

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEK SİLİNDİRLİ DİZEL MOTORLARDA EMME PORTUNA SU
PÜSKÜRTMENİN, PERFORMANS VE EMİSYONA ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

EMRE ORAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. TARKAN SANDALCI**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEK SİLİNDİRLİ DİZEL MOTORLARDA EMME PORTUNA SU
PÜSKÜRTMENİN, PERFORMANS VE EMİSYONA ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

Emre ORAK tarafından hazırlanan tez çalışması 08.03.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Tarkan SANDALCI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Tarkan SANDALCI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ertuğrul ARSLAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Muammer ÖZKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Tek silindirli dizel motorda emme portuna su püskürtmenin, performans ve emisyonu etkilerinin araştırılması konulu yüksek lisans tez çalışmamın gerçekleşmesinde benden bilgi ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Tarkan SANDALCI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sırasında verdikleri büyük destekle ilerlememe yardım eden hocalarım Arş. Gör. Levent YÜKSEK ve Arş. Gör. Orkun ÖZENER'le birlikte çalışmalarımın birçoğunu beraber yürüttüğüm değerli görev arkadaşım Arş. Gör. Yasin KARAGÖZ'e teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında büyük özveride bulunan aileme ve yardımlarıyla her an yanımda olduğunu hissettiren Çevre Mühendisi Hande KARTAL'a şükranlarımı sunarım.

Mayıs, 2011

Emre ORAK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	6
1.3 Hipotez	6
BÖLÜM 2	
KİRLETİCİLER.....	8
2.1 Kirleticilerin İnsan ve Çevre Sağlığı Üzerindeki Etkileri.....	11
2.2 İçten Yanmalı Motorlarda Üretilen Kirletici Maddeler	11
2.2.1 Motorlu Taşıtlarda Kirletici Maddelerin Oluşumu	11
2.2.1.1 Karbon monoksit	13
2.2.1.2 Azot oksitler	14
Dizel Motorlarda Azot Oksit Emisyonu	14
2.2.1.3 Tanımı ve Özellikleri:	14
2.2.1.4 NO _x Oluşum Mekanizmaları.....	16
2.2.1.5 Hidrokarbonlar	20
2.2.1.6 Partiküller	21
2.2.1.7 Kükürt Oksitleri	22

2.2.1.8	Kurşun ve Kurşunlu bileşenler.....	22
2.2.1.9	Fotokimyasal Oksidanlar	23
2.3	Emisyon Standartları.....	23
	Parçacık sayısı Emisyonları.....	27
	Dayanıklılık.....	27
	Diğer Hükümler.....	27

BÖLÜM 3

AZOT OKSİT KONTROL YÖNTEMLERİ..... 29

3.1	Motor Modifikasyonları	32
3.1.1	Yanma Odası Modifikasyonu	33
3.1.2	Püskürtme Gecikmesi	34
3.1.3	EGR (Exhaust Gas Recirculation).....	34
3.1.4	Yakıt Püskürtme Yöntemi	35
3.1.5	Dolgu Havaının Soğutulması.....	36
3.1.6	HCCI (Homogenous Charge Compression Ignition)	37
3.1.7	Egzoz Kontrol Yöntemleri.....	37
3.1.8	NO _x Katalistleri.....	39
3.1.9	Fakir Karışım NO _x Katalistleri	39
3.1.10	SCR Katalistleri (Selective Catalytic Reduction)	40
3.1.11	Azot Oksit Emiciler	40
3.1.11.1	Plazma Destekli Katalistler	41
3.2	Yakıtlarda Yapılan Geliştirmeler.....	41
3.2.1	Dizel Yakıtı ve Geliştirilmesi	42
3.2.1.1	Setan Sayısı.....	42
3.2.1.2	Yakıt Yoğunluğu.....	42
3.2.1.3	Aromatlar	42
3.2.1.4	Yakıt Sülfür İçeriği	43
3.2.2	Alternatif Yakıtlar Ve Dizelle Yapılan Karışımlar	43
3.2.2.1	Biodizel (BD)	43
3.2.2.2	Dimetil Eter (DME)	43
3.2.2.3	Dimetoksi Metan (DMM)	44
3.2.2.4	Fisher-Tropsch Dizel (F-T).....	44
3.2.3	Su Püskürtme Metodları	45
3.2.3.1	Dizel-Su Emülsiyonları	45
3.2.3.2	Fümigasyon	45
	1.Yöntem: Emme havasına su püskürtülmesi.....	46
	2.Yöntem: Turbo şarj rotoruna su püskürtülmesi	47
3.2.3.3	Direkt Püskürtme	48

BÖLÜM 4

DENEY SETİ ÖZELLİKLERİ VE DENEY SONUÇLARI..... 51

4.1	Deney setinin özellikleri	51
-----	---------------------------------	----

4.1.1	Motor teknik özellikleri.....	52	
4.1.2	Su püskürtme sistemi özellikleri	53	
4.1.2.1	Enjektörün kalibrasyonu	55	
4.2	Sistem özellikleri	57	
4.2.1	Devir sensörü	57	
4.2.2	Enkoder özellikleri.....	57	
4.2.3	Basınç Sensörü	58	
4.2.4	Moment ölçümü	59	
4.2.5	Yakıt sarfiyatı ölçümü.....	59	
4.2.6	Sıcaklık ölçümleri	60	
4.2.7	Emisyon ölçümü.....	61	
4.2.8	Veri toplama sistemi	63	
BÖLÜM 5			
SONUÇ VE ÖNERİLER.....			65
KAYNAKLAR			75
ÖZGEÇMİŞ			80

SİMGE LİSTESİ

CO	Karbon Monoksit
CO	Karbon Monoksit
COHb	Karboksihemoglobin
H	Hidrojen
HO2O	Peroksi Radikali
H2SO3	Sülfüroz asit
Hb	Hemoglobin
HC	Hidrokarbon
HFK	Hava Fazlalık Katsayısı
HNO3	Nitrik Asit
N2	Azot
N2O	Diazotmonoksit
N2O	Nitrözoksit
N2O2	Diazotdioksit
N2O3	Azot Sesquioksit
N2O3	Diazottrioksit
N2O4	Azot Tetroksit
N2O5	Azot Pentoksit
N2O5	Diazotpentaoksit
NEDC	
NO	Azot Monoksit
NO2	Azot Dioksit
NO _x	Azot Oksitleri
O2	Oksijen
PAN	Peroksi Asetil Nitrat
PN	partikül sayısı
SO2	Kükürt Dioksit
SO3	Kükürt Trioksit
SO4	Kükürt Tetraoksit
S2O3	Kükürt Seskioksit
S2O7	Kükürt Heptaoksit
SO	Kükürt Monoksit
SO _x	Sülfür Oksitleri

KISALTMA LİSTESİ

dak	Dakika
K	Kelvin
K	Şekil Katsayısı, Boyutsuz
kCal	Kilokalori
Kg	Kilogram
Lt	litre
M	Partikül Konsantrasyonu
MAK	Maksimum
mg/m ³	Miligram Bölü Metreküp
mm	Milimetre
P.M	Partikül Madde
ppm	Milyonda Bir
bsfc	Özgül yakıt sarfiyatı
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
O ₂	Oksijen
HC	Hidrokarbonlar
PM	İs partikülü

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1	Dizel partikül oluşumu (Diesel Passenger Vehicles and the Environment, Union of Concerned Scientists) 32
Şekil 3.2	Düşük basınçlı EGR + DPF (Dizel Partikül Filtresi) sistemi (Emission control Technologies for diesel powered engines, Meca, December 2007) 35
Şekil 3.3	Su Enjeksiyon Sistemi (Emme havası içerisinde) [64] 46
Şekil 3.4	Su enjeksiyon nozulunun konumu [63] 47
Şekil 3.5	Su enjeksiyon sistemi (Turbo nozuluna) [63]..... 47
Şekil 3.6	Direk su enjeksiyon yönteminde kullanılan özel enjektörün şematik resmi [4] 49
Şekil 4.1	Deney setinin şematik şekli 52
Şekil 4.2	Yeniden tasarlanan emme manifoldu..... 53
Şekil 4.3	Siemens DeKa Benzin enjektörü 54
Şekil 4.4	Kontrol devresi sürücü kartı..... 54
Şekil 4.5	Kontrol devresi sürücü kartının devre şeması 55
Şekil 4.6	Üst ölü nokta simülasyon kartı 56
Şekil 4.7	Benzin enjektörü karakteristik eğrisi 56
Şekil 4.8	Devir sensörü 57
Şekil 4.9	Enkoder 58
Şekil 4.10	AVL marka piezoelektrik basınç sensörü 58
Şekil 4.11	Frenleme kuvveti 59
Şekil 4.12	Yük hücresi 59
Şekil 4.13	Yakıt sarfiyatı ölçüm sistemi 60
Şekil 4.14	Soğutma suyu giriş ve çıkış hatlarında konumlandırılmış termokupllar... 60
Şekil 4.15	AVL DICOM 4000 gaz analiz cihazı 61
Şekil 4.16	AVL 415 S filtre tipi is ölçüm cihazı 62
Şekil 4.17	İs ölçüm cihazı – egzoz 62
Şekil 4.18	İs ölçüm cihazı probu 63
Şekil 4.19	National Instruments USB-6215 veri toplama kartı..... 63
Şekil 4.20	National Instruments cDAQ modül şasisi 64
Şekil 5.1	Farklı Su/Dizel kütle oranlı su püskürtmeyle elde edilen moment eğrilerinin karşılaştırılması 65
Şekil 5.2	Devre göre farklı Su/Dizel kütle oranlı su püskürtmeyle elde edilen güç eğrilerinin karşılaştırılması 66

Şekil 5.3	Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle hava fazlalık katsayılarının karşılaştırılması.....	66
Şekil 5.4	Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen özgül yakıt sarfiyatı eğrilerinin karşılaştırılması.....	67
Şekil 5.5	Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen CO oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması.....	67
Şekil 5.6	Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen CO oluşum eğrilerinin yüzdesel karşılaştırılması.....	68
Şekil 5.7	Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen HC oluşum eğrilerinin ppm cinsinden karşılaştırılması.....	68
Şekil 5.8	Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen HC oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması.....	69
Şekil 5.9	Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen CO ₂ oluşum eğrilerinin yüzdesel karşılaştırılması.....	69
Şekil 5.10	Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen CO ₂ oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması.....	70
Şekil 5.11	Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen O ₂ seviyelerinin yüzdesel karşılaştırılması.....	70
Şekil 5.12	Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen NO _x oluşum eğrilerinin karşılaştırılması.....	71
Şekil 5.13	Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen NO _x oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması.....	71
Şekil 5.14	Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen CO oluşum eğrilerinin karşılaştırılması.....	72
Şekil 5.15	Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmede egzoz sıcaklıklarının karşılaştırılması.....	72
Şekil 5.16	Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmede soğutma suyu giriş sıcaklıklarının karşılaştırılması.....	73
Şekil 5.17	Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmede soğutma suyu çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması.....	73

