



**DİZEL PARTİKÜL FİLTRESİNİN KULLANIM
SÜRELERİNE GÖRE ARAÇLARDAKİ
EMİSYON DEĞERLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ramazan ÖZER

Danışman

Prof. Dr. İbrahim MUTLU

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Temmuz 2022

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DİZEL PARTİKÜL FİLTRESİNİN KULLANIM SÜRELERİNE
GÖRE ARAÇLARDAKİ EMİSYON DEĞERLERİNİN
İNCELENMESİ**

Ramazan ÖZER

Danışman

Prof. Dr. İbrahim MUTLU

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Temmuz 2022

TEZ ONAY SAYFASI

Ramazan ÖZER tarafından hazırlanan “Tez Onay Sayfası” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 06 / 07 / 2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Anabilim Dalı Adı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bekir Güney
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi
Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

Üye : Prof. Dr. İbrahim MUTLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

06 / 07 / 2022

Ramazan ÖZER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİZEL PARTİKÜL FİLTRESİNİN KULLANIM SÜRELERİNE GÖRE ARAÇLARDAKİ EMİSYON DEĞERLERİNİN İNCELENMESİ

Ramazan ÖZER

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Bu araştırmada, Euro 6, Euro 5 ve bazı Euro 4 dizel araçlarında bulunan dizel partikül filtresinin farklı kilometrelerde ki egzoz gazı emisyon ölçümünün absorpsiyon katsayısı değerlerinin aracın kilometresine, motor durumuna ve DPF bulunmamasına bağlı olarak değişkenliği incelenmiştir. Dizel partikül filtreleri içerisinde bulunan partikül maddelerin zamanla temizlenmesi gerekmektedir. Dizel partikül filtresi bulunan araçlar dizel partikül filtrenin tıkanmasını önlemek için pasif rejenerasyon ve aktif rejenerasyon olmak üzere filtre içerisindeki kurumları yakarak temizleme görevini yaparlar. Temizlenecek kurum miktarı doygunluk 45 gram eşiğini aşarsa, pasif rejenerasyon ve aktif rejenerasyonun DPF temizlemesi mümkün değildir. DPF temizlenemeyeceği için değiştirilmesi gerekir. Bu çalışmamızda pasif rejenerasyon ve aktif rejenerasyon ile temizlenemeyen DPF'nin egzoz sisteminde sökülerek makine yardımıyla temizlenmesi yapılmıştır. DPF'nin temizlenmeden önceki ve sonraki egzoz emisyon ölçüm bilgileri olan absorpsiyon katsayısı değerlerinin grafiksel karşılaştırılması yapılarak çıkan sonuçların değerlendirilmesi ile DPF temizlenmesi sonrası emisyon oranlarının düştüğü gözlenmiştir.

2019, ix + 52 sayfa

Anahtar Kelimeler: Dizel partikül filtresi, Absorpsiyon katsayısı, Egzoz emisyonu, Aktif rejenerasyon, DPF temizleme makinesi.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF EMISSION VALUES IN VEHICLES ACCORDING TO THE PERIOD OF USE OF THE DIESEL PARTICLE FILTER

Ramazan ÖZER

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Ibrahim MUTLU

In this study, the variability of the absorption coefficient values of the exhaust gas emission measurement of the diesel particulate filter in different kilometers of the diesel particulate filter in Euro 6, Euro 5 and some Euro 4 diesel vehicles, depending on the vehicle's mileage, engine condition and the absence of DPF, was investigated. Particulate matter in diesel particulate filters must be cleaned over time. Vehicles with diesel particulate filters perform the task of cleaning the soot in the filter by burning the soot in the filter, as passive regeneration and active regeneration, in order to prevent clogging of the diesel particulate filter. If the amount of soot to be cleaned exceeds the saturation 45 gram threshold, passive regeneration and DPF cleaning of active regeneration are not possible. Since the DPF cannot be cleaned, it must be replaced. In this study, the DPF, which could not be cleaned with passive regeneration and active regeneration, was removed from the exhaust system and cleaned with the help of a machine. It was observed that the emission rates decreased after the DPF cleaning by making a graphical comparison of the absorption coefficient values, which are the exhaust emission measurement information of the DPF before and after cleaning.

2019, ix + 52 pages

Keywords: Diesel particulate filter, Absorption coefficient, Exhaust emission, Active regeneration, DPF cleaning machine.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. İbrahim MUTLU, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Emirhan YELEKİN'e, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve deneysel çalışmam sırasında bana yardımcı olan Ege Dizel Bosch Diesel Center ve Atlas Dizel Pompa çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Ramazan ÖZER
Afyonkarahisar 2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Dizel Motorların Çalışma Prensibi	3
2.2 Dizel Motorlarındaki Egzoz Gazları.....	3
2.2.1 Karbonmonoksit (CO).....	4
2.2.2 Hidrokarbon (HC)	4
2.2.3 Azot Oksit (NO _x)	5
2.2.4 Partikül Madde (PM).....	5
2.3 Dizel Araçlar İçin Emisyon Standartları.....	6
2.3.1 Absorpsiyon Katsayısı	8
2.4 Dizel Araçlarda Emisyon Azaltıcı Etkenler.....	9
2.4.1 Dizel Oksidasyon Katalizörü (DOC)	10
2.4.2 Seçici Katalitik İndirgeme (SCR)	11
2.4.3 Egzoz Gazı Resirkülasyonu (EGR).....	14
2.4.4 Dizel Partikül Filtreleri	15
2.4.4.1 Partikül Madde (PM).....	18
2.4.4.2 Dizel Partikül Filtresinin Yapısı.....	20
2.4.4.3 Dizel Partikül Filtre Malzemesi	21
2.4.4.4 Dizel Partikül Filtresi Tıkanma Sebepleri	22
2.4.4.5 Dizel Partikül Filtresi Tıkanma Belirtileri	23

2.4.4.6	Rejenerasyon	24
3.	MATERYAL ve METOT	27
3.1	Makine İle Dizel Partikül Filtresinin Temizlenmesi.....	27
3.1.1	Dizel Partikül Filtresinin Sökülmesi	28
3.1.2	Tıkalı Dizel Partikül Filtresinin Temizleme İşlemi	28
3.1.3	Dizel Partikül Filtresinin Takılması	30
3.2	Dizel Partikül Filtresinin Takılması Sonrası Aktif Rejenerasyon	31
4.	BULGULAR	34
4.1	Deney Aracın Egzoz Gazı Emisyonu Absorpsiyon Katsayısının İncelenmesi....	34
4.2	Farklı Kilometrelerde Bulunan Araçların Egzoz Gazı Emisyonu Absorpsiyon..... Katsayısının İncelenmesi.....	36
4.3	Dizel Partikül Filtreli ve Dizel Partikül Filtresi Olmayan Farklı Kilometrelerde ... Bulunan Araçların Egzoz Gazı Emisyonu Absorpsiyon Katsayısı İncelenmesi .	39
5.	TARTIŞMA ve SONUÇ	41
6.	KAYNAKLAR.....	43
	ÖZGEÇMİŞ.....	47
	EKLER	48

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

AL ₂ O ₃	Alimünyum oksit
CeO ₂	Seryum oksit
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
e	Doğal logaritmanın tabanı
HC	Hidrokarbonlar
k	Işık emme katsayısı (m ⁻¹)
L	Etkin optik yol uzunluğu (m)
N ₂	Nitrojen
NH ₃	Amonyak
nm	Nanometre
NO _x	Azot oksitler
O ₂	Oksijen
SO ₂	Kükürt oksit
Si ₃ N ₄	Silisyum nitrür
φ ^o	İlk ışık demeti
φ	İletilen ışık demeti
μm	Mikrometre

Kısaltmalar

ACEA	Avrupa otomotivciler üretici birliği
AÖN	Alt ölü nokta
DEF	Dizel egzoz sıvısı
DPF	Dizel partikül filtresi
DOC	Dizel oksidasyon katalizörü
ECU	Elektronik kontrol ünitesi
EGR	Egzoz gazı resirkülasyonu
PAHs	Poliaromatik hidrokarbonlar
Pd	Paladyum
PM	Partikül madde
Pt	Platin
Rh	Radyum
SAPS	Düşük miktarda sülfatlanmış kül, fosfor ve sülfür
SCR	Seçici katalitik indirgeme
ULSD	Ultra düşük kükürtlü dizel
ÜÖN	Üst ölü nokta

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Bir dizel motorunda zararlı egzoz gazları	3
Şekil 2.2 Yanma sonu partikül maddelerin görünümü.....	6
Şekil 2.3 Dizel araçlarda kullanılan emisyon azaltıcı sistemler	10
Şekil 2.4 Dizel oksidasyon katalizörü dönüşüm şematığı	10
Şekil 2.5 Seçici katalik indirgeme sistemi.....	11
Şekil 2.6 Seçici katalik indirgeme etkisiyle NO _x düşüş değerleri.	12
Şekil 2.7 Bir dizel araçta SRC yerleşim durumu	13
Şekil 2.8 EGR sistemi	14
Şekil 2.9 DPF kanal duvarları üzerinde kurumu yakalaması ve biriktirmesi.....	15
Şekil 2.10 DPF kurum birikimi ile basınç düşüşünün gelişimi	16
Şekil 2.11 Dizel partikül filtresi	18
Şekil 2.12 Partikül içeriği.....	19
Şekil 2.13 PM'nin boyutlarının sayı ve kütle bazında dağılımı.....	19
Şekil 2.14 Duvar akışlı ve Geçiş akışlı monolitler.....	20
Şekil 2.15 Duvar akışlı ve Geçiş akışlı monolit görünümü.....	21
Şekil 2.16 Partikül filtresi üzerindeki sensör bağlantıları	25
Şekil 3.1 Aktif rejenerasyon ısı değerleri.	32
Şekil 3.2 Dizel partikül filtresi basınç ve ısı değerleri.	33
Şekil 4.1 1,3 HDI Euro 5 aracın k değerlerinin karşılaştırılması.	36
Şekil 4.2 2,0 TDI Euro 5 araçların farklı kilometrelerdeki k değerlerinin	
karşılaştırılması.....	37
Şekil 4.3 2,0 TDI Euro araçların motorlarının yağ yakma durumlarına göre k	
değerlerinin karşılaştırılması.	38
Şekil 4.4 DPF bir araç ile DPF olmayan araçların k değerlerinin karşılaştırılması.	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Dizel binek araçlar için avrupa emisyon standartları (Kategori M), g/km ...	7
Çizelge 2.2 Dizel araçlar için absorpsiyon katsayısı.....	9
Çizelge 2.3 Dizel partikül filtresinde kullanılan seramik malzemelerin özellikleri.....	22
Çizelge 3.1 1,3 HDI Euro 5 deney aracının teknik özellikleri.	27
Çizelge 4.1 DPF temizlemeden önce & DPF temizleme sonrası k değerlerinin..... karşılaştırılması.....	35



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Dizel üniversal egzoz emisyon cihazı.....	9
Resim 2.2 AdBlue / DEF tankları.	13
Resim 2.3 Dizel partikül filtresi tıkalı kısımları.....	23
Resim 3.1 DPF tıkanma oranı.	27
Resim 3.2 DPF deney aracından sökölme işlemi.....	28
Resim 3.3 DPF temizleme makinesi.	29
Resim 3.4 Dizel partikül filtresinin makinaya bağlantısı.....	29
Resim 3.5 DPF temizleme makinesi işlemi basınç ve sıcaklık değerleri.....	30
Resim 3.6 DPF deney aracına takılma işlemi.	31
Resim 3.7 Deney aracının aktif rejenerasyon işleminin başlatılması.	31
Resim 3.8 Araç aktif rejenerasyon işlemi.	32
Resim 4.1 Deney aracı DPF temizleme öncesi egzoz emisyon ölçümü.	34
Resim 4.2 Deney aracın DPF temizleme sonrası egzoz emisyon ölçümü.	35

1. GİRİŞ

Günümüz şartlarında kullanılan dizel araçların bazı şehir ve caddelerde yasaklanmaya başlamasından itibaren araç üreticileri dizel araçlardaki egzoz gazı emisyon değerlerini her geçen gün en aza çekmek için dizel araçlar üzerinde emisyon azaltıcı sistemler geliştirmektedirler. İki ve dört zamanlı dizel motorlarında yanma sonucu meydana gelen zararlı gazlar; azot oksitler (NO_x), hidrokarbonlar (HC) ve karbonmonoksit (CO) ve partikül maddelerdir. (PM) Dizel motorlu araçların termal verim oranlarının yüksek olmasından dolayı benzin motorlarına göre daha az CO ve HC çıkarırlar. Ancak dizel araçların PM ve NO_x emisyonlarının dışarıya atılma oranı yüksektir (Keskin 2009).

Dizel motor emisyonlarının ekolojik sisteme ve çevreye verdiği zarar azımsanamayacak kadar büyüktür. Egzoz emisyon yönünden belirli standartları taşımayan bir aracın çevreye vermiş olduğu egzoz emisyonları insan sağlığı açısından bakıldığında bir insanın yaşamını sürdürebilmesi için günlük gerekli hava ihtiyacı 15 m^3 temiz havayı 10 dakikalık kısa bir sürede solunamaz hale getirmektedir (Kelen 2014). Hava kirliliğinin %50' ye yakın kısmı motorlu taşıtlardan kaynaklanmakta ve insan hastalıklarının %12'lik kısmı bu kirliliğin sonucunda ortaya çıkmaktadır (İlkılıç ve Behçet 2006). Taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonların havaya karışması başta solunum yolları hastalıkları olmak üzere çeşitli kanser türlerine, eklem rahatsızlıklarına, kan zehirlenmelerine ve ölüme kadar götürebilecek rahatsızlıklara sebep olmaktadır.

Dünyanın yaşanabilir halde var olabilmesi için egzoz gazlarının belirli limitler çerçevesine alınabilmesi için belirli standartlar getirilerek, dizel motorların geliştirilmesi ve emisyonların azaltılması amaçlanarak son yıllarda hem hafif hem de ağır dizel araçların motorlarında teknik anlamda büyük gelişmeler sağlanmıştır. Yakıtın kalitesinin artırılması, yakıt enjeksiyon sistemlerinin geliştirilmesi, yanma odasının ön yanmalı odadan doğrudan direk enjeksiyonla değiştirilmesi, silindir içerisinde havanın girdap yapabilmesi ile birlikte yanma veriminin artırılması, turbo verimlerinin artırılması ile birlikte sıkıştırma oranlarının değiştirilmesi gibi etkenlerdir (Fiebig, Wiartalla ve Holderbaum 2014).

Ayrıca egzoz gazı üzerine son işlem yapılması için sistemlerin geliştirilmesiyle son yıllarda egzoz gazı emisyon oranlarını büyük ölçüde düşürülmüştür. Dizel motorlardaki egzoz gazı emisyonlarını düşüren sistemler; DOC, EGR, SRC ve DPF'dir. Egzoz emisyon değerlerini Euro 4, Euro 5, Euro 6'ya çekmek için kullanılan dizel partikül filtreleri; dizel araçlarda yanma sonucu oluşan katı ve sıvı partikül maddeleri (PM) gözenekli yapısı sayesinde tutarak, araç ECU'sunun Partikül filtre doygunluk seviyesini egzoz gazı basınç fark sensörleri sayesinde belirlemesi ile pasif ve aktif jenerasyonla dizel partikül filtre içerisindeki biriken kurum ve is'leri yakmak suretiyle egzoz emisyon değerlerini düşüren bir filtre sistemidir (Martyr ve Plint 2012).

