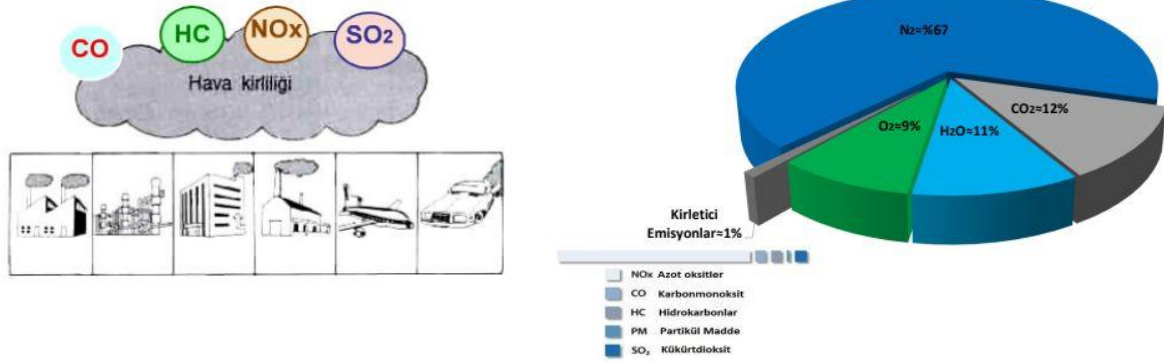


OTOMOTİV LABORATUVARI

EMİSYON DENEYİ

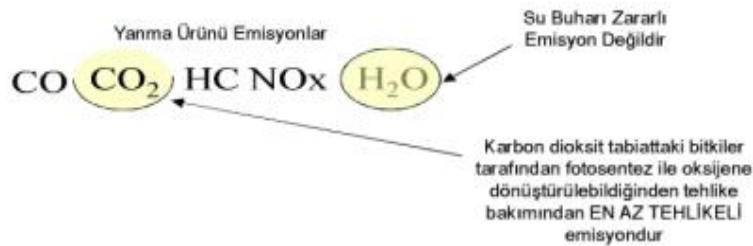
1.Giriş

Fosil yakıtların içten yanmalı motorlar için yakılması, istenmeyen, zararlı gazların (egzoz emisyonları) çevreye salınmasına yol açmıştır. Bu zararlı gazlar, insan sağlığının bozulmasına ve diğer canlıların zarar görmesine neden olan hava kirliliğinin ana nedenlerinden biridir. Egzoz emisyonlarının salınmasında toplu taşıma araçları, yük taşımacılığı ve iş makineleri sektörünün payının çok yüksek olduğu bilinmektedir. Bu sektörlerdeki araçların büyük çoğunluğunda dizel motorlar kullanılmıştır. Dizel motorların kullanım koşullarına bağlı olarak egzoz gazı bileşenleri %67 N₂, %12 CO₂, %11 H₂O ve %9 O₂ gibi zararsız emisyonların yanı sıra %1'den daha az zararlı emisyonlardan oluşmaktadır. İçten yanmalı motorlardan çıkan zararlı gazların çoğu karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC), nitrojen oksitler (NO_x) ve partikül madde (PM) emisyonlarıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Zararlı gazlar

1.1 Benzinli ve Alternatif Yakıtlı Motorların Emisyonları



Şekil 2. Benzinli yakıtlı motorların emisyonları

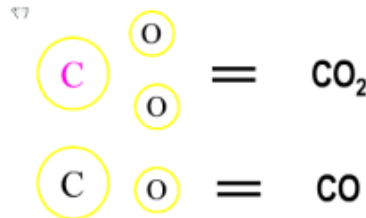
Benzin motoruna hidrojen takviyesi ile yanmamış hidrokarbon emisyonları azaltılarak ısı verimi iyileştirilir. Hidrojen takviyesi yapılan Otto motorlarında küçük bir ön yanma odası mevcuttur. Yanma odası bujinin yerine yerleştirilmiştir. Bu ön yanma odası içinde hidrojen enjektörü ile buji vardır. Esas yakıt ise (benzin, metanol, propan vs.) emme portlarındaki enjektörlerden püskürtülerek silindirlere gönderilir. Hidrojen takviyesi ile esas yanma odası içinde yakılan hidrokarbon esaslı yakıtların çok fakir karışım oranlarında düzgün bir şekilde yakılması sağlanır. Böylece ısı verim arttırılarak, azotoksit emisyonları önemli derecede azaltılır. Hidrojenin hava ile yanmasının sonucu da, yakıtta karbon bulunmaması nedeni ile yanma ürünleri arasında CO, CO₂, HC'ler mevcut olmayacak, sadece motorun yağlama yağının yanması nedeni ile oluşan HC'ler egzoz gazları arasında bulunacaktır. Ayrıca yüksek yanma sıcaklıkları nedeniyle havanın kimyasal reaksiyonu sonucu azot oksitler oluşacaktır. Hidrojenin yanma ürünü su buharıdır ve sınırlı maksimum sıcaklıklardaki NOx emisyonları ihmal edilebilir. Nitekim hidrojenle çalışan bir içten yanmalı motor, günümüz taşıt motorlarından çok daha az NOx emisyonuna neden olmaktadır (Şekil 2).