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	İnsan sağlığı açısından mevcut sınırlamalar	11
Çizelge 2.2	Dizel Binek Otomobilleri için AB Emisyon Standartları (Kategori M1*) ...	24
Çizelge 2.3	Hafif Ticari Araçlar için AB Emisyon Standartları - I	25
Çizelge 2.4	Hafif Ticari Araçlar için AB Emisyon Standartları - II	26
Çizelge 3.1	NO _x ve PM emisyonları kontrol yöntemleri (Diesel Passenger Vehicles and the Environment, Union of Concerned Scientists)	30
Çizelge 3.2	Motor modifikasyonları sonucunda NO _x ve PM emisyonlarının azalma potansiyeli (Diesel Passenger Vehicles and the Environment, Union of Concerned Scientists).	33
Çizelge 3.3	Egzoz kontrol yöntemleriyle NO _x ve PM emisyonlarının azalım potansiyeli (Diesel Passenger Vehicles and the Environment, Union of Concerned Scientists).	38
Çizelge 4.1	AVL DICOM 4000 gaz analiz cihazına ait teknik değerler	62
Çizelge 4.2	AVL 415 S is ölçüm cihazına ait ölçüm hassasiyeti değerleri	63

**TEK SİLİNDİRLİ DİZEL MOTORLARDA EMME PORTUNA SU
PÜSKÜRTMENİN, PERFORMANS VE EMİSYONA ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Emre ORAK

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Tarkan SANDALCI

Son yıllarda, artan çevre kirliliği ve küresel ısınmayla birlikte, hava kalitesini artırma çabası ciddi boyutlara ulaşmıştır. Bu süreçte, taşıtların atmosfere bıraktığı emisyonların, çeşitli ülkelerdeki yerel yönetimler tarafından belirlenen emisyon standartlarına göre kontrol altına alınması çabası yoğunlaşarak artmaktadır. Bu gerekçeyle hava kirliliğinde çok ciddi bir yere sahip olan taşıt motorlarında çeşitli düzenlemelere gidilerek, kirleticilerin kabul edilebilir sınırlar altında kalması sağlanmaya çalışılmaktadır. Ülkemizde olduğu gibi yolcu ve yük taşımacılığın büyük bir bölümünün kara yolu taşıtları ile yapıldığı ülkelerde bu durum ayrı bir önem arz etmektedir. Yolcu ve yük taşımacılığında kullanılan taşıtların büyük çoğunluğunda dizel motorları kullanılmaktadır. Dizel motorlarından kaynaklanan en önemli iki emisyon; partikül madde (PM) ve azot oksit (NO_x) emisyonlarıdır. Dizel motorlarının hava fazlalığı ve yüksek sıkıştırma oranları ile çalışmaları benzin motorlarına göre azot oksit (NO_x) oluşturma potansiyellerini arttırmaktadır. Özellikle, yanma prosesinin ana ve art ürünlerinden olan NO_x 'in asit yağmurlarında ve insan sağlığında ciddi derece etkili olmasından dolayı, birçok çalışma yapılmış ve bu çalışmalarla, azot oksiti (NO_x) azaltmanın en etkili yolunun yanma sırasındaki maksimum sıcaklığın düşürülmesi olduğu belirlenmiştir.

Yapacağımız çalışmada, emme portuna su püskürterek, kullanmış olduğumuz tek silindirli dizel motordaki emisyon ve performans analizlerini deneysel olarak

irdeleyeceğiz. Çalışmamızda yanma gazlarının sıcaklığının dışmesiyle belirli kirleticilerde dışuş gerçekleşmesi beklenmektedir. Elde edilen sonuçları, normal Őartlardaki sonuçlarla karşılaştırarak, geçerli emisyon normlarına ulaşmaya çalışacağız.

Anahtar Kelimeler: dizel motor, su pışkurtme, porta pışkurtme, fımigasyon, egzoz emisyonları, NO_x

**INVESTIGATING THE EFFECTS OF WATER INJECTION INTO THE INTAKE
PORT OF A SINGLE CYLINDER DIESEL ENGINE ON PERFORMANCE AND
EMISSIONS**

Emre ORAK

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Tarkan SANDALCI

In recent years, with increasing environmental pollution and global warming, an air quality enhancement effort has reached serious levels. In this process, the attempt for controlling the emissions that had been left to atmosphere by vehicles according to the emission standards set by local governments in various countries increasingly grows. For this reason, a variety of regulations in vehicle engines which have a very serious place for air pollution will be done and to make the pollutant level remain below the acceptable limits some studies are being conducted. This situation has a especial importance for a large part of the countries that execute passenger and cargo transport with land vehicles as our country. In the majority of vehicles which are being used for passenger and cargo, diesel engines are being used. The two most important emissions from diesel engines are particulate matter (PM) and nitrogen oxide (NO_x) emissions. Working with higher excess air and compression ratios in Diesel engines than the petrol engines, the nitrogen oxide (NO_x) creating potential increases. In particular, due to the NO_x which is main and combustion products of combustion process have a serious influence acid rains and human health, many studies have been made and in these studies, it is determined that the most effective way to reduce the nitrogen oxide (NO_x) is to reduce the peak temperature during combustion.

In this study, by injecting water to port from intake manifold, emissions and performance analysis of a single-cylinder diesel engine that we used will be explored experimentally. In our study with a decrease in the temperature of combustion gases, it is expected that particular pollutants will be declined. The obtained results will be compared with the normal conditions results and will try to reach to current emission norms.

Key words: diesel engine, water injection, port injection, fumigation, exhaust emissions, NO_x

1.1 Literatür Özeti

D.T. Hountalas ve arkadaşları aşırı doldurmalı, 18 sıkıştırma oranında çalışan “common rail” yakıt püskürtme sistemine sahip ağır iş makinesi dizel motoru kullanarak yaptıkları çalışmada su gönderme sisteminin kullanılması sonucu yanma odasındaki pik yanma sıcaklığının azaltılması ile NO_x miktarını değerlendirmiştir [1].

Bu çalışmada NO_x miktarının azaltılması ile ilgili olarak iki yeni yöntem üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmalardan birinde yanma odasına su-yakıt emülsiyonu göndererek NO_x miktarının azaltılması ve emme manifolduna su göndermek sureti ile NO_x miktarının azaltılması için kullanılan teknolojileri incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda her iki teknolojide NO_x miktarında önemli bir azalma gözlemlenmiştir. Su-yakıt karışımı kullanılarak yapılan çalışmalarda diğer yöntemlere göre daha büyük oranda NO_x azalması görülmüştür [1].

Su-yakıt emülsiyonu ile yapılan deneylerin sonucunda yakıt sarfiyatındaki azalma düşük yüklerde lineer bir değişim gösterirken, motor yükü arttığı durumlarda özellikle her %1’lik su artışına bağlı olarak %0,10-%0,15 oranında azalma görülmektedir.

Su enjeksiyonu yönteminde ise su miktarındaki artış, özgül yakıt sarfiyatı açısından ters sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Su miktarının oransal olarak yükselmesi özgül yakıt sarfiyatı değerlerinin lineer olarak artmasına neden olmuştur.

Her iki yöntemde de NO_x miktarı, her %1 su artış oranı için %1-1,2 oranında azalmaktadır. Fakat sonuçlar göstermektedir ki yakıt-su emülsiyonu yönteminde NO miktarı %60 oranında azalmıştır.

İs emisyonlarında ise, su-yakıt oranı için %30 su kullanıldığında motor yüküne bağlı olarak %25'ten %50'ye kadar azalma görülmektedir. Yüksek yüklerde is miktarındaki azalma göze çarpmaktadır. Çalışmadaki sonuçlar, is miktarının eklenen su oranına göre lineer olarak arttığını göstermektedir. Fakat su-yakıt emülsiyonu kullanmanın, su püskürtme metoduna göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir [1].

(S. Brusca, S vd. [2]) tek silindirli bir dizel CFR motoru üzerinde yapmış oldukları çalışmada su püskürtmenin dizel yanması üzerindeki etkilerini araştırmıştır. 0-1,5 su-yakıt kütleli oranını gerçekleştirecek şekilde yapılan püskürtme sonucunda, manifolda su püskürtme metodunun NO_x oluşumunu önleme konusunda etkili, yeni bir yöntem olduğunu ve silindir içinde meydana getirdiği soğumadan dolayı sıkıştırma işinde azalma sağladığını belirlemiştir. Sulu ve susuz olarak yapılmış ölçümler karşılaştırıldığında NO_x emisyonlarının belirgin şekilde düştüğü gözlenmiştir. 1,5-1 kütleli su-dizel oranında NO_x seviyelerinde yaklaşık %40 civarında azalma görülmüştür.

(Kyunghyun Ryu vd [3]) su soğutmalı, 4 silindirli, 4 stroklu, ticari, indirekt püskürtmeli dizel motorda 1000, 1500, 2000 ve 2500 devirlerde %0 , %25, %50, %75, %90 ve %100 yük şartlarında hava emiş sistemine su püskürtülmesinin yanma karakteristikleri ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini araştırmak üzere yapmış olduğu deneylerde, emme portuna 10, 20, 30 ve 40 mg su püskürtmüştür. Özgül yakıt sarfiyatı, maksimum basınç ve silindir içi sıcaklıklarda su püskürtmenin meydana getirdiği azalmadan dolayı 10, 20, 30 mg'lık su püskürtme oranlarında hafifçe artarken 40 mg'lık püskürtme oranında büyük miktarda artmıştır. Tüm su-yakıt oranları için NO_x emisyonları motorun %75 yükte olduğu duruma kadar artış göstermiş, daha sonra düşüşe geçmiştir. NO_x emisyonlarında, su püskürtülmesiyle en büyüğü orta yüklerde olmak üzere düşüş gözlenmiştir. Silindir içi maksimum sıcaklıkları, emme portundan püskürtülen su miktarının artışı ile orantılı olarak düşüş gösterirken, NO_x emisyonları da paralel şekilde düşmekte, is ve CO konsantrasyonlarında hafif bir artış meydana gelmekte ve özgül

yakıt sarfiyatında da artış gözlenmektedir. Ayrıca is emisyonları düşük motor hızlarında yüksek motor hızlarına göre daha büyük miktardadır. Çalışmanın sonucunda NO_x emisyonlarındaki azalmanın, su-yakıt oranının artmasından daha çok püskürtülen su miktarına bağlı olarak arttığı ifade edilmiştir.

(Bedforf vd. [4]) CFD programı ve Kiva-3v kodları kullanarak, dizel motoruna direkt püskürtme ile su püskürtmenin etkileri ölçmek için yapmış oldukları çalışmada, %44'lük ve %86'lük yük şartlarında, NO_x emisyonlarının azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca %44'lük yük şartında özgül yakıt sarfiyatı ve partikül madde miktarının da azaldığını ifade etmişlerdir. Direkt püskürtmenin, fümigasyona karşı sıvı haldeki suyun silindir çeperlerine uzak, alevlere yakın olmasından dolayı daha avantajlı olduğu ifade edilmiştir [4].

(M.A.A. Nazha vd. [5]) 2,5 lt., 4 silindirli, direkt püskürtmeli bir Ford dizel motorunda, dizel motorlarda oluşan emisyonların kontrolü amacıyla su-dizel emülsiyonu, emme manifolduna su püskürtme ve EGR tekniklerini incelediği araştırmasında, 2500 dev/dk sabit devirde ve 2 bar sabit basınç altında püskürtme yapmıştır. Bunun sonucunda, 1:1 su-yakıt oranında NO_x seviyelerinde %60'lık bir azalmayla karşılaşmıştır. EGR ve su püskürtmenin birlikte yapıldığı şartlarda 1,5:1 su-yakıt oranında NO_x emisyonlarında %70'in üzerinde bir azalma görülürken, is emisyonlarında %60'a yakın artış görülmüştür.

