

**SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ  
BÖLÜMÜ**

**TAŞIT EMİSYONLARI DERSİ**

**EMİSYON KONTROLÜNDE GELİŞMELER  
VE  
DİZEL MOTORLARDA  
EMİSYON KONTROL YÖNTEMLERİ**

SAKARYA

2011

# AMAÇ

- Emisyon kontrolünde gelişmeler ve
- Dizel motorlarda (SAM) oluşan emisyonların kontrol yöntemlerinin açıklanması

# Euro standartları

- Birçok ülkede dizel yakıtlı ticari araçlar için emisyon standartları genellikle, 'Euro' standardı olarak temel alınır. EU ülkelerindeki bugünkü emisyon standartları Euro 5 kadar ulaşmaktadır.

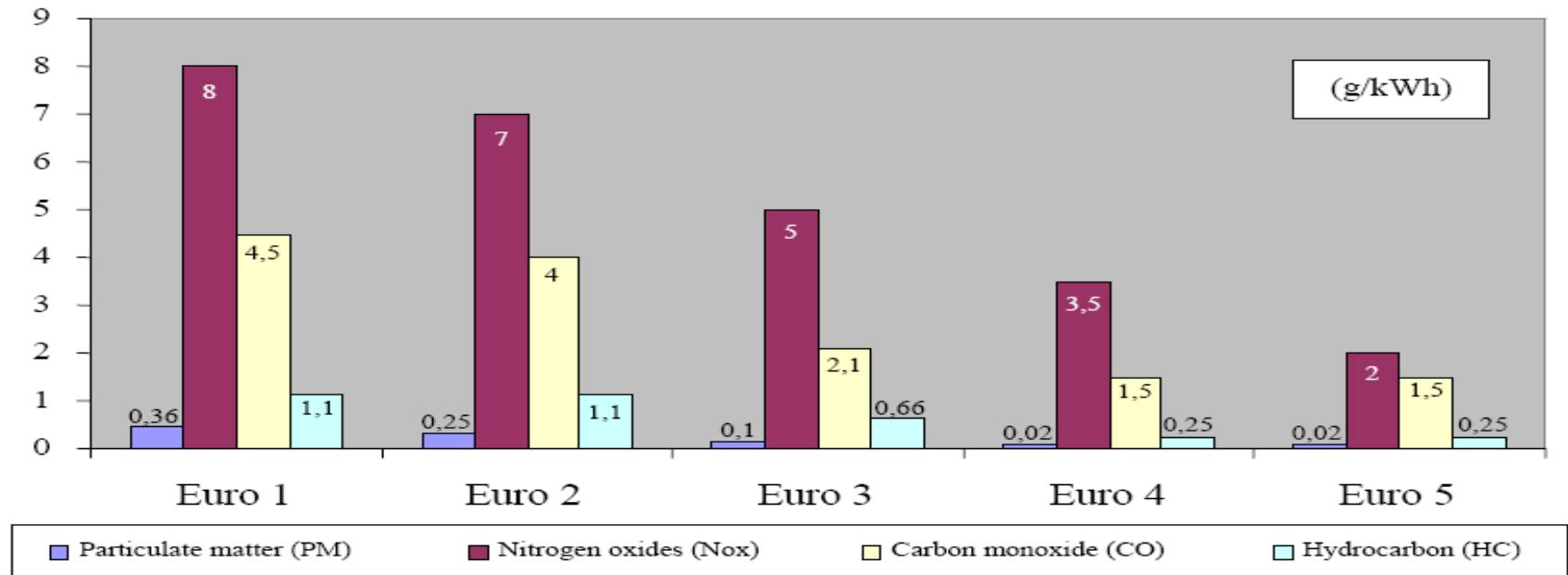


Figure 1: Past, current and future emission legislation in EU countries [1] [7]

# Otomobiller için Euro standartları

Otomobiller	CO(g/km)		HC(g/km)		NOx (g/km)		PM(g/km)	
	Dizel	Benzinli	Dizel	Benzinli	Dizel	Benzinli	Dizel	Benzinli
Euro 1	2.72	2.72	-	-	-	-	0.14	-
Euro 2	1	2.2	-	-	-	-	0.08	-
Euro 3	0.64	2.3	-	0.2	0.5	0.15	0.05	-
Euro 4	0.5	1	-	0.1	0.2	0.08	0.025	-
Euro 5	0.5	1	-	0.1	0.18	0.06	0.005	0.005
Euro 6	0.5	1	-	0.1	0.08	0.06	0.005	0.005

# Ağır ticari taşıtlar için Euro standartları

REGULATION (EC) No 715/2007 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL  
of 20 June 2007

	Tarih	Test evrimi	CO	HC	NOx	PM
Euro 1	1992, <85kw	ECE R-49	4,5	1,1	8,0	0,612
	1992, >85kw		4,5	1,1	8,0	0,36
Euro 2	Ekim 1996		4,0	1,1	7,0	0,25
	Ekim 1998		4,0	1,1	7,0	0,15
Euro 3	Ekim 1999	ESC&ELR&ETC	1,0	0,25	2,0	0,02
	Ekim 2000	ESC&ELR&ETC	2,1	0,66	5,0	0,10 0,13
Euro 4	Ekim 2005		1,5	0,46	3,5	0,02
Euro 5	Ekim 2008		1,5	0,46	2,0	0,02
Euro 6	Ocak 2013		1,5	0,13	0,5	0,01

# Hafif ticari taşıtlar için Euro emisyon standartları

REGULATION (EC) No 715/2007 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL  
of 20 June 2007

1305 kg – 1760 kg g/km

Tier	Date	CO	THC	NMHC	NO <sub>x</sub>	HC+NO <sub>x</sub>	PM
<b>Diesel</b>							
Euro 1	October 1994	5.17	-	-	-	1.4	0.19
Euro 2	January 1998	1.25	-	-	-	1.0	0.12
Euro 3	January 2001	0.80	-	-	0.65	0.72	0.07
Euro 4	January 2006	0.63	-	-	0.33	0.39	0.04
Euro 5	September 2010	0.630	-	-	0.235	0.295	0.005
Euro 6 (future)	September 2015	0.630	-	-	0.105	0.195	0.005
<b>Petrol (Gasoline)</b>							
Euro 1	October 1994	5.17	-	-	-	1.4	-
Euro 2	January 1998	4.0	-	-	-	0.6	-
Euro 3	January 2001	4.17	0.25	-	0.18	-	-
Euro 4	January 2006	1.81	0.13	-	0.10	-	-
Euro 5	September 2010	1.810	0.130	0.090	0.075	-	0.005*
Euro 6 (future)	September 2015	1.810	0.130	0.090	0.075	-	0.005*

# Dizel Egzoz Emisyonlarının Türkiye'deki Gelişimi

- 1993:“Otomotiv Sanayi Çevre Deklarasyonu”
- 1995: “Otomobiller Euro 93 Standardına artan yüzdelerle uygun hale getirilmeye başlandı”
- 1996:“AB Gümrük Birliği Anlaşması” ile AB tip onayı mevzuatı çalışmaları başlatıldı. Üretilen taşıtların AB normlarına 5yıl içinde uygun hale getirileceği bildirildi.
- 1996:Ticari Araçlar Emisyon (ECE R24) Uyum Programı yayınlandı
- 2001:Tüm dizel araçlarda EURO 1 seviyesi başladı
- 2008:Yeni Tip Onayında EURO 4 seviyesi başladı mevcut araçlarda ise 1.1.2009 'da başladı.

# AB -Türkiye dizel egzoz emisyonlarının gelişimi

“AĞIR TİCARİ ARAÇLAR”

01.01.2008'den itibaren  
Türkiye'deki Seviye

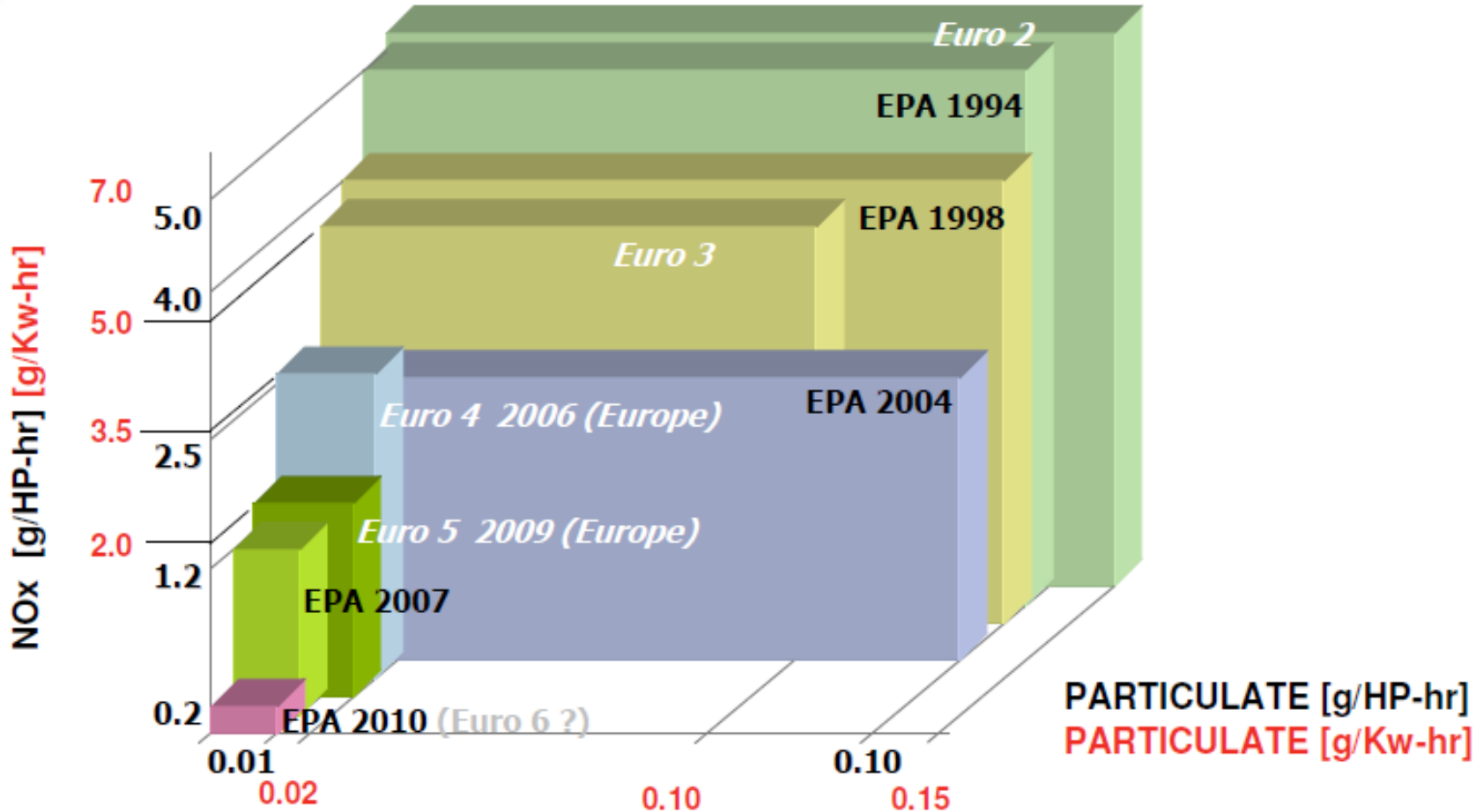
1988	1992	1995	2000	2005	2008
ECE R 49.01	49.02 (Euro I)	49.02 (Euro II)	Euro III	Euro IV	Euro V
EEC 88/77	91/542 A	91/542 B		2005/55	2005/55

