektedir. Bu sistemlerin daha zengin karışımlar gerektirmesi nedeniyle, egzoz gazlarının daha başka işlemlere tabi tutulmaması durumunda hidrokarbon ve karbon monoksit emisyonları artış göstermektedir.

Direkt püskürtmeli diesel motorlarda yanma odası sıcaklıkları daha yüksek seviyelerde olduğundan NO_x emisyonu bölünmüş yanma odalı diesellere göre daha fazla olmaktadır. Bu nedenle, özellikle direkt püskürtmeli motorlarda bu sistem kullanılarak NO_x emisyonları azaltılmaktadır. Ancak çevrime yeniden katılan egzoz gazlarının yüzdesindeki artışlar partikül emisyonlarında artmaya neden olduğundan bu oran %15 ile sınırlı kalmaktadır.

Benzin motorlarında egzoz gazları, gaz keleşinden önce veya sonra emme manifolduna

verilebilmektedir. Şekil 6. 10 da bu sistem şematik olarak görülmektedir. Egzos gazlarının yeniden çevrime katılmasıyla hidrokarbon ve karbon monoksit emisyonlarındaki artış ile azot oksit emisyonlarındaki azalma ve yakıt tüketimi şekil 6. 11 de görülmektedir.



Şekil 6. 11 EGR Sisteminin Etkisi

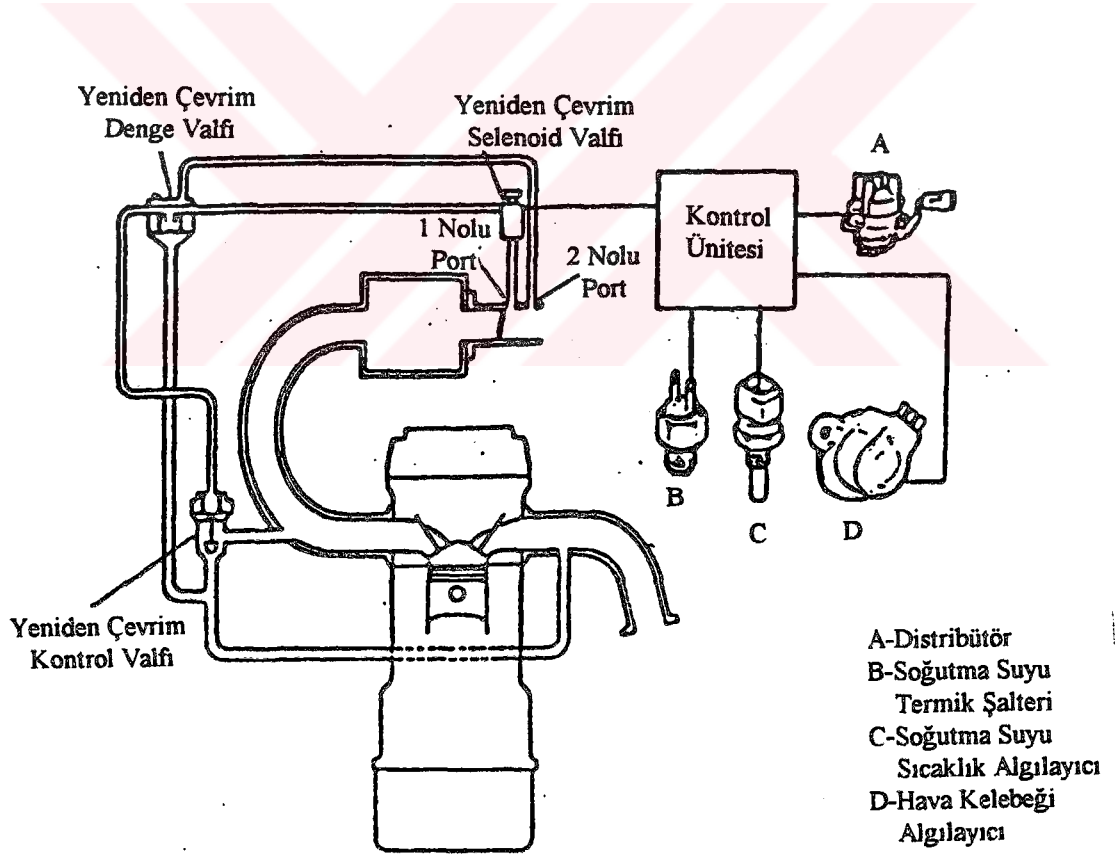
Çevrime yeniden katılan egzos gazlarının yüzdesi arttığında NO_x emisyonları büyük ölçüde azalmakta buna karşın HC emisyonları önemli miktarda artmaktadır. Diğer bir deyişle, etkisiz gaz miktarının artmasıyla yanma hızı yavaşlamakta NO_x oluşumu sınırlı kalmakta fakat yanmamış yakıt miktarı artmaktadır. Egzos gazlarının çevrime yeniden katılma oranı %10 civarındayken optimum yakıt tasarrufu sağlanmaktadır. (Mazda, 1993) Bu sistem sayesinde, daha düşük çevrim sıcaklıkları nedeniyle soğutma suyu pompalama kayıpları azalmaktadır.

Çevrime yeniden katılan egzos gazlarının oranı; yeniden çevrime katılan gazların miktarının emme havası miktarı ile yeniden çevrime katılan egzos gazlarının miktarı toplamına oranıdır. Bu oranının yüzdeyle ifadesi için sonuç 100 ile çarpılmaktadır. Bir tespite göre egzos gazlarının ortalama %15 oranındaki yeniden çevrimi ile yakıt tüketimi %15 artmaktadır. (Adoğanlı; 1992)

Genel olarak maksimum NO_x emisyonları fazla yüklerde ve maksimuma yakın güçlerde işletilirken oluşmaktadır. NO_x emisyonunu azaltmak için maksimum motor gücünden bir miktar vazgeçmek zorunda kalınmaktadır. Egzos gazlarının yeniden çevrim oranının %10 olması durumunda azot oksit emisyonları %50-60 mertebelerinde azalmaktadır. Günümüzde, çevrime yeniden verilecek egzos gazlarının miktarını tam olarak ayarlayabilmek için, emme havası sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı, motor devir sayısı ve hız kutusu dişlilerinin pozisyonu gibi işletme koşullarının değerlendirildiği elektronik kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Bu kontrol sistemlerini üç ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar: Egzos gaz basıncıyla kontrol, vakum ile kontrol ve yük ile kontrol sistemleridir.

6. 3. 3. 1. Egzos Gazlarının Basınç Kontroluyla Yeniden Çevrimi

Şekil 6. 12 de görülen bu sistem; yeniden çevrim kontrol valfi, yeniden çevrim denge valfi ve kontrol ünitesinden ikaz alan selenoid valftan oluşmaktadır. Bu sistemde bir miktar egzos gazı sürekli



Şekil 6. 12 Egzos Gazlarının Basınç Kontroluyla Yeniden Çevrimi

olarak hava emiş hattına bir port aracılığıyla (şekilde 2 nolu port) verilmekte ve bu sayede NO_x oluşumu azaltılmaktadır.

Bu sistem egzoz gaz basıncının büyüklüğü ve emme havası miktarına bağlı olarak çalışmaktadır. Etkili bir NO_x azaltımı için hızlanma esnasında egzoz gazlarının yeniden çevrim oranı arttırılmaktadır. Normal çalışma esnasında yeniden çevrim kontrol valfine ilave olarak açılmakta ve egzoz gaz basıncı veya emme havası vakumuna bağlı olarak yeniden çevrim denge valfi tarafından kapatılması sağlanmaktadır. Yeniden çevrim kontrol valfi kapandığında, egzoz basıncı yeniden çevrim denge valfinin kapalı kalmasını sağlamaktadır. Şekilde emiş devresinde 1 no ile gösterilen porttaki vakum yeniden çevrim valfine kumanda etmektedir. 1 nolu porttaki vakum üç yollu selenoid valf ile kontrol edilmektedir. Günümüz motorlarında radyatördeki su sıcaklığı 17° C (63° F) tı aştığında veya emme manifoldundaki su sıcaklığı 70° C (150° F) tı aştığında yada motor devir sayısı 3000 dev/dak nın altına indiğinde kontrol ünitesi, yeniden çevrim kontrol valfine vakum uygulanması için, üç yollu selenoid valfi açarak; yenden çevrim denge valfine geçişi sağlamaktadır. (Mazda, 1993) Yeniden çevrim valfi açıldığında, egzoz gazlarının yeniden çevrim denge valfi üzerindeki basıncı düşmekte ve 2 nolu porttaki emiş azalmaktadır. Egzoz gazlarının yeniden çevrimi hızlanma esnasında artmaktadır. Hızlanma sırasında 2 nolu porttaki vakum yeniden çevrim denge valfinin ikinci kademesine uygulanmaktadır. Bu durumda yeniden çevrim denge valfine daha fazla vakum uygulandığından çevrime katılan egzoz gazlarının miktarı da artmaktadır. Motorun ısınma periyodunda düşük sıcaklıklarda (70° C (158° F) ın altındaki soğutma suyu sıcaklıklarında) bu sistem çalışmamaktadır. Tablo 6. 2 de günümüz motorlarında kullanılan basınç kontrollu yeniden çevrim sistemlerinin devre dışı kaldığı koşullar görülmektedir. (Bosch, 1993)

Tablo 6. 2 Basınç Kontrollu Yeniden Çevrim Sistemlerinin Devre Dışı Kaldığı Koşullar

PARAMETRELER	KOŞULLAR
Normal çalışma sırasında	Ani yavaşlama veya hızlanma
Soğutma suyu sıcaklığı	1. Radyatördeki soğutma suyu sıcaklığı 17° C (63° F) ın altında iken 2. Motordaki soğutma suyu sıcaklığı 70° C (158° F) ın altında iken
Motor devir sayısı	1500 dev/dak. nın altında iken

