

BÖLÜM 1

1.1.GİRİŞ

Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan şehirlerde insan sağlığını etkileyen ve çevre kirliliğine neden olan hava kirletici kaynakları incelendiğinde önem taşıyan büyük bir kısmının ulaşırmadan kaynaklandığı görülmektedir. Ulaşırmadaki ağır ticari araç paylarının daha fazla olduğu düşünöldüğünde dizel emisyonlarının önemli şekilde incelenmesi gerekmektedir. Dizel motorlardan kaynaklanan emisyonlarında; Karbon monoksit (CO) emisyonlarının yaklaşık % 80'inden, Azot oksit (NOx) emisyonlarının % 60'ından, Hidrokarbon (HC) emisyonlarının yaklaşık, % 50'sinden, Özellikle şehirlerde Kurşun emisyonlarının % 100'ünden, motorlu taşıtlar sorumludur.

Ulaşırmadan kaynaklanan emisyonların insan sağlığına etkisi ve günden güne azaltılarak düzenlenen standartlara uymak için emisyonlar belirlenmeli, ölçölmeli ve uygun giderim yöntemleri kararlaştırılması gerekmektedir.

Yaptığımız çalışmada dizel motorlardan kaynaklanan emisyonlar belirlenmiştir. Dizel yanma reaksiyonları sonucunda oluşan NOx, PM, HC, ve CO emisyonları ayrı ayrı tanımlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda ilave olarak PM karakterizasyonu üzerinde durulmuştur. Tüm bu emisyonların belirlenmesi için emisyon ölçüm yöntemleri araştırılmış ve sonuç olarak giderim yöntemleri incelenmiştir.

BÖLÜM 2 DİZEL MOTORLAR

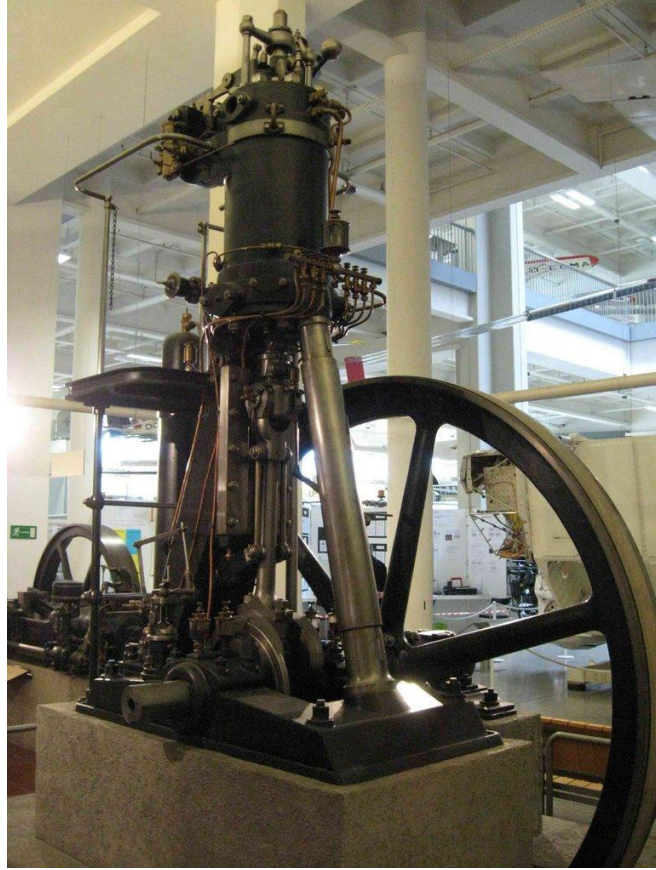
2.1. DİZEL MOTORLARIN TARİHİ VE GELİŞİMİ

Dizel motorların çalışma prensibi ilk olarak 1824 yılında Fransız mühendis Nicholas Leonard Sadi Carnot tarafından ortaya konuldu. “Carnot” çevriminde ortaya koyan Carnot’ un dizel motoru çalışma ilkelerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

Yanmadan önce havanın sıkıştırılması: Carnot yanmanın atmosferik basınç yerine yüksek basınçlarda yapılmasını ve yakıtın pistonu sıkıştırma işlemi sonunda gönderilmesini önermektedir. Günümüzde kullanılan enjektörler bu temel ilkenin ürünü olarak kullanılmaktadır.

Silindirlerin soğutulması: Çevrimin sürekliliği için silindir duvarların soğutulması gerekliliği Carnot’un egzoz gazlarının ısılarından yararlanma düşüncesi ise uzun yıllar sonra gerçekleşme fırsatı bulmuştur. Carnot’un ölümünün ardından (1832),1892 yılında Prof. Dr. Rudolf Diesel havanın belirli bir oranda sıkıştırılması sonucu oluşan sıcaklığın, yakıtın tutuşma sıcaklığından daha yüksek olduğu makinesinin patentini almıştır. Bu makinede yakıt, hava sıkıştırıldıktan sonra piston üst ölü noktaya yaklaşırken püskürtülmekte, yanmanın etkisi ile de genişleme yapılması sağlanmaktaydı. Dr. Diesel bu makinesinde Carnot çevriminin verimine ulaşma düşüncesi ile makinesinde gerçekleşen çevrimi iki sabit sıcaklık (izoterm) iki sabit ısı (adyabat) eğrisinden oluşan Carnot çevrimine uygun olarak, adyabatik genişleme ve sıkışma amacı ile pistonları olabildiğince yalıtı. Yüksek sıkıştırma basıncı ve soğutulmayan pistonlar nedeni ile söz konusu makine başarılı bir şekilde çalışmadı. Bu makinede, Almanya’da petrol bulunmaması nedeniyle yakıt olarak toz haline getirilmiş kömür kullanılmıştır.

İlk denemenin 3 yıl ardından 1895'te Dr. Diesel, dört zamanlı çevrime göre çalışan, sıkıştırma sonu basıncı 30-40 atm olan piston duvarları su ile soğutulan, yakıtın yüksek basınçlı hava ile birlikte silindire püskürtüldüğü ve termik verimi %24 olan makinesini tanıttı. Ardından Dr. Diesel'in MAN firması ile yaptığı işbirliği sonucunda 1897 'de günümüzde kullanılan dizel motorların ilk örneği



üretildi.

Şekil 2.1. İlk Dizel Motor

2.2. DİZEL MOTORLARIN ÇALIŞMA İLKELERİ

4 zamanlı bir dizel motorun çalışma prensibi bu bölümde basit bir şekilde anlatılacaktır.

2.2.1. Emme Zamanı

Bu safhada, emme subap'ının açılması ile pistonun içine hava dolmaktadır. Bu durumda piston aşağı doğru hareket etmektedir. Piston üst ölü noktadan alt ölü

noktaya doğru hareket ederken silindir içinde giderek büyüyen hacim ve dolayısı ile oluşan vakumun etkisi ile birlikte, açılan emme supabından atmosfer basıncındaki hava silindire emilmeye başlanır. Piston alt ölü noktayı bir miktar geçene kadar emme işlemi devam eder. Havanın silindire emildiği bu sürece emme zamanı adı verilir.

2.2.2. Sıkıştırma Zamanı

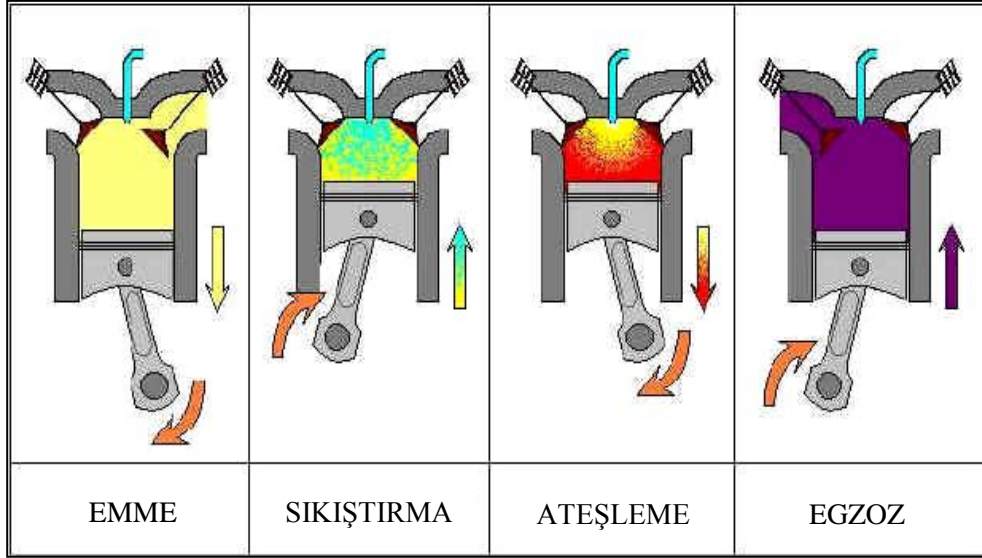
Bu safhada piston yukarı hareket etmeye başlar. Bu sayede hava yüksek bir oranda sıkışmaktadır. Bu sıkışmanın doğurduğu yüksek basınçla havanın sıcaklığı 500 santigrat dereceye kadar çıkmaktadır. Piston bu zamanda alt ölü noktaya olan hareketini tamamlamış ve üst ölü noktaya doğru harekete geçmiştir. Hem emme hem de egzoz supapları kapalı olduğundan sıkıştırmanın etkisi ile birlikte piston içi basınç artmaya başlar. Sıkıştırma işlemi yapılan bu sürece sıkıştırma zamanı adı verilir.

2.2.3. Yanma ve Genişleme Zamanı

Bu safhada aşırı derecede ısınan havanın üstüne püskürtülen yakıt (mazot) alev almaktadır. Bu patlamayla açığa çıkan enerji pistonu aşağı doğru iter. Güç ve dönme hareketi bu safhada oluşmaktadır. Sıkıştırma zamanının sonuna doğru sıkıştırmanın etkisi ile birlikte basıncı ve sıcaklığı yükselen havaya yakıt küçük tanecikler halinde püskürtülür. Silindire püskürtülen yakıt belirli bir gecikme tutuşur ve yanma gerçekleşir. Püskürtme işlemi piston üst ölü noktayı geçtiğinde de devam eder. Dolayısı ile bu yanma genişleyen bir hacim içinde gerçekleşmektedir. Yanmanın etkisi ile birlikte sıcaklığı ve basıncı artan gazlar pistonu alt ölü noktaya doğru genişlemeye zorlar. Bu sırada silindir içindeki hacim büyümektedir. Artan bu hacim nedeni ile iş yapan gazların basınçları genişleme sonunda azalır. Yanmanın ve genişlemenin gerçekleştiği bu zamana yanma ve genişleme zamanı adı verilir.