2007  
Türkiye'deki Seviye

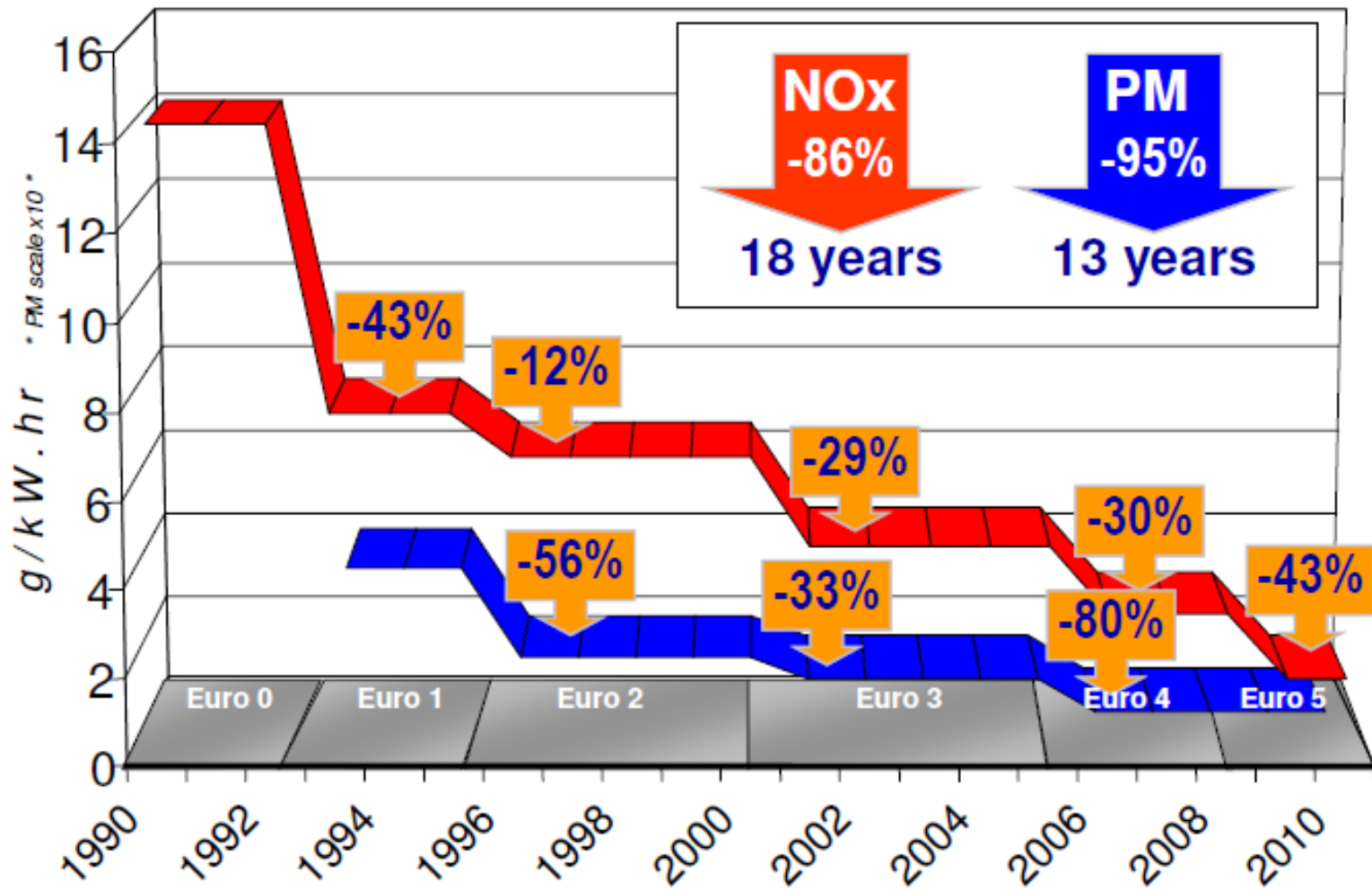
ABSeviyesi



# EPA& Euro standartları gelişimi



# Euro standartlarına bağlı NOx ve PM azalımı



# Euro standartlarının karşılaştırılması

Euro 1



Euro 2



Euro 3



Euro 4



Euro 5

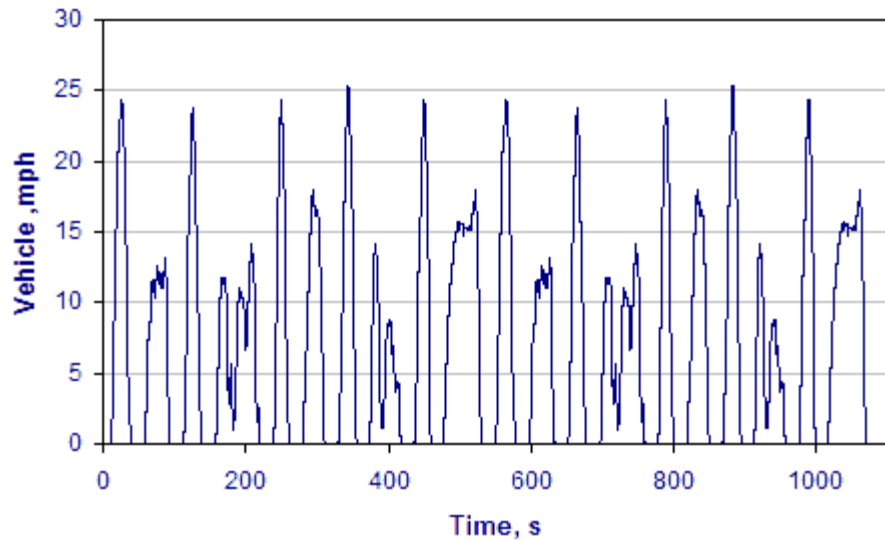


# Sürüş çevrimleri

- Sürüş çevrimleri araç hızının zamana göre temsili verilerinin toplanmasıyla oluşmaktadır. Ortak olarak Avrupa'da NEDC, Amerika'da FTP-75 ve Japonya'da 10-15 Mode çevrimleri kullanılmaktadır.

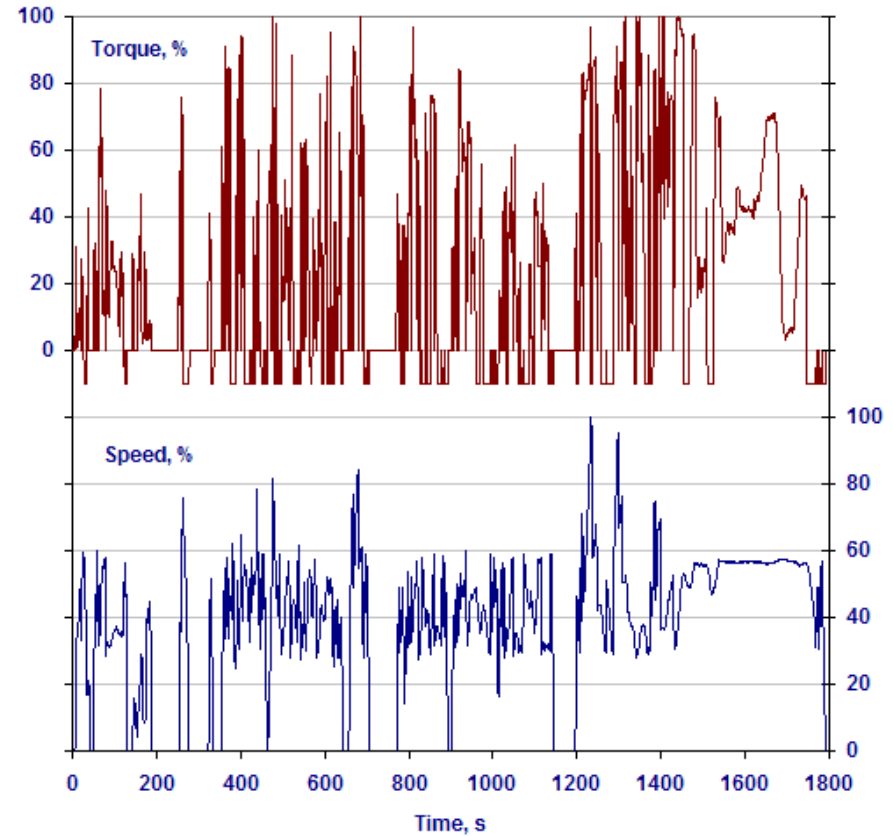
# Sürüş çevrimleri;

- Hükümetler tarafından uygulamaya koyulan ABD'de FTP-75, Avrupa'da NEDC ve Japonya'da 10-15 mode çevrimleri
- Kirletici değerlendirilmesi amacıyla bulunan kanun yapıcı olmayan çevrimler (Hong Kong, Sidney, Atina sürüş çevrimleri) olarak 2 sınıfa ayrılmaktadır.