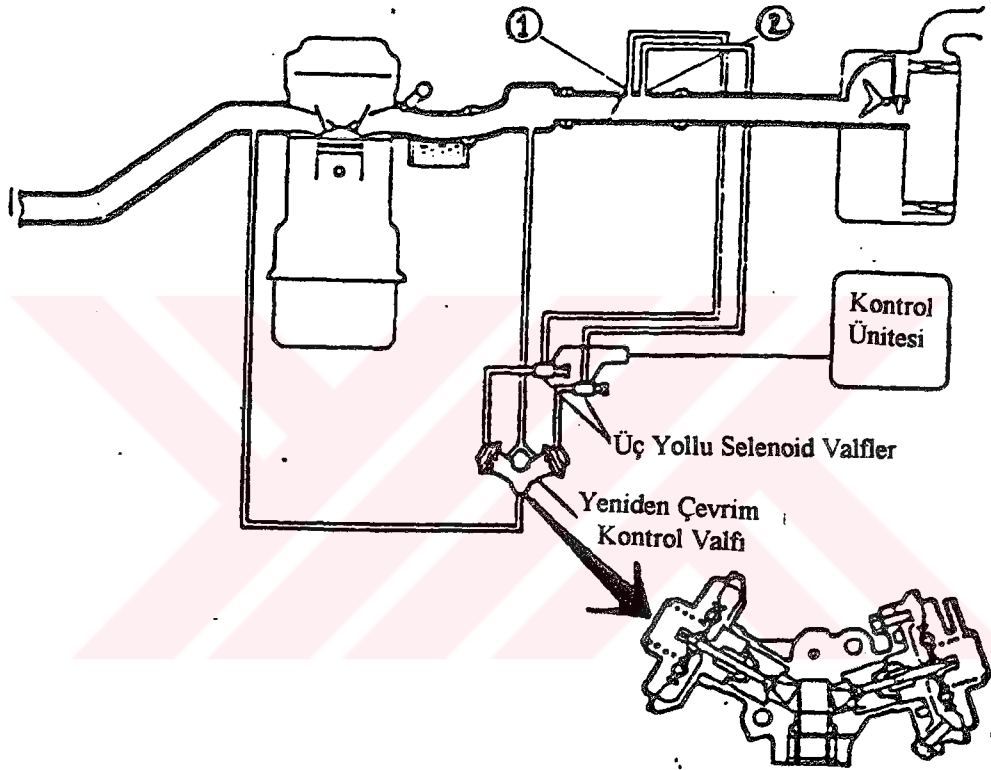
6. 3. 3. 2. Egzoz Gazlarının Vakum Kontroluyla Yeniden Çevrimi

Şekil 6. 13 te görülen bu sistemde sıcaklık algılayıcısı ve termik şalterden ikaz alan elektronik kontrol ünitesi ve üç yollu selenoid valfler aracılığıyla iki kademeli yeniden çevrim kontrol valfine kumanda edilmektedir

Günümüz motorlarında yeniden çevrim kontrol valfinin birinci vakum kademesi radyatördeki su sıcaklığı 16° C (61° F) tan yüksek olduğurda kontrol ünitesine gelen sinyal ile açılmaktadır. (Mazda,

1993) Gaz kelebeği 1 nolu vakum portunu açtığında, üç yollu selenoid valftan geçen vakum birinci kademe diyaframına uygulanmakta ve yeniden çevrim valfinin birinci kademesini açmaktadır.

Soğutma suyu sıcaklığı 60°C (140°F) olduğunda ikinci üç yollu selenoid valf açılmaktadır. Daha sonra gaz kelebeği 2 nolu portu açtığından üç yollu selenoid valftan geçen vakum ikinci kademe diyaframına uygulanmakta ve yeniden çevrim valfinin ikinci kademesini açmaktadır. Yüksek hızlarda iki kademede açık olmakta ve daha fazla egzoz gazı çevrime katılmaktadır.



Şekil 6. 13 Egzos Gazlarının Vakum Kontroluyla Yeniden Çevrim Sistemi

Tablo 6. 3 Vakum Kontrollü Yeniden Çevrim Sisteminin Çalışma Koşulları

PARAMETRE	KOŞULLAR	ÇEVİRİM VALFİNİN ÇALIŞMA DURUMU
Radyatördeki su sıcaklığı	$15-19^{\circ}\text{C}$ ($59-66.9^{\circ}\text{F}$)	Yeniden çevrim valfi tamamen kapalı
Bloktaki su sıcaklığı	54°C (129.2°F) veya fazla	Yeniden çevrim valfinin 1. kademesi açık 2. kademesi açılmaktadır

Tablo 6. 3 te vakum kontrollü yeniden çevrim sisteminin günümüz motorlarındaki çalışma koşulları görülmektedir. (Bosch, 1993)

6. 3. 3. 3. Egzos Gazlarının Yük Kontroluyla Yeniden Çevrimi

Şekil 6. 14 te görülen bu sistem pozisyon algılayıcılı yeniden çevrim kontrol valfi, yük silindirli selenoid valf, ateşleme algılayıcısı, hava akışı algılayıcısı ve tüm bunlara kumanda eden kontrol ünitesinden oluşmaktadır.

Motorun ilk hareketinden sonra yeniden çevrim kontrol valfinin kapalı olması sebebiyle atmosfer basıncı, diyaframa etki etmektedir. Kontrol ünitesi bu durumu tam kapalı olarak kabul etmektedir. Kontrol ünitesi yeniden çevrim kontrol valfinin amaçlanan pozisyonunu üzerinde bulunan şablonla karşılaştırarak belirlemektedir. Kontrol ünitesi, yeniden çevrim kontrol valfinin açılma miktarını motor devri ve emme havası miktarına uygun olarak ayarlamaktadır. Yeniden çevrim kontrol valfinin bu açılma miktarı, emme manifoldu su sıcaklığı ile motorun hızlanma veya yavaşlama koşullarına (ki bu gaz kelebeği algılayıcısı ile belirlenmektedir) uygun olarakta düzeltilmektedir. Yeniden çevrim valfinin açılma miktarının düzeltilmesini gerektiren koşullar tablo 6. 4 te görülmektedir. Yeniden çevrim kontrol valfinin amaçlanan açıklık miktarı ile gerçek pozisyonu arasında bir fark bulunması durumunda selenoid valfların hareketiyle bu düzeltilmektedir.

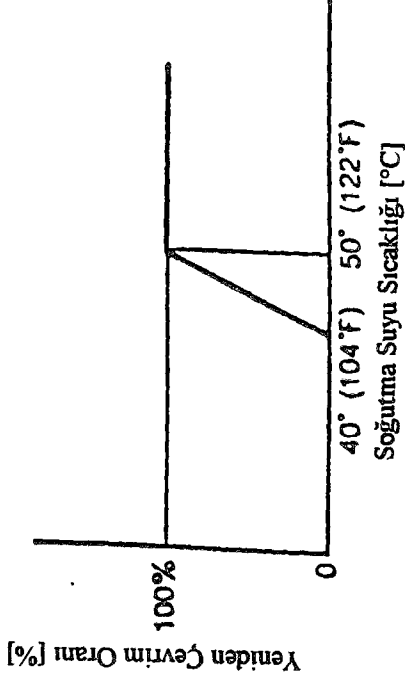
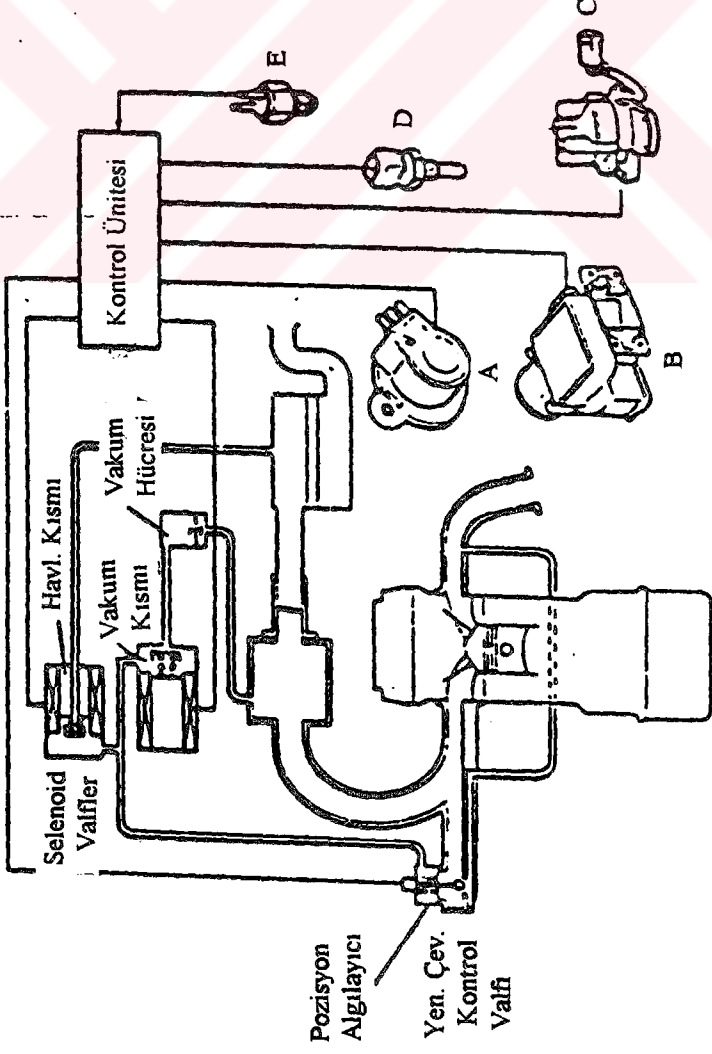
Tablo 6. 4 Yeniden Çevrim Kontrol Valfinin Açılma Miktarının Düzeltilmesini Gerektiren Koşullar