2.2.4. Egzoz Zamanı

Bu safhada artık piston yukarı çıkmaktadır. İçerde oluşan yanmış gazlar egzoz subabının açılmasıyla pistondan dışarı atılmaktadır. Artık silindir 1 çevrimini tamamlamıştır. Genişleme zamanının sonuna doğru egzoz supabı açılır ve silindir içinde basınçlı olarak bulunan egzoz gazları egzoz supabından silindir dışına çıkar. Bu olaya Serbest egzoz adı verilir. Piston alt ölü noktaya ulaşınca yönü değişerek üst ölü noktaya doğru hareket etmeye başlar. Bu sırada piston silindir içinde bulunan egzoz gazlarını süpürerek egzoz supabından dışarıya atar. Bu olaya da cebri egzoz adı verilir. Genel olarak atık egzoz gazlarının silindir içinden atıldığı bu olaya Egzoz zamanı adı verilir.



Şekil 2.2. Dört Zamanlı Motorun Çalışma Aşamaları

2.3. DİZEL MOTORLARIN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

2.3.1. AVANTAJLARI

- Termal (ısı) etkinliği yüksektir. Dolayısıyla daha az yakıt harcarlar ve benzinli motorlara oranla daha ekonomiktir.

- Daha dayanıklıdırlar ve elektriksel bir ateşlemeye ihtiyaç duymazlar. Dolayısıyla benzinli motorlara oranla daha az problemlidirler.
- Geniş hız aralıklarında motor torku sabit kalır. Dolayısıyla, dizel motorlar daha uyumludurlar ve işletim kolaylığına sahiptirler. (Bu özelliklerinden dolayı dizel motorlar ağır vasıtalarda kullanılmaya uygundur.)

2.3.2. DEZAVANTAJLARI

- Yanma odasında oluşan maksimum basınç benzinli motorlardakinin yaklaşık iki katıdır. Dolayısıyla dizel motorlar daha sesli ve titreşimlidirler.
- Maksimum yanma basıncının çok yüksek olması nedeniyle dizel motorlar yüksek basınca mukavim malzemedan imal edilmiştir. Beygir gücü başına düşen ağırlık benzinli motorlara göre daha fazladır. Maliyeti de yüksektir.
- Yakıt enjeksiyon sistemlerinin kusursuz olması gerekir. Dolayısıyla daha sistemlerle donatılmış olup dikkatli bakım ve servis gerektirir.
- Yüksek sıkıştırma oranını sağlamak için tahrik kuvveti yüksek olmalıdır. Netice olarak yüksek çalışma kapasitesine sahip marş motoru ve akü gereklidir

2.4. DİZEL MOTORLARININ KULLANILDIĞI YERLER

Çağımızda endüstrinin bir çok dallarında dizel motorları kullanılmaktadır. Bu dalların başlıcaları;

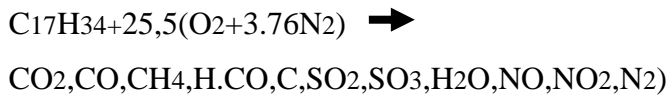
- Kamyon, otobüs, traktör, yol ve yapı makineleri
- Deniz araçları
- Lokomotif ve mototrenler
- Sabit güç makineler

2.5. DİZEL MOTORLARDA YANMA KİMYASI

Dizel motorlarında yakıt ile hava karışarak yanması sonucunda yanma ürünleri oluşurlar. Bunlar CO₂, H₂O, SO₂, O₂ ve N₂ dir. Eğer yakıt çevrim sonucu tam

olarak yanmamış ise veya yanma disosyasyona uğramış ise bu bileşenlere ek olarak CO, H₂, NO gibi ürünlerde oluşur.

Yakıttan tam enerji alabilmek için yakıtın tamamının yanması gerekmektedir. Bunun için yeterli miktarda oksijene, dolayısıyla havaya gerek vardır. Dizel motorlarında karışım doğrudan doğruya silindir içinde olduğundan hava ile yakıtın karışması tamamlanmadan yanma olayı başlar. Bu durum ise egzoz da yanmamış gazların bulunmasına neden olmaktadır. Motorda meydana gelecek olan yanmanın tam olarak gerçekleşip gerçekleşmeyeceği yanmanın gerçekleştiği yanma odasındaki hava miktarına bağlıdır. Termodinamik hesaplarda hesaplamaları kolaylaştırmak amacı ile yakıt 1 kg olarak kabul edilir. Bu 1 kg'lık yakıtın tam olarak yanması için gerekli olan hava ise hava fazlalık katsayısının hesaplanmasında kullanılmaktadır.



Kuru havada ml olarak %21 oksijen ve %79 azot vardır. Bu nedenle

1 kmol O₂ + 3.76 kmol N₂ = 4.76 kmol hava oluşturur.

Oksijenin hava içerisindeki ağırlık oranının %23,3 olduğu düşünülürse tam yanma

için gerekli olan minimum hava kütleli olarak $m_{hava_{min}} = \frac{m_{O_2_{min}}}{0,233}$ olacaktır. Bu

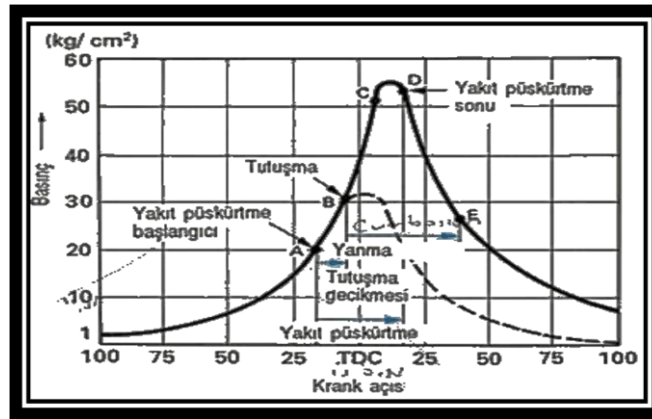
değer içten yanmalı motorlarda 14-15 kg hava/kg yakıt mertebelerindedir.

2.6. YANMA PROSESİ

İçten yanmalı motorlarda oluşan yanma süreci fiziksel ve kimyasal etkileşimlerden oluşan karışık, modellenmesi son derece zor olan, günümüzde tam olarak açıklığa kavuşmamış bir olaydır. Bu fiziksel olaylar enerji ve kütle transferi ile ilgilidir. Kimyasal reaksiyonlar ise yakıt ve oksijen arasındaki moleküller

arasındaki moleköl etkileşimleridir. Tüm bu etkileşimleri yanma sırasında etkileyen pek çok parametre mevcuttur. Dizel motorlarda yakıtın yanma odasına püskürtülmesi ve buharlaşması ile başlayan yanma süreci yanmanın gerçekleşmesi ve işin oluşması ile son bulur.

Yakıtın püskürtülmesi ile birlikte yakıt hava ile sürtünmesi sonucu parçalanır. Parçalanma oranı yakıt demeti çevresinde sürtünme fazlalığından dolayı daha fazla olur. Püskürtme ile birlikte yanma odası içerisinde reaksiyonlar başlar. Ancak bu reaksiyonların yavaşlığı nedeni ile basınçta belirgin bir artış olmaz. Bu süreç yanabilen oranda yakıtın yanma sürecidir. Parçalanmış yakıt buharlaşır ve tutuşma gecikmesi ile birlikte difüzyon alevi oluşur. Dizel motorunda oluşan yanma difüzyon şeklindedir. Benzin motorunda olduğu gibi alev cephesi yanmış bölgeden yanan bölgeye enerji ve kütle iletimi sonucunda belirli bir hızda ve yönde ilerlemez. Dizel motorlarında yanmayı etkileyen yanan bölgedeki yerel koşullardır. Bunlara ek olarak yanma odası içerisinde ısı ve kütle transferi ile birlikte oluşan hava hareketleri de yanmayı etkileyen diğer bir faktördür.



Şekil 2.3. Dizel Motorun Yanma Süreci

1- Birinci Safha; Tutuşma gecikmesi(A-B)

Bu safha silindir içerisinde sıkıştırılmış havaya püskürtülen yakıtın hava ile iyice karışması ve buharlaşması için hazırlık safhasıdır. Krank açısına bağlı olarak belirli bir basınç yükselmesi oluşur.

2- İkinci Safha; Alevin yayılması (B-C)

Birinci safha sonunda yanabilecek hale gelmiş karışım artık silindir içerisine yayılmıştır ve ateşleme bir kaç noktadan başlamıştır. Bu andan sonra alev çok

yüksek bir hızla yayılır ve adeta bir patlama etkisi yaratır. Bu yanma sonucu silindir içerisinde basınç aniden yükselir.

Bu tip yanma bazen patlamalı yanma şeklinde de isimlendirilir. Bu safhada basıncının yükselme miktarı birinci safhada hazırlanan yanabilir karışımın miktarına bağlıdır.

3- Üçüncü safha; Tam yanma (C-D)

Bu safhada hala püskürtülüyor durumda olan yakıt silindir içerisinde yer alan alev nedeniyle hemen yanar. Yanma bu safhada püskürtülen yakıtın miktarı ile kontrol edilir. Bu nedenle bu sureye kontrollü yanma süresi denir.

4- Dördüncü Safha; Yanma sonrası(D-E)

Yakıtın püskürtülmesi D noktasında sona erer, fakat yakıtın yanması devam etmektedir. Eğer bu safha çok uzun olursa egzoz sıcaklığı artar ve verim düşer.

BÖLÜM 3

3.1. DİZEL MOTORLARDA EMİSYON OLUŞUMU

Yakıt püskürtme Teorisi; Sprey yakıt hava dağılımına ve her bir bölgedeki yanma mekanizmalarına göre birkaç bölgeye ayrılabilir. Bu modelde sprej ekivalans oranına göre 3 bölgeye ayrılır. Birinci bölge sprej çekirdeğidir ve bir alev teşekkül ettirecek şekilde yeteri kadar atomize olmamış ve hava ile karışmamış büyük yakıt damlalarını oluşturur. Üçüncü bölgede yanmak için çok zayıf bir karışım ve küçük yakıt damlacıkları bulunur. İkinci bölge diğer 2 bölgenin arasında bulunur, yakıt damlacıkları ve buharlaşmış hava karışımı ihtiva eder.