(M.A. Psota vd. [6]) direkt püskürtmeli bir dizel motorunda yeni hibrit Mitsubishi su püskürtme sisteminin etkilerini analiz etmek üzere yapmış oldukları çalışmada, direkt püskürtmeli dizel motorda hibrit enjektör kullanımında düşük su-yakıt karışım oranlarında beklenen etkiyi oluşturmadığı ve hibrit enjektörün NO_x emisyonlarını azaltmada EGR veya emme manifolduna su püskürtmeden daha az verimli olduğunu ifade etmiştir.

(Steinhilber, T., Sattelmayer, T., [7]) dizel su emülsiyonlarının etkilerini araştırmak üzere yapmış olduğu çalışmada, emme portuna ya da yanma odasına su püskürtülmesinin önceki çalışmalarında silindir duvarlarında ıslanmaya sebep olabileceğini ifade etmiştir. Yağlama yağındaki bir seyrelme ve yüksek yanmamış hidrokarbonlar sonuç olarak belirlenmiştir. Suyun kullanımının silindir içi sıcaklıkları düşürmesinden dolayı benzinli

motorlarda vuruntuyu, dizel motorlarda NO_x ve PM emisyonlarının her ikisinin birden azaldığını belirtmiştir. Suyun dizelden yaklaşık 7 kat daha yüksek buharlaşma gizli ısısından dolayı iç soğutucu olarak kullanılmıştır. Porta püskürtme gibi suyun iyi bir genel dağılımını sağlayan sistemler silindir içi sıcaklıklarında komple bir düşüş sağlar. Yine porta su püskürtmede yüksek iç sıcaklıklar ve düşük su kütleli akışında suyun etkili buharlaşması ve böylece silindir içine homojen dağılımı maksimum basınç artışı oranlarında etkili azalma sağlar. Eğer emmedeki düşük sıcaklıklardan dolayı buharlaşma sağlanamazsa, araştırması yapılan su-yakıt kütleli oranı '3' olsa bile suyun soğutma etkisinin küçük olacağı ifade edilmiştir.

(R. Lanzafame [8]) yapmış olduğu çalışmada, tek silindirli CFR motorunun emme hattına su püskürtülmesini teorik ve deneysel açılarından incelemiştir. Su, yüksek basınçlı pompayı da kapsayan sürekli püskürtme sistemiyle püskürtülmüştür. 45 Derece sprej açısındaki 1MPa basınç altında 0,2 gal/h su püskürten De Lavan tipi su nozülü emme manifoldu akış hattına yerleştirilmiştir. Motor, düşük oktan numarasına sahip baz benzinle beslenmiştir. Su-yakıt kütleli akış oranları 0-1,5 aralığında değişmektedir. Tüm gözlemler, suyun buharlaşma gizli ısısına ve yanma prosesinin su kaynaklı yavaşlamasına dayandırılmaktadır.

Su püskürtmenin etkilerini tanımlayabilmek için baz yakıt ve benzin-su karışımının motor test dataları karşılaştırılmıştır.

Gizli ısı etkilerinin ve yanma oranlarındaki su kaynaklı değişikliklerin test sonuçlarında birebir aynı karakteristikte olmamasının sebebi, deneylerde kullanılan motorların farklı tip ve özelliklerde olmasıdır.

Karşılaştırmalı testlerde, sıkıştırma basıncında üst ölü noktadan 20 KMA öncesine kadar kayda değer bir değişim gerçekleşmemektedir.

Su-yakıt karışım oranı 1,25 olduğu zaman daha iyi sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

Zengin karışım şartında su püskürtme oranının 0,5 olduğu durumda egzoz sıcaklığı belirgin şekilde değişmemiştir. Bununla beraber, su püskürtme oranı 1-1,5 aralığında olduğu zaman egzoz gaz sıcaklıklarında bir miktar azalma olmaktadır. Testlerde hava-yakıt oranları sabit tutulurken, su püskürtme silindir içerisindeki toplam dolgu miktarını arttırmıştır. Bundan dolayı, gözlenen sıcaklık düşüşlerinin çoğu, dolgunun

seyrelmesindeki artıştan kaynaklanmaktadır. Su-yakıt oranı yaklaşık 1,50 olduğunda %50 den fazla NO_x azalışı görülmüştür. Su püskürtmenin etkileri, zengin karışımla çalışma şartlarında CO seviyelerinde bir miktar düşüşe yol açarken, yakıt akışına eşit miktardaki su püskürtülmesi HC seviyelerinde yaklaşık %20 bir artış meydana getirmiştir.

(K.A. Submarian [9]) yapmış olduğu çalışmada su dizel emülsiyonunun ve emme manifolduna su püskürtmenin benzer şartlarda çalışan dizel motorlarda performans, yanma ve emisyon karakteristikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Emülsiyonda su-dizel karışım oranı, kütlece 0,4:1 olarak belirlenmiştir. Karşılaştırmada potansiyel faydaların belirlenebilmesi amacıyla emme manifolduna püskürtülecek olan su-dizel oranı yine aynı şekilde 0,4:1 olarak belirlenmiştir. Tüm testler sabit hızda, 1500 dev/dk'da yürütülmüştür. Statik püskürtme zamanı, tüm testlerde üst ölü noktadan 23 °KMA kadar önce yapılmıştır. Emülsiyonlar geleneksel püskürtme sistemiyle sıkıştırma stroğunda püskürtülürken, emme manifolduna su püskürtme, motorun emme stroğu sırasında, yardımcı bir enjektörle gerçekleştirilmiştir.

Belirlenmiş olan su-dizel oranlarında emülsiyon yönteminin NO seviyelerini azaltmada daha etkili olduğu gözlemlenmiş, su püskürtme yönteminin ise yüksek yüklerde, NO seviyelerini azaltmada belirgin şekilde etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Su püskürtme yöntemiyle yapılan deneylerde, su püskürtmenin meydana getirdiği soğuma nedeniyle termik verimde düşüş meydana geldiği, karışım ile yapılan deneylerde ise termik verimin püskürtmeye göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

CO ve HC seviyeleri düşük yüklerde emme manifolduna su püskürtülmesinde, emülsiyona göre daha azdır. Bununla birlikte dizel yakıtı ile yapılan çalışma sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, tamamlanmamış yanma ve düşük termal verimden ve daha zengin karışımlar kullanılmasından dolayı, CO ve HC oranları, her zaman daha fazladır. Benzer şekilde emülsiyon yönteminde elde edilen değerler, dizelle karşılaştırıldığında dizel partiküllerinin suyla yakın temasta bulunmasından ve yanmayı söndürmesinden dolayı HC emisyonları her zaman daha fazladır.

(Hakan Özcan ve M.S. Söylemez [10]) Yaptığı çalışmada doğal emişli, LPG yakıtla çalışan, dört silindirli konvansiyonel bir otto motorunun emme manifolduna su

gönderilmesinin yanma üzerindeki etkilerini araştırmıştır. 0,2:0,5 aralığındaki kütleli su-yakıt oranlarıyla yapılan çalışmada, egzoz emisyon seviye ve sıcaklıklarının klasik LPG yakıtlı motorda nasıl etkilendiği incelenmiş ve sonuçlar EGR ile karşılaştırılmıştır.

Motor verileri, içten yanmalı motorlar için orta motor hızı olarak alınabilecek 2000 d/d'da toplanmıştır. Araştırmada, CO konsantrasyonlarının fakir yakıt-hava karışım bölgesine su eklenmesiyle hafif şekilde etkilendiği görülmüştür. Bu, zengin yakıt-hava karışım bölgesinde küçük bir düşüş sağlamaktadır. Ayrıca CO konsantrasyonu fakir yakıt-hava karışımı bölgesine su eklenmesiyle ufak bir artış gösterir.

HC emisyonları tüm su ekleme seviyelerindeki tüm fazlalık oranlarında artar.

NO_x seviyelerinde, su püskürtmeyle deneysel olarak gözlenen düşüş her şartta, zengin karışımda, fakir karışıma göre daha belirgindir.

1.2 Tezin Amacı

Sahip olduğu birçok avantaja rağmen dizel motorlar, atmosfere attığı yüksek miktarda NO_x emisyonu ve is partiküllerinden dolayı, özellikle yolcu ve yük taşımacılığında yüksek oranda karayolu ulaşımını kullanan ülkelerde hava kirliliği açısından ciddi problem oluşturmaktadır. Yüksek sıkıştırma oranı ve yüksek hava fazlalık oranıyla çalışan dizel motorlarda, yüksek sıcaklıklarda ve havadaki azotla oksijenin reaksiyona girmesiyle oluşan NO_x oluşumunun önüne geçmek için kullanılması elverişli metotlardan birinin deneysel olarak analizi yapılmıştır. Bu tezin amacı, emme portundan su püskürtülmesi metoduyla, NO_x emisyonu seviyelerinde azalma meydana getirmektir.

1.3 Hipotez

Dizel motorlar yüksek sıkıştırma oranı ve yüksek hava fazlalık oranı ile kendiliğinden ateşleme ile çalışmaktadır. Yüksek sıkıştırma oranları, silindir içi maksimum sıcaklıkları yükseltirken, yüksek hava fazlalık oranı, havadaki serbest azot ile karşılaşabilecek oksijen konsantrasyonunun arttırılmasını sağladığından, yüksek sıcaklıkta havadaki serbest azot ve oksijenin birbirlerini bağlayarak yüksek miktarda NO_x emisyonları oluşturur. Zeldovich mekanizmasına göre NO_x oluşumu büyük oranda sıcaklık artışına

bağlı olarak artış göstermektedir. Bu durumdan yola çıkarak, silindir içi maksimum sıcaklıkların dūşürölmesi ile NO_x oluşumunu yavaşlatmak mümkün görünmektedir. Tek silindirli bir dizel motorda emme portuna su pūskürterek, suyun sahip olduğu, yakıtta göre oldukça yüksek gizli buharlaşma ısısı sayesinde, silindir içi soğuma olması beklenmektedir. Elde edilen bu soğuma ile NO_x emisyonlarında azalma elde edilecektir.

BÖLÜM 2

KİRLETİCİLER

Dünyadaki enerjinin ancak %30 kadarı yanmasız bir şekilde hidrolik ve nükleer santrallerde üretilmektedir. Geriye kalan % 70 enerji fosil yakıt adı verilen kömür, petrol, gaz veya bunların sentetik türevlerinin yakılması ile elde edilmektedir (Ergeneman vd.,[11])

Şehirlerdeki kirlenmenin büyük bir bölümü otomobillerden kaynaklanmaktadır. Bu kirleticilerin özellikleri ve yoğunlukları motor tipine, motor ayarına, kullanım tarzına, yakıt bileşimine ve atmosferik şartlara bağlıdır (Çakıroğlu, [12]).

Motorlu taşıtlar çevreyi; egzoz emisyonu, yakıt yağ buharı, kurşun bileşikleri, asbest ve lastik tozlar, aşınma, paslanma ve korozyon sonucu oluşan gaz, sıvı ve katı artıklarla kirletmektedir. Bu kirleticilerin en etkin zararlı ve yoğun olanları egzoz gazında bulunan CO, HC, NO_x ve PM (is, duman vb.) emisyonlardır. Bunlardan NO_x ile PM emisyonları daha çok dizel motorlarından kaynaklanmaktadır (Işıksoluğu, [13]).