Karbon monoksit (CO)

Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijen ile yakıtın buluşmamasıdır. CO (Karbon monoksit) motorun silindirlerindeki kötü yanma sonucunda, silindire alınan yakıtın bir kısmının, silindir içerisinde yanarken yetersiz oksijenden dolayı tam yanmaması ve yakıt molekülünün 2 yerine 1 oksijen ile birleşmesi ile ortaya çıkan zehirli gazdır. Karbon monoksitin oksijen taşıma kapasitesini azaltması sonucunda kandaki oksijen yetersizliği nedeniyle kan damarlarının çeperleri, beyin kalp gibi hassas organ ve dokularda fonksiyon bozuklukları meydana gelir.

Karbon dioksit (CO₂)

CO₂ (Karbon dioksit) yanma sonucunda çıkan emisyonlar içerisinde en az zararı bulunan gazdır. Karbon dioksitler tabiatta bitkiler tarafından fotosentez edilerek oksijene dönüştürülmektedir (Şekil 3).



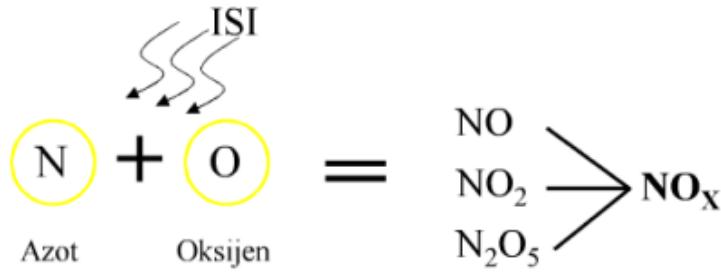
Şekil 3. CO₂ dönüşümü

Hidrokarbon (HC)

Yakıtın tam yanmaması ve benzinin (yakıt deposundan veya dolum sırasında) buharlaşması neticesinde ortaya çıkar. Motorun silindirlerindeki kötü yanma sonucunda silindire alınan yakıtın bir kısmının ateşleme zamanında yanmadan kalması ve egzozdan benzin buharı olarak atılmasıdır. Hidrokarbonlar, azot oksit ve güneş ışığı etkisi ile ozon meydana getirir.

Diğer gazlar

Tam yanmanın oluşmadığı durumlarda egzoz emisyon değerleri arasında diğer gazlarda görülmektedir. Bunlar ortaya çıkış sebeplerine göre aşağıdaki gibidir. Ayrıca benzinli motorlarda yanma ürünü olarak Azot (N) ve su buharı (H₂O) gibi maddelerde emisyon değerleri arasında yerlerini almaktadır. Azot yüksek sıcaklıklarda oksijenle birleşerek zararlı emisyon niteliği kazanmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Yüksek ısılarda oluşan NO_x'ler

1.2. Dizel Yakıtlı Motorların Emisyonları

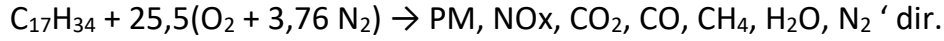
Toplu taşımacılıkta ve ağır yük taşıtlarında genellikle dizel motorları kullanılmaktadır. Bu sebeple dizel motorlarından kaynaklanan emisyonların azaltılması önem kazanmaktadır. Dizel motorlardaki kirleticilerin önemli olanları altı grupta toplanabilir.

Bunlar;

- Karbon oksitler,
- Azot oksitler,
- Kükürtlü bileşenler,
- Hidrokarbonlar,
- Aldehitler,
- Partiküller'dir.

- Yakıt ile havanın karışarak tam yanması sonucunda yanma ürünleri oluşur. Bunlar CO₂, H₂O ve N₂'dir. Eğer yakıt çevrim sonucu tam olarak yanmamış ise bu bileşenlere ek olarak CO, HC, NO_x, PM gibi ürünler de oluşur.