Günümüz dizel araçların kullanmış olduğu yakıtın kalitesi, şehir içi kullanımlar, uzun süre rölantide çalışması dizel partikül filtresini tıkayarak egzoz gazı emisyon değerlerini yükseltmektedir. Ayrıca dizel araçların yağlama sisteminde kullanılan madeni yağların da dikkatli bir şekilde seçilmesi gereklidir. Günümüzdeki dizel ve benzinli araçlarda kullanılan yağların özellikleri; performans geliştirici, aşınmayı önleyici, oksidasyon etkilerini azaltmak için çeşitli katkıları kullanılmaktadır. Dizel araçların yağlama sisteminde kullanılan bu yağ, segmanlardan, supap kılavuzundan, turbodan ve yağ buharı borusundan yanma odasına kaçarak yanmaya katılmaktadır. Dizel yakıt ile beraber motor yağının da yanması ile yağ içerisinde bulunan katkıların etkisiyle partikül filtreleri hem erken tıkanmakta hem de dizel araçların emisyon değerlerini yükseltmektedirler.

Bu çalışmamızda belirli bir kilometredeki tıkalı dizel partikül filtresinin makine ile temizlenmesinin emisyon değerlerine etkileri gözlemlenecektir. Farklı kilometrelerdeki araçların egzoz gazı emisyonu absorpsiyon katsayılarını karşılaştırarak periyodik bakımları zamanında yapılan, motorunda herhangi bir arızası olmayan dizel araçların egzoz gazı emisyon ölçüm bilgilerini karşılaştırarak değerlendirmeleri yapılacaktır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Dizel Motorların Çalışma Prensibi

İçten yanmalı ve patlamalı dört zamanlı dizel motorlarda bir çevrimin meydana gelebilmesi için pistonun 4 hareketi tamamlaması gerekmektedir. Bu hareket esnasında krank mili 2 tur yapmaktadır. Pistonun zamanları meydana getirebilmesi her zaman için 180°'lik krank açısına denk gelir. Krank milinin 2 devri ile 720°'lik açısı ile pistonun dört zamanı gerçekleştirilmiş olur. Böylece dört zamanlı bir dizel motoru emme, sıkıştırma, ateşleme ve egzoz zamanlarından oluşur

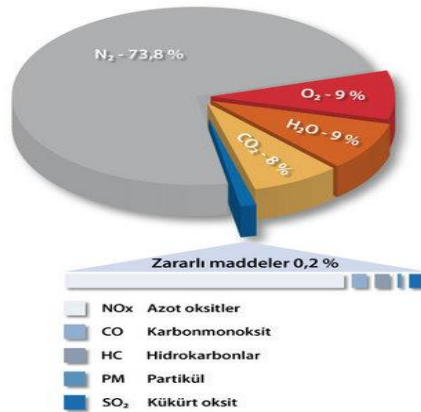
2.2 Dizel Motorlarındaki Egzoz Gazları

Dizel motorunda yanmanın gerçekleşmesi, emme zamanında silindir içerisine alınan havanın sıkıştırma zamanında sıkıştırıldıktan sonra basıncı ve sıcaklığı yükseltilmiştir. Sıkıştırma sonunda 500 °C -700 °C dereceye çıkan havanın üzerine yakıt piston ÜÖN'ya gelmeden 12° ila 36° derece önce enjektörün püskürtmesi ile yanma oluşur.

Bir dizel motorunun yanma denklemi;



Bu yanma sonucunda oluşan zararlı egzoz gazlar; CO, HC, NO_x, SO₂ ve PM.



Şekil 2.1 Bir dizel motorunda zararlı egzoz gazları (Akbal 2013).

2.2.1 Karbonmonoksit (CO)

Bir dizel motorunun sıkıştırma oranları 16,5/1 ile 22/1 arasında değiştiği için dizel motorları fakir çalışmaktadırlar. Fakir çalışmasından ötürü Karbon monoksit emisyonu düşük çıkar. Denklem (2.2), (2.3) görüldüğü gibi; yanma esnasında Karbon molekülü oksijenin tam olarak yanma olayını gerçekleştiremediğinden ortaya çıkmaktadır. Karbon monoksitler, Dizel araçların periyodik bakımlarının tam zamanında yapılmasından, hava filtresinin zamanında değiştirilmemesi veya çok tozlu ortamlarda çalışmasından dolayı hava filtresinin tıkalı olması gibi nedenlere bağlı olmakta birlikte; günümüzde bir dizel motorun hava debimetresinin arızalanması ile de aracın zengin karışımla çalışmasına sebep olmaktadır. Bu zengin karışımın etkisiyle Karbon monoksit emisyon değerleri yüksek çıkmaktadır.



İnsan sağlığı açısından Karbon monoksitler kanın oksijen taşıma özelliğini yitirmesinden dolayı, kişinin organlarının veya dokularının görevlerini yerine getirememesine sebep olacaktır. Organların ve dokuların aşırı dozda Karbonmonoksite maruz kaldığı zaman insanın ölümüne yol açacağı gözlenmiştir.

2.2.2 Hidrokarbon (HC)

Dizel yakıt en yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Yaygın dizel yakıt için kimyasal formül yaklaşık olarak $C_{10}H_{20}$ ile $C_{15}H_{28}$ arasında değişen $C_{12}H_{24}$ 'tür. Dizel motorunda Hidrokarbonlar yakıtın tam manasıyla yanamaması veya yanma odasına kaçan yağ parçacıklarının da yanması ile ortaya çıkar. Ayrıca araç rölanti halinde ve ilk çalıştırma anında motorun çalışma sıcaklığına ulaşmadığı zamanlarda, silindir içerisinin istenilen sıcaklıklara ulaşamamasından dolayı yanmanın da verimli olamayacağı için hidrokarbonlar oluşur. Bir dizel yakıt sistemi parçası olan enjektörün yanlış montaj edilmesi ile püskürtme açısının ve püskürtme mesafesinin bozulması, araç periyodik

bakım esnasında triger seti değişiminin hatalı yapılması ile ateşleme zaman ayarının bozulmasından dolayı tam yanma meydana gelemeyeceği için montaj hatalarından dolayı da hidrokarbonlar oluşur.

İnsan sağlığı açısından hidrokarbonlar kanserojendir, insanoğlunun ölümüne sebep olurlar. Çevre açısından ise azot oksit ve gün ışığının etkisiyle ozon tabakası meydana getirmesiyle küresel ısınmanın faktörlerinden biridir.

2.2.3 Azot Oksit (NO_x)

Azotun oksijenli bileşenleri olarak bilinen diazot oksit (N₂O), azot monoksit (NO), azot dioksit (NO₂), diazot trioksit (N₂O₃), diazot tetroksit (N₂O₄), diazot pentoksittir (N₂O₅) (Özet ve Büyükkakıncı 2020).

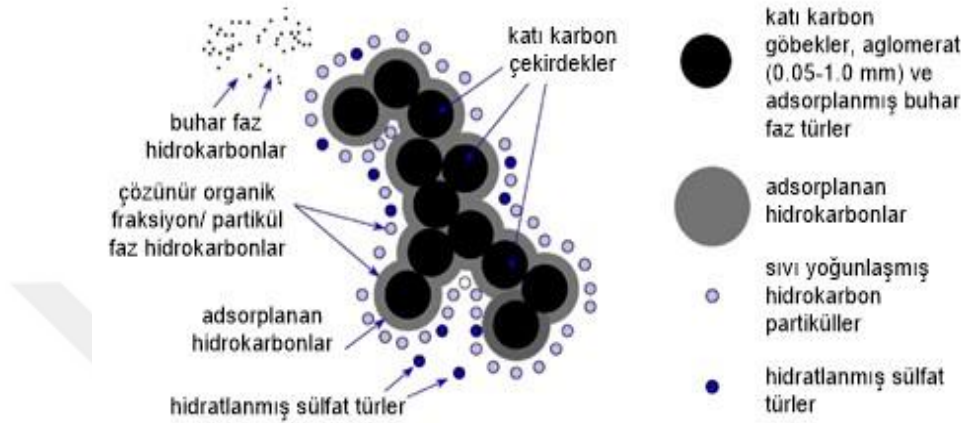
Dizel motorların hava-yakıt oranına bağlı olarak yanma sonucunda Azot ile oksijenin bir araya gelmesiyle Azot oksitler oluşur. Dizel motorlarında yanma sonucunda silindir içerisinde ki sıcaklığın 1527 °C derece üzerine çıkmasıyla birlikte azot ile oksijenin reaksiyona girmesiyle meydana gelen emisyon gazları NO_x ile ifade edilen, NO, NO₂, N₂O₅, hava kirliliği bakımından önemli olan genellikle azot oksitlerdir. NO, keskin kokulu, renksiz, NO₂ ise kırmızıya yakın kahverengi renkli, keskin kokulu ve zehirli bir gazdır. İnsan sağlığı açısından bu gazlar solunum yoluna ve akciğerleri tahriş ederek insan sağlığı açısından zararlı bir gazdır.

Bir dizel motorunda NO_x azaltmak için yanma sıcaklığının düşürölmesi gerekmektedir. Dizel motorlarda Egzoz gazının geri reaksiyonu ile silindir içerisindeki sıcaklık düşürölerek NO_x oluşumu engellenmektedir.

2.2.4 Partiköl Madde (PM)

Dizel motorlardaki egzoz gazları ile birlikte çıkan katı parçacıklar partiköl maddelerdir. Partiköl madde egzoz gazları 52 °C veya daha düşük bir sıcaklığa soğutulduğunda numune filtre kâğıdı üzerinde tutulabilecek herhangi bir maddeyi tanımlamak için

kullanılır (Alozie 2016). Bu partikül maddeler; yanmayan hidrokarbonlar, kül, is, metal sülfatlar ve metal nitratlardan oluşur. Bir dizel motorun fakir yanması ile oluşan yüksek sıcaklık üretilen kurumun boyutların 10 nm ile 30 nm arasında oluşan aglomere birincil partiküllerden meydana gelmektedir (Güney ve Aladağ 2021).



Şekil 2.2 Yanma sonu partikül maddelerin görünümü (int. Kyn. 1).

Partikül maddeler insan sağlığı açısından vücudumuzun solunum yollarına, akciğer ve akciğer dokularına endişe verici bir şekilde zarar vermektedir.

Günümüzdeki dizel araçlarda partikül maddelerden kaynaklanan emisyonların kontrol edilmesi, tutulması ve jenerasyonla yakılması için dizel partikül filtreleri bulunmaktadır. Dizel partikül filtreler egzoz gazından gelen partikül maddelerin çoğunu filtre içerisinde tutmaktadır.

2.3 Dizel Araçlar İçin Emisyon Standartları

Günümüzde araç sayılarının hızla artmasıyla birlikte araçlardan kaynaklanan egzoz gazlarının insan sağlığı ve çevre kirliliğinin verdiği zararların önüne geçilmesi amacıyla araç üreticileri için egzoz emisyon standartları getirilmiştir. Belirli türlerde araçlar için belirli şartlarda çevreye egzoz gazı vermesi istenilmektedir. Bu egzoz gazlarını emisyon değerlerinin düşürülmesi için çalışmalar devamlı olarak sürdürülmektedir. Dünyada emisyon ile ilgili çalışmalar 1968 yılında başlaması ile birlikte, 1972 yılında itibaren ise çoğu Avrupa ülkesinin sınırlamaları başlatmasıyla devam etmiştir. Ülkemiz ise bu

sınırlamalara Euro standartları uygulamayla geçmiştir. 1993 yılında günümüze kadar çeşitli aşamalardan geçerek ülkemizde egzoz emisyon standartlarının uygulamasına geçilmiştir. 1995 yılında ülkemizdeki bulunan araçların Euro 93 standardına uygun haline getirilmeye başlanmıştır. 1996 yılında ülkemiz Avrupa birliği antlaşması ile AB tip onay mevzuatına uygun araçların beş yıl içerisinde üretimlerinin uygun bir hale getirmiştir. 1995 yılında ticari araç emisyonu ECE R24 uygulanmıştır. 2001 yılından itibaren de tüm dizel araçlarda Euro I standartları uygulanmaya başlanmıştır. 2008 yılından itibaren ülkemiz Euro IV seviyesinde egzoz emisyon standartlarının uygulanmasına start verilerek, 1 Ocak 2009 tarihi itibarıyla tüm araçlarda uygulamaya başlamıştır. 2009 tarihinden sonrada ülkemiz üretilen araçların Euro V standartlarına uygun haline getirilmesi için çalışmalar yapılmıştır. 2014 yılında ülkemizdeki araçlarda Euro V emisyon standart uygulamasına geçilmiştir. Ayrıca 2014 Ocak ayından itibaren üretilecek araçların Euro VI standartlarında üretilip ihraç edilmesi zorunlu hale getirilmiştir. Dizel binek araçların Avrupa emisyon standartları (Çizelge 2.1) görülmektedir (İnt. Kyn. 2).

Çizelge 2.1 Dizel binek araçlar için Avrupa emisyon standartları. (Kategori M)*, g/km

Norm	Tip onayı	İlk kayıt	CO	THC	VOC	NO _x	HC + NO _x	PM	PN
Euro 1	Temmuz 1992	Ocak 1993	2,72 (3,16)	-	-	-	0,97 (1,13)	0,14 (0,18)	-
Euro 2	Ocak 1996	Ocak 1997	1,0	-	-	-	0,7	0,08	-
Euro 3	Ocak 2000	Ocak 2001	0,66	-	-	0,50	0,56	0,05	-
Euro 4	Ocak 2005	Ocak 2006	0,50	-	-	0,25	0,30	0,025	-
Euro 5a	Eylül 2009	Ocak 2011	0,50	-	-	0,180	0,230	0,005	-
Euro 5b	Eylül 2011	Ocak 2013	0,50	-	-	0,180	0,230	0,0045	6 × 10 ¹¹
Euro 6b	Eylül 2014	Eylül 2015	0,50	-	-	0,080	0,170	0,0045	6 × 10 ¹¹
Euro 6c	-	Eylül 2018	0,50	-	-	0,080	0,170	0,0045	6 × 10 ¹¹
Euro 6d-Sıcaklık	Eylül 2017	Eylül 2019	0,50	-	-	0,080	0,170	0,0045	6 × 10 ¹¹
Euro 6d	Ocak 2020	Ocak 2021	0,50	-	-	0,080	0,170	0,0045	6 × 10 ¹¹

2.3.1 Absorpsiyon Katsayısı

Duman koyuluğunu gösteren ve egzoz gazı içinden geçen ışığın soğurması ile ölçülen bir katsayıdır (Egzoz Gazı Emisyonu Kontrolü Yönetmeliği, 11/03/2017). Fiziksel gaz ölçümü olgusu ışık huzmesinin optik ile karakterinize edilerek emilmesi ile karakterize edilir. Opaklık ışığın iletilmesinde azalma yeteneğidir. Optik yol uzunluğuna göre ve açıklanan ışık emme katsayısı ile tanımlanır. Şeffaflığa ters bir değerdir. Opaklık, opaklık ölçer kullanılarak ölçülür. Egzoz emisyonu ışık absorpsiyon katsayısı “k” 2014/45/EU sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konseyi direktifi tarafından tanımlanmıştır. Duman opaklığı şu şekilde tespit edilir. Işık iletilirken egzoz gazı yoğunluğuna bağlı olarak ışıktaki azalmanın ölçümüdür. Duman opaklığın temel birimi m^{-1} ifade edilir. Aşağıdaki (2.4) denklem ile çözümlenir (Angelovič, Jablonický, Tkáč, ve Angelovič 2020).

$$\varphi = \varphi^o \times e^{-kL} \quad (2.4)$$

L = Etkin optik yol uzunluğu (m)

φ_o = İlk ışık demeti

φ = İletilen ışık demeti

k = Işık emme katsayısı (m^{-1})

e = Doğal logaritmanın tabanı

Dizel araçların egzoz emisyonların da absorpsiyon katsayısı uygulaması yapılmaktadır. Dizel araçlarda absorpsiyon katsayısını ölçen egzoz emisyon cihazları bulunmaktadır. Bu cihazlara bir örnek olarak (Resim 2.1) gösterilmiştir. Dizel araçlar için emisyon standartlarını belirleyen absorpsiyon katsayısını (Çizelge 2.2) gösterilmiştir (Egzoz Gazı Emisyonu Kontrolü ile Benzin ve Motorin Kalitesi Yönetmeliği, 2013).