Yakıt birinci bölgede buharlaşır ve hava ile karışırken, ikinci bölgede yanma başlar.

Spreyin ön kenarı ile çekirdeği arasındaki havadaki buhar konsantrasyonu homojen değildir ve bölgesel yakıt hava oranı sıfırdan sonsuza kadar değişir.

Yanma çekirdeği, karışım içerisinde kendi kendine tutuşmanın çok daha uygun olduğu birkaç yerde birden oluşur.

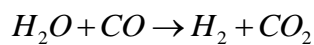
Bölge ikideki tutuşma ve yanmada alev sprey konisine doğru yayılır. İkinci bölge ile çekirdek arasındaki sınırdaki yakıt damlaları daha büyüktür. Bu damlalar yanan alevlerden radyasyon yoluyla ısı kazanırlar ve daha hızlı bir şekilde buharlaşırlar. Sıcaklığın artışı buharlaşma difüzyonunu artırır. Bu damlalar tamamen veya kısmi olarak buharlaşırlar. Tamamen buharlaşmamış damlalar difüzyon alevi ile sarılırlar ve bu damlaların yanma hızı buharlaşma hızı, oksijenin alev difüzyon hızı gibi bir çok faktör tarafından etkilenir.

Birinci bölge en yüksek ekivalans oranına sahip olan bölgedir ve en uzun yanma burada olur. Bu bölge katı karbon parçalarının ve NO emisyonlarının kaynağıdır. İkinci bölge ön karışimli bölgedir ve ilk tutuşma yanması burada oluşur ve bu bölgede önemli bir miktarda emisyon oluşmaz. Üçüncü bölgede ekivalans oranı düşüktür, yanma iyi olmaz. Bu bölgede bu nedenle HC emisyonları oluşabilmektedir.

3.1.1. Karbonmonoksit Oluşumu (CO)

Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersiz olmasıdır. Yanma odasının tümü ele alındığında oksijen genel olarak yetersiz olabileceği gibi karışımın tam olarak homojen olmaması durumunda yanma odasının belirli bir konumda yerel olarak da yetersiz olabilir. Temel olarak CO oluşumu hava fazlalık katsayısının kuvvetli bir fonksiyonu olarak değişmektedir.

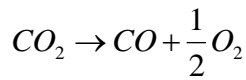
Yanma sırasında CO oluşumu su gazı dengesi olarak adlandırılan



Denklemleri ile belirlenmektedir. Yüksek alev sıcaklıklarında bu denge reaksiyonundan CO₂ miktarına bağlı oranla daha fazla CO elde edilir. Ancak

sıcaklık düştükçe CO'nun CO₂ şeklinde oksidasyonu söz konusudur. Bu bakımdan fakir karışımlar la egzoz gazları içerisindeki CO miktarı daha az olurken zengin karışımlarda soğuk egzoz gazları içerisinde bile O₂ yetersizliği nedeniyle yüksek miktarda CO bulunmaktadır.

Yanma sırasında alev cephesinin iç tarafında ulaşılan yüksek sıcaklık bölgesinde çok miktarda CO oluşmaktadır. Ancak gazların daha sonra genişlemesi ve soğuması sırasında oksidasyon sonucu CO, CO₂ ye dönüşmektedir.



Dizel motorlarında genellikle fakir karışım oranları ile çalışıldığından CO emisyonu düşük olmaktadır.

Özetle yanma biterken CO'nun CO₂'ye dönüşümünü sağlayan yeniden birleşim reaksiyonları oluşur. Şayet bu yeniden bileşim reaksiyonları, oksitleyici eksikliği, alçak gaz sıcaklıkları, kısa kalış zamanı gibi etkenler nedeniyle tamamlanmadan egzoz subabı açılırsa egzoz gazları içinde CO emisyonu artacaktır. Sprey yanmasının ilk safhalarında CO'in 2. bölge ve 3. bölge sınırları arasında oluştuğuna inanılır fakat bölgesel sıcaklıklar yeteri kadar yüksek olmadığından yetersiz ve az miktarda oksidasyon ve CO₂ oluşur. Daha sonra yanma prosesi esnasında bölgesel sıcaklıklar yükselir ve reaksiyonları artar.

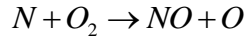
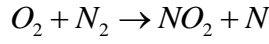
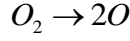
İkinci bölgede oluşmuş CO derhal oksitlenir çünkü oksijen konsantrasyonu ve gaz sıcaklığı uygundur. Sprey çekirdeğinde ve duvar kenarlarında yüksek oranlarda CO oluşur. Oluşum hızı mahalli oksijen konsantrasyonuna, mahalli gaz sıcaklığına ve oksidasyon için yeterli zaman olup olmamasına bağlıdır.

3.1.2. Azot Oksit (NO_x) Oluşumu

Yanma sonucu ulaşılan yüksek sıcaklıklarda havanın içerisindeki azotun oksijen ile birleşmesi sonucu azot oksitler meydana gelmektedir. NO_x içerisinde ana

eleman olarak azot bulunmaktadır. Egzoz gazlarının daha sonra atmosfere atılması sonucu oksijenle temasında NO'nun bir kısmı NO₂ ve öteki NO_x'lere dönüşmektedir. Bu bakımdan NO_x oluşumunu etkileyen iki önemli parametre yanma odası sıcaklığı ve hava/yakıt oranıdır. Ayrıca kimyasal reaksiyon hızları da etkili olmaktadır. Ancak bu hızlarda sıcaklığa bağlıdır.

Yanma sistemlerinde Azot oksit oluşumu konusunda birçok mekanizma göz önüne alınmıştır. NO oluşumu için kabul edilen en yaygın model zeldowich mekanizmasıdır.

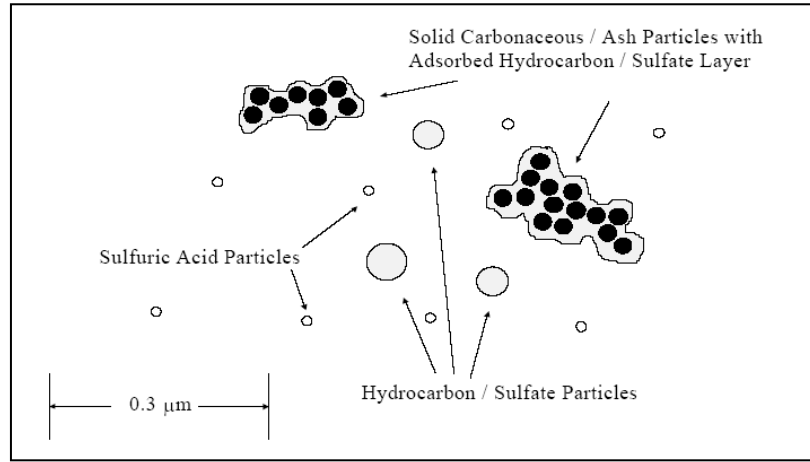


Zincir reaksiyonları yüksek sıcaklıklarda oksijen moleküllerinin ayrılmasından oluşan atomik oksijen tarafından başlatılır. Bu mekanizmaya göre dizel yanmasından spreyedeki bölgesel NO oluşumu bölgesel oksijen atomu konsantrasyonu ile ilişkilidir, bölgesel oksijen atomu konsantrasyonu ise oksijen moleküllerinin bölgesel konsantrasyonu ve alev sıcaklığı ile bağıntılıdır.

Yukarıdaki denge reaksiyonlarını göz önüne alarak son 2 reaksiyonun ters yönde ilerlemesi NO'dan O₂ elde etmek mümkündür. NO oluşum hızı N₂ ve O₂'nin oluşum hızından daha yüksektir. Bunun sebebi piston üst ölü noktadan aşağıya doğru giderken NO'ların tekrar N₂ ve O₂ ye ayrışması beklenirken reaksiyon hızının düşük sıcaklıklarda çok düşük olması nedeniyle bu reaksiyonlarda yavaşlar yani piston üst ölü noktadan aşağıya doğru giderken soğuyan gazlar reaksiyonu dondurur. Bu yüzden NO miktarındaki azalma önemsizdir.

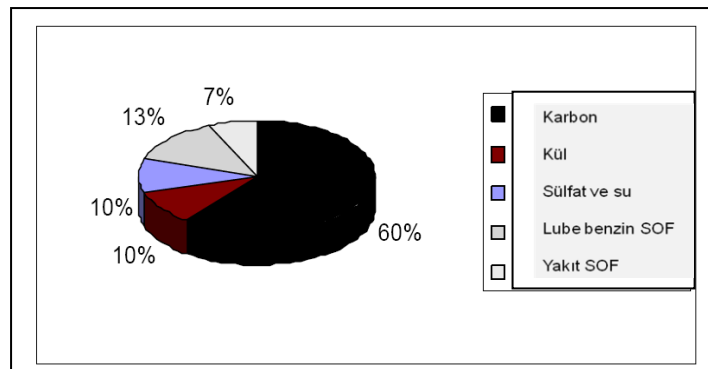
3.1.3. Partikül Madde Oluşumu

Partikül maddeler; katı parçacıklar, duman veya is olarak da tanınır. Dizel motorunda hem karışım hem de yakıt cinsi partikül maddelerin oluşumuna sebep olmaktadır. Oksijence fakir ortamda bulunan yakıt moleküllerinin ısı parçalanması özellikle H'lerin kolayca oksitlenmesi, C'ların ise oksitlenmeden ortamda çoğalması durumunda partikül maddeler oluşur.



Şekil 3.1. Partikül madde oluşumu

İs, bu durumda oluşan katı karbon tanecikleridir. Motorun yük durumuna göre değişen Hava Fazlalık Katsayısının bir fonksiyonu olarak is miktarı değiştiğinden motorun gücünü de sınırlayan bir etkidir. Genelde is oluşumu dizel yanmasının bir safhasıdır. Bu nedenle başlangıçta oluşan karbonun büyük bir kısmı tekrar yanar. Ancak gücü arttırmak amacı ile yanma odasına fazla miktarda yakıt gönderildiğinde, yeterli oksijen bulunmadığı için egzoz gazları içerisinde bir miktar is bulunacaktır. İs oluşumu silindirin aşınmasına segman yuvalarının karbonla dolarak zarar görmesine neden olmaktadır. Yanma odasında yeterli sıcaklık, oksijen ve zaman bulunmaz ise partikül maddeler egzozdan dışarı atılmaktadır.