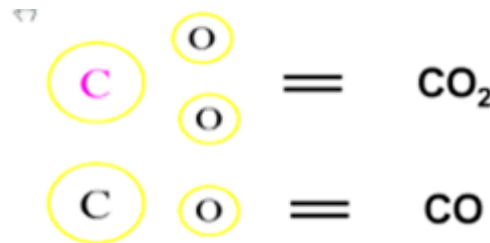
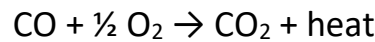
Motorin-hava karışımının yanma denklemi;



Dizel motorlarda PM ve NO_x emisyonlarının yüksek düzeyde, CO ve HC emisyonlarının ise daha az olduğu görülmektedir. Çünkü dizel motorlarda hava fazlalık katsayısı, benzinli motorlara göre daha yüksektir.

Karbon Monoksitler

Zehirli, renksiz ve kokusuz bir gaz olan karbon monoksit emisyonu eksik bir yanma ürünüdür. Oluşumunun nedenleri, oksijen eksikliği, düşük sıcaklık ve yanma işlemi sırasında reaksiyon için yeterli zamanın olmamasıdır. Bu nedenle, tüm karbon karbondioksite dönüştürülemez. Dizel motorlar yüksek hava fazlalık katsayısı değerlerinde çalıştıkları için benzinli motorlara göre çok daha düşük CO emisyonları salmaktadırlar. CO sadece istenmeyen emisyon değil, aynı zamanda motor tarafından tam olarak faydalı işe dönüştürülemeyen kimyasal enerjidir. Aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi CO, ek termal enerji üretmek için yakılabilen bir yakıttır.

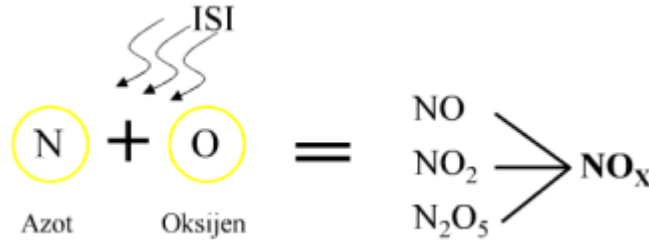


Şekil 5. Karbon monoksitler

Dizel motorlarında genellikle fakir karışım oranları ile çalışıldığından CO emisyonu düşük olmaktadır. Karbon monoksitin oksijen taşıma kapasitesini azaltması sonucunda kandaki oksijen yetersizliği nedeniyle kan damarlarının çeperleri, beyin kalp gibi hassas organ ve dokularda fonksiyon bozuklukları meydana gelir.

Azot Oksitler

Nitrojen Oksitleri (NO_x) emisyonları, dizel motorların en problemlili ve kirletici emisyon türlerinden biridir. NO_x, yanma işlemi sırasında nitrojen ve oksijen kombinasyonlarından oluşan zehirli bir gaz karışımı olan nitrojen oksitler için genel bir kavram olarak kullanılır. Genel olarak NO_x, nitrik oksit (NO), nitrojen dioksit (NO₂), nitröz oksit (N₂O), dinitrojen pentoksit (N₂O₅) vb. içerir, temel olarak NO ve NO₂'yi temsil eder. Dizel motor egzoz gazındaki NO_x emisyonları %95 NO ve %5 NO₂'den oluşmaktadır. Genelde stokiometrik orana yakın hava-yakıt karışımlarında yanma sırasında NO oluşur. NO oluşumunu arttıran parametreler gaz sıcaklığı ve oksijen konsantrasyonudur. İçten yanmalı motorlarda yanma odasındaki sıcaklık 1800 K'nin üzerine çıktığında, havanın içerisindeki azot ve oksijen kimyasal olarak birleşerek azot oksit denilen, insan sağlığına ve çevreye zararlı bir gaz hâline dönüşür (Şekil 6).



Şekil 6. 1800K üzerinde oluşan NO_x emisyonları

Hidrokarbonlar

HC emisyonları, yakıtın yetersiz yanmasından kaynaklanan eksik yanma ürünleridir. HC oluşumunun ana nedeni, silindir içi sıcaklıkların yetersiz olması veya oksijen eksikliği nedeniyle yanmanın tam olarak gerçekleşmemesidir. HC emisyonları, alkenler, alkanlar ve aromatikler gibi çok sayıda türden oluşur.