Parametre	K O Ş U L L A R	Çevrim Valfi Konumu
Gaz Kelebeği Açıklığı	1. Açıklık açısı belirlenenden büyük(motor hızı değişmiştir) 2. Tümüyle kapalı	Devreden Çıkar
Normal Çalışma	1. Aniden hızlanma 2. Aniden yavaşlama	Yarısı Kadar Kapanır
Soğutma Suyu Sıcaklığı	1. Radyatördeki su sıcaklığı 17° C (63° F) in altında 2. Bloktaki su sıcaklığı 40° C (104° F) in altında	Devreden Çıkar
	Bloktaki su sıcaklığı 40-50° C (104-122° F) arasında	Açıklık Azalır

6. 3. 4. Egzos Sistemine İlave Edilen Elemanlarla Emisyonların Azaltılması

Egzos gazları içerisindeki kirleticilerin azaltılması için yanma odasında alınan önlemlere ilaveten egzos sistemlerine monte edilen çeşitli elemanlarla kirletici emisyonları en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Burada ana prensip; kullanılacak ek sistemin maliyetinin düşük olması, motorun performansını olumsuz etkilememesi, minimum bakım gerektirmesi ve emisyonu istenilen sınırların altına düşürmesi olmaktadır. Bu amaçla kullanılan elemanları ikiye ayırmak mümkündür. Bunlar: Isı reaktörleri ve katalitik konvertörlerdir.

- A-Hava Kelebeği Algılayıcı
- B-Hava Akışı Algılayıcı
- C-Distribütör
- D-Soğutma Suyu Sıcaklık Algılayıcı
- E-Soğutma Suyu Termik Şalteri



Şekil 6. 14 Egzos Gazlarının Yük Kontrolüyle Yeniden Çevrimi

6. 3. 4. 1. Isı Reaktörleri

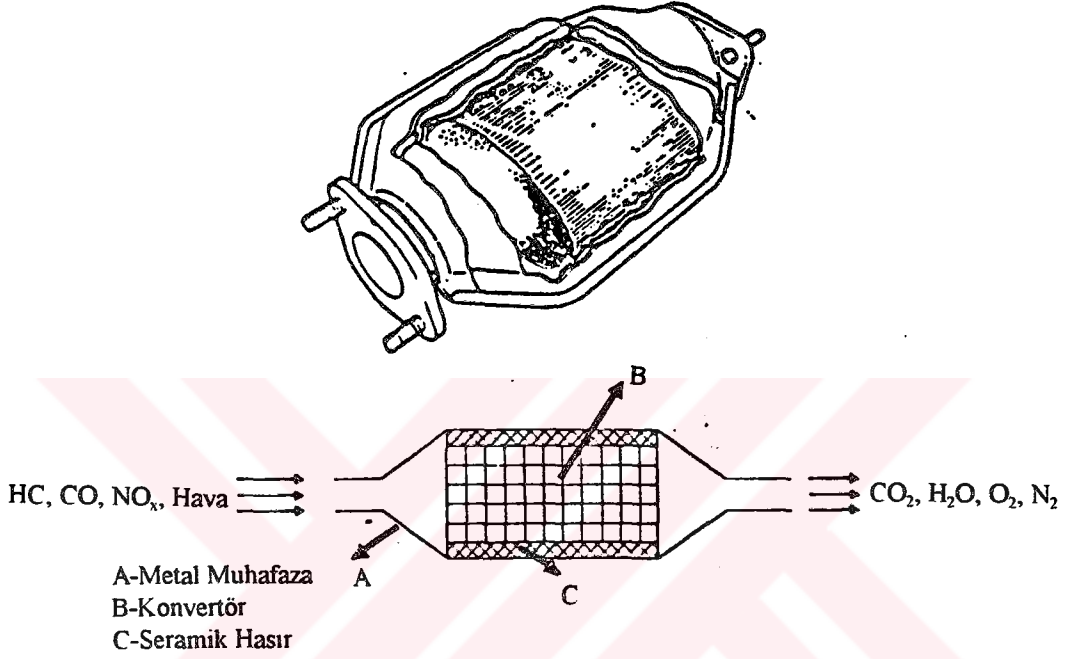
Çalışma prensibi daha önce anlatılan hava püskürtme sistemleriyle aynı olan bu elemanlar ile egzoz gazları belirli bir sıcaklığa sahip ortamda, belirli bir süre bekletilmekte ve sisteme, ilave oksijen gönderilmektedir. Bu sayede yanmamış hidrokarbon ve karbon monoksit oksitlenmektedir.

Reaktörler, egzoz gaz ısını üzerine alarak yüksek sıcaklığı yeterince muhafaza edebilecek ve ikinci oksitleme havası ile egzoz gazlarının hızla karışımını kolaylaştırabilecek şekilde dizayn edilmektedir. Böyle bir elemanın doğrudan silindir kafasına (kavere) bağlanan genişletilmiş bir egzoz manifoldu şeklinde de olabilmektedir. Reaktörlerin, çalışması yanma havası ilavesiyle seyreden karbon monoksit ve hidrokarbon karışımlarının yanmalarını garanti edecek sıcaklıkları sağlamak için zengin yakıt karışımlarını zorunlu kılmaktadır. Şöyleki; egzoz gazları içindeki hidrokarbonların katalizator kullanılmadan tümüyle oksitlenmesi için $\sim 750-800^\circ \text{C}$ mertebesinde, karbon monoksitin karbon dioksit dönüşümü içinde $\sim 850^\circ \text{C}$ mertebesinde sıcaklıklara ihtiyaç bulunmaktadır. (Adoğlu, 1992) Bu sıcaklık mertebelerinin sağlanması tüm çalışma koşullarında mümkün olmadığından reaktör verimi sınırlı kalmaktadır. Ayrıca yüksek hızlarda egzoz gazlarının debisi de arttığından, bu artışla ters orantılı olarak gazların reaktörde kalış süresi azalmaktadır. Bu ise verimi azaltan diğer bir faktördür. Sıcaklık düzeylerinin yüksek tutulması için zengin karışımlara ilaveten ateşlemenin geciktirilmesi, sıkıştırma oranının azaltılması gibi önlemlerde kullanılmaktadır. Ancak zengin karışımla çalıştırılma işlemi yakıt tüketiminde %10 -20 oranında artışa neden olmaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklık gerektirmeleri nedeniyle azot oksit emisyonlarının azaltılmasının zorunlu olduğu durumlar kullanımı, imkansız hale getirmektedir. Günümüzde ısı reaktörlerinin yerini katalitik konvertörler almış bulunmaktadır.

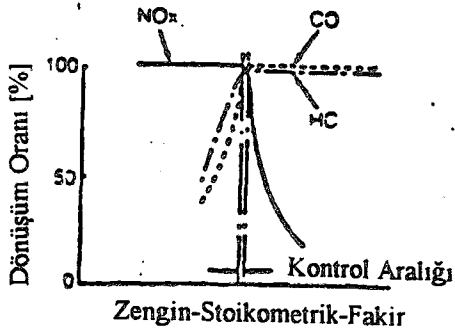
6. 3. 4. 2. Katalitik Konvertörler

Karbon monoksit, hidrokarbonlar ve azot oksit emisyonlarının azaltmak için egzoz sistemlerine ilave edilen katalitik konvertörler, esas olarak geniş yüzeyli etkisiz bir taşıyıcı malzemenin ince aktif bir katalitik tabaka ile kaplanmasından oluşmaktadır. Konvertörlere şeklini veren taşıyıcı kısımda seramik veya metal malzeme kullanılmaktadır. Yüzey alanını arttırmak için 0.3 mm genişliğinde boşluklar bulunan gözenekli filtre biçimi verilmektedir. (Baykara, 1993) Özgül dış yüzey alanları $25 \text{ m}^2/\text{g}$ civarında olmaktadır. Bu yüzeyler mikron mertebesi kalınlığında platin, paladyum, rutenyum ve rodyum gibi soy metallerle kaplanmaktadır. Aktif katalitik özellikteki bu tabaka motor egzozundaki reaksiyonları hızlandırmaktadır. Konvertörler şekil 6. 15 te görüldüğü gibi özel bir seramik hasıra sarılarak paslanmaz çelik bir muhafaza içerisine yerleştirilmektedir. Hasır malzeme konvertörü her türlü sarsma sonucu oluşabilecek hasarlara karşı korumaktadır. Araç motorlarına takılmaya hazır hale gelen katalitik konvertör dış görünüş itibariyle egzoz susturucusu şeklinde olup, kolaylıkla monte edilebilmektedir. Taşıtlarda kullanım ömürleri 80.000 km ye kadar çıkmaktadır. Yakıtta bulunan kurşun, fosfor ve kükürt gözenekleri kapattığından ve kimyasal olarak ta soy metalle birleşebildiğinden

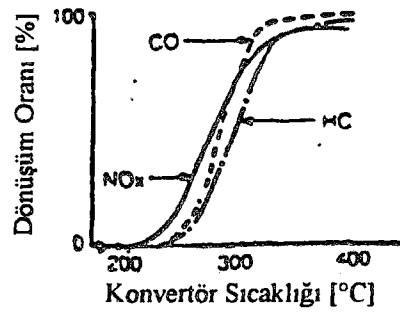
katalizatörün etkinliğini ve konvertör verimini azaltmaktadır. Bu nedenle kurşunsuz yakıt kullanımı zorunlu olmaktadır. Ancak kurşuna dayanıklı katalizatörlerin geliştirilmesi devam etmektedir. Bu sistemlerin verimine motorun hava/yakıt oranı da etki etmektedir. Egzos gazlarındaki oksijen miktarının sürekli kontrol edilerek hava/yakıt oranının ayarlanması ile verim yüksek tutulmaktadır.