Grafik 3.1. Dizel Partikül Maddelerin Bileşimi

Partiküller çapları bakımından tehlike sınıflandırmasına tabidirler. Yani partikül çapı küçüldükçe çevresel ve sağlık açısından tehdidi de büyür. Trafik kökenli partikül maddeler, dizel motorlarda düşük kükürtlü yakıt kullanılması ve yakıt pompasının doğru ayarlanması ile büyük ölçüde önlenir. Nefes alındığında akciğere kadar giderek yerleşebilen bu maddeler bronşları tahriş ettiği için insan sağlığına zararlıdır. Dizel motorların dışında PM, fren balataları ve lastiklerden sürtünme etkisi sonucunda da oluşmaktadır.

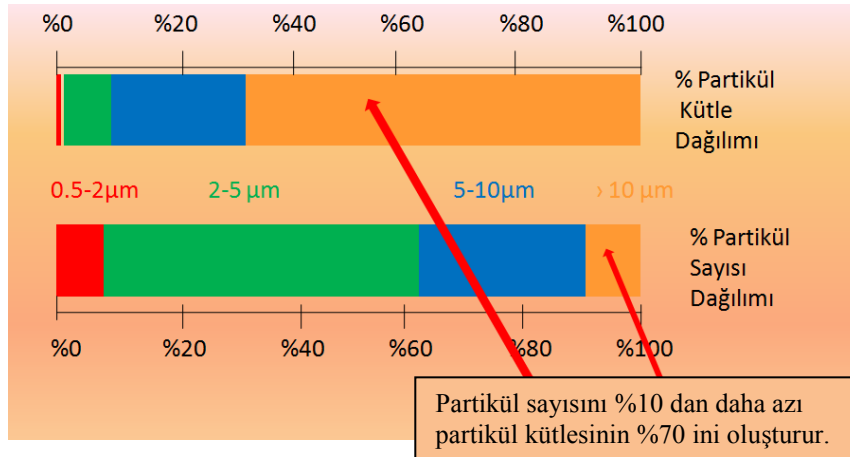
Partikül sayısı , yüzeyi ve kütlesi arasındaki ilişki aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Partikül Çapı	0.01 μ m	0.1 μ m	1 μ m	
Partikül Numarası	1	1	1	Dp
Partikül Yüzeyi	1	100	10 000	Dp ²
Partikül Kütlesi	1	1000	1 000 000	Dp ³

1 μ m çapındaki bir partikül ile 10nm çapındaki 1 000 000 partikül aynı kütleye eşittir.

Şekil 3.2. Partikül sayı,yüzey ve kütle ilişkisi

Partikül madde kütle ve sayısı karşılaştırılması aşağıda gösterilmektedir.

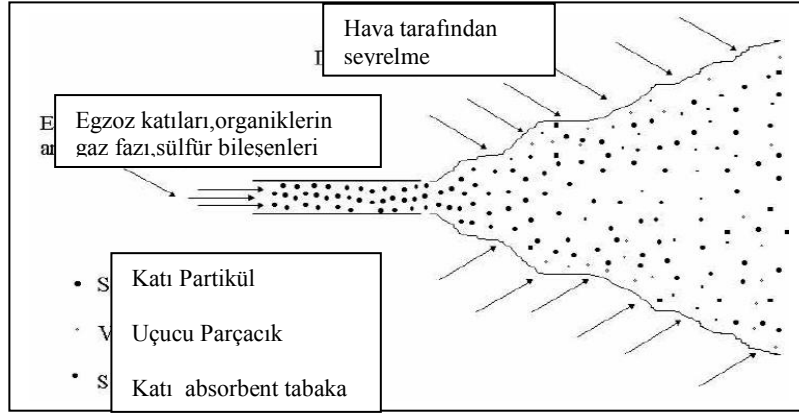


Şekil 3.3. Partikül Sayısı Ve Kütle Karşılaştırılması

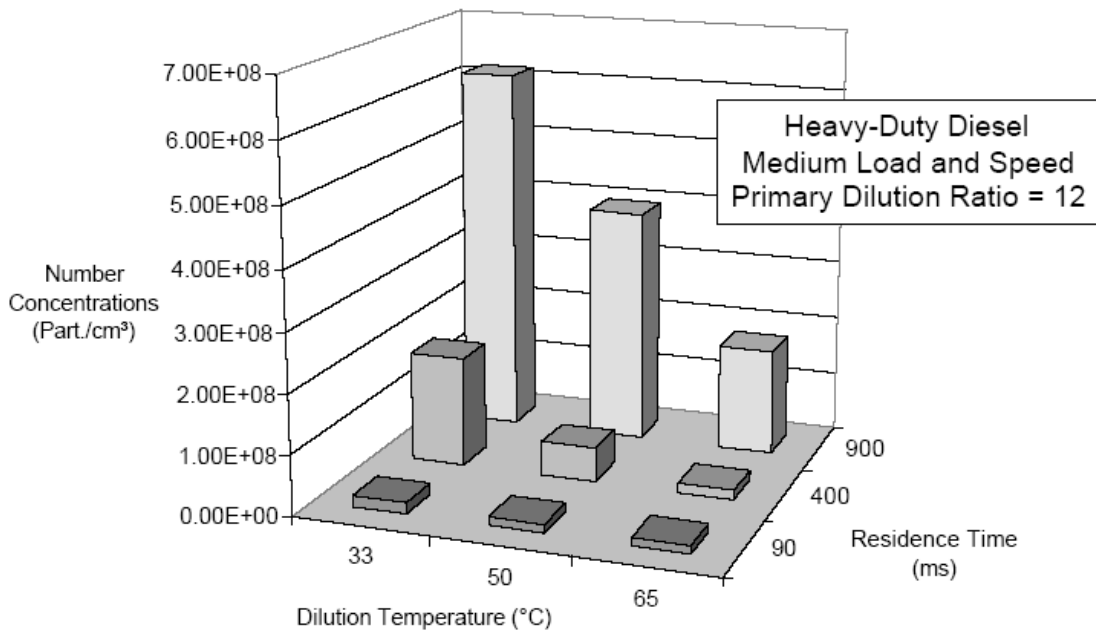
Partiküler maddelerin önemli bir miktarı (sayısının% 90 ve kütleinin% 30) egzoz seyreltme sırasında egzoz borusu içinde buhar fazında mevcut malzeme oluşmaktadır (örneğin, sülfürik asit, yakıt ve yağ atıkları) Nükleasyon tarafından yeni partiküller oluşur. Egzoz sistemi ultraince ve nano partiküllerin (ve partikül numarası)çoğunun kaynağı olma olasılığı yüksektir.

Nanopartikül boyut aralığında uçucu partiküllerin çoğu yer almaktadır.

Kıvılcım ateşlemeli motorlar genellikle dizel motorlardan daha küçük parçacıklar yayarlar ve ince parçacıklar ile nanopartiküllerin önemli bir kaynağıdır.



Şekil 3.4. Atmosferik Seyreltme



**Grafik 3.2. Dizel Partikül Sayıları Emisyonunun Seyreltme Şartlarına
Duyarlılığı –Zaman ve Sıcaklık Etkisi
(ağır ticari araç yük ve hız birincil seyreltme oranı)**

3.2. EMİSYONLARIN ETKİLERİ

3.2.1. Karbonmonoksit (CO)

- Yakıtın eksik yanması sonucu doğan (CO) renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır.
- Havada binde 3 sınır değerinde öldürücüdür. Özellikle benzinli araçlarda rölantide çıkar.
- Kapalı bir ortamda çalışan bir otomobilin egzozundan çıkan (CO) orada bulunanları zehirler ve öldürür.
- Atmosferde kendiliğinden havanın oksijen ile birleşerek CO₂' dönüşür.

3.2.2. Azotoksitler (NO_x)

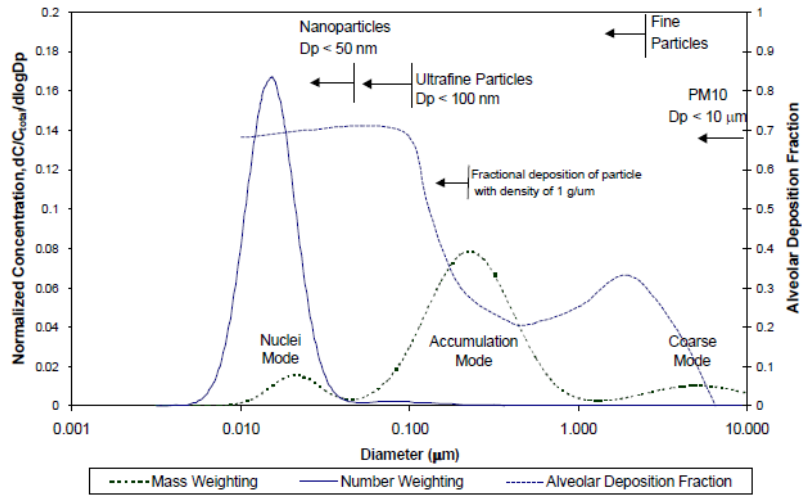
- NO renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Motor içindeki yüksek sıcaklık nedeni ile ortaya çıkar.
- NO, havanın oksijeni ile NO₂ oluşur.
- Kahverengi ve kokulu olan NO₂, akciğer dokusunda hasara ve felce neden olur.

3.2.3. Hidrokarbonlar (HC)

- Yakıtın eksik yanması ve benzinin depodan veya dolum sırasında buharlaşması ile ortaya çıkar.
- Bazı HC'ler mukozada tahrişe yol açar, bazıları ise kanserojendir.
- Hidrokarbonlar, NO ve güneş etkisi ile OZON (O3) meydana getirir.

3.2.4. Partikül Maddeler (Duman)

- İs veya duman olarak tanınırlar,
- Dizel motorlarında görülür,
- Zararlı oldukları halen tartışma konusudur,
- Kaliteli yakıt kullanılması ve yakıt pompasının doğru ayarlanması ile büyük bir ölçüde önlenabilir,
- Bunlara karşı ticari kullanımı olan bir filtre düzeni mevcut değildir.