Dizel motorlar tamamen fakir karışımla çalışmaları için benzinli motorlara göre daha az HC emisyonu yayarlar. Dizel yakıttaki bileşenlerin büyük molar ağırlıklarından dolayı dizel yakıtın kaynama ve yoğunlaşma sıcaklıkları da yüksektir. Bu durum yanma sırasında oluşan katı karbon kurum yüzeyinde bazı HC partiküllerinin yoğunlaşmasını kolaylaştırır. Bunların çoğu karışım ve yakma işlemi devam ederken yakılır. Bu karbon kurumunun sadece küçük bir kısmı egzoz yoluyla silindirden dışarı atılır. Karbon parçacığının yüzeyindeki yoğunlaşmış HC bileşenleri motorda HC emisyonlarına neden olur.

Bir dizel motor genellikle yaklaşık %98'lik bir yanma verimliliğine sahiptir ve egzozda emisyon olarak yalnızca yaklaşık %2 oranında HC yakıtı bulunur. Silindirde yanmanın istenildiği gibi olmayacağı çok zayıf karıştırma alanları olacak ve ayrıca bazı noktalarda tüm karışımı yakacak oksijenin olmadığı çok zengin karıştırma alanları olacaktır.

Heterojen karışım, eksik yanmanın nedeni olabilir. Dizel motorlarda, çok zenginden çok fakire doğru karışım bölgeleri büyük ölçüde değişir ve aynı zamanda birkaç alev cephesi oluşur. Yetersiz karışım sonucu zengin karışım bölgelerindeki bazı yakıt partikülleri reaksiyona girecek oksijeni bulamamaktadır. Zayıf karışım alanlarında yanma sınırlı olduğu için bir miktar yakıt yanmadan kalabilir. Aşırı karışım durumunda bazı yakıt partikülleri yanmış gaza karıştığı için tamamen yanmaz.

Böylece dizel motorlarda HC emisyonları oluşur. Dizel motorlarda yakıt özellikleri, enjektörler, aralık hacmi, yağ filmi emilimi ve duvar birikintisi emilimi hidrokarbon emisyonlarını etkileyen faktörlerdir.

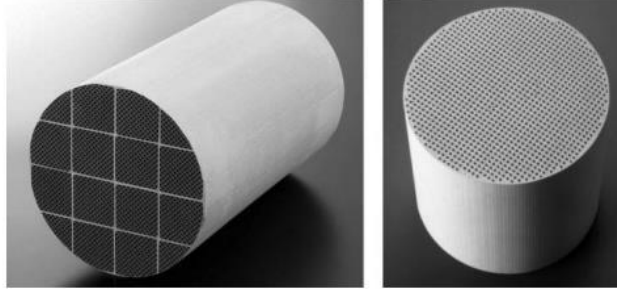
İnsan sağlığı ve çevre açısından zararları;

- Bazı hidrokarbonlar mukozada tahrişe yol açar, bazıları ise kansorejendir (katran zift gibi).
- Hidrokarbonlar, azot oksit ve güneş ışığı etkisi ile ozon meydana getirir.

Partiküller

Günümüzde başlıca zararlı dizel emisyonlarından olan PM ve NOx'in azaltılması için çalışmalar yoğunlaşmıştır. Dizel egzoz partikülleri, toplanmış katı karbonlu malzeme, kül, uçucu organik ve kükürt bileşiklerinden oluşur. Partikül madde (PM) emisyonları, dizel motorlar için en sorunlu ve kirletici emisyon türüdür. Dizel motorların egzoz gazlarında, yanma sırasında silindir içindeki yakıtça zengin bölgelerde katı karbon kurum parçacıkları oluşur. Oksijen eksikliğinin olduğu yakıt açısından zengin bölgelerde, karbonun tamamı CO₂'ye dönüştürülemediği için silindirde kurum parçacıkları oluşur. Daha sonra silindir içindeki bileşenleri karıştıracak olan türbülans ve kütle hareketleri sonucunda yeterli oksijen ile reaksiyona giren bu karbon parçacıklarının %90'dan fazlası silindir içinde CO₂'ye dönüşür. PM emisyonları akciğer kanseri, astım, bronşit, kalp ve damar hastalıkları gibi sağlık tehlikelerine neden olur ve ayrıca su, toprak ve hava kirliliğine neden olur.