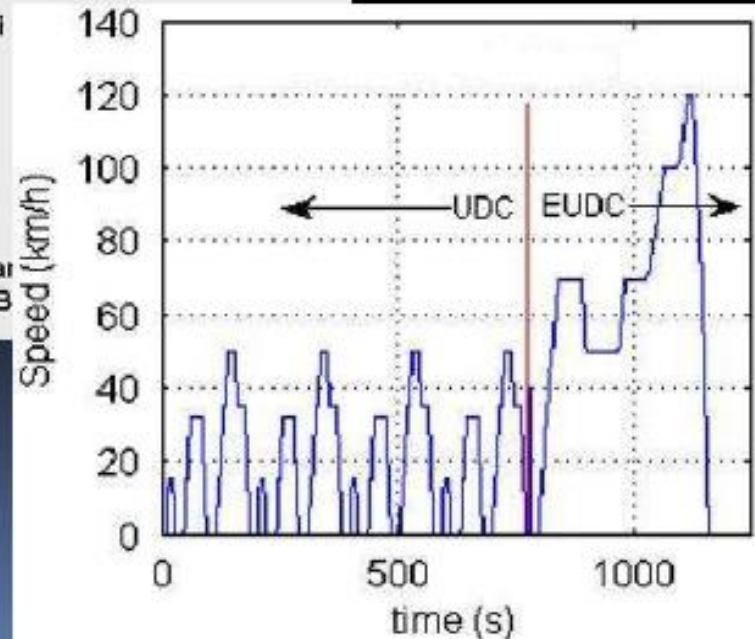
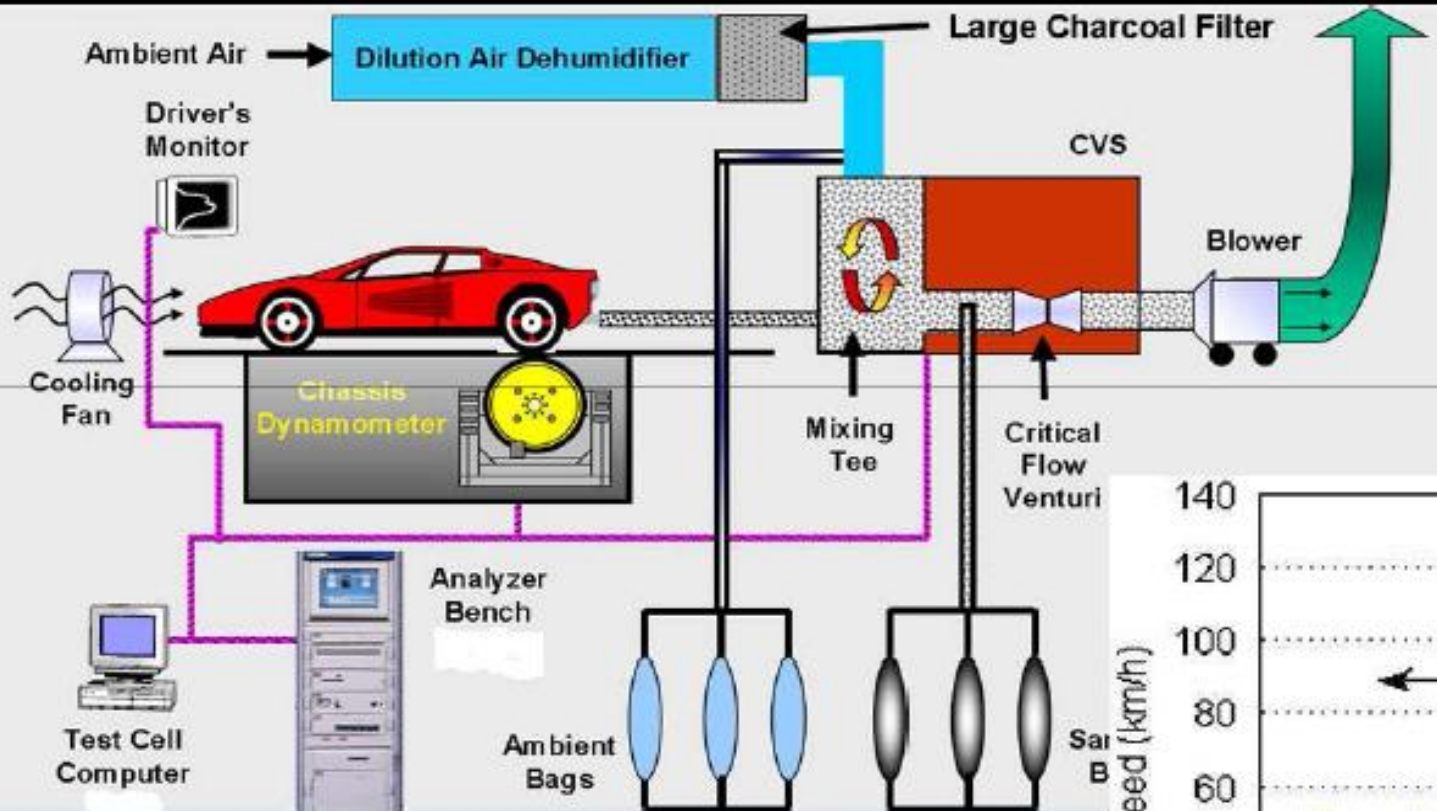


Manhattan bus cycle

## World-harmonized transient cycle (WHTC)

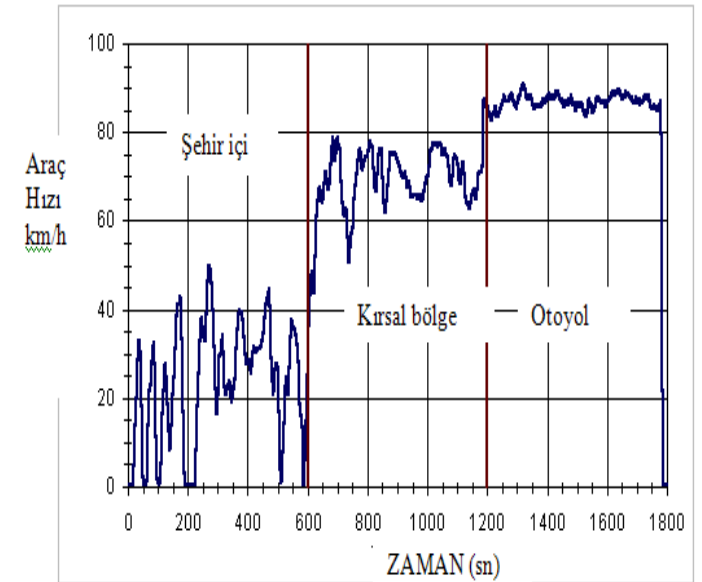


# Otomobil ve hafif ticari taşıtlar için sürüş çevrimi





# Ağır taşıtlar için Motor Dinamometre Testi





- ⦿ Emisyonları minimize edebilmek için başlıca 2 yöntem vardır.
  1. Emisyonların yanma esnasında oluşumu motor içerisinde engellenir.
  2. Emisyonlar yanma sonrası motor dışında egzoz borusuyla atmosfere bırakılmadan önce azaltılır.

- Yanma esnasında motor içerisinde emisyonları engellemek için,
  1. Hava/Yakıt oranının uygun olması,
  2. Üretim aşamasında yanma odası boşluk hacimlerinin minimize edilmesi,
  3. Silindir, piston ve emme manifoldunda oluşan tortuların engellenmesi,
  4. Yakıt enjeksiyon sisteminde gelişmeler
  5. Egzoz gazı resirkülasyonu (EGR)
  6. Silindir içi hava hareketlerinin (türbülans, swirl ve thumbe v.s.) uygun olması gereklidir.