Grafik 3.3. Dizel Partikül Boyut Dağılımı

3.2.5. Kurşun Bileşikleri

- Benzinde vuruntuya karşı direnci sağlamak amacı ile Kurşun Tetra Etil katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

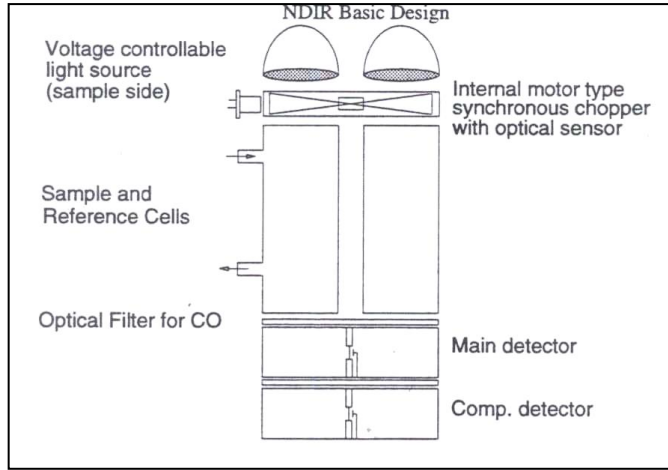
- Bunun sonucu egzoz gazında oluşan kurşun bileşikleri doku, kan dolaşımı ve sinir sisteminde tahribat yaratmaktadır.
- Benzindeki kurşun katkısı için, çeşitli benzinlerde 20.Mart.1985 tarih ve EEC 85/210 sayılı AT direktifinde aşağıdaki sınırlar verilmiştir;
 - Kurşunlu benzinde kurşun miktarı en çok 0,40 gr Pb/litre, en az 0,15 gr Pb/litre
 - Kurşunsuz benzinde kurşun miktarı en çok 0,013 gr Pb/litre
 - Benzen miktarı en çok hacim olarak %5,0
- Ülkemizde TÜPRAŞ tarafından üretilen normal benzinde en çok 0,15 gr Pb/litre, süper benzinde en çok 0,40 gr Pb/litre ve kurşunsuz benzinde en çok 0,013 gr Pb/litre değerleri verilmektedir.
- 1985 yılında yayınlanan bu direktifin, 01.Ekim. 1989 tarihinde AT üyesi ülkelerde yürürlüğe girmesi kabul edilmiştir.
- Kurşunsuz benzin üretiminde, rafineli maliyeti özel proses nedeni ile kurşunlu benzine kıyasla daha pahalıdır.
- Kurşun katkısı subap yuvalarında yağlama etkisine sahiptir. Bu nedenle kurşunsuz benzin kullanılması için subap ve subap yuvalarında özel malzeme gerekir.
- Benzinde sadece kurşun miktarının azaltılması, çevre kirliliği açısından yeterli değildir. Katalizatör için kurşunsuz benzin kullanma zorunluluğu, dolaylı olarak kurşunun zararlı etkisini de azaltmaktadır.
- AT ülkelerinde 1985 tarihinden itibaren kurşunsuz benzinin yaygınlaşması için önce bu benzine uygun motorlar geliştirerek talep yaratılmış ve dağıtım sistemi yaygın hale gelince katalizatörün tüm otomobillerde uygulanması zorunlu kılan EURO 93 standardı 01.01.1993'den itibaren başlatılmıştır.

Ülkemizde otomobil üreten fabrikaların tüm modelleri Temmuz-1993 tarihinden itibaren kurşunsuz benzin kullanacak duruma getirilecektir. Böylece bu benzine talep artışı sonucu, katalizöre geçiş döneminde kurşunsuz benzinin ülke çapında yaygınlaştırılması sağlanacaktır.

3.3. EGZOZ EMİSYONLARININ ÖLÇÜMÜ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

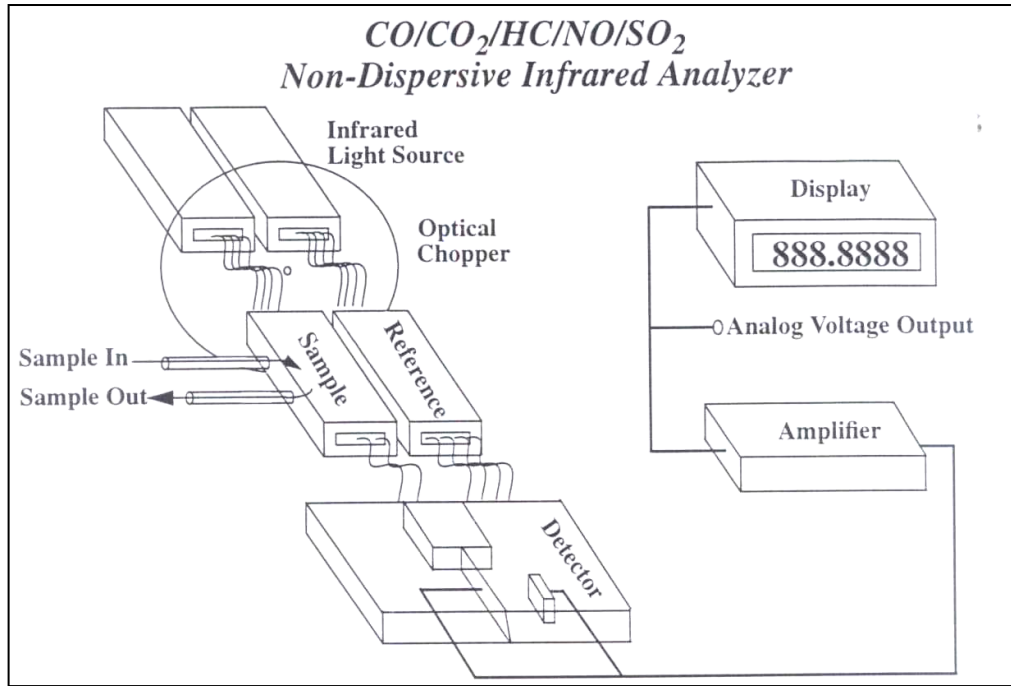
3.3.1. CO ve CO₂ Ölçüm Yöntemi

Egzoz gazları içerisindeki CO ve CO₂ miktarının belirlenmesi için kullanılan AIA analizörü, Dağılmayan Kıızıl Ötesi Işınlı gaz analizörüdür. Bu sistemde kızıl ötesi ışınların, ölçümü yapılacak örnek gazlar içerisinde geçerken, farklı bileşenler tarafından radyasyon enerjisinin farklı oranlarda absorbe edilmesi prensibi kullanılmaktadır. Kıızıl ötesi kaynak tarafından üretilen ışık ikiye ayrılarak referans hücresi ve örnek gazlara ait hücre içerisinde geçip, detektöre ulaşmaktadır (Şekil 3.1). İçerisinde ölçümü yapılmakta olan kimyasal bileşenlerden bulunmayan referans gazlarının absorbe ettiği enerji miktarı belirlenirken, diğer hücrede ise CO ve CO₂ bileşenleri farklı dalga boylarındaki kızıl ötesi ışıktan enerji absorbe etmektedir. Bundan yararlanılarak detektörde, referans ve ölçüm hücrelerinden absorbe edilen enerji miktarı farkı elektriksel akıma dönüştürülerek, kalibre edilmekte ve bileşenin konsantrasyonu cinsinden ölçüm yapılmaktadır.



Şekil 3.5. Dağılmayan Kıızıl Ötesi Gaz Analizörünün Basit Dizayn

Diğer absorbe edici kaynakların etkisini önlemek amacıyla kaynaktan çıkan ışık, gerekli dalga boylarında çalışılmak üzere filtreden geçirilmektedir. Ayrıca ışık kaynağı periyodik olarak bir kesici tarafından saniyede yaklaşık 10 kez kesilip, açılmaktadır. Bu durumda, birim zamandaki miktarı belirleyecek şekilde periyodik olarak enerji absorpsiyonu sağlanmakta ve sonuçta bu miktar ölçülmektedir. AIA serisi ölçüm cihazlarına ait özellikler ve parametreler Ek.1’de verilmiştir.



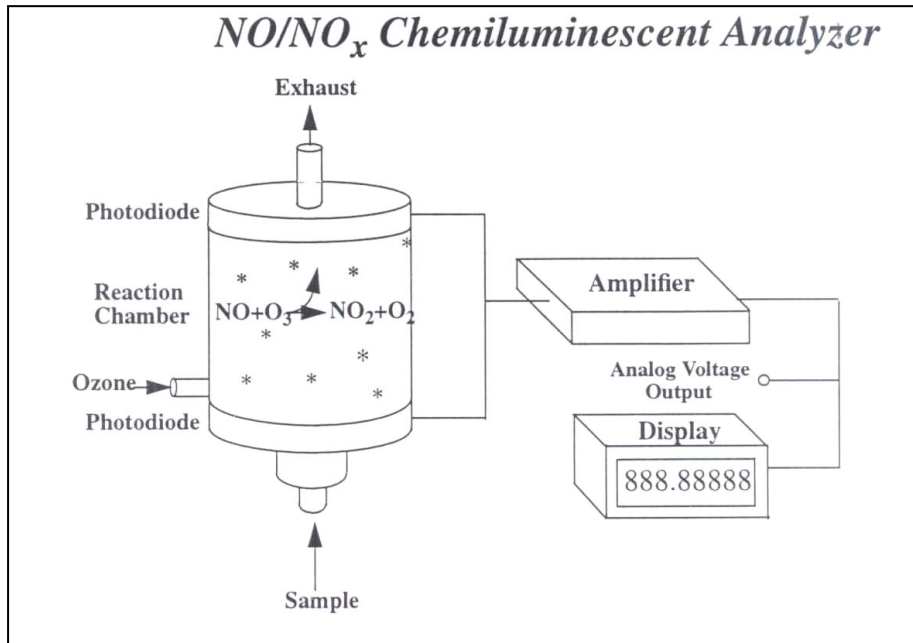
Şekil 3.6. Dağılmayan Kızıl Ötesi Gaz Analizörünün Şeması

Gaz filtresi korelasyon sistemiyle de infrared kaynağından çıkan ışın demeti, CO ile doldurulmuş ışın demetinden ve boş hücreden dönüşümlü olarak geçer. Daha sonra ölçüm hücresi optik filtreden geçirilir. Infrared ışın demeti CO hücresinden geçtiğinde absorblama yapılır ve ışın demeti daha sonra referans olarak görev yapar.