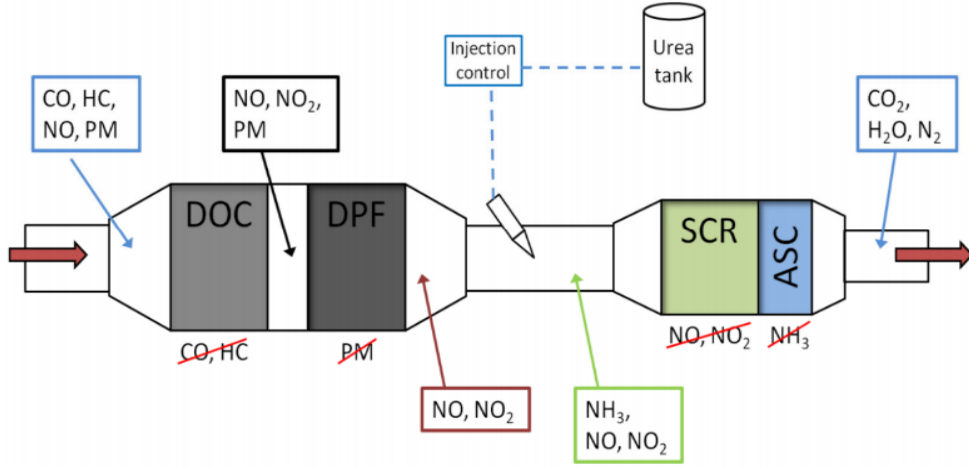
Resim 2.1 Dizel üniversal egzoz emisyon cihazı.

Çizelge 2.2 Dizel araçlar için absorpsiyon katsayısı

Taşıta ait bilgi	Absorpsiyon katsayısı m^{-1}
Normal emişli dizel motorlarda	2,5
Aşırı doldurmalı dizel motorlarda (Türbo Şarjlı)	3,0
2010 yılından sonra motorlarda	1,5

2.4 Dizel Araçlarda Emisyon Azaltıcı Etkenler

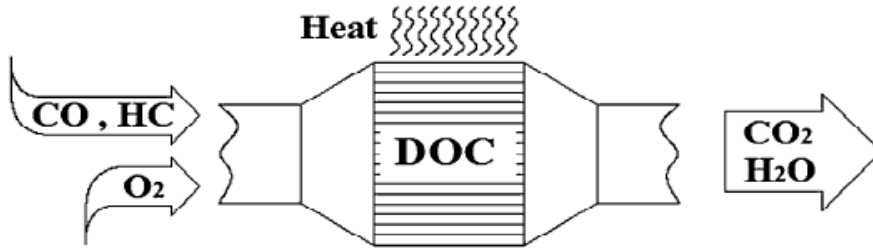
Dizel motorların insan sağlığı ve çevreye yaymış olduğu egzoz gazı emisyonları olan CO, HC, PM ve NO_x emisyonlarını en aza indirmek için her geçen gün yeni teknolojik gelişmeler var olmaktadır. Dizel motorların egzozlarına da çıkan CO, HC, PM ve NO_x emisyonlarına egzoz manifold çıkışından itibaren egzoz sistemi içerisinde parçalamak ve yakmak suretiyle müdahale edilerek eksiksiz yanmanın oluşturduğu, H₂O, CO₂, N₂ oluşması sağlanmaktadır.



Şekil 2.3 Dizel araçlarda kullanılan emisyon azaltıcı sistemler (Elhag 2018)

2.4.1 Dizel Oksidasyon Katalizörü (DOC)

Dizel motorların egzoz gazlarında bulunan HC, CO ve partikül maddeleri azaltmak için; oksijenle yakmak işlemini gerçekleştirerek zararsız H₂O ve CO₂ dönüştürmektir. Denklem (2.5) ve (2.6) dönüşümler görülmektedir.



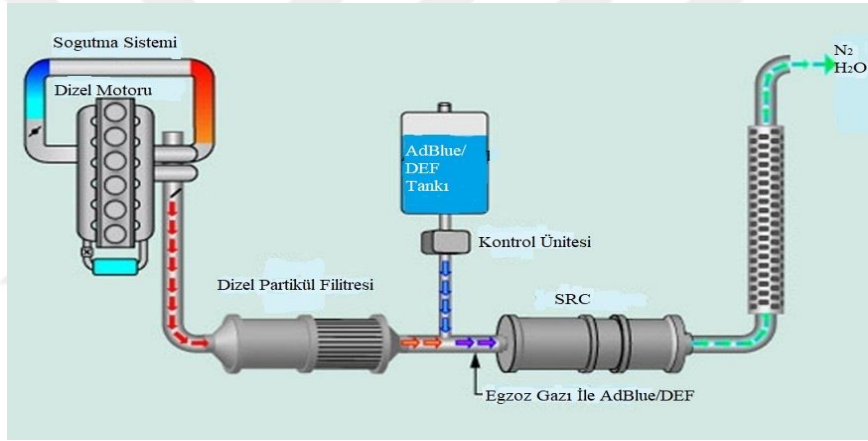
Şekil 2.4 Dizel oksidasyon katalizörü dönüşüm şematığı (Reşitoğlu, Altınışık ve Keskin 2015)

Dizel Oksidasyon Katalizörü dizel araçların egzoz manifoldu çıkışından itibaren egzoz borusu içerisinde ayrı bir parça olarak yada dizel partikül filtresiyle beraber tek bir parça halinde bulunurlar. Dizel oksidasyon katalizöründe, katalizör olarak; seramik veya

metalden yapılmış tek parça halinde bir peteksi yapısı vardır. Bu taşıyıcı yapının yanı sıra alüminyum oksit (Al_2O_3), seryum oksit (CeO_2), zirkonyum oksit (ZrO_2), platin (Pt), paladyum (Pd) ve rodyum (Rh) gibi aktif katalitik asil metallere oluşan bir oksit karışımından oluşmaktadır (Reşitoğlu, Altınışık ve Keskin 2015).

2.4.2 Seçici Katalitik İndirgeme (SCR)

Dizel araçların egzoz gazlarından çıkan NO_x emisyon gazlarının en düşük seviyelere indirmek ve NO_x emisyon gazlarını üzerine üre ve dizel egzoz sıvısı (DEF) püskürtülerek N_2 , H_2O ve az miktarda CO_2 çevirmek için günümüzdeki dizel araçlarda kullanılan aktif emisyon kontrol sistemidir.

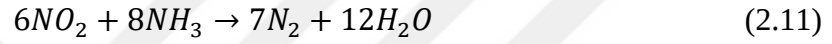
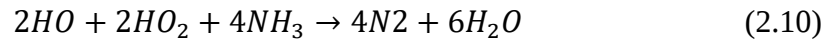
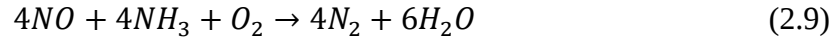


Şekil 2.5 Seçici katalik indirgeme sistemi (İnt. Kyn. 3)

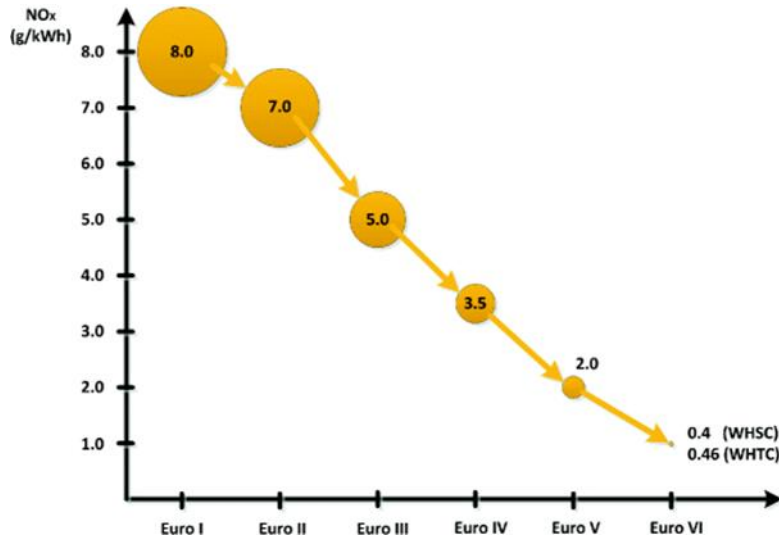
Bu sistemde araç yakıt deposu yanında ayrıca AdBlue/DEF tankları mevcuttur. AdBlue/DEF renksiz, kokusuz, zehirsiz ve yanıcı olmayan %32,5 oranında üre ve %67,5 iyonları alınmış sudan oluşan bir sıvıdır. AdBlue / DEF sıvısı metal katalizör üzerine ECU tarafından miktarı ayarlanarak egzoz gazları gelişine karşı püskürtülür. SRC sisteminde ki katalik üreyi amonyak'a (NH_3) dönüştürür. Egzoz gazlarından gelen NO_x emisyonları amonyak ile kimyasal tepkimeye girerek azot ve suya dönüşmektedir. Üre egzoz sistemine püskürtüldüğünde az miktarda da karbondioksit meydana gelir. Seçici katalitik indirgemenin reaksiyon denklemleri;



Termoliz ve hidrolizden sonra ki aşamada SCR katalizöründe meydana gelen kimyasal reaksiyon



Çevre sorunlarına artan endişenin etkisiyle egzoz gazlarından kaynaklanan emisyonların önemi her geçen gün artmaktadır. Avrupa Ağır Hizmetler Emisyon Yönetmeliğinde (Şekil 2.6) gösterildiği gibi, Seçici Katalitik İndirgeme sisteminin etkisiyle NO_x 8,0'den 0,46 g/kWh'ye düşürülmüştür (Xinmei, Hongqi ve Ying 2015).



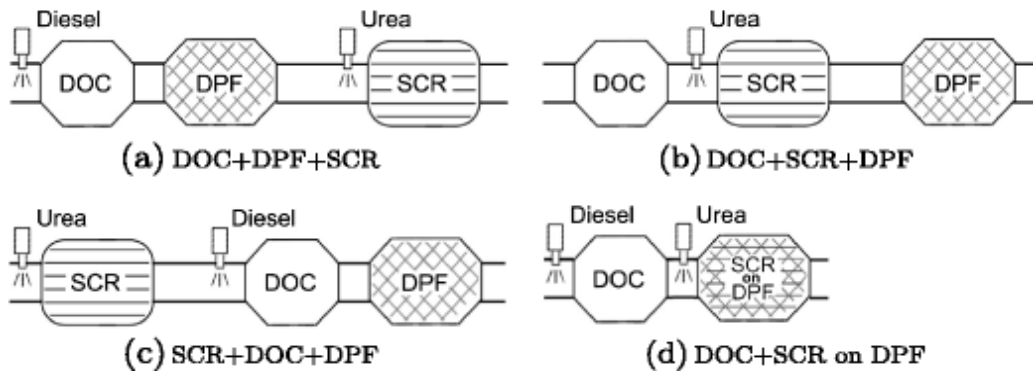
Şekil 2.6 Seçici katalik indirgeme etkisiyle NO_x düşüş değerleri.

Dizel Araçların yakın deposu yanında bulunan tank içerisinde ki AdBlue / DEF seviyesi düşük veya yok ise sistem dizel motorun araç çalıştırma sisteminin engelleyerek dizel motorun çalışmasına izin vermez ya da motorun belli devir üstüne çıkmasına izin vermez. AdBlue/DEF seviyesi algılama sensörü tank içerisindeki AdBlue/DEF sıvısının seviyesini sürücüye sesli veya görsel uyarı olarak gösterir.



Resim 2.2 AdBlue / DEF tankları (İnt. Kyn. 3).

Seçici Katalitik İndirgeme yerleşimi (Şekil 2.7) görülmektedir. DPF, DOC'den hemen sonra yerleştirilir. Üre dozajı, DPF'nin aşağısında ve SCR katalizörünün yukarısında gerçekleşir. DPF'nin SCR katalizörünün önüne yerleştirilmesi, rejenerasyon yönetimi için ideal konumdur. Ancak, bu DPF yerleşimi, büyük DPF termal kütlesi nedeniyle SCR soğuk çalıştırma verimliliği için önemli problemler ortaya çıkarır. Ayrıca DPF rejenerasyon sıcaklığı 650 °C'ye kadar olduğu için, yüksek sıcaklık dayanıklılığına sahip bir SRC seçilmelidir (Xinmei, Hongqi ve Ying, 2015).

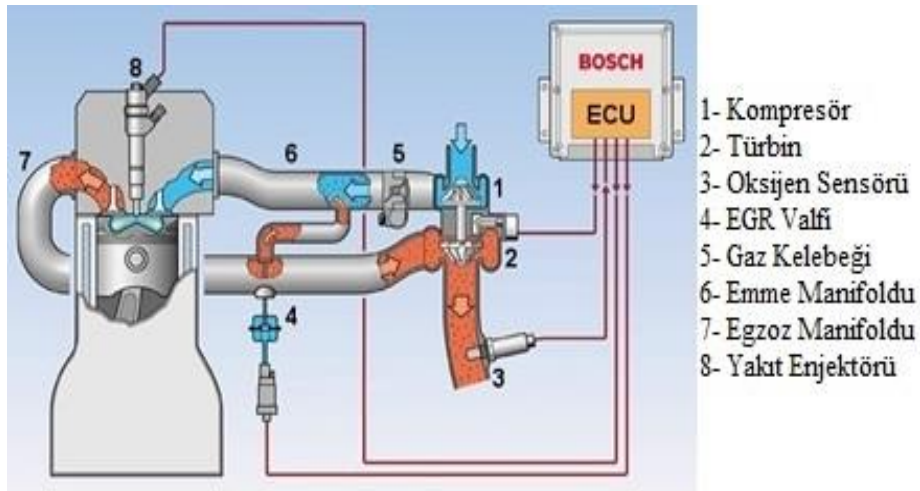


Şekil 2.7 Bir dizel araçta SRC yerleşim durumu (Xinmei, Hongqi ve Ying 2015).

2.4.3 Egzoz Gazı Resirkülasyonu (EGR)

Günümüzdeki benzinli, dizel ve hibrit araçlarda azot oksitleri en aza indirmek için hava/yakıt karışımının silindir içerisinde yanmasından sonra yanmış olan egzoz gazının bir kısmının tekrar motorun emme manifolduna motor soğutma suyu ile soğutmasıyla motorun emme manifoldu bağlantı noktasıyla motor silindir içerisine tekrar göndererek motor içerisine alınan temiz havanın yapısını bozarak yanma kalitesini düşürüp yanma sonu sıcaklığını düşürerek azot oksit oluşumlarını en aza indiren bir sistemdir.

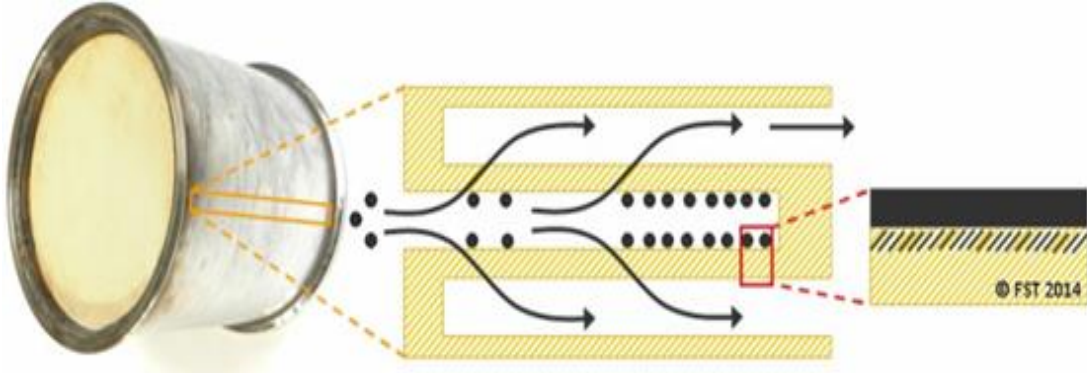
Egzoz gazı esas olarak CO_2 , N_2 ve su buharından oluşmaktadır. Egzoz gazının bir kısmı silindire yeniden gönderildiğinde, yanan karışım için seyreltici görevi görür. Bu aynı zamanda yanma odasındaki O_2 konsantrasyonunu da azaltır. EGR'nin özgül ısısı temiz havadan çok daha yüksektir; dolayısıyla EGR, giriş yükünün ısı kapasitesini artırır, böylece yanma odasındaki aynı ısı salınımı için sıcaklık artışı azaltmış olur (Agrawal, Singh ve Sinha 2004). EGR sistemi sıcaklığı azaltarak NO_x miktarını önemli ölçüde azaltır. EGR sistemi, genellikle kısmi motor yükleri sırasında ve oksijenin fazla olduğu düşük ve orta motor devri alanlarında daha çok aktiftir. Yüksek motor yükünde ise günümüz araçlarındaki motor kontrol ünitesi tarafından EGR sistemi devre dışı bırakılarak silindirler içerisine sadece temiz hava doldurularak motorun ihtiyacı olan torku üretmek için verimli ve yüksek ısılı yanmayı hazır hale getirir. EGR sistemi (Şekil 2.8) görülmektedir.