Şekil 6. 15 Katalitik Konvertörler



Şekil 6. 16 Katalitik Konvertör Etkisi



Şekil 6. 17 Konvertör Sıcaklığının Emisyonlara Etkisi

Şekil 6. 16 da hava/yakıt oranının bir üç yollu katalitik konvertörün performansına etkisi görülmektedir. Stoikometrik hava/yakıt oranından daha zengin bölgede azot oksit emisyonları, fakir bölgede ise karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonları daha fazla azalmaktadır.

Kullanımda bulunan katalitik konvertörleri şöyle sınıflandırmak mümkündür. Bunlar: Taşıyıcı kısımlarına göre; seramik, metal ve küresel parçacıklı konvertörler. Fonksiyonlarına göre; üç yollu, iki yollu (oksitleyici) ve indirgeme konvertörleridir. Taşıyıcı kısmı seramik konvertörlere alternatif teknoloji olarak metal alaşımların bulunması ve geliştirilmesi ile aynı konvertör verimi %55 daha küçük hacimle sağlanmaktadır. (Baykara, 1993)

1970 in başlarında konvertörler öncelikle oksitleyici (CO, HC emisyonları için) ve indirgeme (NO_x emisyonları için) olarak mevcuttu. Bir tek konvertörle stoikometrik oran ($\lambda=1$) civarında her üç emisyonun eş zamanda azaltılmasının mümkün olduğunun bulunmasından sonra üç yollu katalitik konvertör ön plana geçmiştir.

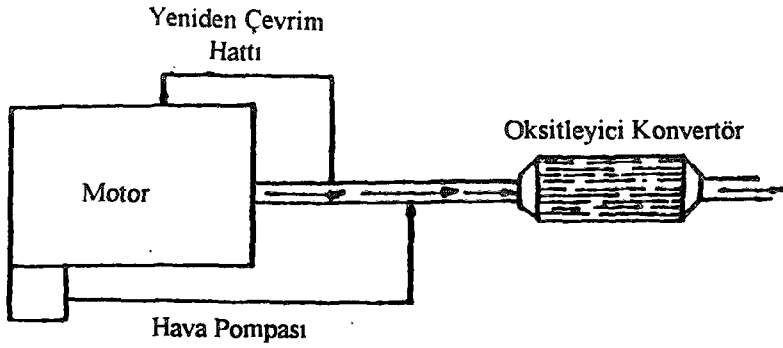
Katalitik konvertörler ile ısı reaktörlerinin en önemli işletme problemlerinden biri optimum işletme sıcaklığına erişinceye kadar ön ısıtma gerektirmeleridir. Emisyon standartları genellikle motorların soğuk ilk hareketlerine göre düzenlendiğinden; başlangıçtaki emisyonların fazlalığı ekseriya problem olabilmektedir. Bu durumda iki çözüm bulunmaktadır. Bunlar:

- a. İlk çalışma periyodunda gerekli sıcaklığa erişmek için çok küçük hacimli bir ısı reaktörünü konvertörün önüne yerleştirmek,
- b. Motorun ısınma periyodunda yakıt karışımlarının fakirliğini dengeleyen iyileştirilmiş egzoz manifoldu kullanmaktır. Konvertör sıcaklığına bağlı olarak farklılık gösteren emisyon dönüştürme oranları şekil 6. 17 de görülmektedir. 300°C (572°F) sıcaklığa erişildiğinde dönüşüm oranı maksimuma ulaşmaktadır. (Mazda, 1993)

6. 3. 4. 2. 1. Oksitleyici Konvertörler

Soy metal tabaka olarak platin veya paladyum kullanılan bu konvertörlerde karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonları oksitlenmektedir. Katalizator tabaka sayesinde oksitlenme düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmektedir. Bu nedenle oksitleyici katalitik konvertörlerin motorun çok yakınına monte edilmesine ihtiyaç bulunmamaktadır. Bu tür konvertörler karbon monoksit emisyonlarının özel bir önem kazandığı, kapalı ortamlarda çalışan motorlarda kullanılmaktadır. Bu konvertörlerle donatılmış motorlarda; azot oksit emisyonlarının azaltılması için egzoz gazlarının yeniden çevrim sistemi kullanılmaktadır.

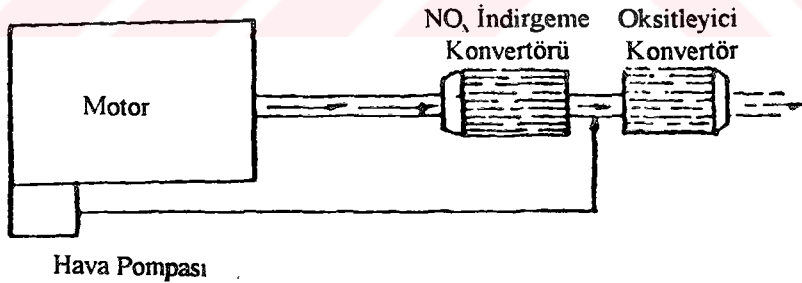
Şekil 6. 18 de şematik olarak gösterilen oksitleyici konvertör sisteminde; karbon monoksit ve hidrokarbonlar oksijenle reaksiyona sokularak karbon dioksit ve su buharına dönüştürülmektedir. Sistemde kullanılan bir hava pompası ile egzoz gazları içindeki bileşenlere oksijen sağlanmaktadır. Oksitleyici konvertörler, 1960lı yıllarda emisyon standartlarına cevap vermiştir.



Şekil 6. 18 Oksitleyici Konvertör Sistemi

6. 3. 4. 2. 2. İndirgeme Konvertörleri

Soy metal tabaka olarak rutenyum veya rodyum kullanılan bu konvertörlerde azot oksitler oksijen ve hidrojene dönüştürülmektedir. Azot oksitlerin amonyaka dönüştürülmesinde bu konvertörlerle gerçekleştirilememektedir. Daha gelişmiş konvertörler veya oksitleyici konvertör ilave edilerek emisyonlar daha da indirgenmiş olarak dış ortama atılmaktadır. Çiftli katalitik konvertör sistemi denilen bu düzeneklere şekil 6. 19 örnek olarak verilebilir.



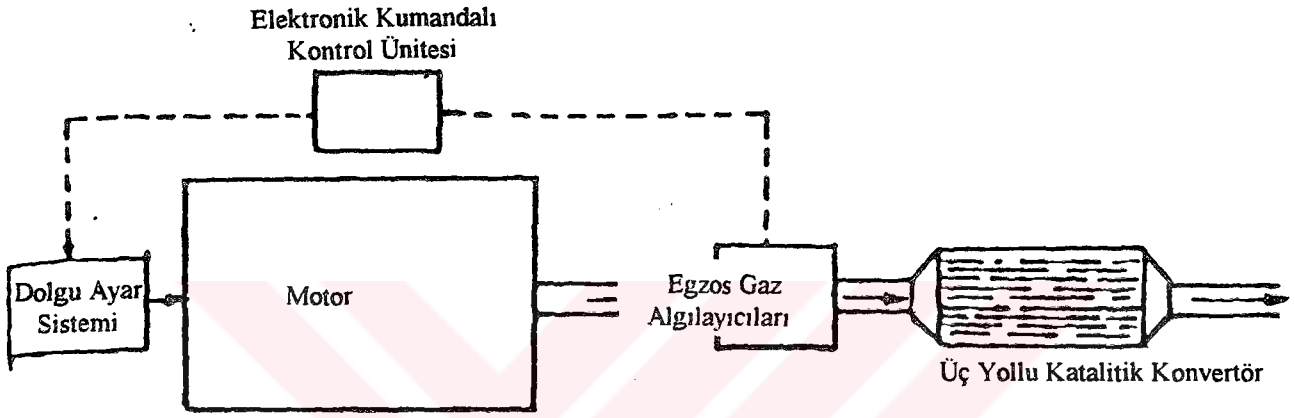
Şekil 6. 19 Çiftli Katalitik Konvertör Sistemi

İki konvertörden ilkinde azot oksitler indirgenmekte, ikincisinde ise hava pompasından gelen oksijen ile karbon monoksit ve hidrokarbon bileşenleri oksitlenmektedir.

6. 3. 4. 2. 3. Üç Yollu Konvertörler

Soy metal tabaka olarak HC ve CO in oksitlenmesi için paladyum NO_x lerin indirgenmesinde de rodyum birlikte kullanılmaktadır. Motorlarda yakıt kontrolünün gelişmesine bağlı olarak

stoikometrik oran civarında en iyi çalışma verimini sağlayan üç yollu katalitik konvertörler geliştirilmiştir. Şekil 6. 20 de üç yollu katalitik konvertör sistemi görülmektedir. Karbon monoksit, hidrokarbon ve azot oksit emisyonlarının aynı konvertörle zararsız gazlara dönüştürmesinden dolayı üç yollu terimi kullanılmaktadır. Sistemde karbon monoksit ile azot oksitler karbon dioksit ve azot oluşturmak üzere, hidrokarbonlar ve azot oksitler aynı ürünleri ve su buharını meydana getirmek üzere reaksiyona girmektedirler.