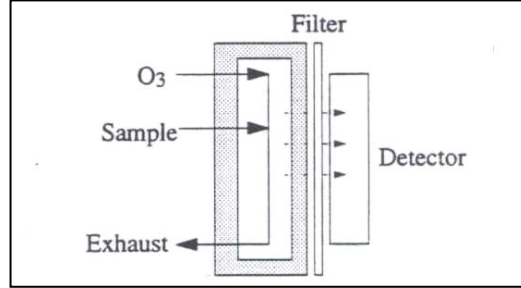
3.3.2. NO_x Ölçüm Yöntemi

NO_x ölçümünde CLA analizörü kullanılmaktadır. Bu yöntem Kimyasal Işın ölçümüdür. Bu yöntemde, ana prensip NO ile ozon (O₃) reaksiyonu sonucu oluşan uyarılmış NO₂'nin, uyarılmamış duruma dönüştürülmesi sırasında açığa çıkan foton enerjisi NO_x miktarının ölçümü sonucu miktarının belirlenmesidir. Bu enerji miktarının ölçümü ile buna karşı gelen NO₂ miktarı belirlenir. Böylece başlangıçtaki NO miktarı belirlenmiş olmaktadır. Örnek gaz içerisinde mevcut NO₂'nin ölçümünde ise, gazlar ısıtılarak NO₂/NO dengesi, NO yönüne çevrilir. Yaklaşık 315 °C değerinde %90 değişim sağlanmaktadır. NO ve NO₂ içeren egzoz gazlarında ölçümün ayrı ayrı yapılması istenildiğinde, önce NO miktarı, sonra da dönüştürücüden geçirilen gazlardaki NO_x miktarı belirlenir. Böylece her iki ölçümün farkından da NO₂ miktarı bulunur.

Horriba 7000 CLA serisi analizörlerin hem atmosferik hem de vakum tipi modelleri bulunmaktadır. CLA konverter, 190 °C'de yüksek verim gösterecek şekilde dizayn edilmiştir. Özel kaplamasıyla konverterdeki 'white powder' denilen beyaz tozlarda da azalma görülmektedir. CLA serisi ölçüm cihazlarına ait özellikler ve parametreler Ek.2'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Horiba 7000-CLA Analizörünün NO_x Ölçümü



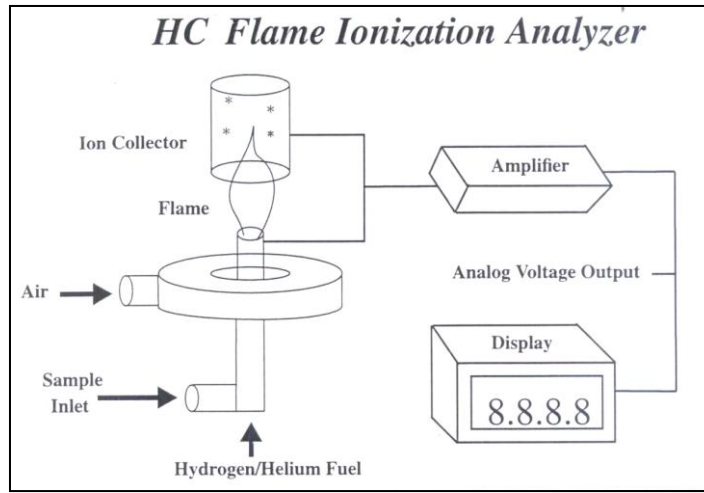
Şekil 3.10. Kimyasal Işın Ölçümünün Basit Şekli

Elektrokimyasal Hücre Ölçüm Yöntemiyle; Duyarlı bir elektrotta seçilmiş bir gaz bileşeninin elektrokimyasal reaksiyonuyla ortaya çıkan elektriksel akımın ölçüldüğü elektrokimyasal pillerden yararlanır. Tayin edilecek olan gaz bileşeni yarı geçirgen bir zardan pile ulaşır. Reaksiyon hızı, gaz bileşeninin konsantrasyonu ile orantılıdır. Oksitleyici bir elektrot kullanıldığında elektrokimyasal reaksiyonla, duyarlı elektrotta elektronlar açığa çıkar. Bu elektrotta ilgili gaz bileşeni konsantrasyonu ile orantılı miktarda elektron üretilmesi, karşı elektrotla aynı oranda negatif bir potansiyel farkı doğurur ve bu yolla elde edilen elektron akımı uygun bir elektronik düzenele ölçümlenir. Pilin seçiciliği, yarı geçirgen zar, elektrolit, elektrot materyalleri, geciktirici potansiyel ile belirlenir.

Termogravimetrik Analiz ve FTIR Spektrometre Sistemi ile; TGA ile FTIR'ın birleştirilmesiyle termal ayrışma proseslerinin hem nitel hem de nicel özelliklerini elde etmek mümkündür. TG-IR ara yüzü verimli gaz transferi için seramik ağzın pozisyonunu örneğe ayarlayarak ölçüm yapılır. Ayrıca sistem kirlenmeyi giderir ve gazın izlediği yolun tamamının ısıtılmasıyla soğuk noktalardan kaynaklanan örnekten örneğe taşımayı da giderir.

3.3.3. HC Ölçüm Yöntemi

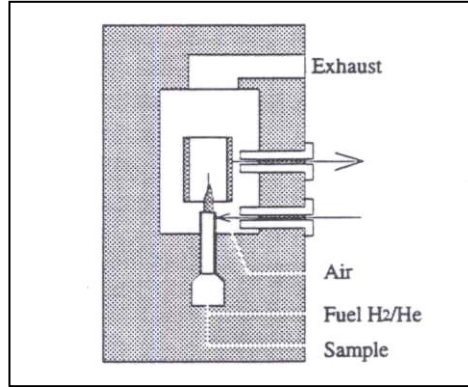
FIA, HC'ların ölçülmesinde kullanılan analizördür ve Alev İyonizasyonu prensibinde çalışmaktadır. Bu sistem prensip olarak H₂-O₂ alevinden oluşmaktadır. Burada H₂, O₂ ve inert gazlardan (Horibanın analizöründe kullanılan inert gaz, He'dur.) meydana gelen karışım; iyonlardan arınmış durumdadır. Bu alev içerisine HC'lar eklendiğinde, eklenen miktara orantılı olarak iyon akısı artmaktadır. Alevdeki bu iyonizasyon miktarının ölçümü de HC konsantrasyonunu belirlemektedir. Temel olarak Alev İyonizasyon Detektörü, H₂ ve O₂'den oluşan bir difüzyon alevidir. Sisteme uygulanan polarizasyon akımı sonucu sağlanan elektrostatik alan içerisinde, HC'ların eklenmesi ile oluşan pozitif iyonlar kolektöre, negatif iyonlar ise aleve doğru giderek iki elektrod arasında iyonizasyon akımı oluşturmaktadır. Bu akım, alevin içindeki HC miktarı ile doğru orantılıdır. Böylece doğru akım yükselticisinden geçirilerek, HC konsantrasyonu cinsinden kalibre edilmiş çıkış sağlanır.



Şekil 3.8 . Horiba FIA HC Ölçülmesi - Alev İyonizasyon Sistemi

Genelde alev sıcaklığını azaltmak amacıyla saf hidrojen yerine inert gazlarla karıştırılmış hidrojen kullanılmaktadır. Ölçümler hava ve yakıtın debisine bağlı olarak daha hassaslaşmaktadır. Normalde örnek gaz debisi 3-5 ml/dakika, hidrojen-gaz karışımı debisi 75 ml/ dakika, hava debisi 200 ml/dakika

mertebelerindedir. Bu sistem su buharından etkilenmediği için örnek gazın kurutulmasına gerek yoktur. Ancak cihazın içerisine sıvının veya partiküllerin girmesine, orifislerin ve küçük çaptaki boruların korunması açısından izin verilmemelidir. FIA serisi ölçüm cihazlarına ait özellikler ve parametreler Ek.3'te verilmiştir.



Şekil 3.9. Alev İyonizasyon Prensibinin Temel Şekli

3.3.4. GFA Analizörü

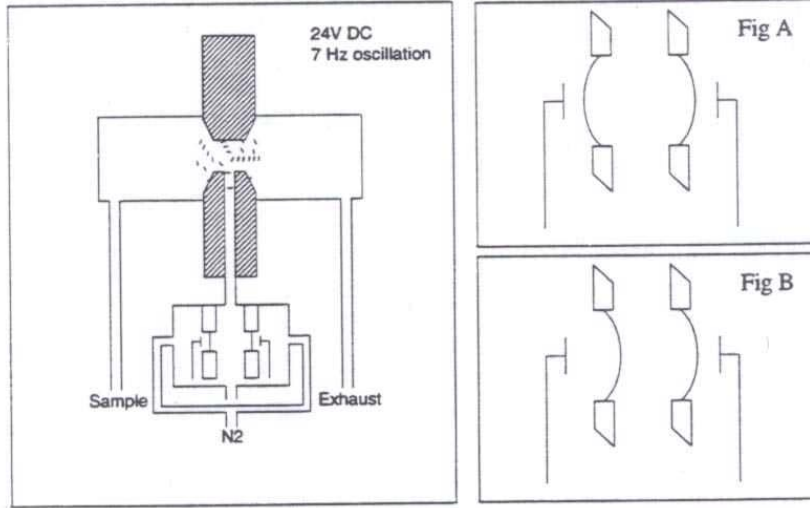
7000 serisi GFA analizöründe bulunan iki sütun; örnek gazlardaki metan moleküllerini diğer moleküllerden ayırırlar. İlk sütun metan olmayan hidrokarbonlar ile diğer molekülleri tutar. Fakat metan ve oksijen buradan geçer. İkinci sütun ise oksijeni tutar, metan ise alev iyanizasyon detektörüne doğru ilerler.

GFA 720 geniş dinamik bir ölçüm aralığı ile mükemmel bir dayanıklılık gösterir. Sütunlardaki hava tüketim oranı sadece 200 cc/dak'dır. Yavaş akışta bile; detektörde sıcaklık kontrolünü tam olarak yapmak mümkündür. Hatta ana sütunun içine suyun girişini engellemek için selonoid valf ile korunur. GFA serisi ölçüm cihazlarına ait özellikler ve parametreler Ek.4'te verilmiştir.

3.3.5. MPA Analizörü

7000 MPA serisi analizörünün avantajı, O₂ ölçümü sırasındaki magnetik özellikleridir. Örnek gazdaki oksijen; nitrojen akşını geçtiği sırada alternatif bir magnetik alan oluşur.