Dizel partikül filtreleri (DPF)PM'nin azaltılmasında teknik olarak en uygun çözümlerden biridir. Dizel partikül filtresi egzoz gazlarının sistem boyunca geçişine izin verirken katı ve sıvı partikül madde emisyonlarını biriktirmek için tasarlanıp egzozu yerleştirilmektedir. Genellikle bir yanma sonrası PM kontrol sistemi dizel egzozundaki PM veya isi tutabilen gözenekli metal veya seramik bir filtreden oluşur. Filtreden düşük bir basınç azalması ve yüksek is tutma kapasitesine sahip olması istenir. Günümüzde ticarileşmiş dizel partikül filtreleri silikon karpit, kordierit veya metalden yapılmaktadır (Şekil 7 , Şekil 8)



Şekil 7. Silikon karpit (solda) ve kordierit (sağda) DPF'leri



Şekil 8. Sinterlenmiş metal DPF

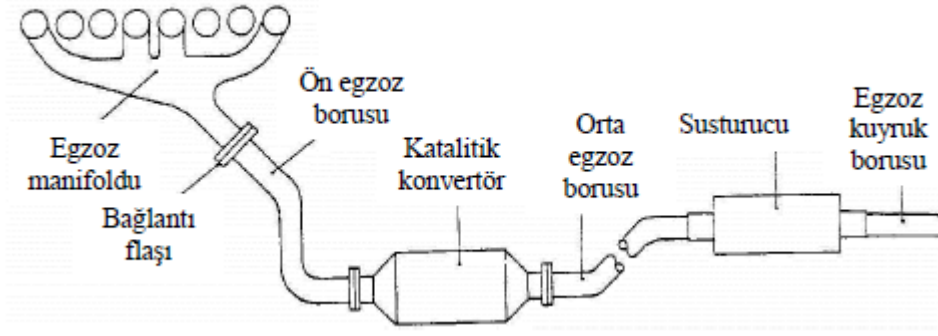
2.Motorlu Araçlarda Emisyonları Azaltıcı Sistemler

Günümüzde atık gaz miktarını ya da atık gaz bileşenlerini azaltmak için tek tek araç teknolojilerini geliştirmek yeterli olmamaktadır. Tam aksine araç bütün olarak ele alınmalı ve bütün araç bileşenleri birbirleri ile uyum içerisinde çalışmalıdır. Buna rağmen atık gazın azaltılması üç önemli faktörle öne çıkmaktadır:

- Atık gazın azaltılması için yakıt tüketiminin düşürülmesi
- Atık gazların temizlenmesi
- Fonksiyonların kontrolü

Uygulanan sistemler ise şu şekilde sıralanabilir:

- Katalitik konvertör ve lamda sensörü (sondası)
- Dizel Oksidasyon Katalizörü (DOC)
- Dizel Partikül Filtresi (DPF)
- Egzoz Gazı Geriçevrimi (EGR)
- Seçici katalitik indirgeme (SCR)



Şekil 9. Katalitik konvertörlü egzoz sistemi

Atık gazların temizlenmesi günümüzde ayarlı katalizörlerle yapılmaktadır. Şekil 9’de katalitik konvertörlü bir egzoz sistemi görülmektedir. Katalitik temizliğin ayarlanması, lamda sondası ve motor kontrol ünitesi ile gerçekleştirilmektedir. Atık gazdaki oksijen miktarı lamda sondası tarafından motor kontrol ünitesine bildirilir ve motor kontrol ünitesi yakıt-hava karışımını uygun oranda ayarlar.

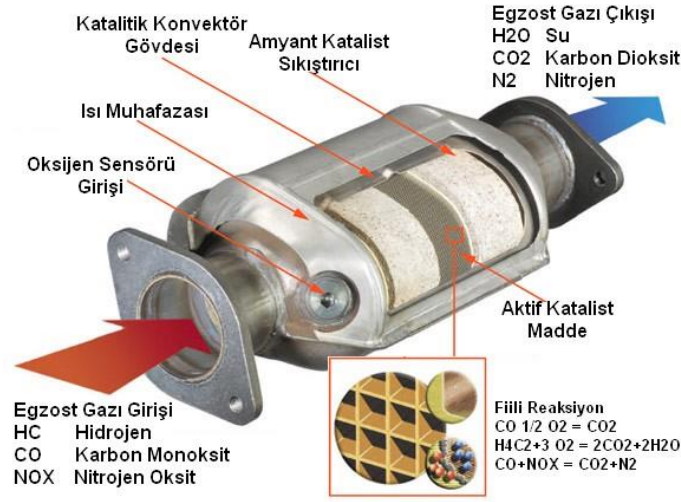
Katalitik Konvertörler

Motorda yanan hava yakıt karışımı, karbondioksit (CO_2), suya (H_2O), karbonmonoksit (CO), azot okside (NO_x), ve hidrokarbona (HC) dönüşür.