İçten yanmalı motorlarda fosil kaynaklı yakıtların aşırı kullanımı sonucu atmosferdeki taşıt kaynaklı hava kirliliği günümüzde insan sağlığı ve çevre bakımından tehlikeli boyutlara ulaşmıştır. Gelişmiş ülkelerde taşıt kaynaklı emisyonlara ciddi sınırlamalar getirilmiştir. Bu sebeple araştırmacılar taşıt kaynaklı emisyonların azaltılması konusunda yoğun çalışmalar yapmaktadırlar [14].

Dizel motorlarından kaynaklanan en önemli iki emisyon; partikül madde (PM) ve azot oksit (NO_x) emisyonlarıdır. Dizel motorlarının hava fazlalığı ile çalışmaları benzin

motorlarına göre NO_x oluşturma potansiyellerini arttırmaktadır. Benzin motorlarından atmosfere atılan bir ton egzoz gazının 18,42 kg'ı NO_x iken, dizel motorlarında bu miktar 123,71 kg'a ulaşmaktadır [14].

Bu çalışmada dizel motorlarından kaynaklanan NO_x emisyonlarının azaltılması üzerinde durulmuş, bu amaçla içten yanmalı motorlardan kaynaklanan NO_x emisyonlarını azaltmada kullanılan yöntemlerden biri olan emme portuna su püskürtülmesi yöntemi tek silindirli bir dizel motoruna uygulanmıştır. Deney motorunun emme manifoldu üzerine porta doğru konumlandırılmış olan su püskürtme sistemiyle yapılan belirli oranlardaki su püskürtmenin motor performansı ve egzoz emisyonlarındaki değişim izlenmiştir.

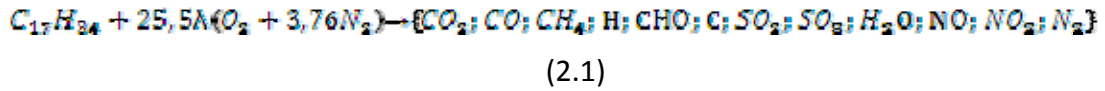
Kirleticilerin önemli olanlarını yedi grupta toplayabiliriz. Bunlar;

- 1.Karbon monoksit,
- 2.Azot oksitler,
- 3.Kükürtlü bileşenler,
- 4.Yanmamış hidrokarbonlar,
- 5.Aldehitler,
- 6.İs ve Partiküller,
- 7.Kurşun bileşenleridir (Borat, [15]).

Dizel motorlarında silindir içerisine emilen havanın birim hacmi piston yardımıyla 1/14 ile 1/22 değerine düşecek tarzda sıkıştırılmaktadır (Bilginpek, [16]). Benzin motoruna göre takriben iki misli sıkışan hava daha yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşmaktadır. Bu sırada havanın içerisine püskürtülen yakıt kolaylıkla tutuşabilmektedir.

Teorik olarak 1 kg yakıtı yaklaşık 15 kg hava gerekmektedir. Dizel motorlarında iyi bir yanma için bu miktarın 1,5 ile 2 katı kadar hava ile yanmayı gerçekleştirmek gereklidir. Kirletici bileşenlerin meydana gelmesi yanma olayına bağlıdır. Burada gerçek hava/yakıt oranı teorik tam yanma miktarından büyük olmasına rağmen silindir içindeki yakıt damlacıkları çevresinde yeterli miktarda hava temin edilememektedir. Bu da eksik

yanma ürünü olan is (karbon parçacıklarının) doğmasına yol açmaktadır. Motorin hava karışımlarının yanması ile oluşan ürünler aşağıdaki denklemde sunulmuştur.



Dizel motorlarında da işletme şartları sık sık değişmekte ve bazı hallerde hava/yakıt oranı istenen oranların dışına çıkmaktadır. Diğer bir ifade ile dizel motorunun hidrokarbon, NO_x, is, aldehit gibi kirletici bileşenleri artmaktadır. Yakıtın içerisindeki kükürt miktarı dizel egzozundan çıkan SO_x miktarını belirlemektedir. Çünkü kükürt bileşeni yanma olayında O₂ ile hemen reaksiyona girmektedir. Geri kalan O₂ diğer bileşenleri oksitleyebilmektedir (Balcı, [17]).

Dizel motorlarından kaynaklanan zararlı emisyonların başında mutojenik ve kanserojenik etkiye sahip olan katı parçacıklar (partiküller) gelmektedir. Dizel motorları benzin motorları ile karşılaştırıldığında CO ve HC emisyonları daha az içermesine karşılık dizel araçlarda SO₂ (kükürtdioksit) ve NO_x emisyonları daha fazla oluşmaktadır (Anonymous, [18]).

Dizel motorlarında karakteristik olarak zararlı egzoz gazlarının seviyesi benzin motorlarına göre daha düşüktür. Ayrıca zararlı gaz oranları motorun kullanım süresince fazlaca değişmezler. Bunun sebebi dizel motorunun çalışma prensibidir. Dizel motorlarında karışım silindirlerin içerisinde meydana gelirken bu motorlar kendiliğinden ateşlemeli olup, yüksek hava fazlalığı ile çalışırlar. Dizel motorlarının özelliği partikül atıklarının benzinli motorlara göre çok yüksek olmasıdır. Bu partikül emisyonlarının büyük bir kısmı karbon parçacıklarından, diğer kısmı ise hidrokarbonlardan oluşmaktadır (Anonymous, [19]).

Yanma esnasında is oluşumu, difüzyon yanması sırasında başlar ve püskürtme süresinde is konsantrasyonu hızla artar. Püskürtme sonunda da maksimum düzeye ulaşır. Daha sonraki safhada is oksitlenmeye başlar. Ancak alev sıcaklığı düşmeye başladıkça oksitlenme yavaşlar ve 1400 °C 'nin altında etkisini kaybeder. Dolayısıyla is bu konsantrasyon seviyesinde dışarı atılır (İçingür vd., [20]).

2.1 Kirleticilerin İnsan ve Çevre Sağlığı Üzerindeki Etkileri

İnsan sağlığına olumsuz etki eden yanma ürünü zararlı maddelerin etkileri alınış sürelerine ve alınış miktarlarına göre değişmektedir. Bu bakımdan üç farklı konsantrasyon tanımlamak mümkündür:

- MAK (Maksimum Atmosfer Konsantrasyonu) : sürekli olarak solunum sonucunda zarar vermeyecek miktarı.
- MİK (Minimum İşyeri Konsantrasyonu) : 8 saat süre ile solunum sonucunda zarar vermeyecek miktar.
- DTK (Doğrudan Tehlike Konsantrasyonu) : çok kısa süre içinde tehlike doğuracak miktar [22].

Bu tanımlara uygun olarak insan sağlığı açısından mevcut sınırlamalar Çizelge 2.1' de ppm (milyondaki hacimsel oran – parts per million) veya mg/m³ cinsinden verilmiştir.

Çizelge 2.1 İnsan sağlığı açısından mevcut sınırlamalar

	MAK	MİK	DTK
CO	9	50	5000
HC	20	300	30000
HC HO	0.02	1	650
NO	0.15	-	-
NO2	0.05	5	200
SO2	0.1	3	400
Pb (mg/m3)	0.003		
Pb (C2H5)4		0.01	
MAK : Sürekli olarak solunumda zarar vermeyecek miktar. MİK : 8 saat süre ile solunum sonucunda zarar vermeyecek miktar. DTK : Çok kısa süre içinde tehlike doğuracak miktar.			

2.2 İçten Yanmalı Motorlarda Üretilen Kirletici Maddeler

2.2.1 Motorlu Taşıtlarda Kirletici Maddelerin Oluşumu

Motorlu taşıtlar tarafından üretilen kirletici maddelerin kaynakları üç ana grupta toplanabilir:

- egzoz gazları,
- karter havalandırması,
- yakıt deposu ve karbüratördeki buharlaşmalar.

Önlem alınmamış taşıtlarda, egzoz gazları içerisindeki kirletici bileşenler tüm emisyonun önemli bölümünü oluşturmaktadır.

Karter havalandırmasından atmosfere kirletici maddelerin atılmasını önlemek amacıyla havalandırma bağlantısı karbüratöre yapılmaktadır. Böylece karterden gelen bileşenler yanma odasına gönderilerek yakılmaktadır (pozitif havalandırma yöntemi). Kaliforniya'da 1961 yılında başlatılan bu uygulama, 1964 yılından itibaren tüm dünyada geçerli olmuştur. Yanmamış yakıt, buharlaşan yağlama yağı ve kısmen yanmış HC'lardan oluşan bu gazlar içerisinde ayrıca H₂O, CO, C₂, N₂, NO'da bulunmaktadır. Emisyon önlemleri alınmamış taşıtlarda bu kaynak tüm HC emisyonunun %20 kadarını oluşturmaktadır [67].

Yakıt deposu ve karbüratörden buharlaşan yakıtın oluşturduğu hava kirliliğinin önlenmesi amacıyla 1970 yılında yine Kaliforniya'da başlatılan önlemler, 1971 yılından sonra başka yerlerde de uygulanmaya başlanmıştır. Bu sistemlerde, buharlaşan yakıt motora gönderilerek yakılmaktadır. Motorun çalıştırılmadığı durumlarda buharlaşan yakıt ise, depolanarak daha sonra yanma odasına gönderilmektedir. Depolama işlemi için kömüre HC'ların emdirilmesi yöntemi kullanılmaktadır. Önlem alınmış taşıtlarda bu kaynak da tüm HC emisyonunun %20 kadarını oluşturmaktadır [67].

Son yıllarda, yakıt deposu ve karbüratörden buharlaşan yakıt ile karter havalandırmasından atmosfere atılan kirletici bileşenlerin pozitif havalandırma sistemi ile önlenmesi sonucunda motorlu taşıtların ürettiği kirletici maddelerin asıl kaynağını yakıt-hava karışımının yanması sonucu elde edilen egzoz gazları oluşturmaktadır [67].

Egzoz gazları içerisindeki kirletici maddelerin oluşumu

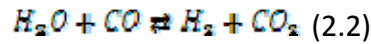
Motorlarda ideal yanma durumunda, yanmanın tam olması sonucunda yanma ürünleri arasında zehirli etkileri olmayan CO₂ ve H₂O bileşenleri ile havadaki N₂ bulunacaktır. Ancak uygulamada yanmanın tam olmaması ve disosiyasyon nedeniyle oluşan ara ürünler egzoz gazları içerisinde ek olarak HC, NO_x, CO gibi zararlı maddelerin

oluşmasına neden olur. Ayrıca yakıtın içinde bulunan kükürt ve katkı maddeleri nedeniyle SO₂, Pb bileşenleri gibi zararlı maddeler de yanma ürünleri arasında yer almaktadır (Çizelge 2.1) [67].

2.2.1.1 Karbon monoksit

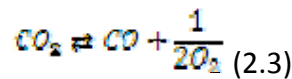
Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersiz olmasıdır. Yanma odasının tümü ele alındığında oksijen genel olarak yetersiz olabileceği gibi, karışımın tam homojen olmaması durumunda yanma odasının belirli bir konumunda yerel olarak yetersiz de olabilir. Temel olarak CO oluşumu hava fazlalık katsayısının (HFK) kuvvetli bir fonksiyonu olarak değişmektedir [67].