İki detektör arasındaki basınç; örnek gazdaki O₂'nin davranışlarına bağlı olarak değişir. Analizörde tek halka/çift detektör sistemine göre çalışır. Çift detektör sisteminin performansı, mekanik titreşimden oluşan önemli derecedeki gürültüyü azaltır. Analizörün hassaslığının artması; %1 oksijendir. Çift detektörün birlikte çalışmasıyla; doru sinyal (Şekil-A) ile titreşim (Şekil B) farklı hassaslık gösterir. Çift detektörden gelen sinyaller artar ve titreşim otomatik olarak iptal olur. MPA serisi ölçüm cihazlarına ait özellikler ve parametreler Ek.5'te verilmiştir.



Şekil 3.10. MPA Analizörünün Çalışma Prensibi

3.3.6. PM Ölçüm Yöntemleri

3.3.6.1 Gravimetri

3.3.6.1.1. Analitik Terazi Kullanılarak Gravimetri

Bu kesikli bir işlemdir ve doğrudan gravimetrik anlamda hava kalitesi kriterleri verilir. Toplanan partiküler maddeye bağlı olarak, filtre net ağırlığının belirlenmesi için, filtreler örneklemeden önce ve sonra analitik terazide tartılır. Blank ve partiküler madde yüklü filtreler; tartımdan önce, sıcaklık ve nemi kararlı hale gelinceye kadar desikatör ortamında bekletilir. Çevre havasındaki kütle konsantrasyonu; filtre üzerinde toplanan ilave kütlenin, standart sıcaklık ve basınç düzeltmeleri yapılan hacme bölünmesi ile hesaplanır. Manuel gravimetrik sistemde yoğun bir işçilik vardır. Eğer günlük örnekleme yapılması planlanıyor ise, otomatik sistemlerin kullanılması göz önüne alınmaya değerdir.

3.3.6.1.2 TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) Teknikleri Kullanılarak Gravimetri

Partikül yüklü hava, salınımlı hollow tapered tüp üzerine kaplanmış bir filtre kartuşu içinden çekilir. Filtre üzerinde toplanan kütle artarken, tüpün doğal osilasyon (yüzlerce Hz) frekansı azalır. Kütle konsantrasyonu, partiküler maddenin kimyasal bileşimine bağımlı olmaksızın kütle ve frekans arasındaki direkt ilişkiyle ölçülür. TEOM çekici bir alternatiftir. Sürekli, anlık ve otomatik ölçüm yapma imkanını sağlar. Sakıncaları ise şunlardır: Başlangıç yatırım miktarı yüksektir, toplama filtrelerini sıkça değiştirmek gerekir (yüksek konsantrasyonlarda haftalık) ve sıcaklık kontrollü bir kabine ihtiyaç vardır. Bu tür cihazlar, saatlik ve günlük ölçümler için düşünülebilirse de, bunların rutin izlemede kullanılmaları için genel bir öneride bulunmadan önce, daha çok saha deneyimine ihtiyaç vardır.

3.3.6.2. Reflektometri / Siyah Duman

Partikül yüklü filtrelerin gözlenen koyuluğu, çevre havası aerosolünün toplam grafitik karbon içeriğinin ölçümü olarak yorumlanır. Koyuluk, bir blankten (R0) ve partikül yüklü filtreden (R) geçirilen beyaz ışığın reflektansının karşılaştırılması ile belirlenir. Yansıyan ışın, filtre yüzeyindeki partikül üzerinden iki defa geçer ki; $\ln(R/R0) = 2 \ln(I/I0)$ dir. Burada I0 beyaz ışığın şiddeti ve I partikül tabakasından geçen ışının şiddetidir. Pratikte, partiküller, filtre ortamı içine, filtre tipi ve yüzey hızına bağlı olarak nüfuz ederler. Bu yansımayı artırır ve geçişi azaltır. Bundan dolayı, OECD kalibrasyonu sadece Whatman #1 filtre kağıdı ve/veya cam elyaf filtreleri için verilmiştir (klasik OECD metodunda önerildiği gibi). Sadece bu şartlar altında, OECD kalibrasyon eğrisini, standart siyah duman eşdeğer $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak koyuluğa çevirmek, uygulamayı anlamlı hale getirir. Siyah duman yöntemi, sadece evsel ısınma amacıyla kömür yakılan durumlarda, kömürün tam yanmaması sonucu oluşan karbon partikülleri için anlamlıdır. Siyah duman yöntemi, düşük maliyeti ve karmaşık olmayan işletim koşulları nedeniyle halen kullanılmaktadır. Bu nedenle, siyah duman ölçümleri ile çok geniş bir epidemiyolojik veri seti oluşturulmuştur. Siyah duman ölçümünün, uygun bir gravimetrik yöntem ile değiştirilmesi düşünüldüğünde, veri setinin devamlılığından emin olmak için seçilen yeni kütle ölçüm yöntemi ile en az bir yıl paralel olarak çalışmaya devam edilmelidir.

3.4. EGZOZ EMİSYONLARININ AZALTILMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

3.4.1. Dizel Araçlarda Partikül Emisyonları İçin DPF (Dizel Partikül Filtresi)

Bir dizel partikül filtresi, dizel motorların egzoz gazlarında bulunan kurumun ayrılması için bir sistemdir. Katkı kullanılmayan dizel partikül filtreleri, partikül filtresinin motorun yakınına yerleştirildiği araçlarda kullanılır. Katkılı sistemler, partikül filtresinin motorun yakınına konumlandırılmasının mümkün olmadığı

araçlarda kullanılır. Katalitik kaplamalı filtre, katkı olmaksızın çalışır ve bunun için iki türlü etki yapan, soy metal içeren bir filtre kaplaması kullanır. Pasif rejenerasyon sırasında katalizatörde birikmiş olan kurum yavaş ve zarar vermeyecek bir şekilde CO₂'ye dönüştürülür. Bu olay 350-500°C sıcaklık aralığında meydana gelir ve özellikle ağırlıklı olarak otoyol kullanımında başka özel önlemler olmaksızın sürekli olarak olur. Uzun süre düşük yükte kullanımda, örneğin şehir içi trafiğinde, her 1000 ila 1200 km de bir egzoz gazı sıcaklığının aktif olarak yaklaşık 600 °C'ye çıkarılması ilave bir filtre rejenerasyonu yapılmasını sağlar. Filtrede birikmiş olan partiküller bu sıcaklıkta yanar. Katkılı sistemlerde katkı, kurumun yanma sıcaklığının yaklaşık 5000°C 'ye düşürülmesine yarar. Sürüş tarzına bağlı olarak her 500 ila 700 kilometrede bir rejenerasyon gereklidir.

EGR, SCR ve DPF sistemleri dizel araçların Euro standartlarına ulaşılabilmesi için uygulanan kontrol yöntemleridir. Günümüzde EGR, SCR ve DPF teknolojilerini gelmiş olduğu durumu Şekil 3.11'da gösterilmektedir.

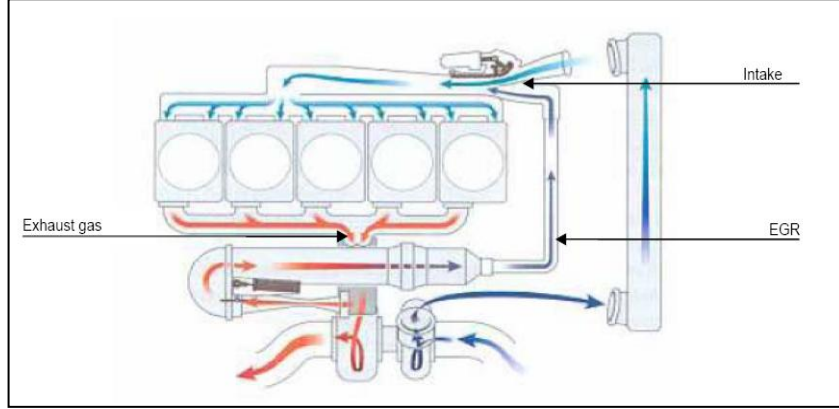
3.4.2. NO_x Emisyonları İçin EGR (Exhaust Gas Recirculation)

Yanma sırasında oluşan NO_x miktarı büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Yanma odası içindeki karışımın egzoz gazları ile seyreltilmesi sonucu yanma sonu sıcaklıkları, dolayısıyla üretilen NO_x miktarı azalmaktadır.

Bu sistemin işlevi egzoz gazlarını silindirlere geri göndererek karışım içerisindeki oksijen konsantrasyonunu azaltıp, karışım oranını azaltmak ve silindir gazlarının ısı kapasitesini yükselterek maksimum gaz sıcaklığını azaltmaktır

EGR direk püskürtmeli dizel motorlarında yakıt ekonomisini kötüleştirmeden NO_x emisyonlarını azaltmanın en iyi yollarından birisidir. Uzun zamandır hafif hizmet tipi dizelerde başarı ile kullanılmasına karşılık, orta ve ağır hizmet tipi dizelerde motorun aşınmasını arttırdığından dolayı bazı sorunlar açığa çıkmaktadır.

Yanmış gazların sıcaklığı maksimum iken NO_x oluşma ihtimali de artar. Bu maksimum sıcaklık, yanma başlangıcı ve maksimum silindir basıncı oluşmasından hemen sonra oluşmaktadır. Erken yanmaya başlayan karışımın sıcaklığı, piston sıkıştırmaya devam ettiği için yükselecektir. Dolayısıyla NO_x oluşum hızı da artacaktır.



Şekil 3.11. EGR Çalışma Prensibi

Motorlarda NO_x , son alev cephesindeki sıcak gazlarda oluşur. NO_x ' in başlangıçtaki oluşum hızı kısmen sıcaklığa bağlıdır. Oksijen yoğunluğunun yüksek olması da NO_x oluşum hızını artırır. EGR ile silindir içindeki oksijenin bir kısmının yerini atık karbondioksit (CO_2) ve su (H_2O) alacağından lokal oksijen yoğunluğu azalacaktır. Bu durum yakıt ve oksijen moleküllerinin buluşup reaksiyona girme ihtimalini azaltır. Buna bağlı olarak reaksiyon hızı ve lokal alev sıcaklığı düşerek, NO_x oluşumu azalacaktır.