Şekil 2.8 EGR sistemi (İnt. Kyn. 4).

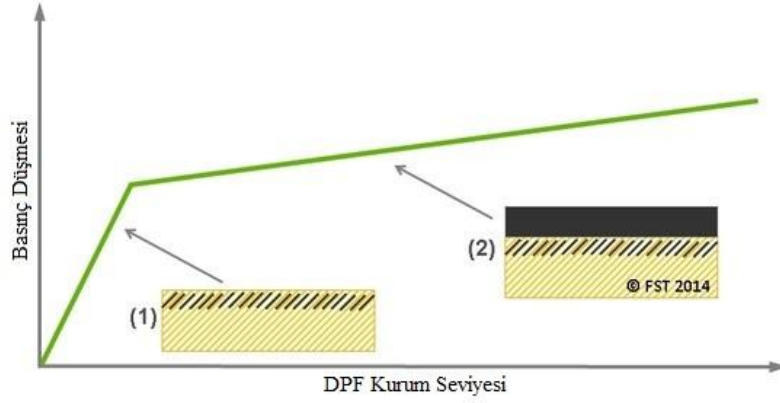
2.4.4 Dizel Partikül Filtreleri

Dizel partikül filtreleri dizel araçlardan kaynaklanan emisyonları azaltmak için kurum kül gibi partikül maddeleri yakalayan ve depolayan egzoz sistemine yerleştirilen bir petek yapısı halinde seramik yapıya sahip Euro 4, Euro 5 ve Euro 6 emisyon standartlarını karşılamak için geliştirilmiş parçadır. Dizel partikül filtresi egzoz manifoldundan çıkan egzoz gazlarının sistem üzerinden geçişine izin verirken katı olan kurum, kül, isi ve sıvı partikül madde emisyonlarını biriktirmek için çeşitli boyut ve ebatlarda tasarlanarak egzozla yerleştirilmektedir. Dizel partikül filtresinin içerisinden geçen egzoz gazlarında düşük bir basınç azalması ve yüksek bir seviyede is tutabilme kapasitesine sahip olması istenmektedir (Mutlu ve Keskin 2011).



Şekil 2.9 DPF kanal duvarları üzerinde kurumu yakalaması ve biriktirmesi (İnt. Kyn. 5).

Duvar akışlı DPF, bir katalitik konvertörün geometrisine sahiptir, ancak bitişik kanalların tıkalı zıt uçları vardır. Filtrelenmemiş egzoz gazları giriş kanallarına girer ve çıkış kanalından çıkmadan önce giriş akış yönüne dik gözenekli alt tabaka tabakasından geçer. DPF işlemi sırasında, alt tabaka tabakası üzerinde zamanla artan bir basınç düşüşüne yol açan bir kurum birikintisi tabakası oluşacaktır. Dizel partikül filtresinde biriken kurumun etkisiyle dizel partikül filtresinde rejenerasyon sıklığına ve aracın yakıt ekonomisini etkiler (Sappok ve Wong 2010). Kurum birikimi ile basınç düşümü (Şekil 2.10) gözlenmektedir.



Şekil 2.10 DPF kurum birikimi ile basınç düşüşünün gelişimi (İnt. Kyn. 5).

Dizel partikül filtresinin giriş ve çıkış kısmında bulunan basınç sensörleri ile birlikte DPF doyumluk noktası ECU tarafından tespit edilerek, biriken PM düzenli aralıklarla partikül filtrenin tıkanmaması için egzoz sisteminin ısısının artırılması ile tekrar yakılarak çevreye ve insanlara zararsız hale getirilerek egzoz sisteminden atılması sağlanır. Biriken partiküllerin yakılması işlemi pasif ve aktif rejenasyonla gerçekleştirilir. Rejenasyon işlemi ayrıca bir başlık altında işlenecektir. Dizel partikül filtreleri üzerine yapılan makale ve tez çalışmalarında genellikle dizel partikül filtresi yapısı, malzemesi, DPF basınç kayıpları üzerine ve rejenasyonlarla ilgili çeşitli çalışmalar görülmüştür.

Mutlu ve Keskin (2011), dizel partikül filtreleri ve malzemeleri üzerine hazırlamış oldukları makale çalışmalarında dizel partikül filtre üretiminde kullanılan malzemelerinin özellikleri, ısıya karşı termal dayanımları, korozyona ve rejenerasyon sonrasındaki mekanik dayanımlarını çeşitli parametrelerle incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda dizel partikül filtrelerinin günümüzde yaygın olarak silikon karpit ve kordieritten oluştuğunu paylaşmışlardır.

Keskin (2018), dizel partikül filtrelerinde rejenasyonlarla ilgili hazırlamış olduğu makale çalışmasında DPF rejenerasyon yöntemlerini incelemiştir. DPF rejenerasyonun gerçekleşmesi sonrasında dizel partikül filtresinin çeşitli parametrelere uyulması gerektiğini belirtmiştir. Bu parametrelerin genel anlamda egzoz gazı sıcaklığı, egzoz geri basıncı, egzoz sisteminde kalan oksijen miktarı ve hacimsel oranlar olduğunu paylaşmıştır.

Çoşkun (2017), yüksek lisans tez çalışmasında dizel partikül filtre yapısının ve malzemesi üzerinde incelemeler yaparak dizel araçlar için egzoz sistemi tasarımını matematiksel olarak incelemiştir. Elde ettiği sonuçlar itibari ile SiC kaplamasının partikül maddeleri tutmada başarı olduğunun tespitini yaparak, çeşitli geometrik şekillerde çalışmalar yaparak dizel partikül filtresi içerisindeki basınç değerlerini inceleyerek geri basıncın oluşturacağı direncin yakıt sarfiyatını etkileyeceğini belirtmiştir.

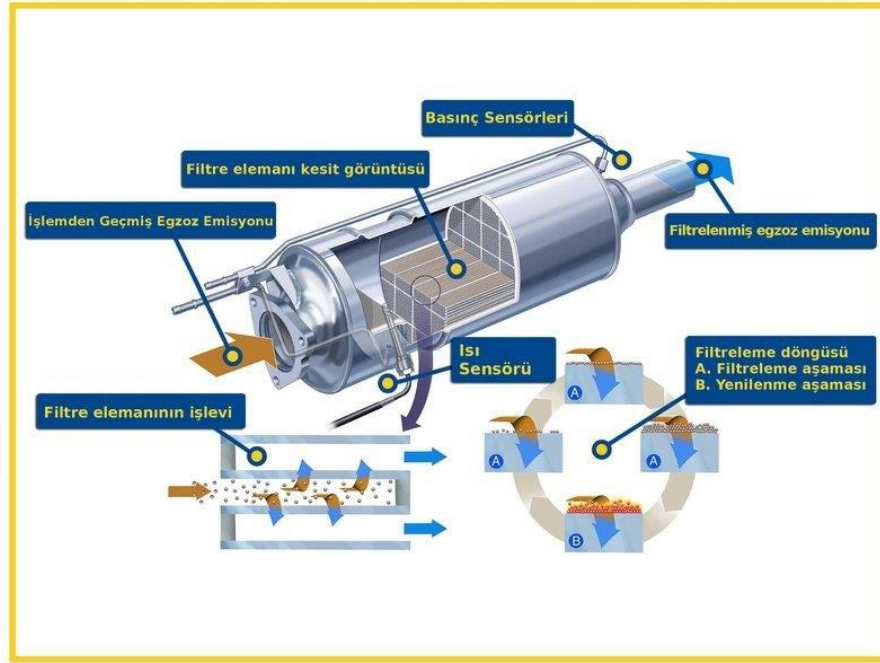
Gürlek (2016), yüksek lisans tez çalışmasında dizel partikül filtresinin yapısının çözümlemesi ile ilgili analizler gerçekleştirerek, dizel partikül filtresi duvarların da bulunan partikül maddelerin boyutlarını 10-50 μm olduğunu tespit etmiştir. Dizel partikül filtrenin petek kısmındaki malzemesinin SiC, Si ve SiO₂ oranlarını tespit etmiştir.

Topateş (2013), yüksek lisans tez çalışmasında dizel partikül filtresi üretimi için çeşitli malzemelerin geliştirilmesi açısından silisyum nitrür üzerine dizel partikül filtrenin partikül madde tutma oranını, dizel partikül filtre giriş çıkışlardaki basınçların incelenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Yapılan çalışmalarda sonucunda silisyum nitrür malzemenin geçirgenliğini hacimsel olarak düşük olduğunu, filtreleme kapasitesinin ise yüksek bir değer de olduğunu göstermiştir.

Özkan (2016), yüksek lisans tezinde dizel partikül filtrelerde oluşan basınç kayıpları üzerine matematiksel model üzerine incelemelerde bulunmuştur. Dizel partikül filtre üzerinde basınç kayıplarının, düşük hızlarda model ve sayısal analiz arasında çok farklılıkların olduğunu gözlemlemiştir. Yalnız yüksek hızlara çıkıldığında zaman akışının türbülanslı hale gelmesiyle model ve sayısal analiz arasında basınç kayıplarının olduğunu tespit etmiştir.

2009 yılından itibaren Avrupa Birliğinde tarafından düzenlenen mevzuat gereğince yeni dizel araçlarda (Şekil 2.11) görülen dizel partikül filtreleri aracın egzoz sistemine monte edilmektedir. Dizel araçların egzoz manifoldu çıkışındaki bağlantı flanşı ile DPF bağlantı flanşı birbirine araya metal conta konularak bağlanır. Dizel partikül filtreleri emisyon

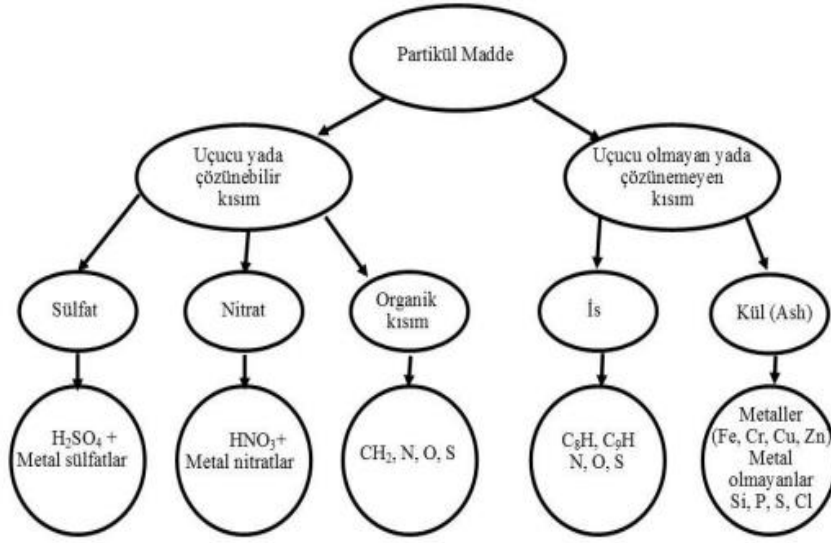
standartlarının karşılanabilmesi için Euro 5 ve Euro 6 araçlarda zorunlu olarak bulunmaktadır. Filtre ayrıca bazı Euro 4 araçlarında da bulunmaktadır.



Şekil 2.11 Dizel partikül filtresi (İnt. Kyn. 6).

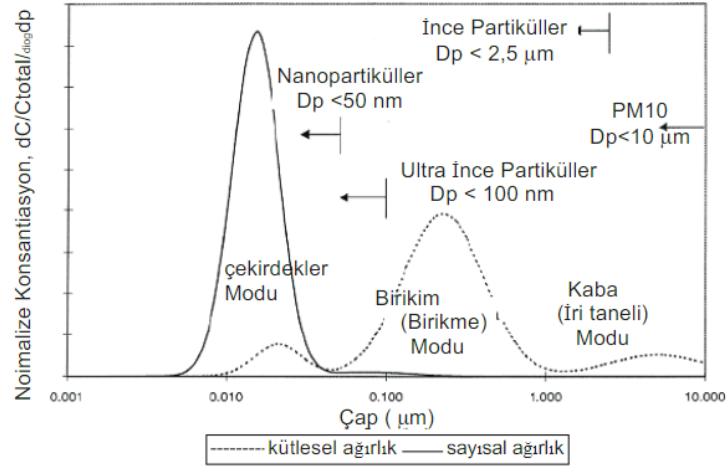
2.4.4.1 Partikül Madde (PM)

Partikül madde (PM) terimi, egzoz gazları 52 °C veya egzoz gazlarının 52 °C altına soğutulduğunda numune filtre kâğıdı üzerinde tutulabilecek herhangi bir maddeyi tanımlamak için kullanılmaktadır. Sülfatlar, nitratlar, organikler gibi çeşitli maddelerin yanı sıra katı siyah karbon parçacıkları (kurum) ve kül gibi önceden buhar halindeki tüm kondensatları içermektedirler (Özkan 2016). Partikül madde içeriği (Şekil 2.12) görülmektedir.



Şekil 2.12 Partikül içeriği (Coşkun 2017).

Partikül madde tane büyüklüğü üç geometrik boyutla ifade (Şekil 2.13) edilmektedir (Keskin 2011).



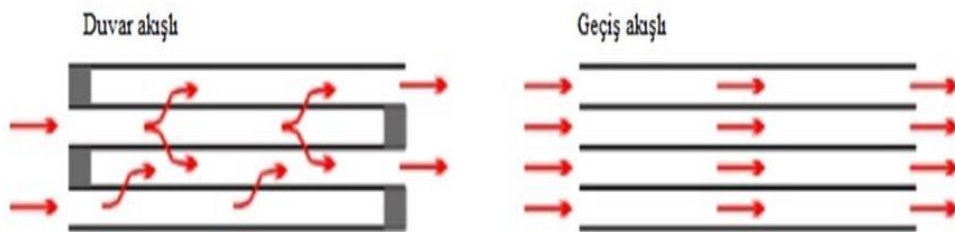
Şekil 2.13 PM'nin boyutlarının sayı ve kütle bazında dağılımı (Keskin 2011).