⦿ Yanma sonrası emisyonları gidermek için bir çok yöntem bulunmaktadır. Bunlar;

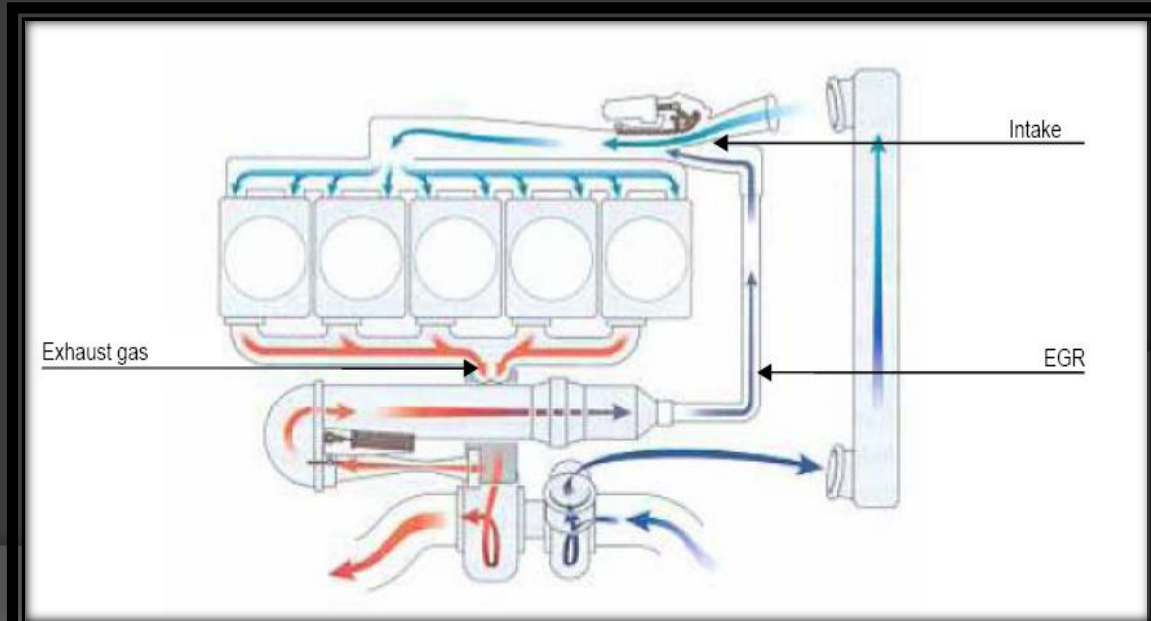
1. 3 yollu katalitik konvertörler
2. Seçici katalitik indirgeme (SCR)
3. Dizel Partikül Filtre (DPF)
4. Oksidasyon katalisti
5. De-NOx katalisti

Genel olarak, dizel motorlarda (SAM) emisyonları azaltmak için kullanılan yöntemler ise;

1. Seçici katalitik indirgeme (SCR)
2. Dizel Partikül Filtre (DPF)
3. Dizel Oksidasyon katalisti
4. Egzoz gazı resirkülasyonu (EGR)
5. De-NOx katalisti

# Egzoz gazı resürkilasyonu (EGR)

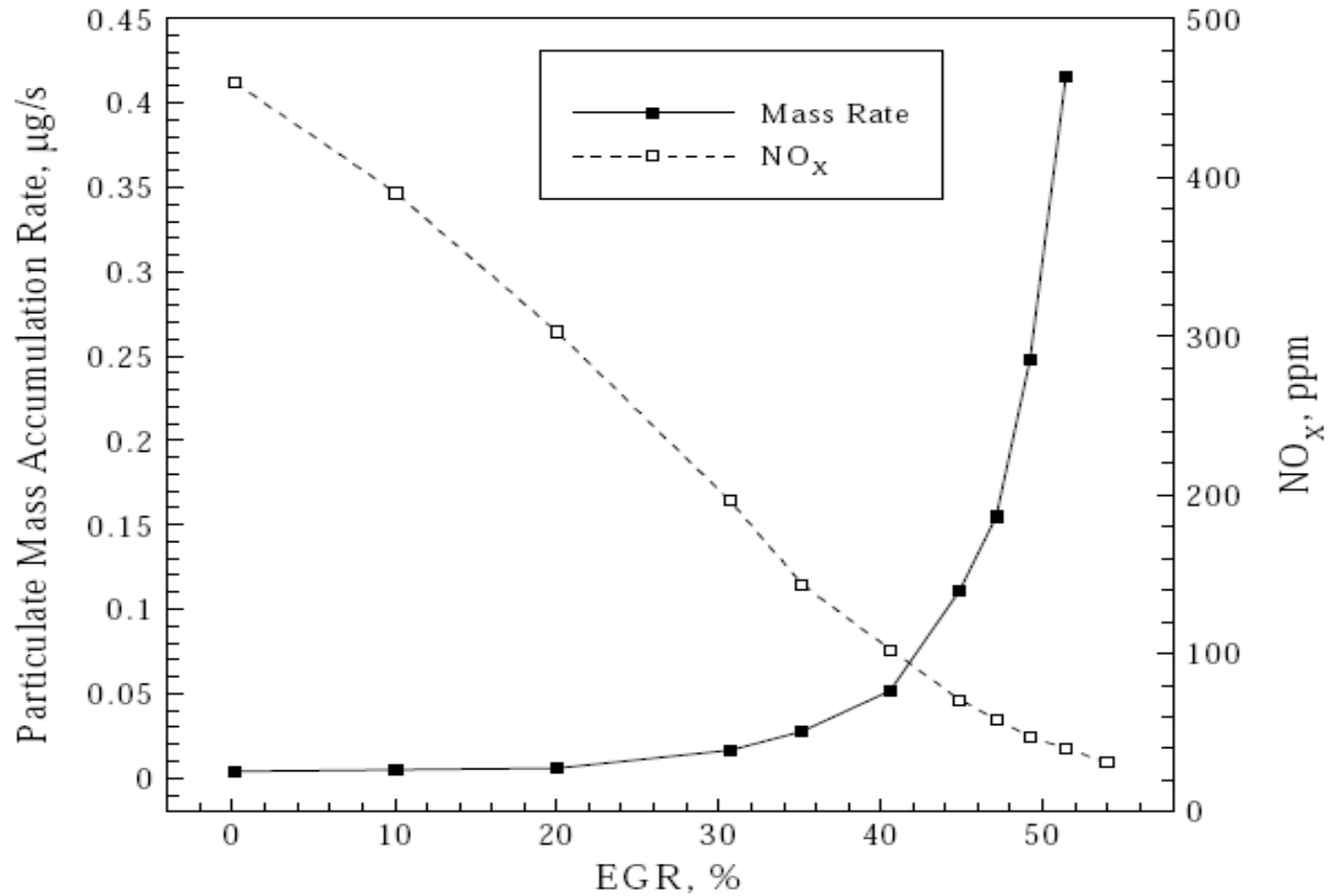
EGR sistemi silindir içerisinde emisyonları minimize etmek için kullanılan bir yöntemdir. EGR sisteminde egzoz gazının bir bölümü, silindire tekrar gönderilir. Egzoz gazı silindire tekrar gönderildiğinde silindir içerisinde seyreltici olarak görev yapar. Bu yanma odasında  $O_2$  konsantrasyonunu azaltır.



- Bu durum yakıt ve oksijen moleküllerinin buluşup reaksiyona girme ihtimalini azaltır. Buna bağlı olarak reaksiyon hızı ve lokal alev sıcaklığı düşerek,  $\text{NO}_x$  oluşumu azalacaktır.
- Ayrıca EGR silindir gazlarının özgül ısı kapasitesini yükselterek maksimum gaz sıcaklığı azaltılmaktadır.

- ⦿ EGR'nin neden olduğu alev sıcaklığında ve O<sub>2</sub> konsantasyonundaki azalma, oksidasyon hızının azalmasına bunun sonucunda PM oluşumunun artmasına yol açar.
- ⦿ EGR oranı arttıkça NO<sub>x</sub> azaltılır fakat oksidasyon hızındaki (hava fazlalık katsayısının azalması) azalmadan dolayı PM ve yakıt tüketimi artmaktadır. PM emisyonlarını azaltmak için EGR ile Dizel partikül filtre sisteminin birleştirilmesi yoluna gidilmektedir.

# EGR sisteminin farklı yüklerdeki HC ve NO<sub>x</sub> emisyon değerleri

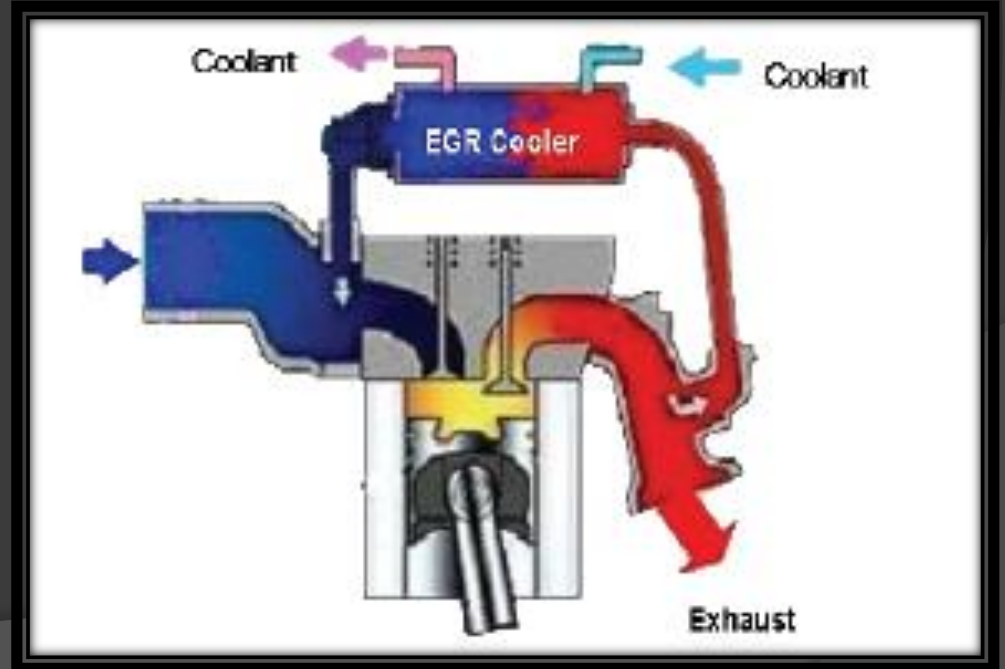




# EGR'nin motor performansına ve emisyonlara etkileri

- Egzoz gazı resirkülasyonunun (EGR) üç etkisi bulunmaktadır.
  1. Silindir içine geri dönen egzoz gazları yanma sonu sıcaklığını düşürür.
  2. İçeri giren taze H/Y miktarını azaltır. Emme manifolduna giren H/Y karışımına direkt olarak etki eden bu egzoz gazları motor gücünü ve NOx miktarını düşürmektedir ve de özgül yakıt tüketimini artırmaktadır.

3. Taşıt hızının artmasına bağlı olarak yapılan egzoz gazı geri besleme miktarında bir artış görülmektedir.



EGR oranındaki artış NOx emisyonlarını azaltır, fakat bunun çeşitli etkileri vardır.