Yanma sırasında CO oluşumu su gazı dengesi olarak adlandırılan,



Denklemler ile belirlenmektedir. Yüksek alev sıcaklıklarında bu denge reaksiyonundan CO₂ miktarına oranla daha fazla CO elde edilir. Ancak sıcaklık düştükçe CO'nun CO₂ şekline oksidasyonu söz konusudur. Bu bakımdan fakir veya stokiyometrik karışımlarda egzoz gazları içerisindeki CO miktarı daha az olurken, zengin karışımlarda soğuk egzoz fazları içerisinde bile O₂ yetersizliği nedeniyle yüksek miktarda CO bulunmaktadır [67].

Yanma sırasında, alev cephesinin iç tarafında ulaşılan yüksek sıcaklık bölgesinde çok miktarda CO oluşmaktadır. Ancak gazların daha sonra genişlemesi ve soğuması sırasında, oksidasyon sonucu CO, CO₂'ye dönüşmektedir. Sıcaklıkların genişleme zamanında daha da düşmesi halinde, denge reaksiyonu sıcaklıktaki düşüşü takip edemediğinden egzoz gazları içerisindeki CO miktarı beklenilenden daha fazla olacaktır [67].



şeklinde tanımlanan bu denge reaksiyonu sıcaklığa bağlı olarak oluşmaktadır. Bu nedenle yanma odası sıcaklığının düşürülmesi CO emisyonunu azaltmaktadır [67].

Dizel motorları ise genellikle fakir karışım oranları ile çalıştığından, CO emisyonu düşük olmaktadır. Yakıt demetinin civarında, yanmanın gerçekleştiği bölgede karışım yerel

olarak zengindir. Ancak genelde karışımın fakir olması, CO emisyonunun düşük düzeylerde kalmasını sağlamaktadır [67].

2.2.1.2 Azot oksitler

Dizel Motorlarda Azot Oksit Emisyonu

Azot bileşikleri içinde, hava kirliliği bakımından NO (azot monoksit) ve NO₂ (azot dioksit) en önemlileridir [22] [23] (23) (24).

NO_x'ler genellikle 1800 K'in üzerindeki yüksek sıcaklıklarda oluşmaktadır. Karışım içindeki havanın yüksek sıcaklıkta iyonize olması ile açığa çıkan azot nedeniyle oluşan tehlikeli NO_x emisyonlarını azaltabilmek için silindir içi sıcaklığın azaltılması gerekir [25],[15].

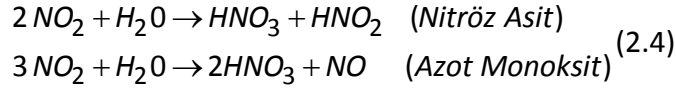
Dizel motorlarında yanma sonucu, içerisinde azotoksitin de bulunduğu egzoz emisyonları oluşur. Azotoksitin hacimce yaklaşık % 90'ı NO, %5'i NO₂, ve kalan %5'i N₂O (diazotmonoksit), N₂O₃ (diazottrioksit) ve N₂O₅'ten (diazotpentaoksit) oluşur. Çevre şartlarında NO-NO₂ dengesi NO₂ oluşturacak yöndedir. Egzoz gazlarının akış hızının yavaş olması durumunda dizel egzozundaki NO, NO₂'ye dönüşecektir [26], [27].

2.2.1.3 Tanımı ve Özellikleri:

Atmosferin %78'i azottan meydana gelmektedir. Azot oksitlerin temel kaynağı hava içerisindeki azottur. Atmosferdeki azotun, oksitlerine (NO_x) dönüşümü ise yanma işlemleri sonucu olmaktadır. Azot oksitlerin büyük bir kısmı trafikteki motorlu taşıtların egzozları ile sabit yakma tesislerinde meydana gelmektedir. Azot oksitler yakıt içindeki azotlu maddelerden olduğu gibi, yüksek sıcaklıkta yakma tesislerinde kullanılan azotun oksijenle birleşmesinden de meydana gelmektedir. Atmosferde kararlı ve kararsız olarak bulunan azot oksitler yanma olaylarından sonra havaya atılan en önemli kirletici emisyonlar olarak bilinmektedir. Genellikle azot oksitler NO, NO₂, NO₃ şeklinde olup bunlardan NO₂ ve NO en önemli kirletici gazlardır [28].

Azot oksitler, altı farklı gazın bir karışımı olarak, topluca NO_x şeklinde gösterilirler. Bunlar; azot monoksit (NO), azot dioksit (NO₂), nitrozoksit (N₂O), azot sesquioksit

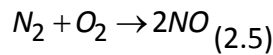
(N₂O₃), azot tetroksit (N₂O₄) ve azot pentoksit (N₂O₅) dir. Hava kirliliğinde azot monoksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) büyük önem taşırlar ve sadece bu iki azot oksit türü atmosfere büyük miktarlarda verilir. Havadan daha ağır olan NO₂ suda hızla çözünür, nitrik asit oluşturur [28].



Nitrik ve nitröz asit yağışlarla yeryüzüne düşer veya atmosferdeki amonyakla birleşerek amonyum nitrat oluştururlar (NH₄ NO₃). Bu durumda NO₂ bitkiler için gübre görevi görür. NO₂ aynı zamanda güneş ışıklarının ultraviyole bölümünün iyi bir absorblayıcısı olduğu için ozon (O₃) gibi sekonder hava kirleticilerin oluşumunda önemli bir rol oynar [28].

Nitrik oksit motor içindeki yüksek sıcaklık nedeni ile ortaya çıkan renksiz, kokusuz, tatsız ve yanabilen durağan bir gazdır. Sıvı halde de renksizdir. Fosil yakıtların yakılmasından ortama verilmektedir. Toksik olmasına rağmen kokusu uyardırma yetersizdir [29].

Azot monoksit (NO) atmosfere NO₂ den çok daha büyük miktarlarda deşarj edilir. NO, yanma proseslerinde atmosferik N₂ ile O₂'nin reaksiyonundan meydana gelir.



NO rölatif olarak inert bir gazdır ve orta derecede toksik etkiye sahiptir. NO, CO'ya benzer şekilde kandaki hemoglobinle birleşebilir ve kanın oksijen taşıma kapasitesini azaltır.

Nitrojen dioksit kırmızımsı kahverengi renkte, yanıcı olmayan ve tespit edilebilen bir kokuya sahip bir gazdır. Önemli konsantrasyonlarda oldukça toksiktir, gecikmiş bir etki olarak ciddi akciğer hasarına neden olabilir. Nitrojen dioksit, NO'nun havanın oksijeni ile birleşmesiyle kahverengi ve kokulu olan azot dioksit meydana gelir [30].

Nitrojen dioksit, gerek atmosferdeki konsantrasyonu, gerekse özelliği nedeniyle insan sağlığına en fazla etki gösteren azot bileşimidir. Bu gaz, taşıtlarda motor içindeki yüksek sıcaklık nedeniyle havadaki azot ve oksijenin birleşmesiyle ortaya çıkar. Azot oksit konsantrasyonları hızlanma ve seyir esnasında en yüksek değere ulaşmaktadır. Düşük

hava-yakıt karışımlarında oksijen miktarı az, sıcaklık düşüktür. Bunun sonucu olarak NO_x konsantrasyonu da düşüktür. Eğer oran artarsa sıcaklıkla beraber NO_x konsantrasyonu da artar. Trafiğin yoğun olduğu bölgelerde yüksek azot dioksit konsantrasyonu ölçülmektedir [31].

NO_2 organik nitrat kadar toksik olan nitrik asit biçimine dönüşmek için, havada reaksiyona giren güçlü bir ajandır. Aynı zamanda, yeryüzü seviyesinde ozon ve duman üreten atmosferik reaksiyonlarda da önemli rol oynar. Nitrojen oksitler, tesisler ve taşıtlar gibi çok yüksek sıcaklıklarda yakma işlemleri bulunan prosesler ile kimyasal endüstrilerin ürünleri tarafından oluşturulur. Topraktaki bakteriyel hareketler, orman yangınları ve volkanlar tüm NO_x 'in yaklaşık %5'ini oluşturmakta iken; ulaşım araçları %43 ve endüstriyel yakma prosesi %32 oranında sorumludur [32].

2.2.1.4 NO_x Oluşum Mekanizmaları

Yanma sonucu ulaşılan yüksek sıcaklıklarda, havanın içerisindeki azotun oksijen ile birleşmesi sonucu azot oksitler meydana gelmektedir. NO_x içerisinde ana eleman olarak genellikle NO bulunmaktadır. Egzoz gazlarının daha sonra atmosfere atılması sonucu oksijenle temasında NO'nun bir kısmı NO_2 ve öteki NO_x 'lere dönüşmektedir. Bu bakımdan NO_x oluşumunu etkileyen iki önemli parametre yanma odası sıcaklığı ve hava/yakıt oranıdır. Ayrıca kimyasal reaksiyon hızları da etkili olmaktadır. Ancak bu hızlar da sıcaklığa bağlıdır [22].

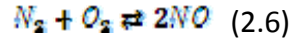
Kimyasal denge hesapları sonucu saptanan NO_x miktarı, motordaki yanma koşullarında elde edilen miktar ile uyuşmamaktadır, çünkü motor koşullarında yanma ürünlerinin kimyasal dengeye ulaşması için yeterli zaman bulunmamaktadır. Reaksiyon hızları sıcaklığa bağlıdır. Bu nedenle erişilen en yüksek sıcaklık değerinde NO_x için kimyasal denge sağlanamadan yanmış gazların sıcaklıkları düşüş gösterir [22].

Kimyasal denge durumundan bir diğer sapma da yanmış gazların soğuması sırasında gerçekleşir. Sıcaklığın düşmesi ile NO_x 'lerin tekrar N_2 ve O_2 'ye ayrışması beklenirken, reaksiyon hızının düşük sıcaklıklarda çok düşük olması nedeniyle bu reaksiyonlar da yavaşlar. Böylece daha yüksek sıcaklıklarda elde edilmiş olan NO_x miktarları dondurulmuş olur. Başlangıçta, NO_x miktarı reaksiyon hızlarının denge durumundaki

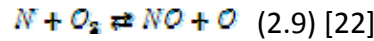
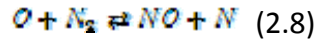
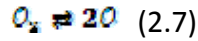
koşulları sağlayacak kadar fazla olmaması (reaksiyon hızının sonlu olması) nedeniyle denge durumuna göre düşük olmaktadır. Belli bir zaman aralığından sonra ise, sıcaklıkların düşmesi sonucunda reaksiyonlar donar ve egzoz gazları içerisindeki miktar daha önce erişilen maksimum sıcaklık miktarına orantılı bir seviyede kalır. Çünkü azot oksitlerin oluşumu ayrıca reaksiyon hızına ve reaksiyonların tamamlanması için mevcut zamana bağlıdır [22].

NO_x oluşumu aynı zamanda oksijen miktarına da bağlıdır. Bu nedenle zengin karışımlarda NO seviyesi düşmektedir. Maksimum değere ise %10 fakir karışımlarda ulaşılmaktadır. Karışımın hava miktarı daha da arttırıldığı zaman yanma sıcaklıkları da düşeceği için NO miktarı da birlikte azalacaktır.