Çekirdeklenme modu PM türlerinin buhar halinden çekirdeklenmesiyle oluşan en küçük parçacıklardır. Boyutları en küçük olmaktadır. Genellikle katı parçacıklara kümeler halinde bağlanır. Isıdan en kolay etkilenecek yanarak veya buharlaşarak egzoz sisteminden atılırlar. Biriktirme modu partikülleri genellikle, üzerine uçucu partiküllerin

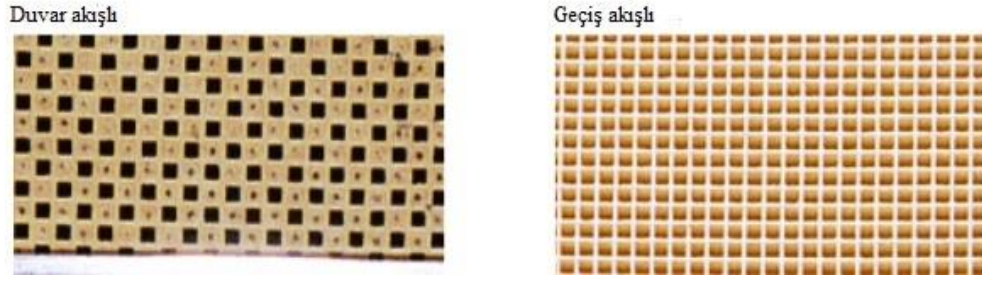
yoğuşarak yapıştığı katı karbonlu çekirdek olarak oluşan, birincil partiküllerin oluştuğu kümelerdir. Kaba mod partikülleri daha büyüktür, duvarlarda biriken ve daha sonra aerosol yığın akışına geri taşınan birikim modu partiküllerinin birikmesi olarak algılanır (Alozie 2016). Partikül maddeler PM10 ve PM2,5 olarak iki başlık altında incelenmektedirler. PM10 partikül madde boyutu 10 μm altında olan kurum tanecikleridir. PM2,5 ise partikül tane boyutu 2,5 μm 'dan küçük olan kurum tanecikleridir. Bu partiküller insan sağlığı açısından vücudumuzun alt ve üst solunum sistemine girerek, günümüz pandemi şartlarını da düşünürsek ciddi bir şekilde sağlık sorunlarına sebep olarak insanların ölümüne kadar götürmektedir (Tarhan 2015). İnsan ve çevre sağlığına verilen önemden ötürü günümüz dizel araçlarında 2009 dan itibaren dizel partikül filtresi bulundurma zorunluluğu getirilmişti.

2.4.4.2 Dizel Partikül Filtresinin Yapısı

Dizel partikül filtresinin en yaygın tasarımı duvar akışlı monolittir. Eksenel yönde uzanan birçok küçük, paralel kanala sahip genellikle silindirik seramik yapıdır. Dizel filtre monolitlerinin tasarımının bir diğer ise geçişli akış desendir. Duvar akışlı ve geçişli akış arasındaki fark (Şekil 2.14) görülmektedir. Duvar akışlı monolitel daha yüksek seramiklerden kordierit ve silisyum karbür gibi özel seramik malzemelerden yapılırlar. (Özkan 2016). Ayrıca daha kesin olarak kontrol edilen gözeneklerden mevcuttur. Duvar akış filtrelerindeki bitişik kanallar alternatif olarak her bir uçta tıkanır, böylece gaz, hareket eden gözenekli duvarlardan akmaya zorlanır.



Şekil 2.14 Duvar akışlı ve Geçiş akışlı monolitler (İnt. Kyn. 7).



Şekil 2.15 Duvar akışlı ve Geçiş akışlı monolit görünümü (İnt. Kyn. 7).

2.4.4.3 Dizel Partikül Filtre Malzemesi

Günümüz şartlarında ticarileşmiş dizel partikül filtreleri silikon karpit, kordierit veya metalden yapılmaktadır (Mutlu ve Keskin 2011). Dizel partikül filtrelerinde seramik malzemeler, iyi termal dayanıklılıkları nedeniyle partikül filtreleri için yaygın olarak kullanılır ve en yaygın seramik malzemeler: kordierit, silisyum karbür, müllit ve alüminyum titanattır. DPF kullanılan seramik malzemelerin özellikleri (Çizelge 2.3) görülmektedir. Silisyum karbür yüksek partikül madde yakalama kabiliyetine sahiptir, sıcaklık dayanımı ise yüksektir.

Dizel Partikül Filtre malzemesi genellikle yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmalıdır. Rejenasyon sırasında ısıdan kaynaklanacak gerilmelere karşı dirençli olmalıdır. Filtrenin termal gerilme etkilerinin daha az olması için düşük young modülü, düşük termal genleşme katsayısı ve iyi termal iletkenliğe sahip olması gerekir (Mutlu ve Keskin 2011).

Dizel partikül filtrelerinde kullanılan seramiklerin özelliklerinden SİC young modulu ve kullanım sıcaklığı yüksektir. Al-titanat young modülü düşüktür (Topateş 2013). DPF kullanılan seramik malzemelerin özellikleri (Çizelge 2.3) gösterilmiştir. (Adler 2005).

Çizelge 2.3 Dizel partikül filtresinde kullanılan seramik malzemelerin özellikleri.

Özellik	Birim	Kordierit	SiC	Müllit	Al-titanat
Yoğunluk	(g/cm ³)	2,1	3,1-3,2	2,9	3,3
Isıl iletimi	(W/mK)	1-3	90	4-5	1.5-3
Isıl genleşme Katsayısı	(10 ⁻⁶ / °C)	0,9-2,5	4,7-5,2	4,4	-0,5-3
Young modülü	(GPa)	130	410	150	20
En yüksek kullanım Sıcaklığı	(°C)	1350	1500	1600	1500
Korozyon direnci		-	+	o	o
Maliyet		++	-	+	+
İşaretler:	-: kötü,	o: ortalama,	+: iyi,	++: çok iyi	

2.4.4.4 Dizel Partikül Filtresi Tıkanma Sebepleri

Dizel partikül filtresinin tıkanma sebepleri olarak bir dizel motorda yapılan deney süreci sonrasında dizel partikül filtresinde ki oluşan küllerin analizi yapıldığında dizel partikül Filtresindeki külün %90 motor yağı metalik katkılarından (McGeehan 2012) geri kalan külün %5'i aşınma veya korozyon yan ürünlerinden kaynaklanırken diğer %5'lik kısım ise yakıt, soğutma sıvısı ve diğer kirlerden kaynaklanabilir olduğu gözlenmiştir (Bagi 2016).

Dizel partikül içerisindeki kurumun düşük hızlarda, aracın devamlı dur – kalk yapması tıkanmaya sebeptir. Araç sistemlerinden kaynaklanan arızalar sebebi ile ECU aktif rejenerasyonu gerçekleştiremediği sürece dizel partikül filtresinde tıkanmalar meydana gelecektir. Bu arızalar genellikle EGR valfinin arızalanması, turbo arızaları, motor sisteminden kaynaklı herhangi bir arıza olması durumunda motor arıza ışığının yanık olması da etkilidir. Dizel partikül filtresinin tıkanmasını hızlandıran etkenler ise ucuz ve kalitesiz yakıt kullanılmasıyla beraber en etken faktör olarak dizel partikül filtreli araçlarda periyodik bakımlarında kullanılması gereken yağların özelliklerinin aracın

emisy n değerlerini koruyabilecek, aynı zamanda DPF tıkanmasını önleyecek şekilde özel şartlarla altında üretilen daha az metalik komponent ve düşük miktarda s lfatlanmı  k l, fosfor ve sülfür içeren ACEA-Low SAPS sınıfında yağların kullanılması gerekmektedir. DPF tıklal  gözenekleri (Resim 2.3) görülmektedir.



Resim 2.3 Dizel partikül filtresi tıklal  kısımları.

2.4.4.5 Dizel Partikül Filitresi Tıkanma Belirtileri

Dizel partikül filtresinin tıkanma belirtileri olarak en önemli uyarı sistemi DPF uyarı lambasının yanmasıdır. Araç normal şartlar altından çıkıp aracın  eki ten ve performanstan d  mesi gözlenmektedir. ECU tarafından tıkanık DPF'nin açmak için aktif rejenerasyon için araç yakıt p   rtme miktarının artırılması ile birlikte hem yakıt miktarında bir artış gözlenecek hem de silindir içerisinde bulunan fazla yanmayan yakıt segmanlar tarafından tutunamayacağı için yağ karteline kaçacaktır. Bu kaçış yağ miktarında bir artı a sebep olacaktır. Araç ECU'su sürekli rejenesyona kendisini hazırlayacağı için araç rölanti devri artacak ve aracın soğutma fanının çalıştığı görülecektir. Ayrıca egzoz çıkışında istenmeyen duman atması da gözle görülecektir. Dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da tıklal  olan DPF'sinin açılabilmesi için rejenerasyon sürekli tekrarlayacağı için egzoz sisteminde sıcaklık 600  C ile 700  C çıkacaktır. Şayet egzoz sistemi üzerinde bulunan yağ kaçakları da varsa aracın yanmasına kadar götürebilir.

2.4.4.6 Rejenerasyon

DPF'li aracın uzun süre kullanımlarda tıkanmasını önlemek için, dizel partikül filtre içerisinde biriken partikül maddelerin belirli aralıklarla yakılmak suretiyle temizlenmesi gerekmektedir. Ayrıca dizel partikül filtresi içerisinde birikmiş olan bu is şayet sistemden atılmaz ise motorun fazla yakıt harcamasına, dizel motorun ve filtrenin zarar görmemesi sebep olmaktadır. Rejenerasyon pasif ve aktif rejenerasyon olmak üzere iki çeşittir (Keskin 2018).

Pasif Rejenerasyon dizel partikül filtre içerisindeki partikül maddeler, aracın kendi kendine herhangi bir etki olmadan, araç ECU'sunun sistemlere müdahale etmeden egzoz gazı sıcaklığının normal şartların biraz üstünde iken partikül maddelerin yakılmasıdır. Egzoz gaz sıcaklığı 300 °C ile 500 °C arasında olmalıdır.

Pasif rejenerasyon NO_x bazlı rejenasyondur. Oksidasyon katalizörün NO bazılarını NO₂ dönüştürerek oksitler, bu NO₂ partikül maddelerin %90 yakının oksidasyonu sağlanır (Keskin 2018).

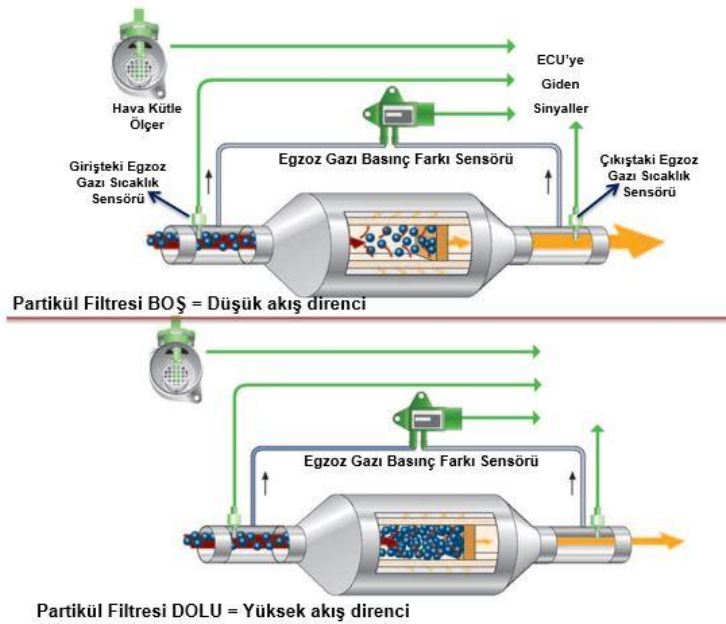


NO₂ oksijenden daha güçlü bir oksidan olduğundan, bu rejenerasyon prosesi için büyük bir avantajdır. Gaz o kadar güçlü oksitleniyor ki, katalizör ve kurum arasındaki temas daha az önemli hale geliyor (Andana vd. 2019).

Aktif Rejenerasyon genellikle dur-kalk ve kısa yolculuklarda, şehir içi kullanımlarında pasif rejenerasyonun gerçekleştirilemediği zaman zarfında DPF içerisinde kurum birikintisi çoğalır. DPF'deki egzoz geri basıncının ilk kritik noktaya ulaştığı algılandığında tetiklenir, bunun üzerine ECU, DPF'deki egzoz sıcaklığını 600 °C'nin üzerine çıkarmak için tasarlanmış bir yakıt enjeksiyon rutini başlatır (Martyr ve Plint 2012).

ECU bilgi veren; Egzoz gazı sıcaklık sensörü, oksijen sensöründen belirli bir sinyal modeline göre doygunluğu hesaplayan bir model diferansiyel basınç sensörü, hava debimetresi ve egzoz sistemi üzerinde dizel partikül filtresi giriş ve çıkışı arasında bulunan basınç fark sensörleri sayesinde DPF içerisindeki giriş ve çıkış basınç farklarını algılayarak filtrenin tıkanıklık oranını hesaplar. ECU'ya gelen bilgiler sayesinde ECU egzoz gazı sıcaklığını 550 °C – 600 °C arasında sıcaklığa çekmek için motor sistemindeki hava akışını ayarlayarak yakıt miktarını artırır. Böylelikle yanmanın bir kısmı da egzoz sisteminde gerçekleşeceği için egzoz sistemindeki sıcaklık artışını da 200 °C– 300 °C değerinde artırmış olur. Bu işlem esnasında EGR valfi kapalı bir konumda tutulur.

Dizel egzozunda oksijen, hemen hemen tüm çalışma koşullarında yeterli miktarda bulunur. Bununla beraber O₂ ile kayda değer rejenerasyon oranları elde etmek için nispeten yüksek sıcaklıklar gereklidir. Oksijen bazlı rejenerasyon daha çok aktif rejenerasyonda görülür.



Şekil 2.16 Partikül filtresi üzerindeki sensör bağlantıları (İnt. Kyn. 8).

ECU tarafından DPF'in aktif rejenerasyonunu başlatabilmesi araç üzerinde bazı kriterlerin yerine getirilmiş olması ve aracın rejenerasyona hazır halde bulunması gerekmektedir. Bu kriterler kısaca; araç yakıt deposundaki yakıtın %25'nin dolu olması, aracın belli bir mesafe boyunca yüksek devirde çalıştırılması ve aracın yakıt ve soğutma sisteminde herhangi bir arızanın olmaması gerekmektedir. ECU tarafından DPF arıza ışığının yanması ile birlikte aktif rejenerasyonun gerekli olduğu bildirir. Sürücünün bu esnada 80 km/h sabit hızda 3000 d/d en az 30 km ila 40 km mesafe yol kat etmesi gerekmektedir. Şayet DPF'nin kurum açısından doluluk oranı belirli bir sınırı aşıyorsa ECU tarafından DPF bozulmaması için aktif rejenerasyon başlatılmamaktadır. Dizel Partikül filtresi içerisindeki bulunan kurum 45 gr üzerinde ise bu durum karşısında DPF ya yenisi ile değiştirilmesi ya da yerinden sökölerek cihazla temizlenmesi gerekmektedir (Schreiber ve Liati 2011). DPF aşırı doluluk oranında ECU tarafından kızdırma buji arıza ışığı ile birlikte motor arıza ışığı beraber yanarak sürücüye gerekli uyarıyı yapmış olur.

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Makine İle Dizel Partikül Filtresinin Temizlenmesi

Dizel partikül filtresinin arıza lambasının yanması ile birlikte aracın çekişten düşmesi, aracın duman atması gibi DPF tıkanma belirtileri olduğu tespit edilmiştir. Araç Arıza Tespit cihazına bağlandığında DPF içerisindeki kurum doygunluk seviyesini geçtiğini ve DPF'nin %67,92'sinin tıkalı (Resim 3.1) görüldüğü için partikül filtresi makine ile temizlenmesine karar verilmiştir. DPF tıkalı olan dizel aracımızın (Çizelge 3.1) teknik özellikleri görülmektedir.

Çizelge 3.1 1,3 HDI Euro 5 Deney aracının teknik özellikleri.

Motor	Teknik özellikler
Silindir hacmi	1248 cc
Silindir sayısı	4
Valf sayısı	16
Yakıt Püskürtme	HDI
Beygir Gücü	75 hp
Azami Tork	190 NM
CO ₂	119 gr/ km
Besleme Tipi	Turbo
Araç Kilometresi	176 000
Şanzıman	Manuel
Yakıt Tüketimi Ortalama	4,5 lt

ESC		Y
Motor ısısı		
Parçacık filtre ısısı	93,5 °C	
Defrasyonel sensor basıncı	242,0 °C	
Parçacık filtre durumu	5 mbar	
Parçacık filtresi tıkanması	normal tıkanma	
Rejenerasyon suresi yüzde	67,92 %	
Zorlamalı rejenerasyon durumu	0,000 %	
	Tamam	

Resim 3.1 DPF tıkanma oranı.