- ⦿ Termal etki: Yanma boyunca düşük gaz sıcaklığı ve özellikle düşük alev sıcaklığı görülmektedir.
- ⦿ Seyreltme etkisi: Silindire giren O<sub>2</sub> konsantrasyonu az olması sebebiyle silindir içinde bölgesel olarak O<sub>2</sub> basıncı düşer ve temel NO oluşum reaksiyonları etkilenir.
- ⦿ EGR oranı ile ateşleme süresindeki gecikme artar.

# SCR (Seçici Katalitik indirgeme)

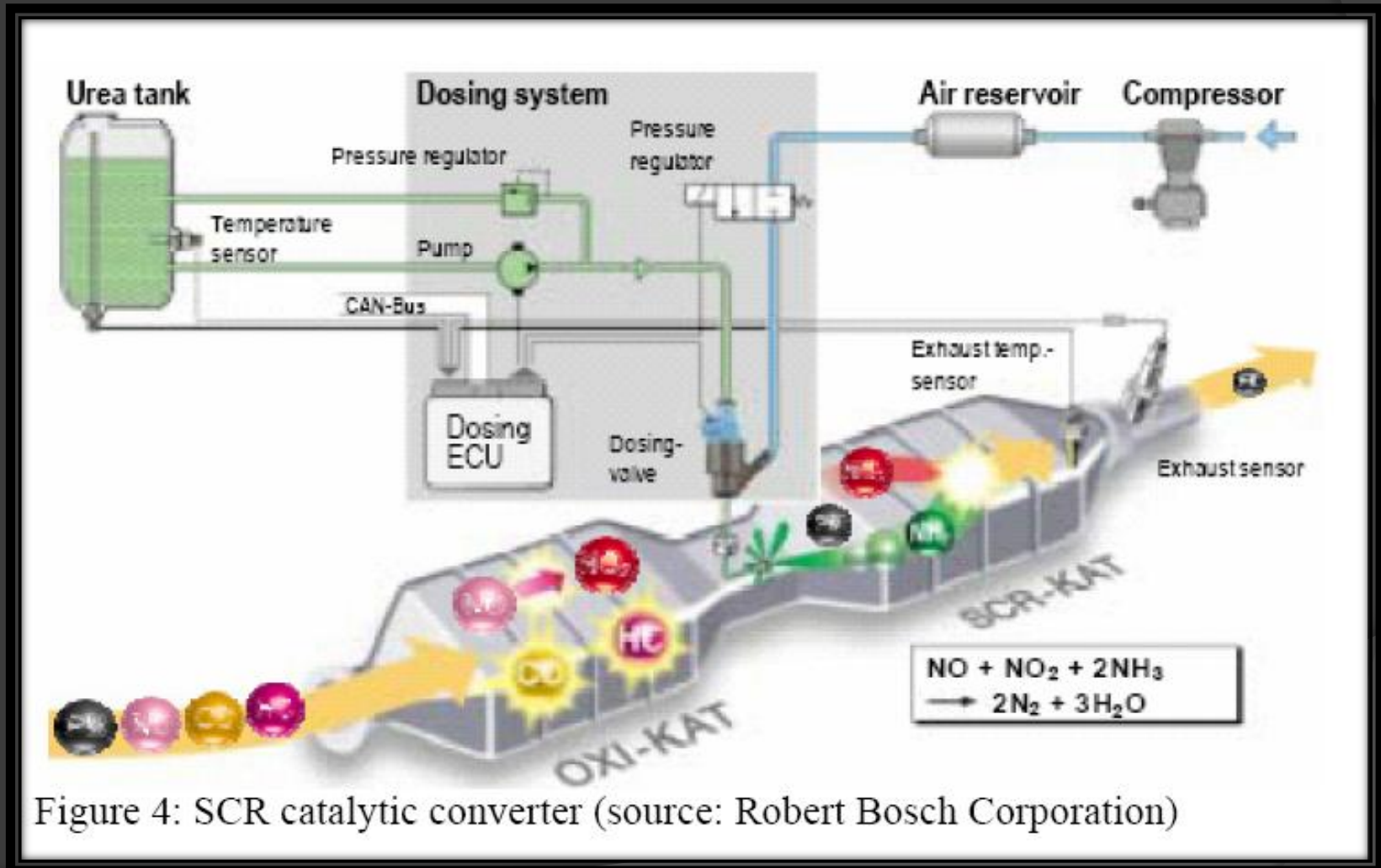
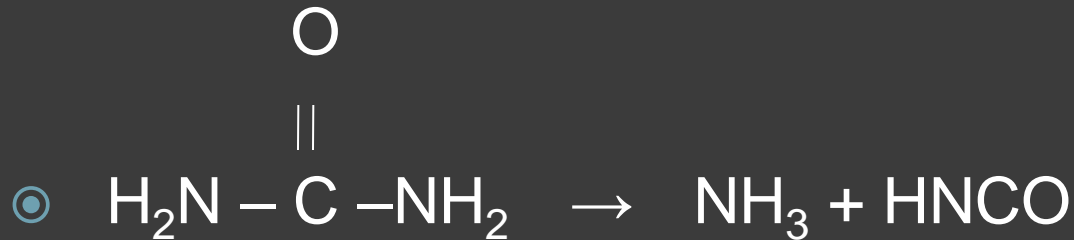
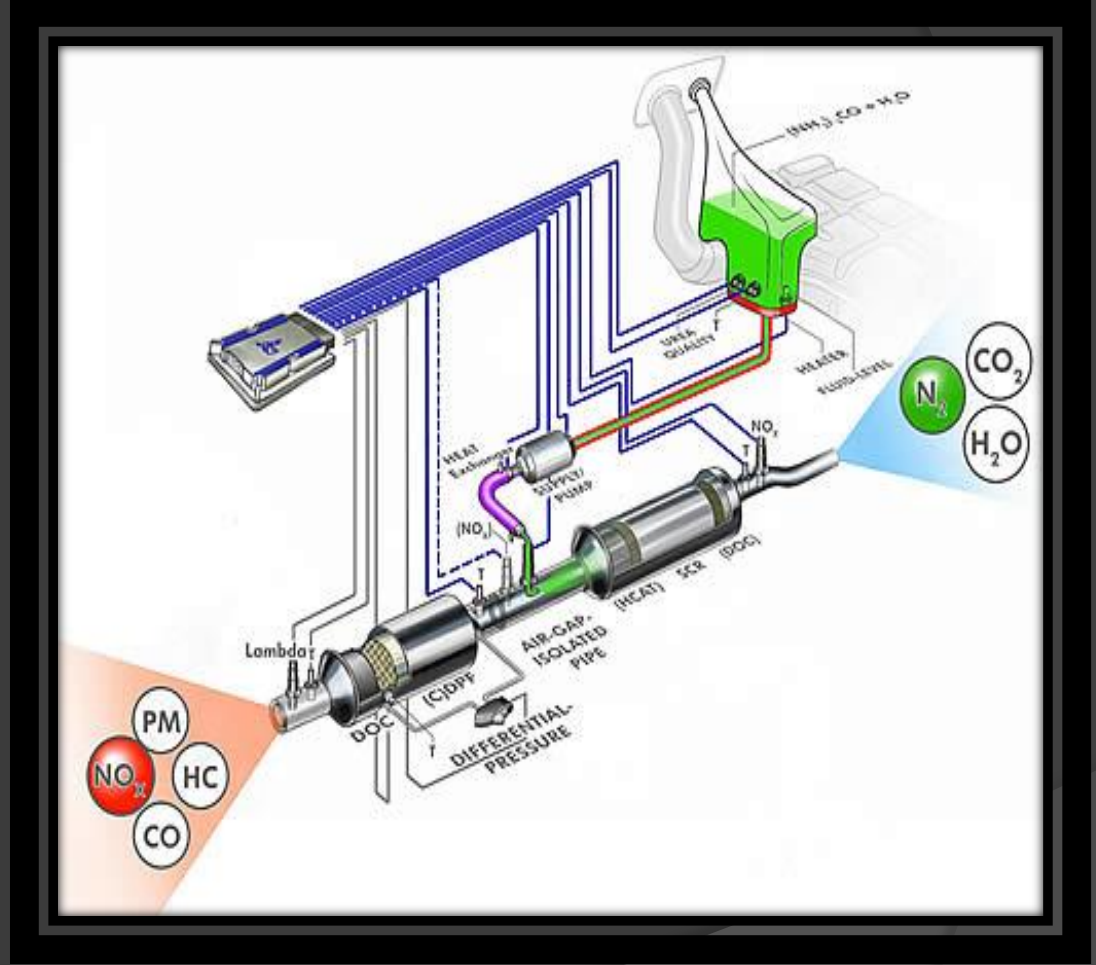


Figure 4: SCR catalytic converter (source: Robert Bosch Corporation)

- SCR çalışma prensibi genel olarak; bir indirgeyici katalizörden egzoz gazına enjekte edilmektedir. Enjekte edilen indirgeyici tarafından oluşan amonyak ( $\text{NH}_3$ ) ile katalizörde azot oksitler ( $\text{NO}_x$ ), azot ( $\text{N}_2$ ) ve suya ( $\text{H}_2\text{O}$ ) indirgenmektedir.  $\text{NH}_3$ , yüksek sıcaklıklarda hidroliz ile üreden oluşturulur.  $\text{NH}_3$  oluşum reaksiyonları;



- Üre çözeltisi, parçalara bölünerek sıcak egzoz gaz akışına enjekte edildiği zaman damlacıklar ısıtılır ve ilk olarak su buharlaştırılır.