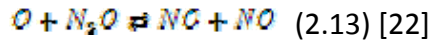
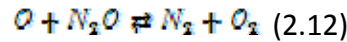
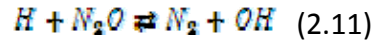
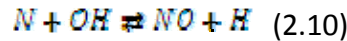
Azot oksit oluşumunu tanımlayan ana denklem,



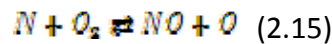
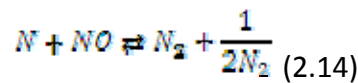
Şeklinde Eyzat ve Guibet tarafından tanımlanmıştır. Ancak bu reaksiyon, olayı tam olarak tanımlanmadığından Newhall ve Starkman tarafından NO oluşumu Zeldovich zincir reaksiyonları ile tanımlanmıştır: [22]

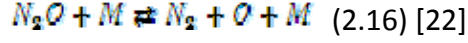


Lavoie ise değiştirilmiş Zeldovich reaksiyonlarını kullanmıştır:



Annand da bu reaksiyonlara eklemeye bulunmuştur:



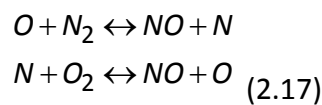


Benzin motorlarından NO oluşumu temel prensiplere uygun olarak gerçekleşmektedir. Alev cephesinin ilerlemesi ile yanan karışımın bulunduğu bölgede NO oluşumu da başlamaktadır. Yanma tamamlanıp, pistonun AÖN'ya doğru hareketi ile yanmış gazlar genişlemeye ve soğumaya başladığında ise NO oluşumu durmaktadır. Bujiye daha yakın bölgelerde yanma daha erken başladığından NO oluşumu için tanınan zaman da daha fazla olmaktadır. Sonuç olarak bu bölgelerdeki NO miktarı daha fazla olmakta ve yanma odası içerisinde farklı NO konsantrasyonu meydana gelmektedir [22].

Dizel motorlarındaki heterojen yanmada, önceden hazırlanmış bir karışım bulunmamakta, yakıt ile havanın karışımı ve yanma olayları iç içe olarak gerçekleşmektedir. Bu durumda, NO oluşumunu belirleyen kimyasal reaksiyonlar değişmediği halde ortamın fiziksel şartları farklılık göstermektedir. Yakıt damlasının buharlaşması ve yanması sonucu damlacık etrafında oluşan alev bölgesinde yüksek sıcaklıklar mevcuttur. Damlacıktan uzaklaşıldıkça sıcaklık düşerken, oksijen (ve hava) konsantrasyonu artmaktadır. Bu nedenle benzin motorlarındaki homojen karışıma oranla burada daha karmaşık bir durum mevcuttur. Burada toplam NO oluşumu sıcaklığa ve damlacık etrafındaki akış alanını etkileyen birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca dizel motorlarında karışım oranı (HFK) motorun yük durumuna göre değiştirildiğinden, artan yükte birlikte NO_x miktarı da artmaktadır. Ancak bu durum ön yanma odalı dizel motorlarında daha farklıdır [22].

Genelde stokiyometrik orana yakın hava yakıt karışımlarında yanma sırasında NO oluşur. NO oluşum hızı alevin geçmiş olduğu bölgelerdeki gaz sıcaklığına ve karışım oranına bağlıdır. Isı açığa çıkma hızının artması NO oluşumunu arttıracaktır. Stokiyometrik karışımlardaki NO oluşumu maksimum iken karışım zenginleşip fakirleştikçe oluşan NO miktarı da azalır [41], [42].

Yanma olaylarında oluşan NO için Zeldovich mekanizmasına göre O₂ ↔ 2O oluşunca zincir teşkil eden serbest radikallerde NO doğmaktadır;



Bu reaksiyonların aktivasyon enerjileri büyük olduğundan her iki reaksiyonun da düşük sıcaklıklardaki hızları oldukça düşük olmaktadır [43], [44].

Bu arada alevin son yanma bölgesinde NO teşekkülü başlamadan önce esas yanma reaksiyonlarının dengeye ulaştığı kabul edilebilir. Yukarıdaki mekanizma hava fazlalık katsayısı (HFK) 0,8'den büyük olan zenginlikte veya fakir karışımlar için geçerlidir. $HFK \leq 0,8$ ise ilave olarak;



reaksiyonu önem kazanmaktadır [15].

NO oluşumunun en kritik safhaları ilk yanma başlangıcı ve maksimum silindir basıncının olduğu durumlardır. Oluşan ilk alev cephesi silindir basıncı yükseltmesi ve dolayısıyla sıcaklığı yükseltmesi bakımından oldukça önemlidir. Maksimum silindir basıncından hemen sonra silindir içindeki sıcaklık hacim genişlemesi sonucu düşmeye başlar. Silindir içindeki basıncın ve sıcaklığın düşmesi NO (Azot monoksit) oluşum reaksiyonlarının durmasına neden olmaktadır. Bu aşamadan sonra NO tekrar geri parçalanır, N_2 ve O_2 , NO gazını meydana getirmeden egzoz sisteminden dışarı atılır [41].

Bu olay dizel motorlarında benzinli motorlara nazaran daha hızlı gelişmektedir.

NO alev cephesinin hem önünde, hem de arkasında oluşur. Motorda yanma yüksek basınç altında olduğundan alev bölgesi çok incedir ($\sim 0,1$ mm) ve alevin bu bölgede bulunma zamanı çok kısadır. Yakıtın erken püskürtülmesi sonucu karışım yanarken sıkıştırma işlemi devam edeceğinden, alev cephesinin geçmiş olduğu bölgedeki karışımın sıcaklığı yanmadan sonra bile artacaktır. Bu yüzden alev cephesinin geçmiş olduğu bölgelerde, alev cephesinin önündeki bölgeye göre daha fazla NO oluşacaktır [41].

Alev bölgesinde oluşan NO aşağıdaki reaksiyonla atmosferde NO_2 'ye dönüşecektir;



Azot oksit oluşumunu etkileyen bir çok faktör bulunmasına rağmen iyi bir yanma sonucunda sıcaklık yükselir ve sıcaklık 1800 °K'in üzerine çıktığı zaman ve buna bağlı olarak da oksijen moleküllerinin ayrılması ile beraber NO_x oluşum hızı da artmaktadır [44].

Kararlı ve kararsız olan azot oksit bileşikleri atmosferdeki oksitleyici maddelerle reaksiyona girer ve bu kimyasal reaksiyonlar sonucu fotokimyasal sis oluştururlar. Atmosferdeki HNO_3 ise asit yağmurlarının oluşmasına yardımcı olmaktadır.

Termal NO_x oluşumunda aktivasyon enerjisi çok önemli bir etkiye sahip olduğundan bu tür NO_x oluşumu sıcaklığa çok bağımlıdır ve pik alev sıcaklıklarında gerçekleşmektedir. Yüksek sıcaklık ve yüksek O_2 konsantrasyonu NO oluşumunu teşvik etmektedir. NO_x kontrol teknolojisi bu iki değişkenden birini veya ikisini aynı anda kontrole yönelmektedir. Yakıt molekülündeki kimyasal olarak bağlı azot bileşiklerinin oksidasyonu "yakıt NO_x 'i"ni oluşturmaktadır. Fosil yakıtlarda azotlu organiklerin oranı sıvı ve katı yakıtlarda % 0.5-3.0 oranında, doğal gazda ise ihmal edilebilir oranlarda bulunmaktadır. Azotlu organik bileşiklerin artması ile yakıt NO_x 'i de artmaktadır. Ağır fuel oil ve kömürün yanması esnasında oluşan NO_x 'in %50-90'ı yakıt NO_x 'i orijinlidir. Bunu etkileyen en önemli husus yakıtta bağlı azotun oksijen kullanma kabiliyetidir. Zira atmosferik N_2 oldukça stabildir (bağ parçalanma enerjisi 225 kCal/mol). Oysa yakıtta bağlı N için bu miktar 60-150 kCal/mol arasındadır. Bundan dolayı yakıtta bağlı N'un aktivasyon enerjisi moleküler N_2 'a göre oldukça düşüktür. Sonuçta bu tür azot hava oksijeni ile sıcaklığa bağlı olmaksızın hızla birleşebilmektedir [28].

Yakıt azotundan kaynaklanan NO_x oluşumu yakıt/hava oranından kuvvetle etkilenmektedir. Zayıf ve stokiometrik şartlarda yüksek oranda NO_x oluşurken zengin alev şartlarında düşük oranda NO_x oluşmaktadır. Yakıt NO_x 'inin oluşumu üzerinde hidrokarbon oksidasyonunun da etkisinin mevcudiyeti, kinetiği daha karmaşık bir yapıya kavuşturur [28].

2.2.1.5 Hidrokarbonlar

Gaz halindeki organik bileşiklerin toplamıdır. Alifatik ve aromatik yapıda çok sayıda hidrokarbon kirletici olarak yayınlanmaktadır. Hidrokarbonların önemli bir kısmı petrol ürünleri ve yanma artıklarıdır. Egzoz gazları içerisindeki HC'ların bulunış nedeni, CO ve NO_x 'lerin aksine yüksek sıcaklıkların mevcudiyeti değildir. Yanma ürünleri arasında HC'ların bulunmasına neden, sıcaklıkların veya oksijenin yetersiz olması gibi etkiler sonucunda yanmanın tamamlanamamasıdır. Bu durum,

- yerel karışım oranının çok fakir veya çok zengin olması sonucu oksidasyon reaksiyonlarının yavaş oluşması ve alevin ısı kayıpları nedeniyle sönmesi,
- yanma odasının çeşitli bölümlerinde bulunan karışım için yüzey/hacim oranının büyük olması nedeniyle ısı kayıplarının buradaki karışımın tutuşmasını önleyecek kadar büyük olması,
- yanma odasının soğuk cidarlarına olan ısı kayıpları nedeniyle bu bölgeye ulaşan alevin anında sönmesi,

nedeniyle oluşmaktadır.

Ayrıca çok zengin ve çok fakir karışımlarda buji ile ateşleme işlemi bazı durumlarda gerçekleşemediğinden, yanmamış HC'lar egzoz gazları ile birlikte atılmaktadır. Yağlama yağının yanma odası cidarlarında oluşturduğu ince filmin yanması sonucunda da HC oluşmaktadır. İki zamanlı motorlarda ise süpürme sırasında bir kısım yakıt daha yanmadan egzoz penceresinden veya supabından atılmaktadır [22].

Genelde, dört zamanlı taşıt motorlarında HC emisyonunun ana kaynağı cidarlarındaki alev sönmesi sonucu oluşan HC'lardır. Motorda yanma olayının fotoğraflarının çekilmesi sonucu, cidarlara yakın, yaklaşık 0.008 – 0.038 cm'lik bir bölgede hiç yanma olmadığı görülmektedir. "Alev sönme bölgesi" olarak adlandırılan bu soğuk cidar bölgesindeki ısı kayıpları, karışım sıcaklığının tutuşma sıcaklığının altına düşmesine neden olmakta ve ayrıca zincir reaksiyonları kırarak da yanma olayına engellemektedir. Alev sönme bölgesi kalınlığı karışım sıcaklığı, basınç, karışım oranı, cidar sıcaklığı, cidar malzemesi ve cidar üzerindeki birikimlerin etkisi ile değişmektedir [22].