3.1.1 Dizel Partikül Filtresinin Sökülmesi

Dizel partikül filtresinin sökülmesi için araç lift üzerine alınarak önce motor üzerindeki hava filtresi ve bağlantı hortumları çıkartıldıktan sonra; DPF ve turbo bağlantı üzerinde bulunan ısı kalkanlarının sökülmesi işleminin ardından DPF ile turbo arasındaki egzoz bağlantı kelepçesi sökülerek DPF'sinin üst bağlantı noktası söküldü. Araç lift üzerinde yukarı kaldırılarak DPF'sinin egzoz borusu bağlantı noktası (Resim 3.2) görüldüğü gibi DPF araç üzerinden sökülmüştür.



Resim 3.2 DPF deney aracından sökölme işlemi.

3.1.2 Tıkalı Dizel Partikül Filtresinin Temizleme İşlemi

Dizel partikül filtresi tamamen söküldükten sonra (Resim 3.3) görülen DPF temizleme makinesine dizel partikül filtresi sensör bağlantı yerlerine kör tıpa bağlanarak, ilk önce DPF giriş yönünde bağlanıp Test 1 yapıldı. Daha sonra başlık temizleme işlemini gerçekleştirmek için egzoz gazı çıkış borusu tarafında (Resim 3.4) görüldüğü gibi bağlanmıştır



Resim 3.3 DPF temizleme makinesi.



Resim 3.4 Dizel partikül firtresinin makinaya bağlantısı.

Temizleme süreci üç kademe olarak yapılmaktadır. Dizel partikül firtresinin bağlanmasından sonra makine içerisine DPF temizleme maddesi dökülmektedir. Dökülen temizleme maddesi tank içerisindeki bulunan su ile temizleyici madde karışmaktadır. DPF temizleme makinesi içerisinde bulunan bir rezistans sayesinde haznedeki suyun sıcaklığını 50 °C – 80 °C çıkarmaktadır. Suyun ısıtılması ile birlikte DPF temizleme maddesi aktif hale gelerek 30 dakika boyunca birinci yıkama işlemi bir motor yardımıyla sıcak su borulardan ve partikül içerisinden basınçlı bir şekilde geçirilerek devir daim şeklinde bir döngü oluşturularak yapıldı. Daha sonra dizel partikül firtresinin yönü

değiştirilerek 20 dakika boyunca aynı işlem basamaklarıyla ikinci yıkama işlemi gerçekleştirildi. İkinci yıkama işlemi bittikten sonra makine dizel partikül filtresini temiz su ile durulama yaparak işlemi bitirmiştir. Yıkama işlemi sırasında suyun sıcaklığı (Resim 3.5) görüldüğü gibi 59,1 °C'dır. Yıkama işleminde suyun basıncı da 5.5 bar da tutulmaktadır. Cihaz içerisinde ki hava basıncı da 8 – 10 bardır.



Resim 3.5 DPF temizleme makinesi işlemi basınç ve sıcaklık değerleri.

3.1.3 Dizel Partikül Filtresinin Takılması

Dizel partikül filtresi makine ile temizlendikten sonra araç lift üzerinde tekrar yukarı kaldırılarak DPF aşağıdan yukarı doğru uzatıldı. DPF bağlantı noktaları sıkılmadan gevşek bir şekilde bırakılarak araç tekrar lift üzerinde aşağıya indirildi. DPF giriş kısmı ile turbo çıkış kısmı ince metal conta konarak egzoz kelepçesi ile tutturulup bağlantı işlemi yapıldı. Araç tekrar lift üzerinde yukarı kaldırılarak gevşek bırakılan DPF somun ve egzoz borusu bağlantıları uygun torklarda sıkıldı. DPF girişinde ve çıkışında bulunan egzoz gazı basınç sensörüne giden boru rekor bağlantıları, egzoz gazı sıcaklık sensörü monte edilerek DPF araca (Resim 3.6) görüldüğü gibi bağlanmıştır.



Resim 3.6 DPF deney aracına takılma işlemi.

3.2 Dizel Partikül Filtresinin Takılması Sonrası Aktif Rejenerasyon

Yıkama işlemlerinin ardından, partikül filtresinin içinde bulunan mikro gözeneklerin tamamen kurutulması, DPF araca adaptasyonu için Arıza tespit cihazı ile sıfırlama ve aktif rejenerasyon işlemi gerçekleştirilmesi gerekmektedir. DPF montajı tamamlandıktan sonra araç belli bir yol mesafesi kat ederek, motorun ısınması sağlanmıştır. Aktif rejenerasyon işleminin gerçekleştirilmesi için motor ısısının 70 °C üzerinde olması gerekmektedir. Araç arıza tespit cihazından DPF sıfırlama işlemi yapıldıktan sonra (Resim 3.7) görüldüğü gibi Aktif rejenerasyon başlatıldı.

YAPILIYOR	
Lütfen Bekleyin .	
N ESC Y	
Motor ısısı	78,5 °C
Parçacık filtre ısısı	170,5 °C
Defrasyel sensor basıncı	29 mbar
Parçacık filtre durumu	tıkalı değil
Parçacık filtresi tıkanması	16,89 %
Rejenerasyon süresi yüzde	0,000 %
Zorlamalı rejenerasyon durumu	Yapılıyor

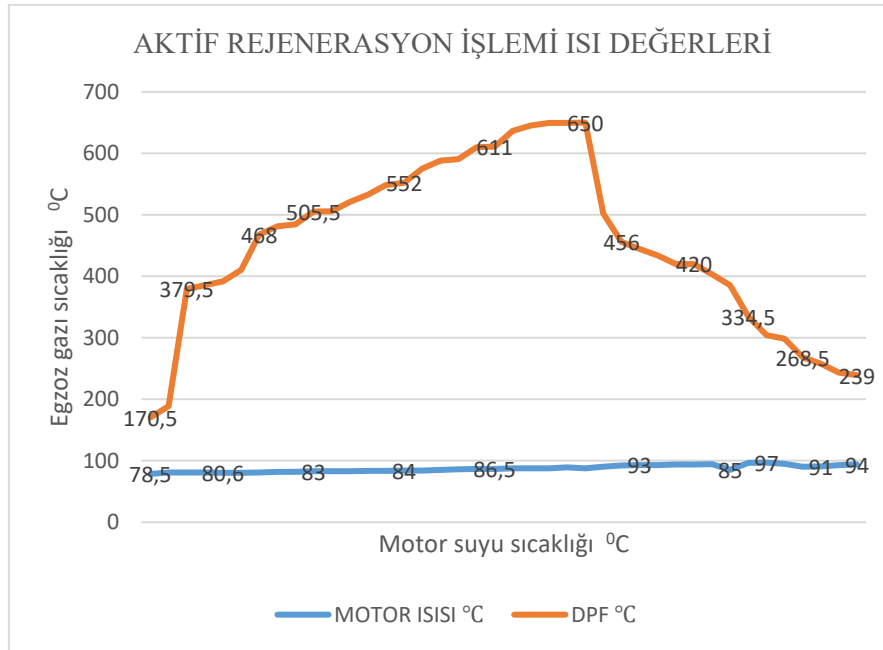
Resim 3.7 Deney aracının aktif rejenerasyon işleminin başlatılması.

Aktif rejenesyonun başlatılması ile beraber motor devri aracın ECU tarafından (Resim 3.8) de görüldüğü gibi 3500 d/d çıkartıldı. Aracın motor ısı ve egzoz gazı sıcaklığı yükselmeye başladı, araç egzoz ısısı aşama aşama 650 °C kadar çıktıktan sonra tekrar araç rölanti devrine düşerek egzoz gazı sıcaklığını 239 °C kadar düşürerek işlemi 30 dakika içerisinde tamamlamıştır.



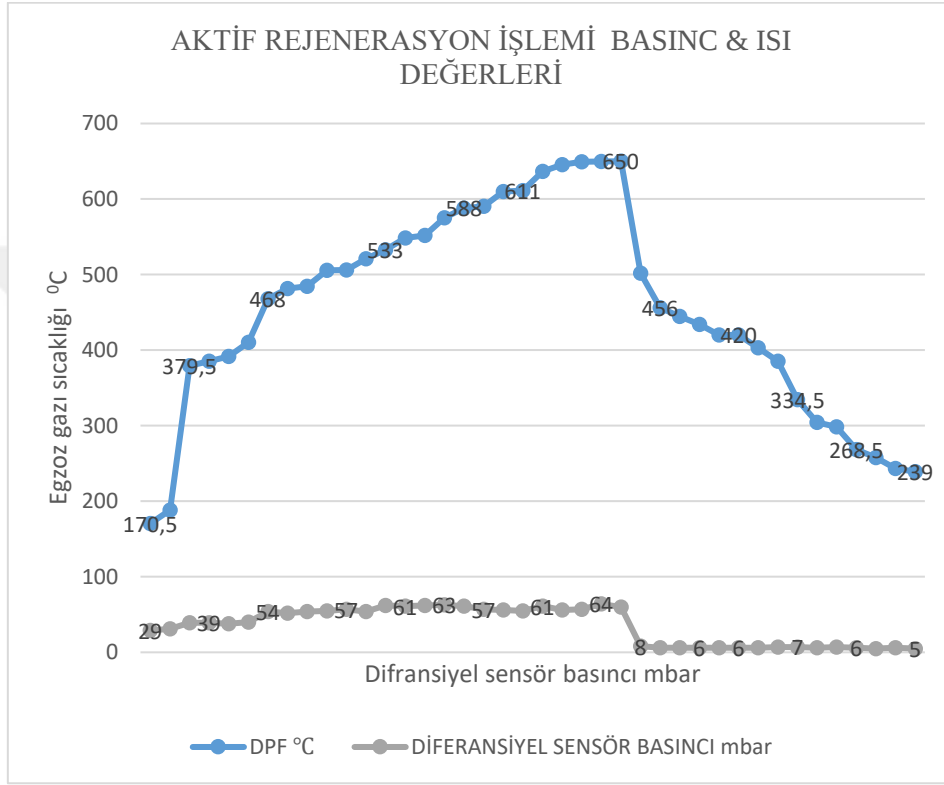
Resim 3.8 Araç aktif rejenerasyon işlemi.

Aktif rejenerasyon işlemi sırasında (Şekil 3.1) görüldüğü gibi egzoz gazı sıcaklığı zamana bağlı olarak yüksek devirle beraber 170,5 °C'den başlayarak 650 °C'ye kadar çıktı. Egzoz gazı sıcaklığının artması ile birlikte DPF içerisinde ki mikro gözenekler kurutuldu. Ayrıca bu rejenerasyon işlemi ile beraber DPF içerisinde temizlenemeyen kurum da rejenerasyon sayesinde yakılarak yok edildi.



Şekil 3.1 Aktif rejenerasyon ısı değerleri.

Aktif rejenerasyon sırasında (Şekil 3.2) görüldüğü gibi ECU tarafından dizel partikül filtresi fark basınç sensörü değerleri de cihaz tarafından okundu. Tam gaz konumunda iken ölçülen basınç değerleri 29 mbar'dan 64 mbar'a kadar çıkmıştır. Araç rölanti devrine çekildiği andan itibaren 5 mbar seviyesine inmiştir. Araç normal şartlar altına çalışmaya devam ettiği sürece defransiyel basınç değeri 8 mbar geçmeyecektir.



Şekil 3.2 Dizel partikül filtresi basınç ve ısı değerleri.

4. BULGULAR

4.1 Deney Aracın Egzoz Gazı Emisyonu Absorpsiyon Katsayısının İncelenmesi

Dizel araçlarda egzoz gazı emisyon işlemi; Üç defa gaz pedalına tam ve devamlı gaz verilerek ve gaz bırakılarak ölçülür. Her yüksek gaz verme ve bırakma işleminde egzoz gazı emisyon birinci ivmelenme değeri olan birinci absorpsiyon katsayısı elde edilir. İşlem üç defa tekrarlanarak ikinci ivmelenme, üçüncü ivmelenmede; egzoz gazı emisyon ölçüm bilgileri için gerekli olan k1, k2, k3, değerleri elde edilerek k1, k2, k3 ortalama değeri hesaplanarak (Çizelge 4.1) görülen değerlerle kıyaslanıp aracın egzoz gazı emisyon ölçümünden olumlu yada olumsuz olduğuna karar verilir. Deney aracımızın dizel partikül filtresinin temizlenmeden önceki egzoz gazı emisyon değer bilgileri (Resim 4.1) görülmektedir.

Ölçüm Bilgileri

k1	:	0,010	1/m	Devir: 3.180
k2	:	0,000	1/m	Devir: 3.400
k3	:	0,010	1/m	Devir: 3.220
Ortalama	:	0,007	1/m	(maks: 1,5)



Resim 4.1 Deney Aracı DPF temizleme öncesi egzoz emisyon ölçümü.

Deney aracımız (Resim 4.2) görüldüğü gibi dizel partikül filtresinin makine ile temizlenmesi sonucu araç egzoz emisyon ölçümü için cihaza bağlanmıştır.



Resim 4.2 Deney aracın DPF temizleme sonrası egzoz emisyon ölçümü.

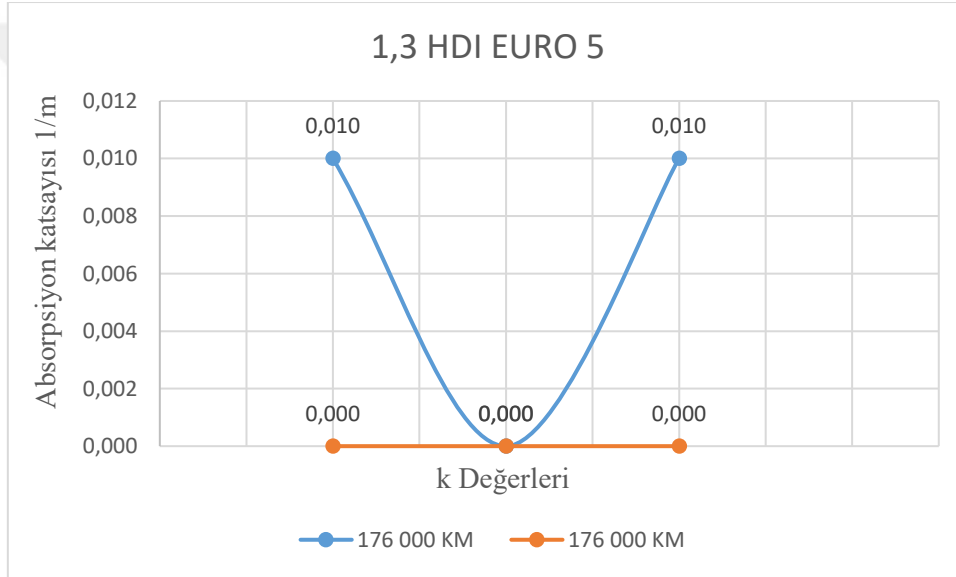
Euro 5 dizel aracımızın dizel partikül filtresinin makine ile temizlenmeden önce ki egzoz gazı emisyon bilgileri ile dizel partikül filtresinin makine ile temizlendikten sonraki egzoz gazı emisyon ölçüm bilgileri (Çizelge 4.1) görülmektedir.

Çizelge 4.1 DPF temizlemeden önce & DPF temizleme sonrası k değerlerinin karşılaştırılması.