## SCR sistemi

Dizelmotor



NOx (Nitrojen Oksit)  
HC (Hidrokarbon)  
CO (Karbonmonoksit)

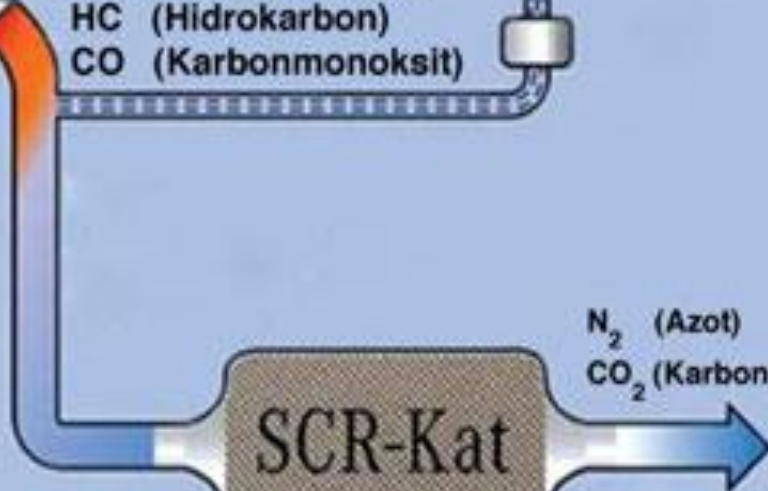


BLUETIGER  
(Konulacağı Yer)

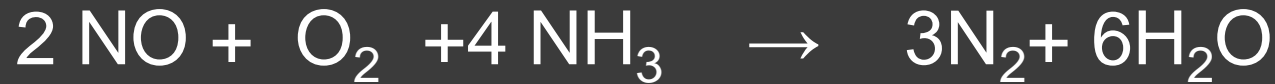
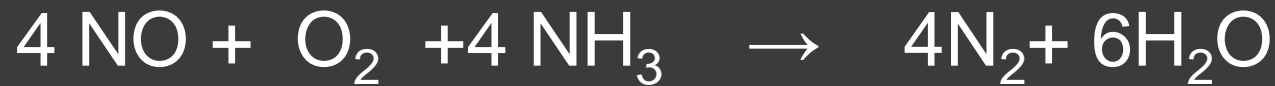
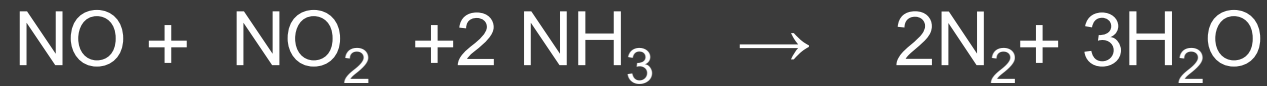
SCR-Kat

$N_2$  (Azot)  
 $CO_2$  (Karbondioksit)

$H_2O$  (Su)



- Daha sonra egzozda NOx emisyonları çoğunlukla NO emisyonlarından oluştuğu varsayımından dolayı SCR'da meydana gelen reaksiyonlar;



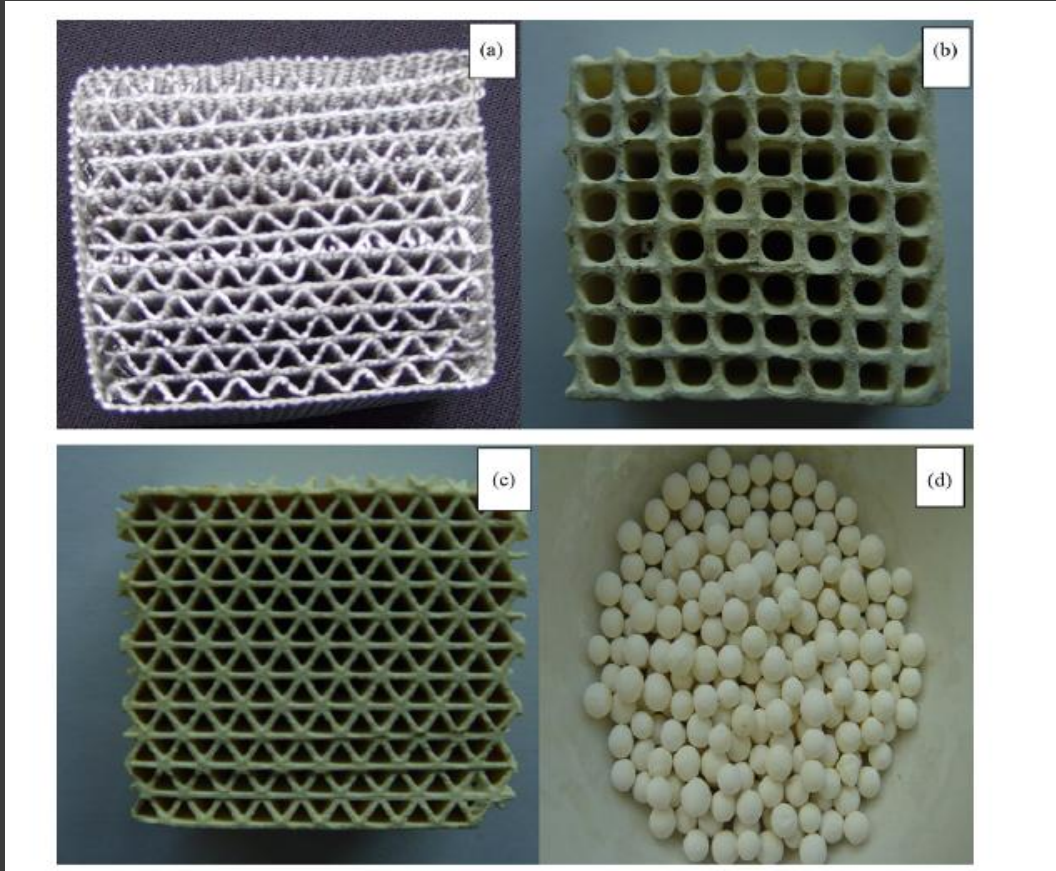
şeklinde ifade edilir.



# Kullanılan İndirgeyiciler

- SCR sisteminde kullanılan indirgeyicilerden en önemlisi ve etkin olanı üre çözeltilisidir. Üre piyasada Ad-blue şeklinde adlandırılmaktadır. Bununla birlikte SCR sisteminde hidrokarbon (HC), bakır (Cu) gibi maddelerde indirgeyici olarak kullanılmaktadır.

# Kullanılan katalizörler



- Katalizörler SCR prosesinin en önemli elemanlarıdır. Tipik katalizörler titanyum dioksit ( $\text{TiO}_2$ ), vanadyum pentaoksit ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) ve tungsten trioksittir ( $\text{WO}_3$ ).

# Avantajları

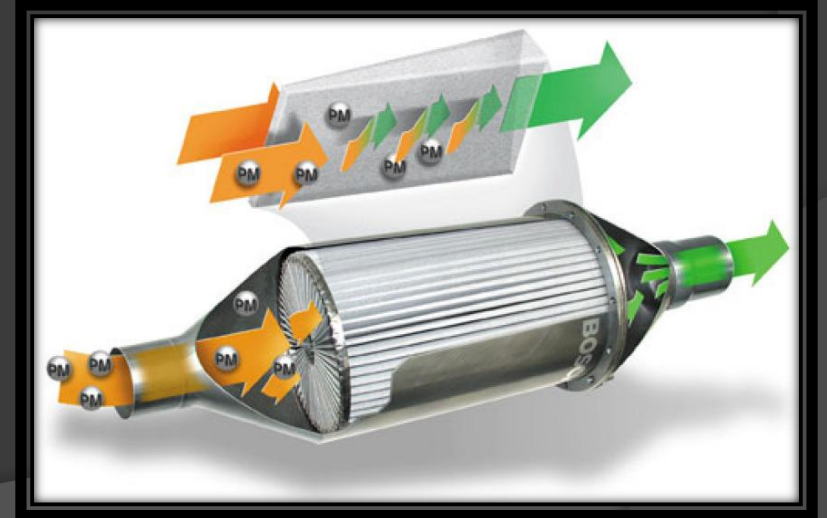
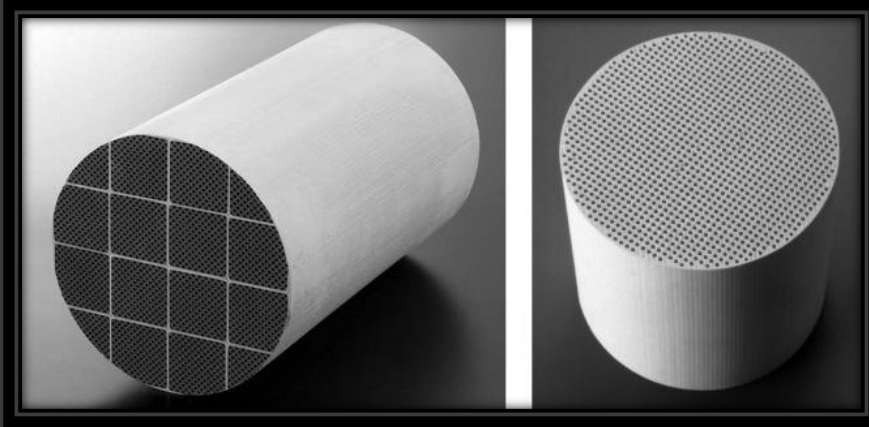
- SCR, tüm Avrupa'da geçerlidir.
- SCR sistemi çok az bakım gerektirir, taşıt ömrü boyunca kullanılabilir.
- SCR teknolojisi, monte edildiği taşıtın bakım ve yağ değiştirme aralıklarını etkilemez.
- SCR, yüksek motor gücüne elverişlidir.
- Euro 4 ve Euro 5'e uyumlu sistemler arasında en az yakıt tüketeni SCR sistemidir.