Bunlar içerisinde CO , NO_x , HC doğa ve insan sağlığı için zararlı gazlardır. İşte bu zararlı gazları zararsız hâle dönüştürmek için katalitik konvertör (katalizör-katalist) kullanılır.

Yapısı ve Kısımları

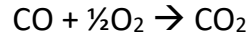
Bir katalizör sistemi üç tabakadan oluşmuştur. En altta katalizörün şeklini veren taşıyıcı matris, bunun üzerinde gözenekli ligi sağlayan ve özgül dış yüzeyi çok büyük olan ($25 \text{ m}^2/\text{g}$) ara tabakası ve en üstte mikron mertebesinde çok ince soy metal tabakası (platin, paladyum, rhodium vb.) bulunur. HC , CO ve NO_x molekülleri taşıyıcı matrisin kanallarından geçerken ara tabaka gözeneklerinde tutulmakta ve soy metal tabakası yüzeyinde bilinen oksidasyon ve redüksiyonları ile dönüştürülerek arıtılmaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. Katalizör iç yapısı

Üç Yönlü Katalitik Konvertör

Monolitik katalizörler diye de adlandırılan bu konvertörlere üç fonksiyonlu denmesinin nedeni aşağıda temel reaksiyonları verilen üç emisyon kaynağını katalitik olarak oksitleme ve indirgeme reaksiyonlarıyla gidermesidir.



Günümüzde yaygın bir kullanım alanı bulan bu katalitik konvertörlerin diğer sistemlere göre bazı üstünlükleri ve tercih nedenleri aşağıda sıralanmıştır:

- Katalizörde basınç düşüşünün oldukça az olduğundan motor performansını etkilememesi
- Ucuz olması
- Uzun ömürlü olması (80000-120000 km) Teknik olarak katalitik konvertörün ömrü sonsuzdur ancak kullanım şartları bunu sınırlandırmaktadır.
- Montajının kolay olması
- Kirletici gazları %90-99 verimlilikle gidermesi
- Termal ve mekanik şoklara karşı dayanıklı olması
- Geniş dış yüzeye sahip olması
- Uniform akış sağlaması
- Radyal yönde düşük ısı akışına sahip olması (adyabatik)

Üç yönlü katalitik konvertörün amacı hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO) ve azot oksit (NO_x) gibi istenmeyen kirli gazları kimyasal reaksiyonlar ile değiştirerek egzoz borusundan karbondioksit (CO₂), azot (N₂) ve su buharı (H₂O) olarak dışarı atmaktadır.

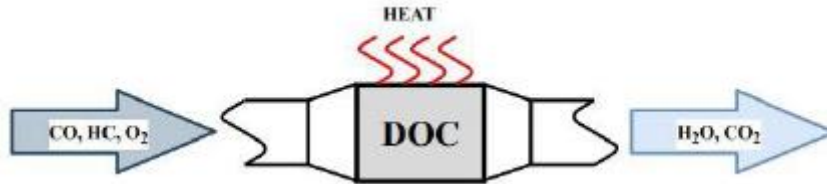
Bu olay, karbonmonoksit ve hidrokarbonların oksidasyonu ile gerçekleşir yani karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) molekülleri, karbondioksit (CO₂) ve su buharı (H₂O) oluşturmak için tekrar düzenlenir. Hâlbuki nitrojen oksitler (NO_x), karbonmonoksit (CO) ve nitrojene (N₂) dönüştürülerek azaltılır. Yanmadan sonra egzoz sistemindeki kimyasal reaksiyonlar çok uzun zaman alır ve tamamlanmamış bir şekilde egzoz borusuna geçer.

2.1.Dizel Motorlar İçin Emisyon Kontrol Teknikleri

Emisyonları azaltmak için geliştirilen en önemli sistemler, partikül madde emisyonlarını gidermek için kullanılan Dizel Partikül Filtreleme (DPF), CO ve HC emisyonlarını azaltmak için kullanılan Dizel Oksidasyon Katalizörü (DOC),Seçici Katalitik İndirgemesi (SCR) ise NO_x emisyonlarını en aza indirmek için kullanılır.