EGR ile yanma odasının farklı bölgelerindeki lokal sıcaklıklar değiştirilmiş olur. Bu da yakıtın buharlaşma hızına ve is oksidasyon hızına etki eder. Is oksidasyon hızı lokal sıcaklığın artması ile kısmen artar. EGR'nin neden olduğu alev sıcaklığındaki azalma oksidasyon hızının azalmasına ve is oluşumunun artmasına yol açar. EGR ile silindir giriş sıcaklığı artacağından yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonları azalmaktadır gösterilmiştir. EGR oranı arttıkça NO_x azalır, fakat hava fazlalık katsayısının (HFK) azalmasından dolayı is ve yakıt tüketimi kötüleşmektedir. Dolu havası içindeki oksijen miktarı azaldıkça CO emisyonları artacaktır. Oksijen miktarı çok azalmadıkça EGR yakıt ekonomisini kötüleştirmeyecektir. Aşırı EGR hava yakıt oranını bozacağından PM ve is

emisyolları artar. PM ve İ̇s emisyollarını azaltmak için Dizel partikül filtre ile EGR sisteminin birleştirilmesi yoluna gidilmektedir.

3.4.3. NO_x Emisyolları İçin SCR (Selective Catalytic Reduction)

SCR sistemi, daha çok kamyon, otobüs gibi büyük dizel araçlarda kullanılır. Ticari ismi Ad Blue olarak bilinen ürenin 32,5% sulu zeltisi (DIN 70070 standardına uygun) ile egzoz gazı içinde yer alan NO_x emisyollarının reaksiyona girmesini sağlayan ve bu reaksiyon neticesinde egzoz gazı içersinde yer alan NO_x emisyollarının temiz hava içinde de bulunan nitrojen gazına (N₂) dönüşümünü sağlayan katalitik arındırma teknolojisidir.

SCR sistemi, bu güne kadar yapılmış olan dinamometre ve saha testlerinden verimlilik, performans, ömür ve düşük sistem maliyeti parametreleri ile başarı ile çıkmış NO_x emisyolları arındırma sistem teknolojilerinden biridir ve bu sistemin zararlı NO_x gazlarını azaltma verimi % 80 – 90 arasındadır.

Sistemin Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları

1. SCR teknolojisi, Euro 5 ve ileri düzenlemelere uyması açısından güvenli ve sağlam bir yatırımdır.
2. SCR sistemi nadir bakım gerektirir, araç ömrü boyunca kullanılabilir.
3. SCR teknolojisi, monte edildiği aracın bakım ve yağ değiştirme aralıklarını etkilemez.
4. SCR, yüksek motor gücüne elverişlidir.
5. Euro 4 ve Euro 5'e uyumlu sistemler arasında en az yakıt tketeni SCR dir.

Dezavantajları

1. Göreceli olarak yüksek yatırım creti
2. Adblue depolanması ve taşınması ekstra maliyet ve zorluk getirmektedir.

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Japan	EGR		EGR & DPF				EGR & SCR+DPF				
USA	EGR		EGR & DPF				EGR & adv. NSC				

Şekil 3.12. EGR, SCR ve DPF Teknolojilerinin Geldiği Durum

EURO Standartları

Dizel motorlardan kaynaklanan emisyonlara getirilen standartlar genellikle, 'Euro' standardı olarak temel alınır. EU ülkelerindeki bugünkü emisyon standartları Euro5 kadar ulaşmaktadır ve Euro 6 standardı için düzenlemeler yapılmaktadır.

Standartların yıllara göre değişimi:

Ağır Ticari Taşıtlar	NO_x (g/kWh)	HC (g/kWh)	PM (mg/kWh)
Euro I	9.0	1.23	400
Euro II	7.0	1.1	150
Euro III	5.0	0.66	100/160
Euro IV	3.5	0.46	20/30
Euro V	2.0	0.46	20/30
Euro VI	0.05	0.46	2/3

Hafif Ticari Taşıtlar	PM (mg/km)	NO _x (g/km)	HC (g/km)	HC+NO _x (g/km)
Euro 1	140	-	-	0.97
Euro 2	80/100	-	-	0.7/0.9
Euro 3	50	0.50	-	0.56
Euro 4	25	0.25	-	0.30
Euro 5	2.5	0.08	0.05	-

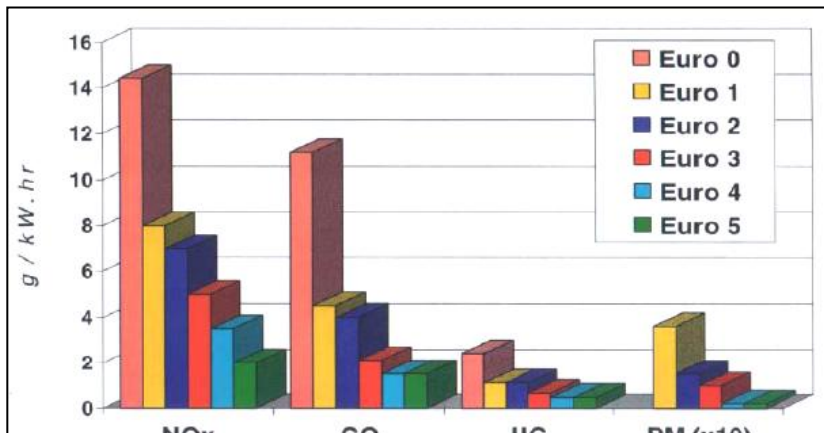
3.5. EGZOZ EMİSYONLARININ EVRİM SÜRECİ

Emisyon sınırları; araç sayısı ve çevresel etkilerinin artması, gelişen teknoloji, küresel ısınmada araçların rolü gibi etkenlerle ve atmosfere CO₂ emisyonlarının azaltılması (KYOTO) gibi hedeflerle, her dört -beş yılda bir gittikçe düşürülerek sıkılaştırılmaktadır.

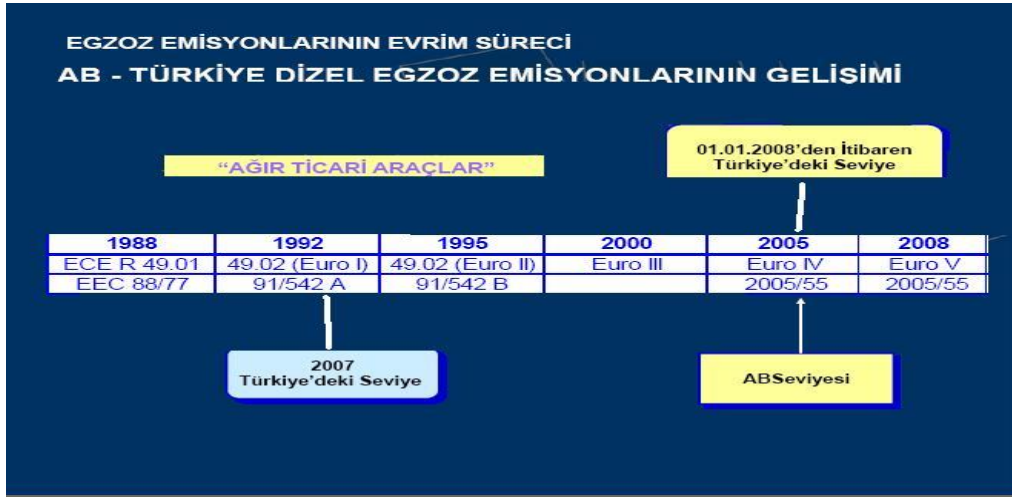
Bazı yerel yönetimler (California, Londra, Milano vb.) “Low Emission Zone” amaçlı veya aşırı kirlilik nedeniyle daha da düşük limitler (EEV) talep edebilmektedir.

Emisyon sınırlarına uyum için motorlar sürekli geliştirilmekte, günümüzde motorlarda son derece kompleks ve pahalı teknolojiler kullanılmaktadır.

Gelecekteki “Sıfır Emisyon” hedefi için, Elektrik veya Hidrojen gibi alternatif enerjiler kullanan “Hibrid” motorların geliştirme süreci başlamıştır.



Grafik 3.4. AB Dizel Egzoz Emisyonları Euro 0 (1990) - Euro 5 (2009)



Şekil 3.12. AB-TÜRKİYE Dizel Egzoz Emisyonlarının Gelişimi

BÖLÜM 4

4.1. SONUÇ

Yapılan çalışmanın sonucu olarak dizel taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar NO_x, PM, HC ve CO olduğu belirlenmiştir.

Bu emisyonların insan sağlığına etkisinden ve uyulması gereken standartlardan dolayı emisyonlar ölçülüp, giderim yöntemlerine başvurulmaktadır. Bu standartlara uygun şekilde kontrol altına almak için emisyon giderim yöntemlerinden EGR, SCR ve DPF en yaygın ve etken olarak kullanıldığı görülmüştür.

Çalışmamız boyunca PM emisyonlarına önem verilmiştir. Çünkü PM boyut ve sayısının insan sağlığına olan etkisi oldukça fazladır.

Bütün bu araştırmalar sonucunda dizel motorlar ve emisyon kaynaklarının incelenmesi neticesinde Adapazarı ulaştırma kaynaklı emisyonların envanterlenmesi için Adapazarı trafik karakterizasyonu çıkarılarak yakıt tüketimine bağlı emisyon miktarları hesaplanacaktır.

4.2. KAYNAKÇALAR

[1] “www.GRIMM-aerosol.com“

[2] “Dizel motorlarda yanma süreci boyunca NOx oluşumu ve yanmış ürünlerin denge konsantrasyonlarının modellenmesi” İTÜ kütüphanesi

[3] “Dizel motorlarda partikül filtrasyonu” İTÜ kütüphanesi

[4] “Dizel motorlarında yakıt sisteminin yanma olayına ve egzoz gazları emisyonlarına etkisinin araştırılması” İTÜ kütüphanesi

[5] “ Dizel motorlarda yanma odasının yalıtımı emisyon parametrelerine etkileri” Latif Besen, Sakarya Üniversitesi 1998

[6] “Worldwide Evolution of Diesel Emmissions Standards” , Micheal P. Walsh International Consultant, 3rd Aaqius & Aaqius Paris Forum September 28, 2004

[7] “More Torque, Less Emissions and Less Noise”, Russell, M.F., Greeves G. And Guerrassi, N. SAE paper, No: 2000-01-0942,2000.

[8] “İçten Yanmalı motorlarda egzoz sistemlerinin teorik olarak incelenmesi” İTÜ kütüphanesi

[9] “Egzoz emisyonlarının dünyadaki evrimi günümüzün dizel motor teknolojileri ve askeri araçlardaki etkileri” Sertaç AKTAŞ Haziran 2008, Ankara

[10] “David B. Kittelson Center for Diesel Research University of Minnesota presented at University of California, Davis 17 February 2000”