# Dezavantajları

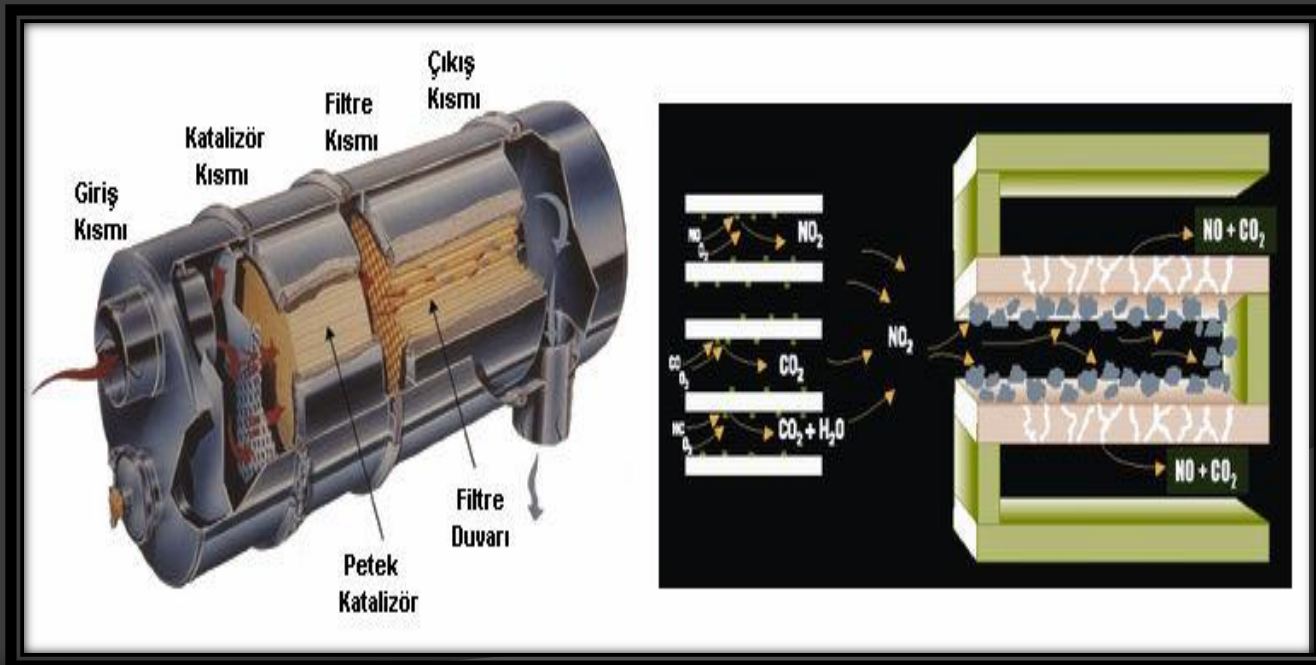
- Maliyeti yüksektir.
- Ad-blue depolanması ve taşınması ekstra maliyet ve zorluk getirmektedir.
- Ad-blue deposu için taşıtta ekstra bir alan gerekir.

# Dizel Partikül Filtre (DPF)

- 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 isı tutabilen gözenekli metal veya seramik bir filtreden oluşur.



- DPF egzoz gazındaki PM'i oksitleyerek dışarı atılmasını engelleyen ve azaltılmasını sağlayan en etkin çözümdür.
- Filtrelerin biriktirme verimleri kütlelesel olarak %30-90 arasında değişmektedir, ancak çoğu dizel partikül filtreleri son derece ince partikül sayıları olarak ifade edildiğinde %99'un üstünde başarı sağlamaktadırlar.

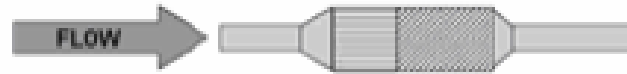


- Dizel partikül filtreleri difüzyonal çöküntü, eylemsiz çöküntü veya akısı engelleme gibi derin yatak filtreleme mekanizmaları ve yüzey mekanizmalarının birleştirilmesiyle partikül madde emisyonlarını tutar.
- Biriken partiküller sürekli veya periyodik termal rejenerasyon aracılığıyla filtreden uzaklaştırılır.
- Dizel partikül filtreleri PM emisyonunun katı kısımları üzerinde çok etkilidir, fakat katı olmayan kısımlarında etkisiz olabilir.

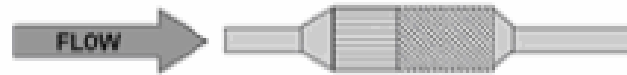
Dizel motorlu otomobillerde üç filtre sistemi kullanılmaktadır:

- Birinci sistemde kısmi olarak yanmış yakıtı yüksek sıcaklıklarda yakmak için filtreden önce bir oksidasyon katalisti ve PM yanma sıcaklığını düşürmek için bir yakıt katkısı kullanılmaktadır.
- İkinci sistemde oksidasyon katalisti yine kullanılmakta fakat yakıt katkısı kullanılmamaktadır. PM'nin yanmasını hızlandırmak için filtre katalistli yapılmaktadır.
- Üçüncü sistemde gerekli katalist fonksiyonlarının hepsi bir filtrede birleştirilmiştir.

• 1.sistem: Yakıt katkılı tip



• 2.sistem: Oksidasyon katalisti ve katalistli filtre



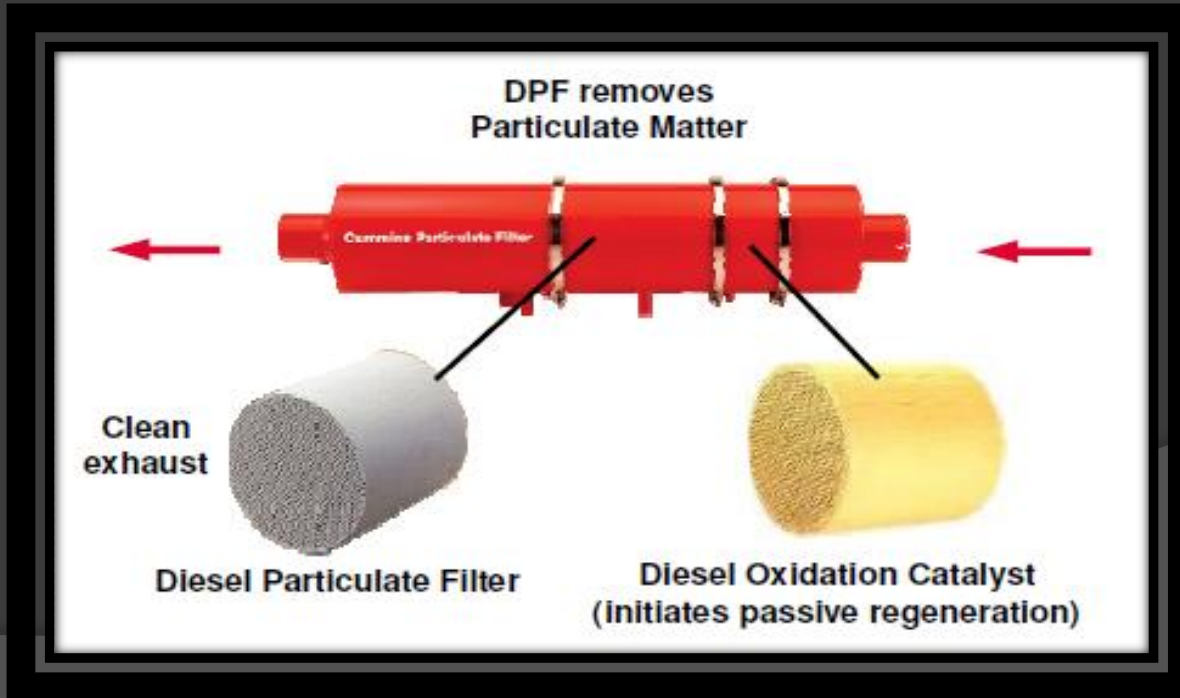
• 3.sistem: Sadece katalistli filtre (oksidasyon katalistiyle entegre edilmiş)





# Filtre malzemesi

- DPF' de ana eleman 0,1 mikron genişliğindeki gözenekleri sayesinde çok yüksek verimlikte filtreleme yapan filtredir. Tek parça, metalik ve seramik filtre sistemleri vardır.



- DPF'de birikmis olan PM'den dolayı fazla yakıt harcanmaması, motor ve filtrenin zarar görmemesi için PM emisyonlarının uzaklaştırılması gerekir.
- PM'in uzaklaştırılması rejenerasyon olarak ifade edilen oldukça kompleks bir islemdir. Rejenerasyonun filtreye zarar vermeden yapılabilmesi için çoğu işlem parametresi uyuşmalıdır.
- Ana parametreler egzoz gaz sıcaklığı, egzoz gaz geri basıncı, egzozda kalan oksijen miktarı, hacimsel akış oranı vb.leridir. Bir DPF'sinde sıcaklık gerekli PM yanma sıcaklığının üzerine çıkarsa dizel partikül maddeleri yanar ve geri basınç düşer. Rejenerasyon prensipleri esas alındığında filtreleme sistemleri aktif ve pasif olmak üzere sınıflandırılabilir.