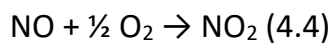
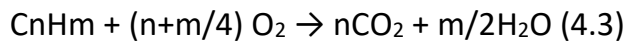
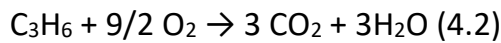
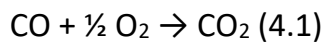
Dizel Oksidasyon Katalizörü (DOC)

Egzozdan çevreye salınan CO ve HC gibi zararlı gazları bir katalizör yardımıyla reaksiyona sokarak zararsız gazlar yapan sistemdir. Gazların akış yönü genellikle uzunlamasınaadır. Katalitik özelliğe metalik veya seramik petek yapı üzerine paladyum veya platin kaplama eklenir. Böylece CO ve HC gazları su ve karbondioksite dönüşür. Ancak NO_x'i azaltmaz ve NO_x üzerindeki etkisi NO ve NO₂'nin orantılı olarak eşit olmasını sağlar. Bu, SCR sisteminin daha verimli çalışması anlamına gelir. PM emisyonlarını düşük bir orana indirme etkisine sahiptir. Şekil 11 şematik olarak DOC sistemini göstermektedir.



Şekil 11. DOC Sistem

DOC sistemindeki reaksiyonlar;

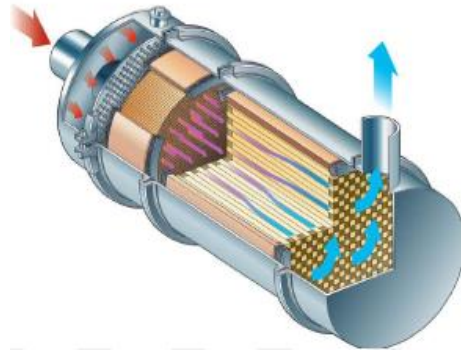


CO₂ ve H₂O, 4.1 ile 4.3 arasındaki denklemlerde CO ve HC emisyonlarının oksidasyonu sonucu elde edilir. Hidrokarbonlar alkanlar, alkenler ve aromatikler gibi binlerce farklı türden oluşmasına rağmen genellikle C₃H₆ (propilen) formundadır. Denklem 4.4'te

gösterildiği gibi, NO emisyonu NO₂ formuna dönüştürülür. NO_x içindeki NO₂ konsantrasyonu, DOC sisteminden sonra SCR sistemi için büyük önem taşımaktadır. NO_x içeriğindeki NO₂ konsantrasyonunun yüksek olması SCR sisteminin verimini artırır.

Dizel Partikül Filtresi (DPF)

DPF sistemi dizel motorlu araçlarda 2000 yılından beri kullanılmaktadır. Dizel motorlarda PM emisyonları tam yanmadan kaynaklanan bir emisyon türüdür. Dizel partikül filtresi, egzoz gazlarının emisyon kontrol sisteminden geçmesine izin verirken katı ve sıvı partikül madde egzoz emisyonlarını önleyecek şekilde tasarlanmıştır ve motor sonrası egzoz sistemine takılır. Ticari olarak kullanılan dizel partikül filtresi üretiminde silisyum karbür (SiC), kordiyerit (2MgO-2Al₂O₃-5SiO₂) veya metal yapı kullanılmaktadır. Bu yapılar genellikle kare geometri görünümünde çok sayıda gözenekli ve paralel kanallardan oluşur. Kanal duvar kalınlığı yaklaşık 300 ila 400 µm'dir. Gözenek sayısı 100-300 cpsi (inç kare başına gözenek sayısı) arasında değişir. Dizel partikül filtresine genel bakış, Şekil 12'de görülmektedir.



Şekil 12. Dizel Partikül Filtresi (DPF)

Egzoz Gazı Resirkülasyon (EGR)

Azot yanmayan, renksiz ve kokusuz bir gazdır. Soluduğumuz havanın temel bileşenleri olup (%78 azot, %21 oksijen, %1 diğer gazlar) emme havası ile silindire girer ve yanmaya katılmaz. Emilen azotun büyük bir kısmı atık gazlarla birlikte dışarı atılır ancak yüksek sıcaklık ve basınçta, oksijen(O₂) ile birleşerek azot oksitleri (NO_x) meydana getirir.

Azot oksitler yüksek basınç, yüksek sıcaklık ve yanma sırasında fazla oksijen gelmesi ile oluşur. Bazı azot oksitler sağlığa zararlıdır. Yakıt tüketiminin düşürülmesine yönelik önlemler atık gazdaki azot oksit konsantrasyonlarının artmasına sebep olmuştur.