Şekil 6. 20 Üç Yollu Katalitik Konvertör Sistemi

Üç yollu sistemin avantajı, iyi bir yakıt ekonomisine ve motor performansına imkan vermesidir. Sistemde hava pompasına gerek duyulmamaktadır. Bu durum güc kaybını, yüksek maliyeti ve karmaşıklığı azaltmaktadır. Maliyetin daha da düşürülebilmesi için aktif katalitik tabaka olarak yalnızca paladyum kullanımı üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir. Üç yollu katalitik konvertörlerin azot monoksitin indirgenmesinde etkili olabilmesi için motor az bir stoikometrik hava/yakıt oranı ile işletilmelidir. Bu koşulu benzin motorlarında sağlamak mümkün olmasına karşın, hiç bir diesel motor stoikometrik hava/yakıt oranında işletilmemektedir. Aksine tümü tam yükte bile zengin oksijen koşullarında işletilmektedir. Bu durumda üç yollu konvertörün azot monoksit emisyonuna herhangi bir yararlı etkisi bulunmamaktadır. (Lilly, 1987)

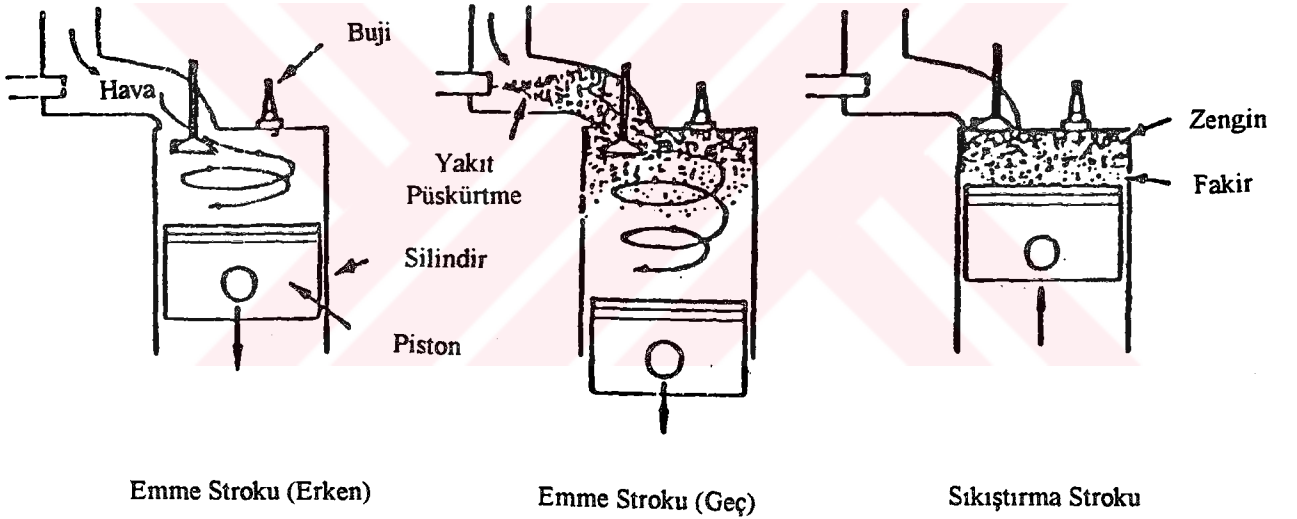
6. 4. ALTERNATİF GÜÇ KAYNAKLARI

Hava kirliliğinin insan sağlığını gün geçtikçe daha fazla etkilemesi nedeniyle emisyon sınırları gün geçtikçe daha fazla daraltılmaktadır. Bu azalan değerlere klasik içten yanmalı motorların uygunluğunun sürekli sağlanması için kontrol tekniklerinin geliştirilmesi çalışmaları devam etmektedir.

Öte yandan hafif taşıtlara uygulanması pratik olarak mümkün gözükürken, emisyon standartlarına uygun diğer güç sistemlerinin de devreye sokulması emisyonların kontrolünde etkili olacaktır. Bu kısımda alternatif güç kaynakları, emisyonların kontrol altına alınmasına katkıları açısından kısaca belirtilmektedir.

6. 4. 1. Kademeli Dolgulu Motor

Bu motorlarda yanma odasındaki hava/yakıt oranı homojen olmayıp, dolgu bir yakıt püskürtme sistemi kullanılarak kademelendirilmektedir. Hava keleşi bulunmayan bu motorlar kıvılcım ateşlemeli olmaktadır. Hava/yakıt oranı sadece buji kıvılcımıyla tutuşabilecek seviyede olmaktadır. Motor silindirleri çekilen güçten bağımsız olarak emme stroku sırasında tümüyle hava ile doldurulmaktadır. Güç, silindirlere sokulan yakıt miktarının azaltılması veya çoğaltılmasıyla kontrol edilmektedir. Şekil 6. 21 de kademeli dolgu oluşumu görülmektedir.



Şekil 6. 21 Kademeli Dolgu Oluşumu

Bu motorun bir türünde yakıt kıvılcım çakarken silindirlere püskürtülmekte ve içeri girer girmez yanmaya başlamaktadır. Bu tür motorda pistonun üst kısmında girdap akımı meydana getirecek tarzda yerleştirilmiş enjektörler ile yakıtın püskürtülmesi sağlanmaktadır. Başlangıçta yakıt bakımından aşırı zengin koşullarda bir yanma oluşmaktadır. Daha sonra yanma odasının alt kısımlarına kadar yayılmaktadır. Sonuçta meydana gelen yanma ürünleri çok fakir karışım kullanılarak elde edilen bileşenlere benzemektedir. Yanma havayla çevrili bir ortamda gerçekleştiğinden, suyla soğutulan yüzeyler büyük miktarda azaltılmaktadır. Bu motorlarda sağlanan ortalama fakir karışım sayesinde

emisy on miktarları düşürülmekte, vuruntu ihtimali azaltılmakta ve yakıt tüketimi açısından motor performansı iyileştirilmektedir.

6. 4. 2. Diesel Motor

Diesel motorlar genelde hafif taşıtlarda geniş ölçüde kullanılmamaktadırlar. Bunun başlıca nedeni klasik içten yanmalı motorlardan daha pahalı ve ağır oluşlarıdır. Karbon monoksit ve yanmamış hidrokarbon emisyon seviyeleri düşük olan bu motorları, is emisyonları; motorun yük durumu, taşıt hızı, hava/yakıt oranı, yanma odası tipi ve yakıt enjektörü türü ile değişmektedir. Bu faktörlerin çoğu kullanıcı tarafından doğrudan kontrol edilebildiğinden, uygun bakım ve işletme ile is emisyonu standartlarına uyulabilmektedir. Motorun maksimum gücünün altında bir güçte işletilmesi durumunda is emisyonları da azalmaktadır. Yüksek rakımlı bölgelerde işletme sırasındaki isi azaltmak için aşırı doldurma sistemleri kullanılabilir. Diğer bir husus; geliştirilen iğne tip enjektörlerin, yeni veya kullanımda olan eski motorlarda is ve koku emisyonlarını azalttığı gerçektir. Bütün bunlara rağmen işletme konforu ve performansının düşük oluşu diesel motorlu hafif taşıtların seri üretimindeki diğer engeller olarak sayılabilmektedir.

6. 4. 3. Wankel Motoru

Wankel motoru bir epitrokoidal yüzeyin sınırları içinde dönen, üç çıkıntılı bir kemini oluşturduğu dönel yanma odalarına sahip bir içten yanmalı motor olarak tanımlanmaktadır. Yanma odaları; üçü bir seri olan ve bir yanma odası iki adeti ile teşkil edilen epitrokoidal yüzeylerden oluşmaktadır. Arzu edilen güce bağlı olarak bir veya daha fazla döner kemli olarak imal edilmektedirler. Wankel motorun bilinen avantajlarını; hafiflik, küçük hacim, düzgün çalışma, daha az hareketli parça, motor gücünün hareket şaftına doğrudan iletilmesi ve krank milinin ortadan kalkmasıyla daha fazla mekanik verim olarak saymak mümkündür. Emisyon kontrol mekanizmaları bulunmayan motorun dizaynının zorunlu kıldığı yanma odası sayesinde emisyon düzeyi oldukça düşüktür. Dönel kemini kenarları ile yanma odası duvarları arasında uygun bir sızdırmazlık temin etmek ise bir sorun olmaya devam etmektedir. Ülkemizde Wankel motorun üretimi henüz yapılmamakla birlikte; Japonya 'da 1969 yılından beri üretilmektedir. Başlıca ABD motor üreticileri halen Wankel motorlarını araştırma düzeyinde üretmektedirler.

6. 4. 4. Gaz Turbini

Gaz turbini değiştirilmiş Brayton çevrimi ile çalışan içten yanmalı bir motor olarak tanımlanabilmektedir. En basit şekliyle bir kompresör, yanma odası (yakıcı) ve turbinden oluşmaktadır.

Bu konuda yapılan yoğun çalışmalar ile taşıtlarda kullanıma uygun bir gaz turbini geliştirilmiştir. Gaz turbinleri; klasik içten yanmalı motorlardan daha hafif ve basit olup bakımları daha

kolaydır. Karbon monoksit ve yanmamış hidrokarbon emisyonları düşük olup çeşitli yakıtlarla işletilebilme imkanı bulunmaktadır. Azot oksit emisyonlarının, kısmi yüklerde özgül yakıt tüketimlerinin ve imalat maliyetlerinin yüksek oluşu dezavantajları olmaktadır. Gaz turbini fazla bakım gerektirmemesi ve uzun ömürlü olması sebebiyle ağır taşıtlar için diğer motorlara nazaran daha uygun olmaktadır. Çalışma süresince yüksek güçlere ihtiyaç duyulması ve kısmi yüklerde kötü yakıt ekonomisi; gaz turbinlerinin hafif taşıtlarda kullanılmamasının en önemli nedenleri olmaktadır.

6. 4. 5. Stirling Motoru

Stirling motoru; eşanjörler ile kapalı çevrim çalışan akışkanlara, enerji depolayan yada dışarı veren dıştan yanmalı bir motor olarak tanımlanmaktadır. Sistemde temel olarak iki piston bulunmaktadır. Pistonlardan biri iş yapan akışkanı, eşanjörlerin iç veya dış kısmına göndermeye yaramaktadır. Diğer piston, iş yapan akışkanın genleşmesini, iş üretmesini ve akışkana enerji ilave edilmeden önce sıkıştırılmasını sağlamaktadır. Dıştan yanmalı tüm sistemlerin tipik özelliğine sahip olan Stirling motorunda; karbon monoksit, azot oksit ve hidrokarbon emisyonları düşük seviyelerdedir. Isıl veriminde yüksek olmasına karşın içten yanmalı motorlardan daha ağır, daha hacimli ve daha pahalıdır.