Absorpsiyon katsayısı	Değer	Devir	Absorpsiyon katsayısı	Değer	Devir
k1	0,010 m ⁻¹	3180	k1	0,000 m ⁻¹	3100
k2	0,000 m ⁻¹	3400	k2	0,000 m ⁻¹	3220
k3	0,010 m ⁻¹	3220	k3	0,000 m ⁻¹	2944
Ortalama	0,007 m ⁻¹		Ortalama	0,000 m ⁻¹	

DPF temizlenmeden önce ki birinci ivmelenme ölçümünde k1 değeri 0,010 m⁻¹, İkinci ivmelenme ölçümü k2 değeri 0,000 m⁻¹, üçüncü ivmelenme k3 değeri de 0,010 m⁻¹ çıkmıştır. DPF temizlemeden önceki ölçüm bilgileri ile çıkan ortalama sonuç değeri 0,007 m⁻¹ olduğu görülmektedir. Dizel partikül filtresi makine ile temizlendikten sonra yapılan ölçüm esnasında anlık k değerleri yükselip alçalmaktadır. Cihazın adaptasyonu esnasında Ölçüm 0 değeri 0,16 m⁻¹ görülmüştür. Anlık k değerlerinde k1 de 0,03 m⁻¹, k2 de 0,02 m⁻¹ k3 ölçümü esnasında 0,01 m⁻¹ değeri görülmüştür Birinci ivmelenme ölçümünde k1 değeri 0,000 m⁻¹ İkinci ivmelenme ölçümünde k2 değeri 0,000 m⁻¹ üçüncü ivmelenme k3 değerleri de 0,000 m⁻¹ çıkmıştır. DPF temizleme sonrasında ise ortalama sonuç değeri ise 0,000 m⁻¹ dır, (Şekil 4.1) görüldüğü gibi değerlerin kıyaslaması yapıldığında absorpsiyon katsayısının önemli bir ölçüde düşüş yaptığı görülmektedir. Dizel partikül filtresinin mikro gözeneklerinin temizlenmesi ile kurum ve is'leri başarılı bir şekilde tuttuğu gözlenerek, dizel partikül filtresinin temizleme işleminin gerçekleştirilmesinden

sonra aracın emisyon değerlerinin daha önceki değerlere göre düştüğü, aracın arıza lambasının söndüğü görülmüştür. Ayrıca deney aracımızın ölçüm bilgileri k1, k2, k3 değerlerinin ortalaması 0,000 çıktığı için araç egzoz gazı emisyon kontrolü yönetmeliği ve ilgili mevzuat hükümleri gereğince azami limit değeri $1,5 \text{ m}^{-1}$ altında olduğu için aracın trafikte seyretmesi için emisyon değerleri açısından sakıncası yoktur. Ayrıca ölçüm raporunun istenilen değerlerde olduğu için aracın TÜVTÜRK, araç muayenesinin yapılmasına da imkan sağlandı. Şayet egzoz gazı emisyon ölçüm raporundan olumsuz sonuç olsa idi aracın muayene işlemi gerçekleştirilemeyecekti.

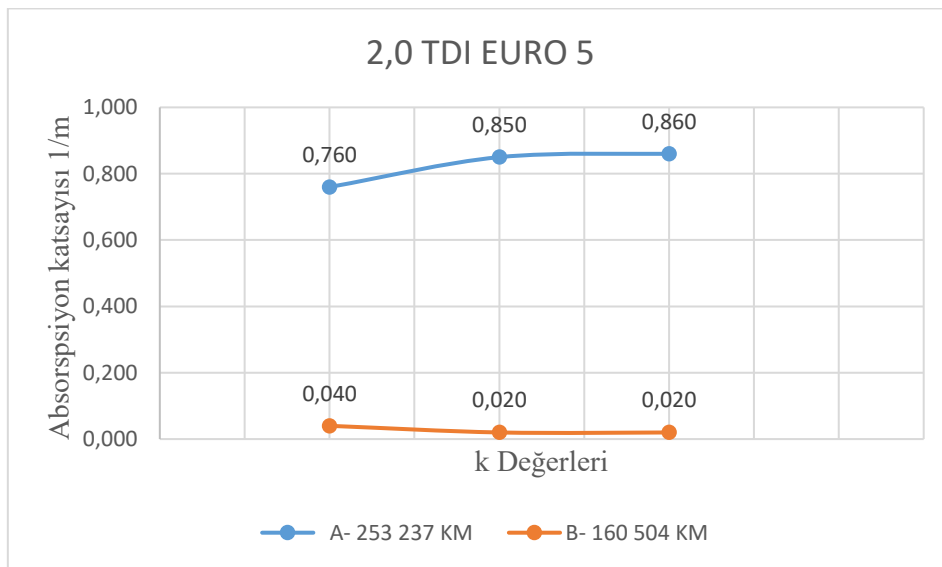


Şekil 4.1 1,3 HDI Euro 5 aracın k değerlerinin karşılaştırılması.

4.2 Farklı Kilometrelerde Bulunan Araçların Egzoz Gazı Emisyonu Absorpsiyon Katsayısının İncelenmesi

2,0 TDI Euro 5 aynı model iki farklı kilometrelerdeki araçlarımızın absorpsiyon katsayıları (Şekil 4.2) görülmektedir. Kilometresi düşük olan B aracımızın k1 değeri $0,040 \text{ m}^{-1}$, k2 değeri $0,020 \text{ m}^{-1}$, k3 değeri $0,020 \text{ m}^{-1}$ ve bu aracımızın ortalama absorpsiyon katsayısı $0,027 \text{ m}^{-1}$ dir. Kilometresi yüksek olan B aracımızın k1 değeri $0,760 \text{ m}^{-1}$, k2 değeri $0,850 \text{ m}^{-1}$, k3 değeri $0,860 \text{ m}^{-1}$ ve bu aracımızın ortalama absorpsiyon katsayısı $0,823 \text{ m}^{-1}$ dir. Şekil 4.2 de görüldüğü gibi Dizel egzoz emisyon ölçüm bilgilerindeki k değerlerinde yüksek oranlarda farklılıklar vardır. Bunun en büyük nedeni araştırıldığında

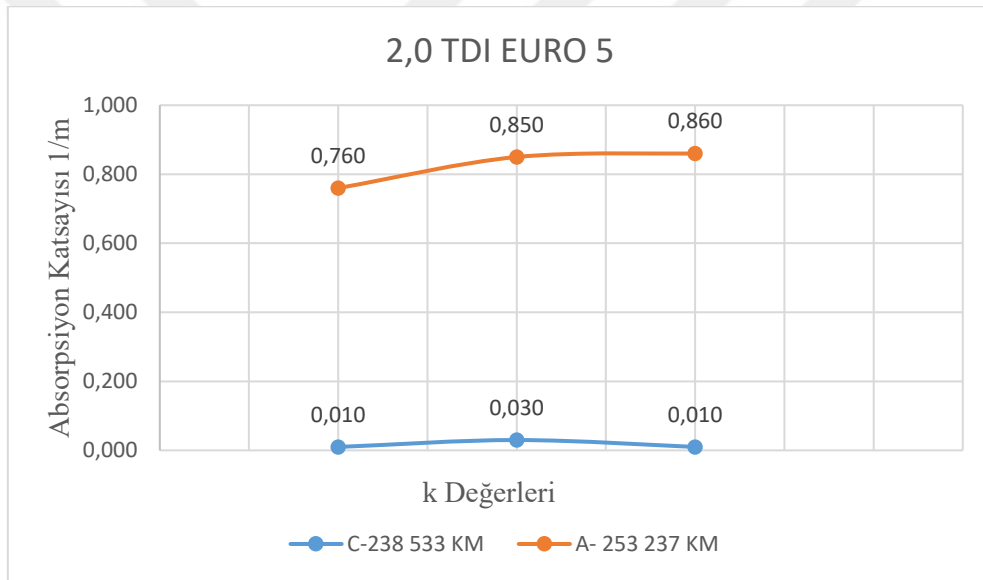
aynı araç aynı firmaya ait bir noktadan yakıt aldığı için yakıtla ilgili değerlendirme pas geçildi. İki farklı aracın EGR sisteminin açık kalma ya da kapalı kalma gibi arızaları olmadığı hem arıza tespit cihazı hem de periyodik bakımlarında herhangi bir arızaya rastlanmamıştır. B aracımız da çekiş gücünde herhangi bir düşüklük, gaz yememe gibi arızalara rastlanmamıştır. B aracımızın Dizel partikül filtresi uyarı lambasının sürekli yanmadığı için belirli aralıklarla aracın aktif rejenerasyonla kurum ve is'leri temizlemektedir. A aracımız da ise B aracımıza göre performansının biraz düşük olduğu kullanıcı tarafında belirtilmektedir. A aracının ilerleyen kilometrelerde performans düşüklüğüne ve arıza göstergesinde DPF uyarı lambası yanacaktır. A ve B araçlarının periyodik bakımlarının yapılmasından sonra yağ seviyeleri gözlenmiştir. B aracımızın yağ seviyesi uygun seviyededir. A aracının ise 3000 km'lik bir yol kat etmesinden sonra 1,5 lt yağ eksilttiği görülmüştür. Yüksek ihtimalle bu aracımızın yağ segmanı silindir içerisinde motor yağını aşağıya doğru tam anlamıyla sıyıramadığı için aracımız yağ yakmaktadır. A aracımızın aşırı bir şekilde yağ yakma işlemi gerçekleştirmediği için egzoz dumanındaki hafif mavilik görülmemektedir. Şayet A aracımızın motorunun turbo veya supap lastiklerinden dolayı yağ yakma işlemi gerçekleştirmiş olsa idi 1,5 litrelik yağ eksiltme olayı 500 km ile 1000 km arasında gerçekleşirdi. A aracımız yağ yaktığı için ilerleyen zamanlarda DPF tıkanacaktır. Araç yağ yakma problemi ortadan kaldırılmadığı müddetçe DPF temizleme işlemi ister aracın ECU'su tarafında aktif rejenerasyonla isterse araçtan sökülüp makine yardımıyla temizlense de ilerleyen km'lerde tekrar tıkanacaktır.



Şekil 4.2 2,0 TDI Euro 5 araçların farklı kilometrelerdeki k değerlerinin karşılaştırılması.

Dizel partikül bulunan araçların periyodik bakımlarının tam zamanında ve aracın motoruna uygun olan C sınıfı DPF araçlar için uygun yağlar konulması gerekmektedir. Hem yakıt hem de yağ DPF tıkanmalarına en büyük etkenlerdendirler. Ayrıca egzoz gazı emisyon değerlerinde DPF tıkalı olmasıyla kurum ve is'leri tutamayacağı için k değer oranlarını yükseltecektir.

Kilometresi yüksek olan DPF'li dizel araçların periyodik bakımlarının zamanında yapılması, aracın motoru için uygun yağ kullanılması ve emisyon azaltıcı sistemlerin verimli bir şekilde çalışmış olmaları dizel araçların yüksek kilometrelerde olsa da egzoz gazı emisyon değerlerinin düşük olabileceği (Şekil 4.3) görüldüğü gibi tespit edilmiştir.



Şekil 4.3 2,0 TDI Euro araçların motorlarının yağ yakma durumlarına göre k değerlerinin karşılaştırılması.

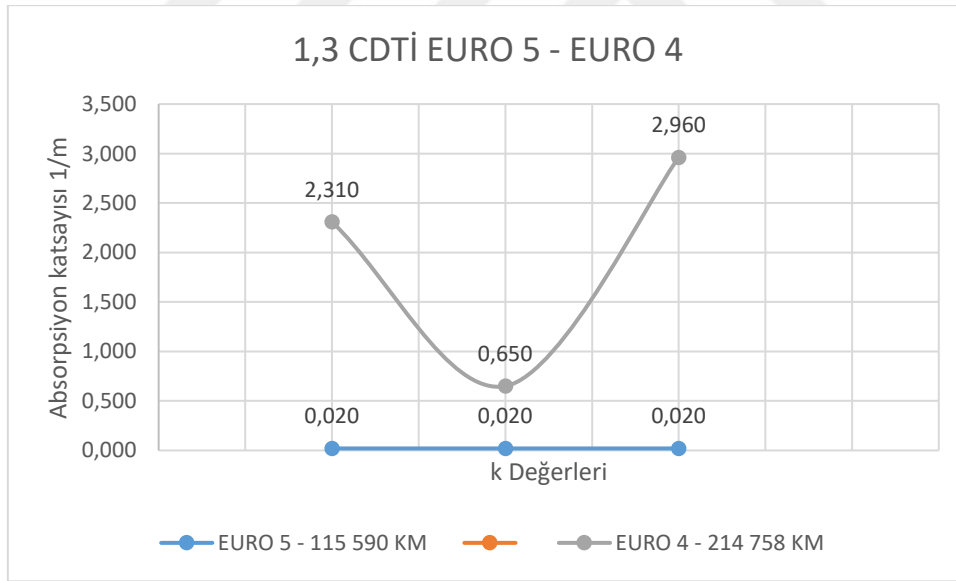
Aynı motor özelliklerine sahip C aracımızın kilometresi A aracına yakın olmasına rağmen (Şekil 4.3) görüldüğü gibi C aracımızın k1 değeri $0,010 \text{ m}^{-1}$, k2 değeri $0,030 \text{ m}^{-1}$, k3 değeri $0,010 \text{ m}^{-1}$ ve bu C aracımızın ortalama absorpsiyon katsayısı $0,017 \text{ m}^{-1}$ dir. C aracımızdan 14704 kilometresi yüksek olan A aracımızın k1 değeri $0,760 \text{ m}^{-1}$, k2 değeri $0,850 \text{ m}^{-1}$, k3 değeri $0,860 \text{ m}^{-1}$ aracımızın ortalama absorpsiyon katsayısı $0,823 \text{ m}^{-1}$ dir. Bu değerlere bakıldığında C aracımızın da kilometresi yüksek olmasına rağmen motorunda herhangi bir arızanın olmaması ve egzoz gazı emisyon azaltıcı sistemlerinin işlevlerini

yerine getirmesi, DPF tıkanıklığı oranının düşük olması sonucu Egzoz gazı emisyon değerlerinin diğer A aracına göre düşük olduğu gözlenmiştir.

4.3 Dizel Partikül Filtreli ve Dizel Partikül Filtresi Olmayan Farklı Kilometrelerde Bulunan Araçların Egzoz Gazı Emisyonu Absorpsiyon Katsayısı İncelenmesi

1,3 CDTI Euro 5 ve Euro 4 iki farklı kilometrelerdeki araçlarımızın absorpsiyon katsayıları (Şekil 4.3) görülmektedir. Euro 5 aracımızın k1 değeri $0,020 \text{ m}^{-1}$, k2 değeri $0,020 \text{ m}^{-1}$, k3 değeri $0,020 \text{ m}^{-1}$ ve Euro 5 aracımızın ortalama absorpsiyon katsayısı $0,020 \text{ m}^{-1}$ dir. Euro 4 aracımızın k1 değeri $2,310 \text{ m}^{-1}$, k2 değeri $0,650 \text{ m}^{-1}$, k3 değeri $2,960 \text{ m}^{-1}$ ve Euro 4 aracımızın da ortalama absorpsiyon katsayısı $1,973 \text{ m}^{-1}$ dir.

Dizel egzoz emisyon ölçüm bilgileri (Şekil 4.4) görüldüğü gibi Euro 5 ile Euro 4 araçlarımızın k değerlerinde yüksek oranlarda farklılıklar vardır.



Şekil 4.4 DPF bir araç ile DPF olmayan araçların k değerlerinin karşılaştırılması.

Euro 4 aracımızın ortalama k değeri $1,973 \text{ m}^{-1}$ dir. Euro 4 araçlarda egzoz gazı emisyon kontrolü yönetmeliği ve ilgili mevzuat hükümleri gereğince azami limit değeri $3,0 \text{ m}^{-1}$ altında olduğu için aracın trafikte seyretmesi için emisyon değerleri açısından herhangi bir sebep sakınca yoktur, egzoz gazı emisyon raporunda olumlu sonuç almıştır. Euro 5 aracımızın ortalama k değeri $0,020 \text{ m}^{-1}$ dir. Euro 5 araçlarda egzoz gazı emisyon kontrolü

yönetmeliği ve ilgili mevzuat hükümleri gereğince azami limit değeri $1,5 \text{ m}^{-1}$ olduğu için Euro 5 aracımızda egzoz gazı emisyon raporundan olumlu sonuç almıştır. Çevre kirliliği açısından Euro 5 ve Euro 4 araçlarımızı kıyasladığımız da; ikisinin de (Çizelge 2.2) görüldüğü üzere egzoz gazı emisyon standartları gereği olumlu sonuç aldıkları görülmektedir. Yıllara göre emisyon standartlarının yenilenmesi çevre kirliliği açısından araçların emisyon değerlerinin düşürülmesi için uygulanan sistemlerin etkin olduğu gözlenmiştir. Dizel partikül filtresinin 2010 yılı sonrası dizel araçlarda bulunması egzoz gazı emisyonu oranını düşürdüğü (Şekil 4.4) görülmektedir.