Karışımın zengin veya fakir olması da HC emisyonunu etkilemektedir. HFK'nın 1.1 değeri civarında HC'lar minimumdan geçerek, bu değerin her iki yanında da artış göstermektedir. HFK'nın büyük olması durumunda yanma odası sıcaklığı düşeceği için tam yanma olmaz ve HC'lar artar. Karışımın zengin olması durumunda ise yeterli oksijen bulunmadığı için yakıtın tümü yanamaz ve tekrar HC'lar artış gösterir [22].

2.2.1.6 Partiküller

Tek molekül boyutundan (0.0002μ) büyük, 500p dan küçük katı ve sıvı taneciklerdir. Dizel motorlarında meydana genel difüzyon alevinde, genel olarak hidrojenin karbona

oranla oksijene karşı daha aktif olması nedeniyle yanmanın tamamlanması için zaman ve özellikle oksijen bulunmadığı da is oluşacaktır. İis bu durumda oluşanda karbon tanecikleridir. Motorun yük durumuna göre değişen HFK'nın bir fonksiyonu olarak is miktarı değiştiğinden motorun gücünde sınırlayan bir etkidir. Genelde is oluşumu dizel yanmasının bir safhasıdır. Bu nedenle başlangıçta oluşan karbonun büyük bir kısmı tekrar yanar. Ancak gücü artırmak amacıyla yanma odasına fazla miktarda yakıt gönderildiğinde, yeterli oksijen bulunmadığı için egzoz gazları içerisinde bir miktar is bulunacaktır [22].

İis oluşumu silindirin aşınmasını, segman yuvalarının karbonla dolarak zarar görmesine neden olmaktadır [22].

Aşırı zengin karışımla çalışma koşulları dışında benzin motorlarında is oluşmaz. Ancak yakıtın ve yağlama yağının yanması sonucu yanma odası cidarında karbon birikimleri oluşabilmektedir [22].

2.2.1.7 Kükürt Oksitleri

Başlıcaları SO_2 ve SO_3 olmak üzere altı farklı kükürt oksidinin toplamı olarak ifade edilir. Yakıt içerisinde bulunan kükürt miktarına bağlı olarak, özellikle dizel motorlarında, yanma sonucu kükürdün hava ile birleşmesi ile SO_2 oluşmaktadır. Daha sonra egzoz gazları içindeki su buharı ile SO_2 'nin birleşmesi sonucunda da silindir içerisinde ve atmosfere atıldıktan sonra H_2SO_4 oluşmaktadır. Oluşan sülfürik asit motor elemanlarının korozyonuna neden olmaktadır [22].

2.2.1.8 Kurşun ve Kurşunlu bileşenler

Benzin motorlarında yakıtın oktan sayısını artırmak için katkı maddesi olarak benzine eklenen kurşun tetraetil, $Pb (C_2H_5)_4$ yanma sonucunda egzoz gazları içerisinde kurşun ve kurşun bromür gibi bileşenlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu bileşenler, egzoz sisteminde hava kirliliğini önlemek amacıyla bulunan katalitik reaktörlerin yüzeylerini kaplayarak tıkanıklığa neden olmakta ve etkilerini azaltmaktadır. Bu nedenle katalitik reaktörlerin kullanıldığı taşıtlarda kurşunsuz benzin kullanılması zorunludur.

Ayrıca atmosfere atılan kurşun bileşenleri insan sağlığı açısından da zararlı olmaktadır [22].

2.2.1.9 Fotokimyasal Oksidanlar

Havanın oksitleme gücünü gösteren ve genelde ozon, peroksi bileşikleri ve radikallerin oluşturduğu oksitleyici maddelerin toplamıdır. İnorganik oksitleyiciler de bu gruba dahildir. Ultraviyole fotometri ve oksitlenebilen iyot cinsinden ölçülürler. Oluşumları atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonlara dayanır [28].

2.3 Emisyon Standartları

Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'ne göre Azot dioksit için uzun ve kısa vadeli sınır değerler sırasıyla 100 ve 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'dir. Azot monoksit için aynı değerler 200 ve 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [28].

AB emisyon standartları aşağıdaki Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3 'te özetlenmiştir. Çizelgelerde listelenen tüm tarihler yeni tip onaylara göredir. AB direktifleri ayrıca ikinci bir tarih- aksi belirtilmedikçe bir yıl sonra üretim tarihi (hizmete giriş) belirten, daha önce tip onaylı araç modelleri için de geçerlidir.

Çizelge 2.2 Dizel Binek Otomobilleri için AB Emisyon Standartları (Kategori M1*)

Kademe	Tarih	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM	PN
		g/km					#/km
Sıkıştırma Ateşlemeli (Dizel Motoru)							
Euro 1	1992,07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)	-
Euro 2, IDI	1996,01	1	-	0,7	-	0,08	-
Euro 2, DI	1996.01 ^a	1	-	0,9	-	0,1	-
Euro 3	2000,01	0,64	-	0,56	0,5	0,05	-
Euro 4	2005,01	0,5	-	0,3	0,25	0,025	-
Euro 5a	2009.09 ^b	0,5	-	0,23	0,18	0.005 ^f	-
Euro 5b	2011.09 ^c	0,5	-	0,23	0,18	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹
Euro 6	2014,09	0,5	-	0,17	0,08	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹
<p>*1ve 4. Aşamada olup 2500 kg dan büyük olan araçlar binek araçlar Category N₁ olarak onaylanan tipte yer alırlar.</p> <p>† Parantez içindeki değerler üretime uygunluk (COP) limitlerini gösterir</p> <p>a –09.30.1999’a kadar (Bu tarihten sonra DI motorları IDI limitlerine uymalıdır)</p> <p>b - 2011.01 tüm modeller için</p> <p>c - 2013.01 tüm modeller için</p> <p>d - ve NMHC = 0.068 g/km</p> <p>e – Yalnızca DI motorları kullanan araçlar için uygulanabilir</p> <p>f - 0,0045 g/km PMP ölçüm prosedürü kullanarak</p>							

Çizelge 2.3 Hafif Ticari Araçlar için AB Emisyon Standartları - I

Kategori	Kademe	Tarih	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM	PN
			g/km					
Sıkıştırma Ateşlemeli (Dizel Motoru)								
N ₁ , Sınıf I ≤1305 kg	Euro 1	1994,1	2,72	-	0,97	-	0,14	-
	Euro 2 IDI	1998,01	1	-	0,7	-	0,08	-
	Euro 2 DI	1998.01 ^a	1	-	0,9	-	0,1	-
	Euro 3	2000,01	0,64	-	0,56	0,5	0,05	-
	Euro 4	2005,01	0,5	-	0,3	0,25	0,025	-
	Euro 5a	2009.09 ^b	0,5	-	0,23	0,18	0.005 ^f	-
	Euro 5b	2011.09 ^d	0,5	-	0,23	0,18	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹
	Euro 6	2014,09	0,5	-	0,17	0,08	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹
N ₁ , Sınıf II 1305-1760 kg	Euro 1	1994,1	5,17	-	1,4	-	0,19	-
	Euro 2 IDI	1998,01	1,25	-	1	-	0,12	-
	Euro 2 DI	1998.01 ^a	1,25	-	1,3	-	0,14	-
	Euro 3	2001,01	0,8	-	0,72	0,65	0,07	-
	Euro 4	2006,01	0,63	-	0,39	0,33	0,04	-
	Euro 5a	2010.09 ^c	0,63	-	0,295	0,235	0.005 ^f	-
	Euro 5b	2011.09 ^d	0,63	-	0,295	0,235	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹
	Euro 6	2015,09	0,63	-	0,195	0,105	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹

Çizelge 2.4 Hafif Ticari Araçlar için AB Emisyon Standartları - II

Kategori	Kademe	Tarih	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM	PN
			g/km					
Sıkıştırma Ateşlemeli (Dizel Motoru)								
N ₁ , Sınıf III >1760 kg	Euro 1	1994,1	6,9	-	1,7	-	0,25	-
	Euro 2 IDI	1998,01	1,5	-	1,2	-	0,17	-
	Euro 2 DI	1998.01 ^a	1,5	-	1,6	-	0,2	-
	Euro 3	2001,01	0,95	-	0,86	0,78	0,1	-
	Euro 4	2006,01	0,74	-	0,46	0,39	0,06	-
	Euro 5a	2010.09 ^c	0,74	-	0,35	0,28	0.005 ^f	-
	Euro 5b	2011.09 ^d	0,74	-	0,35	0,28	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹
	Euro 6	2015,09	0,74	-	0,215	0,125	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹
N ₂	Euro 5a	2010.09 ^c	0,74	-	0,35	0,28	0.005 ^f	-
	Euro 5b	2011.09 ^d	0,74	-	0,35	0,28	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹
	Euro 6	2015,09	0,74	-	0,215	0,125	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹
<p>† Euro 1 / 2 Kategori N1 referans kitle sınıfları Sınıf I ≤ 1250 kg, Sınıf II 1250-1700 kg, Sınıf III > 1700 kg dir.</p> <p>a – 09.30.1999’ a kadar (Bu tarihten sonra DI motorları IDI limitlerine uymalıdır)</p> <p>b-2011.01 tüm modeller için</p> <p>c-2012.01 tüm modeller için</p> <p>d-2013.01 tüm modeller için</p> <p>e - yalnızca DI motorları kullanan araçlar için uygulanabilir</p> <p>f - 0,0045 g/km PMP ölçüm prosedürü kullanarak</p> <p>g - ve NMHC = 0.068 g/km</p> <p>h - ve NMHC = 0.090 g/km</p> <p>i - ve NMHC = 0.108 g/km</p>								

Parçacık sayısı Emisyonları

Emisyon sınırı $6 \times 10^{11} \text{ km}^{-1}$ olan bir katı partikül sayısı (PN), dizel araçların tüm kategorilerinde (M, N1, N2) Euro 5b/6 düzeyinde etkin olur. PM kitle emisyon limitlerine ilaveten PN sınırı da karşılanmalıdır. PN emisyonları PMP yöntemi kullanılarak NEDC deney çevrimi boyunca ölçülür [UN/ECE Reg. 83 Suppl. 7].

İlgili kütle temelli PM limitlerinden çok daha katı olan, sayısal PN limitleri; gelecekte PM kütle limitlerini karşılayan fakat büyük miktarda ultra küçük partikül geçişine neden olan “açık partikül filtrelerinin” geliştirilme ihtimaline engel olmak amacıyla adapte edilmiştir.

Benzinli araçlar için partikül sayısı emisyon sınırı 1 Eylül 2014 tarihine kadar tanımlanacaktır.

Dayanıklılık

Emisyon düzenlemeleri amacına yönelik kullanılabilir araç ömrü şöyledir:

Euro 3 kademesi-80, 000 km veya 5 yıl (hangisi ilk oluşursa); gerçek bir bozulma çevrimi yerine, üreticiler şu bozulma faktörlerini kullanabilirler:

- Pozitif ateşlemeli: 1.2 CO, HC, NO_x için
- Sıkıştırma ateşlemeli: 1.1 CO için; 1.0 NO_x için ve HC+ NO_x için; 1.2 PM için

Euro 4 kademesi-100,000 km veya 5 yıl-, hangisi ilk gerçekleşirse.