6. 4. 6. Rankine Çevrimli Motor

Rankine çevrimli bir motorda ara madde, dışardaki bir yanma odasında ısıtılan, iş yapmak için genleşen, yoğuşarak sıvı hale geçen ve ısı verilmesi için tekrar kapalı çevrime katılan bir akışkan olmaktadır. Akışkan olarak su kullanıldığında çoğunlukla buhar motoru da denilmektedir. Dışarda bir yanma odasının bulunması emisyon miktarının düşük olmasına imkan vermektedir. Ayrıca iyi bir düşük hız torku ve vites ihtiyaçlarının azalması gibi avantajları bulunmasına karşın elemanlarının verimsizliği ve kumanda sistemlerinin karmaşıklığı nedeniyle buharla çalışan taşıtların seri üretimi 1925 yılından itibaren durmuş olup günümüzde kullanılmamaktadır.

6. 4. 7. Hibritler

Hibrit motorlarının iki ana parçası bulunmaktadır. Bunlar: Isı motoru ve güç depolama elemanıdır. Sistem ya sadece motordan yada hem motordan hemde depodan güç çekecek şekilde dizayn edilmektedir. Isı motoru ortalama güçten daha az yükte çalıştığı zaman enerjiyi depolamaktadır. Bir elektrik hibritinde güç depolamak için akü kullanılmaktadır. Bir mekanik hibritte, mekanik enerji dönen bir volanda depolanmaktadır.

Hibritler genel olarak bir kaç potansiyel avantaja sahiptirler. Bunlardan biri; Motor hızının nisbeten sabit oluşu ve bunun sonucu egzoz emisyonlarının kolay kontrolü olmaktadır. Diğer bir avantaj; hibrit sistemi için uygun hale getirilen bir ısı motoru kullanılarak işletme performansının

yükseltilebilmesidir. Bu sistemin temel problemini; diğerlerine nisbeten karmaşıklığı, yüksek maliyeti ve iki güç kaynağının kullanımı yüzünden daha geniş bir hacme ihtiyaç göstermesi şeklinde özetlenmektedir.

6. 4. 8. Elektriki Sistemler

Elektrikle tahrik sistemi; elektriki güç kaynağı, yürütme motoru ve güç kaynağından motora akan enerjiyi kontrol eden elemanlardan oluşmaktadır. Klasik motorlarla maliyet ve performans açısından yarışan tam elektrikli sistemlerin temel araştırma konusu yeterli gücü ve enerji yoğunluğunu sağlayacak akümülatörün geliştirilmesi olmaktadır.

Çalışma sürelerinin kısa olması, yeniden şarjları saatler gerektirmesi, nisbeten ağır tahrik sistemi, yüksek hız performansının düşük olması ve başlangıç maliyetinin fazla olması, bu sistemlerin belirgin dezavantajlarıdır.

Akümülatörle işletilen taşıtlar; kurşun-asit akülerin bir miktar hidrojen ve oksijen emisyonu bulunmasına karşın, genel olarak emisyonları yok kabul edilmektedir. Bununla birlikte elektrik üretiminde fosil yakıtla işletilen jeneratörlerin kullanılması ve artan yüke paralel olarak artan emisyonlara, elektrikle çalışan taşıtların katkısı olacağı unutulmamalıdır.

Yakıt pilleri, yakıtları doğrudan elektrik enerjisine dönüştürdüğü için işletme süresinin uzatılmasına imkan vermektedir. Bu pillerin belirleyici özelliği; böyle pratik bir güç kaynağının ancak yakıt pilli/akülü hibrit ile mümkün olmasıdır.

6. 5. TAMAMLAYICI KONTROL STRATEJİLERİ

Motor emisyonlarının kontrolünde yasa koyucularının temel yaklaşımı emisyon standartlarının yürürlüğe konulması şeklinde olmaktadır. Bununla birlikte şehirlerdeki taşıt motor emisyonlarının azaltılmasını pekiştiren ikinci dereceden başka önlemlerde bulunmaktadır. Ana ulaşım şeklinin ve motorlu taşıt kullanım alışkanlığının değiştirilmesi ile kullanımdaki taşıt motorlarının emisyonlarının azaltılması, hava kalitesinin iyileştirilmesinde yararlı etkiye sahiptir.

Emisyon standartlarının bir parçası olarak bir çok ülkede hava kirliliği seviyesindeki azalmaları etkileyen taşıt ve ulaşım kontrol mekanizmaları geliştirilmektedir. Bu kontrol mekanizmaları; test ve bakımların planlanması, kontrol elemanlarının yeniden uyarlanması, gaz yakıt sistemleri, trafik kontrolunun ve akışının iyileştirilmesi, motorlu araç kullanımının sınırlandırılması ve çalışma saatlerinin yeniden düzenlenmesi olarak adlandırılmaktadır.

6. 5. 1. Test ve Bakımların Planlanması

Emisyon standartları günümüz motor emisyonlarını kontrol altında tutmak için başlıca sınırlamaları içermektedir. Etkinlikleri kullanım sırasındaki uygunluğa bağlı kalmaktadır. Diğer bir

deyişle etkinlik; emisyon kontrol sistemlerinde önemli bir aksama meydana gelmeden motorun çalıştığı toplam sürelerin uzunluğudur.

Performansı kötüleşen ve yapım özellikleri sebebiyle yüksek oranda kirlletici yayan motorların revizyonu için bir denetim ve bakım programı oluşturulmalıdır. Aşırı kirlletici yayan sabit veya hareketli tesislerin tespiti için yapılacak test işlemlerindeki titizlik ve bakım sonrası aksama/arızalanma oranının belirlenmesi ile emisyonlarda gerçek azalmalar sağlanacaktır. Emisyon standartlarının uygulanabilirliği, test edilme süreleri, uyumlu çalışabilme imkanı, maliyet ve insan gücü gereksinimlerine bağlı olduğundan bütün bunlara uyan test ve bakım tekniklerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

6. 5. 2. Kontrol Elemanlarının Yeniden Uyarlanması

Yeniden uyarlama; motora uygulanan düzenli bakım dışında emisyonları azaltmak için herhangi bir sistem değişikliği yada düzenleme sebebi ile bir sistem veya eleman eklenmesi olarak tanımlanmaktadır. Motorlardaki üç ana emisyon kaynağı (egzos sistemi, buharlaşma ve karter emisyonları) potansiyel olarak çeşitli yeniden uyarlama metodlarıyla kontrol altına alınmaktadır. Bu metodlar emisyon kontrol donanımı içermeksizin üretilen motorların emisyonlarının azaltılmasına imkan vermektedir. Özgün bir yeniden uyarlama sisteminin verimi gözönüne alındığında emisyon kontrol potansiyelinin düzeyi kontrolun uygulanacağı motor sayısı, donanım ihtiyaçları, sistemin güvenilirliği, bakım ve test ihtiyaçları, emniyet ve işletme konforuna etkileri, motor sahibine getirdiği montaj ve işletme maliyeti de değerlendirilmek zorundadır. Bu kriterler dikkate alınmaksızın bir yeniden uyarlama sisteminin tatbik edilmesi ekonomik olmamaktadır.

6. 5. 3. Gaz Yakıt Sistemleri

Benzinli motorların gaz yakıtla (LPG veya doğal gaz) çalışır hale getirilmesi; Hava kirliliğinin yoğun olduğu bölgelerde büyük ölçüde merkezi olarak işletilen araç filolarında pratik bir çözüm olarak gözükmektedir. Egzos emisyon sınırlarının daraltılması sebebiyle basit gaz yakıt sistemleri yetersiz kalmaktadır. Buna rağmen bu dönüşüm geçici bir önlem olarak kabul edilebilir.

Taşıt filolarında belirli sayıda araç bulunması karşın doğal gaza dönüşümlerinde bir takım ciddi işletme problemleri açığa çıkabilmektedir. 13790-20685 kN/m² (2000-3000 psi) basınç altında muhafaza edilen doğal gazın ısı değeri düşüktür. Bu sebepten geniş yakıt depolarına ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca depolama, nakliye, ikmal istasyonu gibi alt yapı sistemlerinin tamamen değişmesi gerekmektedir. Öte yandan taşıma, depolama gibi alt yapı donanımlar bir çok yerde mevcut olan LPG nin (sıvılaştırılmış petrol gazı) araçlarda yakıt olarak kullanımına en büyük engel benzine nazaran 10 kat pahalıya mal olması ve kaynaklarının sınırlı olmasıyla açıklanmaktadır. (Öncül, 1990)

Araç üreticilerini gaz yakıt dönüşümüne ikna etmek için dönüşüm maliyetlerinin, yakıt teminindeki lojistik güçlüklerin, azalan işletme konforunun, yeni bakım ihtiyaçlarının ve dönüşümün sebep olacağı üretim kayıplarının karşılanmasına yönelik ekonomik ve yasal teşvikler gereklidir.

New York ve California başta olmak üzere bir çok yerde doğal gazla çalışan araçlar faaliyettedir. Ülkemizde ise 1993 yılı içerisinde İstanbul Büyük Şehir Belediyesince Macaristan'dan alınan 500 adet otobüsün % 60 doğal gaz- % 40 motorinle çalışacak şekilde dönüşümlerinin yapılacağı ve şehir içi ulaşım hizmetlerinde kullanılacağı ifade edilmektedir. Deneme halindeki bu uygulamanın başarılı olması halinde tüm İETT otobüslerinde aynı dönüşümün gerçekleştirileceği belirtilmektedir. Açıkcası, kısa mesafelerde gidip gelmek şartıyla merkezi depo, doldurma istasyonları civarında çalışan araçlarda doğal gaza dönüşüm pratik olarak uygulanabilmektedir.