5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada bir dizel aracımızın DPF tıkalı halinin egzoz gazı emisyonu absorpsiyon katsayısı ile DPF temizlenmesi sonrası egzoz gazı emisyonu absorpsiyon katsayılarının deneysel olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Dizel partikül filtresinin tıkalı olması ile araç çekişten düşmekte ve aracın egzoz sisteminde kurum ve islerin tutulmamasından dolayı egzoz dumanının arttığı gözlenmektedir. Dizel partikül filtrelerinin kurum doluluk oranlarının yüksek olması, egzoz gazı emisyon absorpsiyon katsayısını yükselttiği için egzoz emisyon oranlarında olumsuzluk gözlenmiştir.

Deney aracımızın dizel partikül filtresi araçtan sökülerek dizel partikül filtresi temizleme makinesi ile yüksek basınçlı bir şekilde temizlenmesiyle aracın egzoz sistemine DPF bağlanması ile birlikte egzoz gazı emisyon cihazına bağlandığında alınan absorpsiyon katsayısı k değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Bu çalışmamızla dizel araç kullanıcılarında tıkanmış olan dizel partikül filtrelerinin makine ile temizlenip değiştirilmeden uzun kilometrelerce kullanılabileceğinin farkındalığı oluşturulmuştur.

Farklı kilometrelerdeki eş değer araçların egzoz gazı emisyonu absorpsiyon katsayısı ölçüm bilgileri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma grafiksel olarak incelenmiş ve araç kilometrelerinin yükselmesi ile birlikte araçların egzoz gazı emisyonlarının arttığı görülmüştür. Kilometreleri yükselen araçların periyodik bakımlarının zamanında yapılmaması, aracın herhangi bir sebepten dolayı motorunun yağ yakması, hava filtresinin kirli olması, yakıt sisteminde ki arızalar ve yakıtın iyi olmaması gibi etkenlerin egzoz gazı emisyon değerlerini artırdığı gözlenmiştir.

Kilometresi yüksek olan DPF'li araçların periyodik bakımlarının araç üreticilerinin belirlediği standartlarda ve zamanlarda yapılması, aracın egzoz sistemindeki ve aracın motorundaki emisyon azaltıcı etkenlerin verimli çalışması, dizel araçların kilometrelerinin yüksek olmalarına rağmen egzoz gazı emisyon oranlarının düşük olabileceğini göstermiştir.

İncelemiş olduğumuz 1,3 CDTI Euro 4 dizel partikül filtresiz bir aracın egzoz gazı emisyon değerleri ile aynı firmaya ait 1,3 CDTI Euro 5 dizel partikül filtreli araçların egzoz gazı emisyon değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda (Şekil 4.4) görüldüğü gibi aynı firmaya ait aracın motoruna dizel partikül filtresi eklemesinin egzoz gazı emisyon değerlerini düşürdüğü görülmüştür.

Euro 4 araçlarda egzoz gazı emisyon kontrolü yönetmeliği ve ilgili mevzuat hükümleri gereğince absorpsiyon katsayısı azami limit değeri $3,0 \text{ m}^{-1}$ 'den, dizel motorların yenilenmesi ve motorun egzoz sistemi üzerine son işlem teknolojik gelişmelerin uygulanması ile birlikte Euro 5 araçlarda egzoz gazı emisyon kontrolü yönetmeliği ve ilgili mevzuat hükümleri gereğince absorpsiyon katsayısı azami limit değeri $1,5 \text{ m}^{-1}$ 'ye düşürülmüştür. Bu düşüşün insan sağlığı ve çevreye olumlu etkileri olduğu görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- Adler J, 2005, Ceramic Diesel particulate Filters, *Int. J. Appl. Ceram.Technol.*, 2 (6), 429–439, doi: 10.1111/j.1744-7402.2005.02044.x.
- Agrawal A K, Singh S K, Sinha S, 2004, Et Al. Effect of EGR On The Exhaust Gas Temperature and Exhaust Opacity In Compression Ignition Engines. *Sadhana* 29, 275–284, doi: 10.1007/BF02703777.
- Akbal O, 2013, Ağır Ticari Taşıt Dizel Motoru SCR Sisteminin Sıcaklık Modellemesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 271s, İstanbul.
- Alozie N S I, 2016, Issues of Particulate Matter Emission From Diesel Engine and Its Control, Brunel University, College of Engineering, Design and Physical Sciences Doctoral dissertation, 313p, London
- Angelovič M, Jablonický J, Tkáč Z, Angelovič M, 2020, Comparison of Smoke Emissions In Different Combustion Engine Fuels, *Acta Technologica Agriculturae 4Nitra*, Slova Universitas Agriculturae Nitriae, 2020, pp. 201–207, doi: 10.2478/ata-2020-0032.
- Andana T, Piumetti M, Bensoid S, Russo N, Fino D, Pirone R, 2019, Advances In Cleaning Mobile Emissions: NOx assisted Soot Oxidation in Light-Duty Diesel Engine Vehicle Application, 329–335, doi:10.1016/B978-0.444-64127-0.00161.
- Bagi D S, 2016, Investigation Into Ash From Field Returned DPF Units: Composition, Distribution, Cleaning Ability and DPF Performance Recovery, doi:10.4271/2016-01-0928.
- Coşkun N Y, 2017, Dizel Motorlarda Kirlenici Emisyonların Düşürülmesi için Egzoz Sisteminin Tasarımı ve Analizi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 94s, Elazığ.
- Egzoz Gazı Emisyonu Kontrolü Yönetmeliği, Ankara, 2017, Resmî Gazete, 11 Mart 2017, 30004.
- Egzoz Gazı Emisyonu Kontrolü ile Benzin ve Motorin Kalitesi Yönetmeliği, Ankara,

2013, Resmî Gazete, 30 Kasım 2013, 28837.

Elhag A A M, 2018, Modeling Diesel Oxidation Catalyst Exhaust Gas Temperatures Using Long Short-Term Memory Recurrent Neural Networks, , Yıldız Technical Universitygraduate School of Natural and Applied Sciences, MSc. Thesis, 69p, İstanbul.

Fiebig M, Wiartalla A, Holderbaum B, 2014 et al. Particulate Emissions From Diesel Engines: Correlation Between Engine Technology and Emissions. J Occup Med Toxicol, 9 (6), doi: 10.1186/1745-6673-9-6.

Güney B, Aladağ A, 2021, Dizel Yakıtlı Taşıtlardan Salınan Partikül Maddelerin Mikroyapı ve Kimyasal Karakterizasyonu. El-Cezeri, 8 (1), 287–298.

Gürlek E, 2016, Dizel Partikül Filtre Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, 64s, Bilecik.

İlkılıç C, Behçet R, 2006, Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerindeki Etkisi. Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi, 5 (1), 66–72.

Kelen F, 2014, Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19 (1-2) , 80–87.

Keskin A, 2011, Dizel Partikül Filtrelerinde Rejenerasyon Yöntemleri, Mühendis ve Makine, 52 (615), 54–61.

Keskin A, 2009, Dizel Motorlarında Partikül Madde Emisyon Kontrolü ve Gelişmeler, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük.

McGeehan J, Van Dam W, Narasaki K, Boffa A, James A. Rutherford, Carabell K, Stokes C, Nelson K, Sheila W. Yeh 2012, Extending the Boundaries of Diesel Particulate Filter Maintenance With Ultra-LowAsh - Zero-Phosphorus Oil, SAE Int. J. Fuels Lubr. 5 (3), 1240–1263, 2012, doi:10.4271/2012-01-1709.

Martyr J A, Plint A M, 2012, Engine Exhaust Emissions in Engine Testing (Fourth Edition), 407–450, doi:10.1016/B978-0-08-096949-7.00016-9.

Mutlu İ, Keskin A, 2011, Dizel Partikül Filtreleri ve Malzemeleri, Taşıt Teknolojileri

Elektronik Dergisi (TATED), 3 (2), 27–37.

- Özet H, Büyükakıncı YB, 2020, Altın Geri Dönüşüm Prosesindeki Azot Oksit Emisyonunun Düşürülmesi, Academic Platform - Journal of Engineering and Science, 8 (3), pp. 565–571, doi:10.21541/apjes.
- Özkan Y, 2016, Farklı Özellikteki Duvar Akışlı Dizel Partikül Filtrelerinin Basınç Kaybına Etkilerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 68s, Sakarya
- Reşitoğlu A İ, Altınışik K, Keskin, A. 2015, The Pollutant Emissions From Diesel-Engine Vehicles and Exhaust Aftertreatment Systems. Clean Technologies and Environmental Policy, 17 (1), 15–27.
- Sappok A, Wong V, 2010, Ash Effects on Diesel Particulate Filter Pressure Drop Sensitivity to Soot and Implications for Regeneration Frequency and DPF Control, SAE Int. J. Fuels Lubr., 3 (1), 380–396.
- Schreiber D, Liati A, 2011, Active Regeneration Characteristics in Diesel Particulate Filters (DPFs), Panayotis Dimopoulos Eggenschwiler, 2011-24-0185 Published 09/11/2011 doi: 10.4271/2011-24-0185.
- Tarhan B Ş, 2015, Karbotermal İndirgeme Nitrürleme Yöntemi ile Dizel Partikül Filtre (DPF) Üretimine Yönelik Si3N4 Esaslı Malzeme Geliştirilmesi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 134s, Eskişehir
- Topateş G, 2013, Dizel Partikül Filtre (DPF) Üretimine Yönelik Si3N4 Esaslı Malzeme Geliştirilmesi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 106s, Eskişehir.
- Xinmei Y, Hongqi L, Ying G, 2015, Emission Control Science and Technology volume, 1, 121–133, doi: 10.1007/s40825-015-0013-z.

İnternet Kaynakları

- 1- http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_28.html/, 03.02.2022
- 2- https://stringfixer.com/tr/Euro_emission_standards/, 04.02.2022
- 3- <https://sstensing.com/scr-emissions-system/>, 08.02.2022
- 4- <https://x-engineer.org/exhaust-gas-recirculation-egr-introduction/>, 13.02.2022
- 5- <https://www.ctscorp.com/products/sensors-2/rf-dpf-sensor/diesel-particulate-filter-dpf-knowledge-base/basics-dpf-operation/>, 14.02.2022
- 6- <https://www.astrajlife.com/dizel-partikul-filtresi-nedir/>, 20.02.2022
- 7- <http://courses.washington.edu/cive494/DPF.pdf/>, 22.02.2022
- 8- <https://otomobilteknoloji.blogspot.com/2016/03/egzoz-gazi-basinc-sensoru-nedir-arzasi-gorevi.html>, 25.02.2022

EKLER

EK 1. Hafif ticari araçlar için Avrupa emisyon standartları ≤1305 kg referans kütlesi.
(Kategori N 1 Sınıf I), g/km

Norm	Tip onayı	ilk kayıt	CO	THC	NMHC	HO _x	HC+ HO _x	PM	PN
Euro 1	Ekim 1993	Ekim 1994	2,72	-	-	-	0,97	0,14	-
Euro 2	Ocak 1997	Ekim 1997	1,0	-	-	-	0,7	0,08	-
Euro 3	Ocak 2000	Ocak 2001	0,64	-	-	0,50	0,56	0,05	-
Euro 4	Ocak 2005	Ocak 2006	0,50	-	-	0,25	0,30	0,025	-
Euro 5a	Eylül 2009	Ocak 2011	0,500	-	-	0,180	0,230	0,005	-
Euro 5b	Eylül 2011	Ocak 2013	0,500	-	-	0,180	0,230	0,0045	6×10^{-11}
Euro 6b	Eylül 2014	Eylül 2015	0,500	-	-	0,080	0,170	0,0045	6×10^{-11}
Euro 6c	-	Eylül 2018	0,500	-	-	0,080	0,170	0,0045	6×10^{-11}
Euro 6d- Sıcaklık	Eylül 2017	Eylül 2019	0,500	-	-	0,080	0,170	0,0045	6×10^{-11}
Euro 6d	Ocak 2020	Ocak 2021	0,500	-	-	0,080	0,170	0,0045	6×10^{-11}

EK 2. Hafif ticari araçlar için Avrupa emisyon standartları 1305–1760 kg referans kütle. (Kategori N 1 Sınıf II), g/km

Norm	Tip onayı	İlk kayıt	CO	THC	NMHC	NO _x	HC+ NO _x	PM	PN
Euro 1	Ekim 1993	Ekim 1994	5,17	-	-	-	1,4	0,19	-
Euro 2	Ocak 1998	Ekim 1998	1,25	-	-	-	1,0	0,12	-
Euro 3	Ocak 2001	Ocak 2002	0,80	-	-	0,65	0,72	0,07	-
Euro 4	Ocak 2006	Ocak 2007	0,63	-	-	0,33	0,39	0,04	-
Euro 5a	Eylül 2010	Ocak 2012	0,630	-	-	0,235	0,295	0,005	-
Euro 5b	Eylül 2011	Ocak 2013	0,630	-	-	0,235	0,295	0,0045	6×10^{-11}
Euro 6b	Eylül 2015	Eylül 2016	0,630	-	-	0,105	0,195	0,0045	6×10^{-11}
Euro 6c	-	Eylül 2019	0,630	-	-	0,105	0,195	0,0045	6×10^{-11}
Euro 6d-	Eylül 2018	Eylül 2020	0,630	-	-	0,105	0,195	0,0045	6×10^{-11}
Sıcaklık	Ocak 2021	Ocak 2022	0,630	-	-	0,105	0,195	0,0045	6×10^{-11}

EK 3. 2,0 TDI Farklı kilometrelerde ki Euro 5 araçların egzoz gazı emisyon ölçümü k değerleri.

Ölçüm Bilgileri

k1	:	0,040	1/m	Devir: 0
k2	:	0,020	1/m	Devir: 0
k3	:	0,020	1/m	Devir: 0
Ortalama	:	0,027	1/m	(maks: 1,5)

Ölçüm Bilgileri

k1	:	0,760	1/m	Devir: 0
k2	:	0,850	1/m	Devir: 0
k3	:	0,860	1/m	Devir: 0
Ortalama	:	0,823	1/m	(maks: 1,5)



160 504 km



253 237 km

EK 4. 1,3 CDTI Euro 5 ve Euro 4 dizel araçların farklı kilometrelerde ki egzoz gazı emisyon ölçümü k değerleri.

Ölçüm Bilgileri

k1	:	0,020	1/m	Devir: 3.930
k2	:	0,020	1/m	Devir: 4.320
k3	:	0,020	1/m	Devir: 4.520
Ortalama	:	0,020	1/m	(maks: 1,5)



115 590 km

Ölçüm Bilgileri

k1	:	2,310	1/m	Devir: 0
k2	:	0,650	1/m	Devir: 0
k3	:	2,960	1/m	Devir: 0
Ortalama	:	1,973	1/m	(maks: 3)



214 758 km

EK 5. 2,0 TDI Yaklaşık kilometrelerdeki Euro 5 araçların egzoz gazı emisyon ölçümü k değerleri.

Ölçüm Bilgileri

k1	:	0,010	1/m	Devir: 0
k2	:	0,030	1/m	Devir: 0
k3	:	0,010	1/m	Devir: 0
Ortalama	:	0,017	1/m	(maks: 1,5)



253 237 km

Ölçüm Bilgileri

k1	:	0,760	1/m	Devir: 0
k2	:	0,850	1/m	Devir: 0
k3	:	0,860	1/m	Devir: 0
Ortalama	:	0,823	1/m	(maks: 1,5)



258 533 km