Egzoz gazı geri çevrimi (EGR), egzoz gazının bir kısmını tekrar silindirlere vererek yanma sonucunda oluşan ısıyı düşürmeyi, bu şekilde çevre açısından zararlı azot oksit

gazlarını (NOx) kontrol altında tutmayı hedefleyen sistemdir. Günümüz benzinli ve dizel motorlarında yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Azot oksitlerin oluşmasını önlemek için egzoz gazları bir boru ile egzoz manifoldundan geçirilerek emme kanalına yönlendirilir. Bu taze hava ve egzoz gazı karışımı, kapalı çevrim yakıt sistemine göre modül tarafından bir miktar yakıt ile karıştırılır. Bu durumda ise (egzoz gazındaki su buharı dâhil) yanma sıcaklığını düşürür ve üç yollu katalitik konvertörde dönüşüme uğrayacak egzoz emisyonlarındaki azot oksit miktarında %30 azalma sağlamış olur.

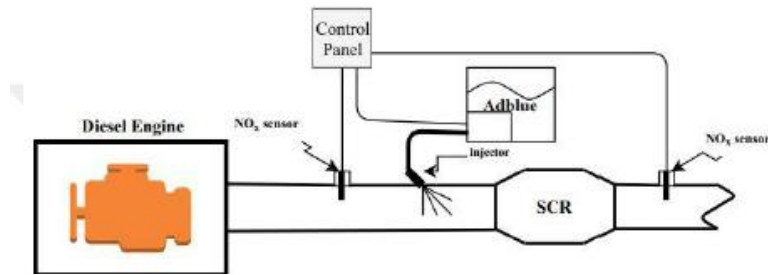
EGR Sisteminin Görevleri şunlardır;

- EGR sistemi motora giren taze havanın düşük miktarda yanmış egzoz gazı ile karışmasını sağlayarak motorun yanma odasında yanma sıcaklığını ve fazla oksijen miktarını azaltır. EGR, nitrojen oksitlerin meydana geldiği yüksek yanma ısılarını düşürerek NOx emisyonunun azaltılması görevini üstlenmiştir.
- Modern motorlarda EGR hem motorun emme gücünü azaltmak için hem de atık gazın belirli sürüş durumlarında yanmaya olan pozitif etkisini kullanmak için tasarlanmıştır.

Seçici Katalitik İndirgeme (SCR)

Hem katalizörlerin hem de indirgeyicilerin varlığında seçici katalitik indirgeme yöntemi, egzoz gazından salınan NOx'in indirgenmesinde aktif rol alan en yaygın sistemdir. Bu emisyon kontrol teknolojisi, özellikle ağır vasıtalar için geliştirilmiş bir sistemdir. Hafif ticari araçların egzoz sıcaklıklarının düşük olması nedeniyle bu tür araçlarda kullanım oranı ağır ticari araçlara göre daha azdır.

SCR egzoz iyileştirme sistemi, dizel emisyonlarından kaynaklanan NOx emisyon gazlarının H₂O ve N₂'ye dönüştürülmesini mümkün kılar. Bu sistemin gerçekleştirdiği dönüşümler, yapısındaki katalizör ve indirgeyici yardımıyla gerçekleşir. Literatürde birçok araştırmacı, sistemin katalizör ve indirgeyici yapılarını modifiye ederek bu sistemi iyileştirmeyi amaçlamaktadır (Şekil 13).



Şekil 13. SCR sisteminin görünümü

Hava Fazlalık Katsayısı

Yanma esnasında kullanılan gerçek hava miktarının yakıtın yanması için gerekli stokiometrik (teorik) hava miktarına olan oranı hava fazlalık katsayısı olarak tanımlanır.

$$\lambda = \frac{H_{\text{ger}}}{H_{\text{min}}} = \frac{\text{Silindire Giren Gerçek Hava Miktarı}}{\text{Silindire Girmesi Gerekli Minimum Hava Miktarı}}$$

$H_{\text{ger}} < H_{\text{min}}$ $\lambda < 1$ (Yakıtça zengin karışım; hava az, yakıt fazla)

$H_{\text{ger}} = H_{\text{min}}$ $\lambda = 1$ (Stokiometrik karışım; Normal karışım)

$H_{\text{ger}} > H_{\text{min}}$ $\lambda > 1$ (Yakıtça fakir karışım; hava fazla yakıt az)