6. 5. 4. Trafik Akışının Kontrolü

Basitleştirilmiş ifadelerle ulaşımda mesafe başına karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonları ortalama güzergah hızının ters üstel bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. (Ludwig, 1974) Bu durum II bölümde ortalama güzergah hızı ile ilgili şekillerde de görülmektedir. Azot oksitlerin hızla birlikte arttığına dair bir takım idialar ileri sürülmekte ise de bu ilişki tam olarak ortaya konulamamıştır.

Trafik akış teknikleri; sıklığı azaltılması, düzenli akışın sağlanması ve ortalama hızın artırılması esasına dayanmaktadır. Tecrübeler iyi planlanmış ve gerçekleştirilmiş sinyalizasyon sistemlerinin bağlantı ve yan yol düzenlemelerinin akışı kontrol etmede yeterli olabileceğini göstermektedir.

Bir bölgede artan nüfus ve ekonomik büyüme sonucu trafikteki yoğunluğun artışı ile birlikte taşıtların kirliliğe katkısı da artmaktadır. Bu sebepten trafik akışının iyileştirilmesinde yalnızca kısa vadeli çözümler uygun olmaktadır. Trafik akışının kontrol edilmesi için bütün bunlara ilaveten trafikteki taşıt sayısının azaltılması amacıyla otomobile nazaran daha az çekici olan toplu taşımacılığın benimsetilmesi gibi bir çok ulaşım teknikleri geliştirilmektedir.

6. 5. 5. Ekspres Taşıt Trafiğinin Düzenlenmesi

Büyük şehirlerde trafiğin en yoğun olduğu saatlerde yapılan tespitler; bu yoğunlukta şehirlerarası ulaşım taşıtlarının önemli bir oran teşkil ettiğini göstermektedir. Motorların neden olduğu hava kirleticilerinin kontrolü açısından bakılırsa ekspres taşıt trafiği için çevre yolları açılması, bu taşıtları şehir merkezlerindeki tıkanıklıklardan kurtaracak ve düzenli bir akışı sağlayacaktır. Bu ise büyük şehir merkezlerinde kirliliğin yoğun olduğu bölgelerde emisyonları iki şekilde azaltacaktır. Bunlardan birincisi; emisyonların daha geniş bir bölgeye yayılacak olmasıdır. Diğeri ise ortalama taşıt hızlarının artmasıdır. Ekspres taşıt trafiğinin düzenlenmesinde kullanılan bir kaç teknik mevcuttur. Bunlar: Çevre yolu açılması, şehir içlerine girişin engellenmesi, yeni yol açılması ve ışıklı ışsız uyarı

işaretlerinin kullanılması şeklinde özetlenebilir. Bu çözümlerin hepsinin uygulanmasına imkan bulunmamaktadır. Ancak uyarı işaretleriyle taşıtların yönlendirilmesiyle kolaylıkla şehir merkezlerindeki yoğun trafik azaltılabilmektedir. Zorunlu hallerde karayollarının ücretlendirilmesi veya seyahatların kısıtlanması da düşünülebilecek önlemlerdir. Ekspres taşıt trafiğinin esas önemi şimdikinden daha fazla gereksinim kazanma ihtimalinin bulunmasıdır.

6. 5. 6. Toplu Taşımacılığın Geliştirilmesi

Motorlu taşıt emisyonlarındaki şaşırtıcı azalmalar kişisel taşıt kullanımından toplu taşımacılığa geçişle sağlanabilir. Toplu taşımacılıktaki gelişmelerle son yıllardaki deneyimlerin birlikte değerlendirilmesiyle; şekli iyileştirmelere nazaran daha fazla başarı sağlanmıştır. Mevcut sistemlerde küçük çaplı değişikliklerle toplu taşımacılığın bireysel taşıt kullanımının yerini alacağı beklenilmemelidir.

Toplu taşımacılıkta kapasitesi yüksek olan raylı sistemlerin bilinen avantajları geliştirilerek yerleşimin yoğun olduğu bölgelerde bireysel taşıt kullanımına alternatif hale getirilmelidir. Ancak bundan sonra taşıt kullanımına getirilecek kısıtlamalar daha kolay kabul görebilecektir. Öze dayanmayan teşvikler motorlu taşıt trafiğinde zorunlu bir azalmaya yol açmayacaktır. Kirlilikte gözle görülür herhangi bir azalmanın sağlanması toplu taşımacılıkta elde edilen gelişmeler, motorlu taşıt kullanımındaki sınırlamalar ile desteklenmelidir.

Toplu taşımacılıktaki iyileşmeler motorlu taşıt trafiğinin azaltılması için gerekli ancak yeterli sayılabilecek önlem olarak görülmemelidir. Kirliliğin yüksek olduğu şehir merkezlerinde motorlu taşıt trafiğinin sınırlandırılması toplu taşımacılığın alternatif bir ulaşım vasıtası olarak gelişimiyle sağlanabilecektir.

6. 5. 7. Motorlu Taşıt Kullanımının Sınırlandırılması

Yukarıda bahsedilen ulaşım kontrollerinin etkili olması için (trafik akış kontrol teknikleri, ekspres taşıt trafiğinin düzenlenmesi, toplu taşımacılığın geliştirilmesi) motorlu taşıt kullanımında sınırlamalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sınırlamalar; park etme kuralları veya yüksek park ücreti uygulaması, yol kullanımında düzenlemeler (yaya yolu veya araç girişine kapalı bölgeler) ve yol ücreti uygulamasını içermektedir. Kısa vadede en ümit verici sınırlamalar yerleşim birimlerindeki kontrollerin sıklaştırılması, park alanlarının genişletilmesi ve sayılarının artırılması ile kullanımda olan ve olmayan cadde düzenlemeleridir. Yol kullanımındaki düzenlemeler ve ücretlendirme motorlu taşıt kullanımının sınırlandırılmasında daha etkili olmaktadır.

6. 5. 8. İş Saatlerinde Değişiklikler Yapılması

Trafikteki tıkanıklığın en yoğun olduğu saatler ve bu sırada sebep olduğu aşırı kirlilik seviyeleri normal çalışma saatlerinin değiştirilmesi veya vardiyalı çalışma düzeniyle de azaltılabilecektir. Çalışma saatlerinin çakışmayacak şekilde düzenlenmesi, küçük sistematik değişiklikler içermekte ve böylece genelde yolların az kullanıldığı saatlerde de trafiğe çıkan araç sayısı artmış olmaktadır. Görüleceği gibi trafiğin yoğun olduğu saatlerde bir rahatlama, ortalama hızda artış ve hava kirliliğinde azalma elde edilecektir.

Haftalık çalışma süresinin dört güne indirilmesi durumunda günlük ortalama kirletici emisyonlar eşit olacaktır. Haftalık çalışma süresi kısaltıldığından her çalışma günü uzayacak, geleneksel trafiğin yoğun olduğu saatler ortadan kalkacaktır. Daha da önemlisi dört günlük mesaiden dolayı haftalık çalışma için yapılan toplam ulaşım faaliyetleri ve dolayısı ile de motorlu taşıt toplam emisyonları azalacaktır.



TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yapılan araştırmalar fosil yakıtların yanması sonucu ortama atılan karbon monoksit, hidrokarbon ve azot oksit bileşiklerinin yarısının benzin ve diesel motorlardan kaynaklandığını göstermektedir. Motorlardan ayrıca is, koku, partikül ve kükürt oksitler de yayılmaktadır.

Motorlardan kaynaklanan hava kirleticilerin ana sebebi yanma olayının yapısında mevcuttur. Hiç bir kirletici emisyonu bulunmayan motor imal etmek mümkün gözükmemektedir. Ancak içten yanmalı motorların optimum verim ve minimum kirletici emisyonu ile çalışması sağlanabilir. Motorun soğutma sistemi silindir yüzeylerini düşük sıcaklıkta tutmaktadır. Bu durum yanmanın tamalanmasına engel olmaktadır. Yeni geliştirilen seramik silindirler bu sorunu ortadan kaldıracaktır. Fakat bunların seri üretimi ekonomik açıdan henüz mümkün gözükmemektedir. İkinci bir sorun; hava/yakıt oranının ideal değerde tutulamamasıdır. Öte yandan, karışımın tam gerektiği anda tutuşturulamaması ayrı bir problem olmaya devam etmektedir.

Tüm bu faktörler, yarı yanmış ya da yanmamış yakıtın karbon monoksit, hidrokarbon yada is olarak motordan atılmasına sebep olmaktadır. Ayrıca havadaki azot yüksek basınç ve sıcaklık altında azot oksitlere dönüşmektedir. Diğer yandan, yakıt içindeki kükürt ve kurşun bileşikleri de tam yanmayı engelleyebilmektedirler. Kirletici emisyonların ~ %80 inin atıldığı egzoz sistemlerinde, bu emisyonları azaltmak için iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Birincisi egzoz öncesi sistemleri içermektedir ki; burada yakıtın en verimli şekilde yanması hedeflenmektedir. İkinci yaklaşım ise egzoz sonrası sistemleri kapsamaktadır. Egzoz gazları dış ortama atılmadan önce kirletici emisyonları azaltılmaktadır. Egzoz öncesi sistemlerde yakıt tasarrufu ve karbon dioksit emisyonları da azaltılmış olmaktadır.