# Rejenerasyon

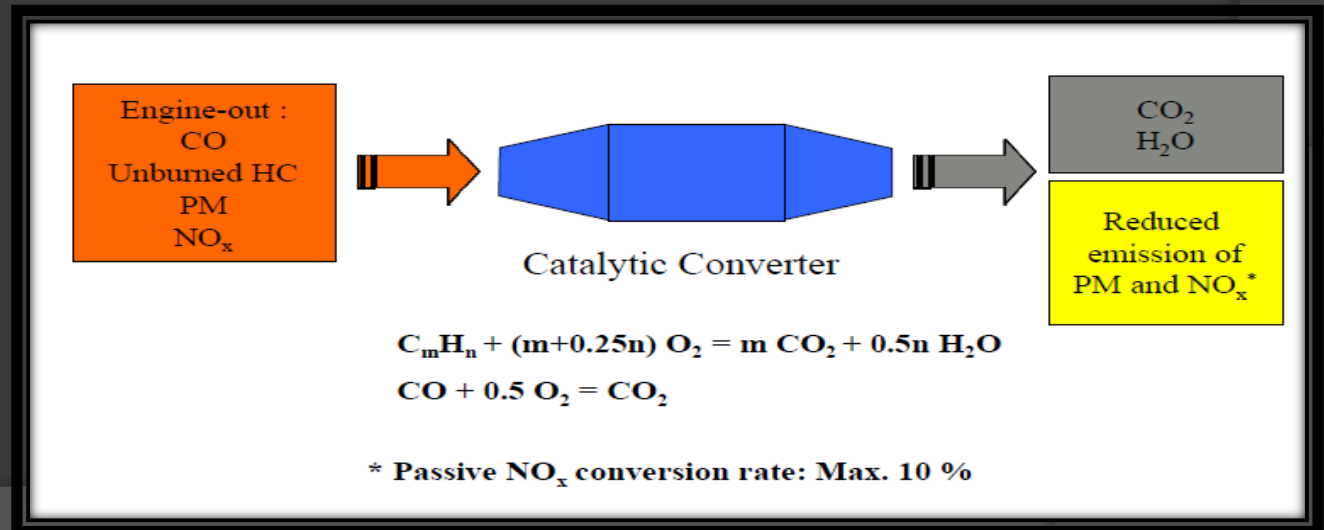
- **Aktif yöntem:** Filtre edilen ve DPF nin içinde hapsedilen parçacıklar, filtrenin durumuna göre yaklaşık her 400-500 km de yakıt enjekte edilerek yeniden yanma işlemi (550 °C) ile rejenere edilir.
- Bu sistemler rejenerasyon için gerekli sıcaklığa ulaşmak için gerekli enerjiden dolayı yüksek yakıt ekonomisine sebep olabilir. Aktif rejenerasyon hızlı bir prosestir. Kontrol etmek için kompleks proses kontrolü ve bazı motor yönetim kontrolü gerekmektedir.
- Aktif DPF'leri rejenerasyon için kullanılan enerji tipine göre elektrikli, yakıt brülörlü ve mikro dalgalı, kontrol metoduna göre ise otomatik ve manuel destekli olarak sınıflandırılabilir.



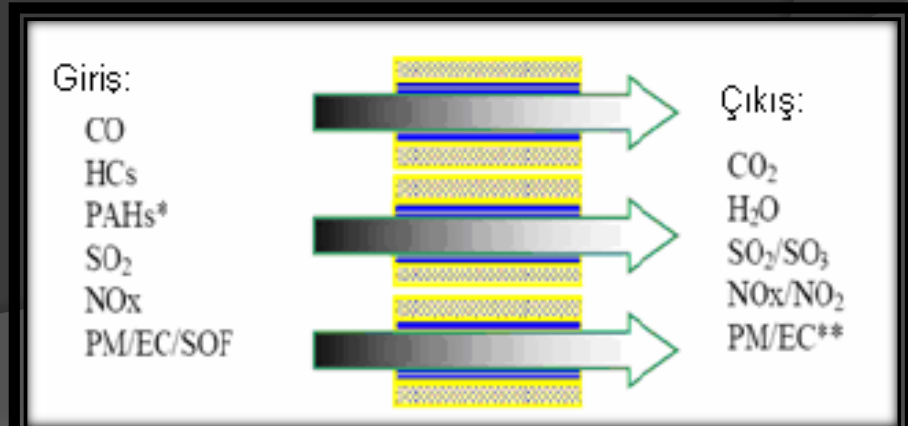
- ⦿ *Pasif yöntem:* Pasif rejenerasyonda PM bir katalitik reaksiyonla yakılır. Bu amaçla katalitik olarak aktif demir ve seryum içeren dizel yakıt katkıları partiküllerinin alevlenme sıcaklığını normal egzoz gaz sıcaklığına düşürür.
- ⦿ Pasif rejenerasyonda tutulan PM'nin yanması aracın normal kullanımı esnasında gerçekleşir.

# Oksidasyon katalisti

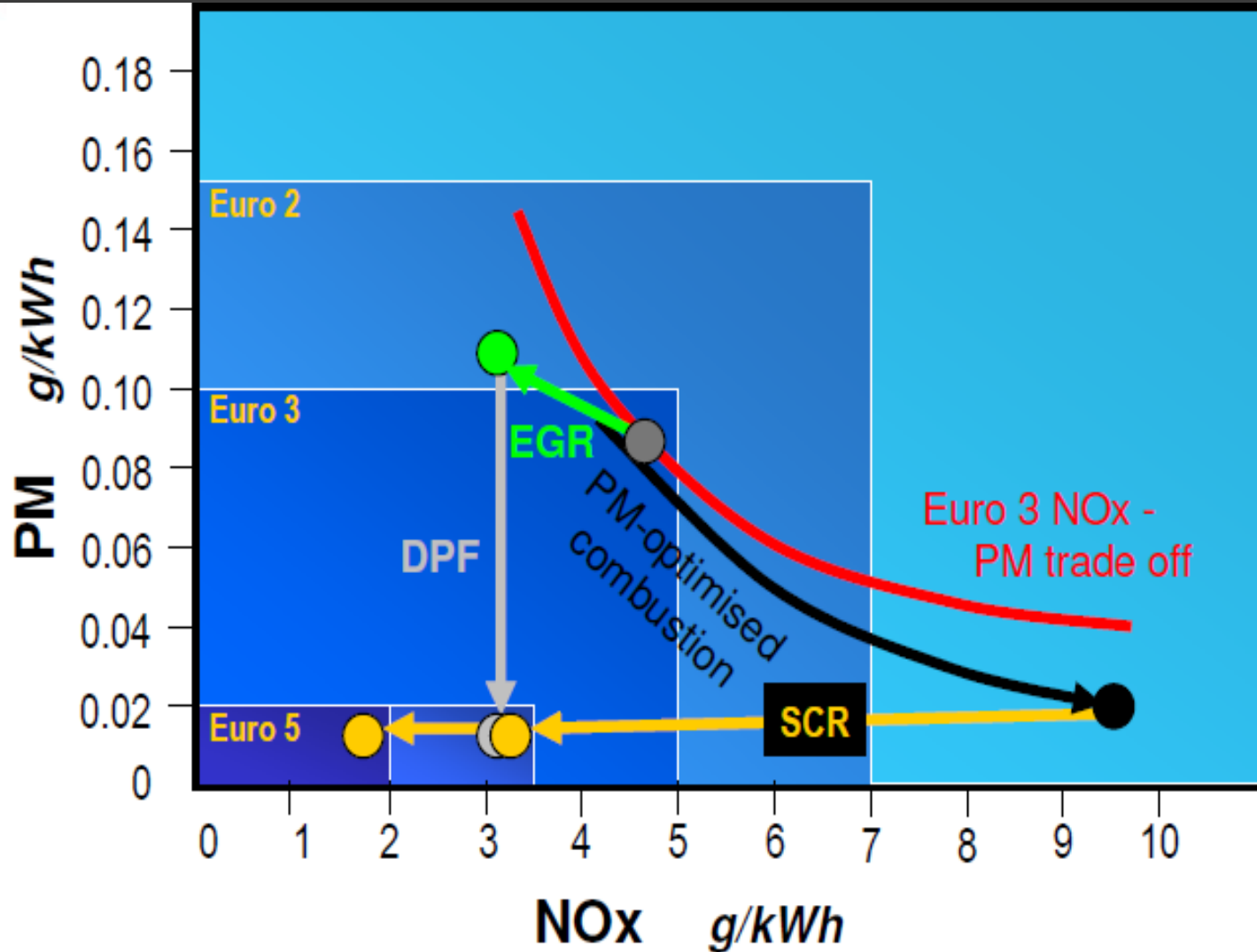
- Dizel oksidasyon katalisti CO, HC ve PM gibi egzozdan kaynaklanan kirleticilerin kontrolunda kullanılan en eski yöntemlerden biridir.
- Dizel oksidasyon katalistleri genellikle boyuna akışlı, petek şeklinde altlık (metalik veya seramik), platin ve/veya paladyum gibi oksitleyici bir katalistle kaplanmıştır.



- Dizel oksidasyon katalistleri CO ve HC'nu CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya dönüştürür ve dizel partikül emisyonlarının kütlesini azaltır fakat azot oksitler üzerindeki etkisi azdır.
- Bir oksidasyon katalisti dizel partikülünün çözülebilir organik bölümünün (SOF) %90'a kadarını azaltır. Oksidasyon katalistlerinde Rhodium (Rh), platin (Pt), paladyum (Pd) ve bunların karışımı olan bazı elementler kullanılır.
- Oksidasyon katalistleri CO ve HC emisyonlarındaki azalma sağlamasına ek olarak dizel dumanını düşürmekte ve dizel egzozunun keskin kokusunu da ortadan kaldırmaktadır. Bununla birlikte partikül sayısı değişmemekte ve aşırı ince partiküllerin etkisiyle ilgili sorunlar çözülmemektedir.



# Teknoloji seçenekleri



# Sonuç olarak,

- Dizel motorlarda oluşan emisyonların kontrolünde yaygın olarak kullanılan yöntemler; EGR,SCR ve DPF ve dizel oksidasyon katalistidir.
- EGR'nin neden olduğu O<sub>2</sub> miktarını ve oksidasyon hızının azalması sonucunda PM oluşumu artmaktadır.Bu yüzden EGR ve DPF birleştirilerek emisyonlar kontrol altına alınmalıdır.



- SCR yüksek motor gücüne elverişlidir ve yaygın olarak ağır ticari taşıtlarda kullanılmaktadır.
- Oksidasyon katalizörü CO ve HC emisyonlarını CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya dönüştürmekte bunun yanı sıra PM emisyonlarını azaltmaktadır.

© TEŞEKKÜRLER...