Yanmayı iyileştirmenin ilk adımı, yanma odasında yakıtın dağılımını optimum hale getirmektir. Ancak bunu pasif olarak çalışan karbüratörlerle gerçekleştirmek güçtür. Bu işlem yakıt püskürtme sistemleriyle çok daha hassas olarak yapılabilir. Bu sistemlerde yakıt ihtiyaca uygun olarak gönderilmektedir. Elektronik algılayıcılar tarafından optimum yakıt miktarı ve ideal hava/yakıt karışımları elde edilebilmektedir. Ateşleme yine elektronik algılayıcılar tarafından hassas olarak tam zamanında yapılabilir. Ancak elektronik enjeksiyon ve ateşleme bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Bunlardan ilki; oldukça pahalı oluşlarıdır. İkincisi; bu sistemler entegre devreler üzerine kurulmuştur. Entegre devrelerin düzgün çalışabilmesi için titreşimden, manyetik ve elektrik alanlarından uzak olmaları gerekmektedir. Bu ise üstün teknolojik üretim demektir. İthal otomobillerin büyük bir bölümü bu teknoloji ile donatılmış durumdadır. Karışımı ve ateşlemeyi hassas olarak ayarlamak, egzostaki karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonlarını oldukça azaltsada azot oksit miktarlarında bir değişikliğe yol açmamaktadır. Azot oksitlerin azaltılmasının en kolay yolu yanmanın tepe sıcaklığını düşürmektir. Bu amaçla egzoz gazlarının yeniden çevrime katılması sağlanmaktadır. Egzoz öncesi sistemlerden bir diğeri silindir kafalarında bazı değişiklikler yaparak daha fakir

karışımlarla çalışabilecek motorlar üretmektir. Klasik içten yanmalı motorlar 15/1 den daha fakir hava/yakıt karışımlarıyla çalıştırıldıklarında çeşitli zorluklar çıkabilmekte hatta motor durabilmektedir. Hava/yakıt oranı 16/1 iken minimum hidrokarbon ve CO emisyonu olmakta buna karşın azot oksit emisyonu yüksek olmaktadır. Öte yandan hava/yakıt oranı 18/1 olduğunda azot oksit emisyonları da az olmaktadır. Böyle ideal bir oranla çalıştırabilmek için, karışımın daha homojen hazırlanması gerekmektedir. Ayrıca yanma odasının biçimi de daha kolay bir yanmaya uygun hale getirilmelidir.

Egzos sonrası sistemler daha pratik bir çözüm gibi gözükmektedir. Bu amaçla başvurulan ilk uygulamalarda özel valfler ve pompalarla, egzos gazlarına taze hava püskürtülmekte ve sonuçta karbon monoksit ve hidrokarbonlar oksitlenerek karbon dioksit ve su buharı şeklinde atılmaktaydı. Egzos içindeki azot oksitleri yok edemeyen bu sistemlerin yerini üç yollu katalitik konvertörler almış bulunmaktadır. Modern konvertörler, egzos gazlarının çıkışını güçleştirmemekte ve motorun gücünü çok fazla azaltmamaktadır. Soy metal tabaka olarak kullanılan paladyum, oksitleme reaksiyonlarını arttırmakta rodyum ise azot oksitlerin indirgeme reaksiyonlarında etkili olmaktadır. Öte yandan egzos gazlarına yerleştirilen ağırlayıcılardan sinyal alan bir kontrol ünitesi sayesinde yakıt sistemine kumanda edilerek konvertör için ideal egzos gazı sağlanmaktadır. Bu sisteminde getirdiği pek çok zorluklar vardır ki; bunların en başında maliyet gelmektedir. Küçük bir otomobil motoruna uygun böyle bir konvertörün maliyeti 6-10 milyon arasında olduğu belirtilmektedir.(Öztürk,1989) Bir diğer husus yakıtların içereceği kurşun gibi ağır metallerin konvertörleri çalışmaz hale getirmesi olmaktadır. Kurşunsuz benzin olarak adlandırılan yakıtla çalıştırılan konvertörsüz motorlarda; kurşun katkısının azalması sebebiyle hidrokarbonların aktif hale geçeceği, kansorejen bir madde olan benzenin yakıt içindeki miktarının %0.26 dan, %4-5.5 e kadar çıkacağı da ifade edilmektedir.

Katalitik konvertörlerin nisbeten zengin karışımlara ihtiyaç göstermesi, fakir karışımlar ise daha az yakıt tüketimi ve daha az toplam emisyon imkanı vermesi bir ikileme yol açmaktadır. Fakir karışımla işletilen motorlar ile katalitik konvertör sistemlerinin birlikte çalışabilir hale getirilmesi konusundaki araştırmalar devam etmektedir.

Sonuç olarak; klasik içten yanmalı motorlardan yayılan kirleticilerin miktarlarının kontrol imkanı sınırlı kalmaktadır. Kontrol tekniklerinin geliştirilmesiyle emisyonlarda bir miktar daha azalma sağlanabilecektir. Buna rağmen motorlu araç sayısındaki artışın engellenememesi ve kontrol imkanlarının sınırlılığı bir diğer ikilemi oluşturmaktadır. İkilemler öncelikle ulaşım ihtiyaçlarının karşılanmasında zorunlu, yeni değişimler gerektirebilecektir. Bu ise en azından son 70 yıldan beri mevcut motorlu taşıtlara bağımlı bugünkü hayat tarzını büyük ölçüde etkileyecektir. Bu değişimlerin biçimi henüz tesbit edilememiştir. Klasik içten yanmalı motorlar ve sağlıklı çevre ihtiyacı bireylere ve devlete farklı görevler yüklemektedir. Yasal sınırlamaların etkili şekilde uygulanmasında ve hedeflenen hava kalitesine ulaşmada iyi bir denetimin yanı sıra, eğitimin ve teknolojik gelişmelerin katkıları büyük olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Adoğlu, N.F., Elagöz, B., 1992, Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Bitirme Ödevi, İstanbul:185-196, 208-215
2. Aktaş, H., 1991, Çevreyi Kirleten Araçlar için Radar, New Scientist 'ten çeviri, Bilim ve Teknik cilt:24 sayı:283, Ankara:23-27
3. Baykara, T., 1993, Katalitik Konvertörler, Bilim ve Teknik cilt:26, sayı:304, Ankara:220-221
4. Bild der Wissenschaft, 1990, Argos 'un Gözü Hava Kirliliğinde , Cumhuriyet Bilim Teknik sayı:188, İstanbul:11
5. Bosch, 1993, Egzos Gazı Analiz Cihazları Kataloğu, Motorlu Araçlar Yan San. ve Tic.A.Ş., İstanbul:1-10
6. Durak, R., 1984, Motorların Neden Olduğu Hava Kirliliğinin Etüdü, Lisansüstü Periyodik Semineri, Yıldız Üniversitesi, İstanbul:1-16
7. Dülger, Z., Sözbir, N., 1992, Buji Ateşlemeli Motorlarda Yanmamış Hidrokarbonların Oluşum Mekanizmaları, Mühendis ve Makina cilt:33 sayı:394, Ankara:23-27
8. Kuleli, Ö., 1991, Çevre Korumaya Katkı:Silahlara Veda, Cumhuriyet Bilim Teknik sayı:250, İstanbul:10
9. Lilly, L.C.R., 1987, Diesel Engine Reference Book, Chapter 17 and 18, London:1-17 and 1-14
10. Ludwig, J.H., Jones, K.F., Holmes, J.G., 1974, Air Pollution From Motor Vehicles, Technical Coordination Office Of Air Programs, Environmental Protection Agency, California:312-349
11. Mazda Motor Corporation, 1993, Mazda-626 Training Manuel Book, Japan:104-135
12. Öncül, N., 1990, Geleceğin Yakıtları, Bilim ve Teknik cilt:23, sayı:272, Ankara:6-10
13. Özer.N., 1989, Hava Kirliliğinin Nedeni Meteorolojik Olabilirmi, Cumhuriyet Bilim Teknik sayı:109, İstanbul:15
14. Öztürk, G., 1989, Egzos Gazlarından Kurtuluşa Doğru, New Scientist 'ten çeviri, Bilim ve Teknik cilt:22 sayı:263, Ankara:30-33
15. Petrol Ofisi, 1980, Yakıtlar ve Yağlar, Sanem Matbaası, Ankara:33-65
16. Resmi Gazete, 1986, Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, sayı:19269, Ankara:5-83

17.Resmi Gazete, 1992, Motorlu Taşıt Egzos Gazlarının Yol Açtıkları Kirlenmenin Önlenmesine İlişkin Tebliğ, sayı:21383, Ankara:37-38

18.TSE, 1988, Motorlu Karayolu Taşıtlarının Gaz Kirleticileri için Emisyon Sınır Değerleri, TS 4236, Ankara:1-13

19.TSE, 1988, Benzin ve Dizel Motorlarından Kirletici Gazların Emisyonuna Göre Taşıtların Tip ve Kabul Deneyleri, TS 5648, Ankara:1-68

20.Yalçın, H., Koç, T., !985, Atmosferdeki Kirliliğin Metallerin Korozyonu Üzerindeki Etkisi, Standard Ekonomik ve Teknik Dergi sayı:277, Ankara:27-35

21.Yavaşlıol, İ., 1988, İçten Yanmalı Motorlar, Eğitim Yayınları A.Ş., İstanbul:150-157

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Erol BALI
Doğum Tarihi : 1-8-1959
Doğum Yeri : Ceyhan/Adana
Mezun Olduğu Lise : Osmaniye Endüstri Meslek Lisesi-Tesviye
Lise Sonrası İlk Mezun Olduğu Okul: Derince Makina Sınıf Okulu-Motor
Asubaylığa Atandığı Tarih : 30-8-1977
Mezun Olduğu Fakülte : Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi
Ana Bilim Dalı : Makina Mühendisliği
Programı : Enerji Makinaları
Mezuniyet Tarihi ve Derecesi : 23-7-1984 2/47
Şimdiki Mesleği : Deniz Subayı
Yaptığı Görevler : Dz.K.K.nın çeşitli birliklerinde başçarkçılık dahil değişik görevler