Euro 5 / 6 kademesi-hizmet-uygunluk: 100.000 km veya 5 yıl; tip onayı için kirletici kontrol cihazlarının dayanıklılığı testi: 160.000 km veya 5 yıl (hangisi ilk oluşursa); bir dayanıklılık testi yerine, üreticiler aşağıdaki bozulma faktörlerini kullanabilirler:

- Pozitif ateşlemeli: 1.5 CO için; 1.3 HC için; 1.6 NO_x için; 1.0 PM ve PN için
- Sıkıştırma ateşlemeli, Euro 5: 1.5 CO için; 1.1 NO_x ve HC+ NO_x için; 1.0 PM ve PN için. Euro 6 bozulma faktörleri belirlenecek.

Diğer Hükümler. Düzenlemeler şunlar gibi birçok ek hükümleri içerir:

- Emisyon standartlarına uygun olması için erken şekilde piyasaya sürülecek olan araçlara yönelik vergi teşviklerini AB Üye Devletleri sunabilir.
- Düşük sıcaklık emisyon testi gerekliliği (-7 ° C) benzinli araçlarda 2002’de etkilidir [*Directive 2001/100/EC*]. Arabalar için limit değerler sadece kentsel kesim üzerinde test hesaplanmıştır: 15 g/km CO için, 1.8 g/km HC için

Emisyon sistemleri için Onboard teşhis (OBD) gereksinimleri [45].

AZOT OKSİT KONTROL YÖNTEMLERİ

Son yirmi yılda dizel taşıtlardan kaynaklanan azot oksit ve partikül emisyonları % 80–90 oranlarında azaltılmıştır. Bu emisyonları azaltma başarısına; EGR, püskürtme avansı ayarı, yüksek püskürtme basınçları gibi modifikasyonların motorlara uygulanması sonucu ulaşılmıştır (Dickey vd. [46]) Dizel oksidasyon katalistleri ise günümüze kadar dizel binek taşıtlarına uygulanan tek egzoz kontrol araçlarıdır. Azot emisyonlarını azaltmak amacıyla yapılan çalışmalar motorda yapılan modifikasyonlar, egzoz kontrol teknolojileri ve yakıt formüllerinde yapılan geliştirmeler şeklinde yürütülmektedir. Bu çalışmalar tabloda gösterilmiştir [47].

Çizelge 3.1 NO_x ve PM emisyonları kontrol yöntemleri (Diesel Passenger Vehicles and the Environment, Union of Concerned Scientists)

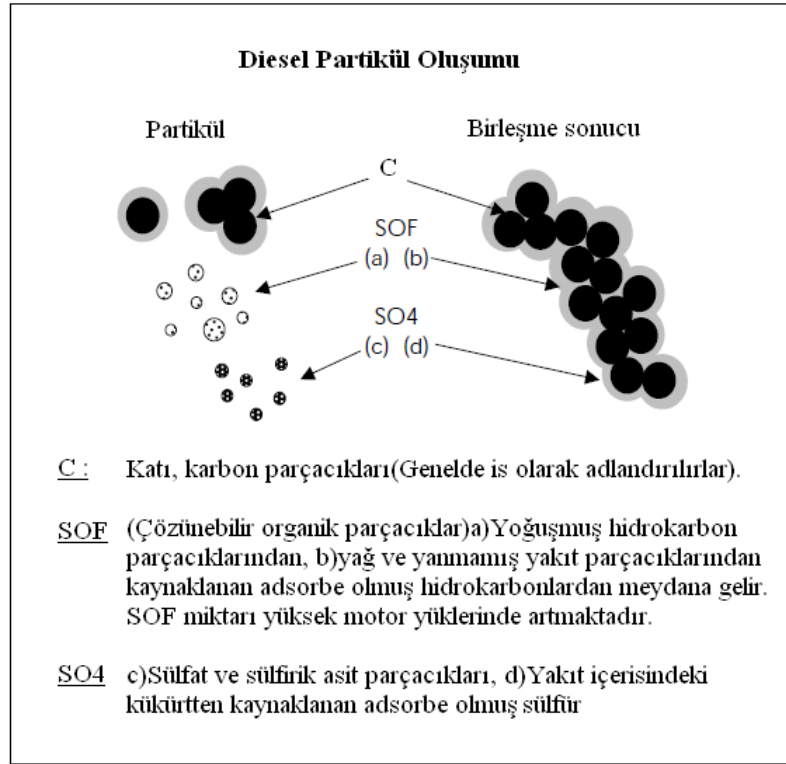
NO _x	PM
1.MOTOR MODİFİKASYONLARI	
<ul style="list-style-type: none"> • Yakıt enjeksiyon sistemleri <ul style="list-style-type: none"> —Yüksek basınçlı —Değişken enjeksiyon oranlı —Pilot & Post enjeksiyonlar —Enjeksiyon zamanlaması • Egzoz Gazı Resirkülasyonu <ul style="list-style-type: none"> —Soğutmalı —Anlık tepkili —Yüksek seviyeli • Yanma odası <ul style="list-style-type: none"> —4-Supaplı silindirler —Girdaplı —Yuvarlak şekilli • Dolgu havasının soğutulması • HCCI 	<ul style="list-style-type: none"> • Yakıt enjeksiyon sistemleri <ul style="list-style-type: none"> — Yüksek basınçlı —Aşırı püskürtme oranlı • Dolgu havasının artırılması <ul style="list-style-type: none"> —Turbo-charge • HCCI
2.EGZOZ KONTROL YÖNTEMLERİ	
<ul style="list-style-type: none"> • Fakir Karışım NO_x Katalistleri • SCR (Selective Catalytic Reduction) • NO_x emiciler • Plazma destekli katalistler 	<ul style="list-style-type: none"> • Dizel oksidasyon katalistleri • Partikül kapanları Pasif rejenerasyon <ul style="list-style-type: none"> —Yakıt katkılı —Katalistli Aktif rejenerasyon <ul style="list-style-type: none"> —Elektrikli yakıcılar —Mikrodalgalı rejenerasyon —Egzoz gazı kısma

3.YAKIT TEKNOLOJİLERİ	
<ul style="list-style-type: none"> • Dizel yakıt değişiklikleri <ul style="list-style-type: none"> —Kükürt içeriğinin azaltılması —Setan sayısının artırılması —Aromatların azaltılması • Dizel yakıt katkıları <ul style="list-style-type: none"> —Su emülsiyonları —Surfactants/cosurfactants • Fischer-Tropsch dizel • Dimetil Eter (DME) 	<ul style="list-style-type: none"> • Dizel yakıt değişiklikleri <ul style="list-style-type: none"> —Kükürt içeriğinin azaltılması • Dizel yakıt katkıları <ul style="list-style-type: none"> —Seryum, sodyum, bakır, demir, diğer metaller • Biyodizel ve biyodizel karışımları • Dimetil Eter (DME) • Dimetoksi Metan (DMM) • Fischer-Tropsch dizel

Azot oksitler, yanma süresince ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar altında, hava içerisindeki azot ile oksijenin tepkimeye girmesi sonucu oluşmaktadır. Dizel motorlar, benzin motorlarına göre daha yüksek sıkıştırma oranına sahip oldukları için daha fazla azot oksit ve PM emisyonlarına neden olmaktadır [47].

Yüksek sıkıştırma oranları pik sıcaklık olarak adlandırılan daha yüksek yanma sıcaklıklarına ve direk olarak dizel motorlardan daha fazla NO_x salınmasına neden olmaktadır. Azot oksit emisyonlarının kontrol yöntemleri, genel olarak silindir içi pik sıcaklıkları düşürmeyi amaçlamakta ve bu durum yakıt tüketimini de artırabilmektedir [47].

Dizel partikülleri, katı ve sıvı parçacıkların karışımı sonucu ortaya çıkan kompleks bir oluşumdur. Silindir içinde yakıt ile havanın havaca fakir karışım oluşturması, karbonsu is parçacıklarının yer aldığı yakıt ceplerinin oluşmasına neden olmaktadır. Yanmamış yakıt (SOF) partikülleri ve sülfatlar (SO₄) is parçacıklarının üzerinde yoğunlaşırlar ve bu da partikül kütlesini artırmaktadır. Absorbe olmuş hidrokarbonlar ve sülfatlar yapıştırıcı olarak da etki ederler, diğer parçacıkların is üzerine yapışması sonucunda, partikül kütlesinde artış meydana gelmektedir [47].



Şekil 3.1 Dizel partikül oluşumu (Diesel Passenger Vehicles and the Environment, Union of Concerned Scientists)

3.1 Motor Modifikasyonları

Azot oksit emisyonlarını azaltmayı amaçlayan motor modifikasyonları, yanma işlemini değiştirmekle alakalıdır ancak yapılan bu değişiklikler genellikle PM emisyonlarını artırmaktadır. Örneğin silindir içi yanma sonu maksimum sıcaklığını düşürmek, NO_x miktarını azaltmaktadır ancak isin oksitlenmesinin tamamlanmasını engellemekte ve böylece PM miktarını artırmaktadır. Motor parametrelerini değiştirmek, ayrıca özel uygulamalar için NO_x , PM ve yakıt ekonomisi optimizasyonunu gerekli kılacak ve yakıt ekonomisini etkileyecektir. Çizelge 3.2, motor modifikasyonları sonucu elde edilen emisyon azalım miktarlarını göstermektedir [47].

Çizelge 3.2 Motor modifikasyonları sonucunda NO_x ve PM emisyonlarının azalma potansiyeli (Diesel Passenger Vehicles and the Environment, Union of Concerned Scientists).

Teknoloji	Azalma potansiyeli ^a		Notlar
	NO _x	PM	
Yanma odası tasarımındaki değişiklikler	%10	%10	
Artırılmış EGR	%5-15	Artış	Dengesiz yanma, motor aşınması, yakıt tüketimi
EGR (Fazla hava kullanımı ile birlikte)	%5-15	%15-25 ^b	
Yakıt enjeksiyon sistemleri	%-5 ile %0	%20	Pahalılık, karmaşıklık
Dolgu havasının soğutulması	% 0-5	?	Pahalılık
Motor modifikasyonlarının tamamı	%10-25	%40-50	NO _x -PM optimizasyon güçlüğü
HCCI	%65-70	%60-95	Değişken yük ve hızlarda çalışma zorluğu
<p>a. Günümüzün en yüksek teknolojisine göre elde edilebilecek değerlerdir. Negatif değerler emisyonlarda artış meydana geldiğini göstermektedir.</p> <p>b. PM emisyonları EGR ile artmaktadır ancak hava kullanımıyla çabuk tepki elde edilen EGR sistemlerinde PM emisyonlarının azaltılması mümkündür.</p>			

3.1.1 Yanma Odası Modifikasyonu

Yanma odası içerisine püskürtülen yakıt ve havanın homojen olarak karışmasını sağlamak hem azot oksit hem de PM emisyonunu düşürecektir ancak, henüz küçük kamyonlarda ve otomobillerde kullanılmakta olan küçük-yüksek hızlı motorlarda gerçekleşmesi güçtür. Silindir içi modifikasyonlar, yakıtın püskürtülmekte olduğu piston kafalarında yer alan şekilleri uygun biçimde tasarlayarak bu homojen karışımı sağlamaya çalışmaktadır. Silindir başına 2 supap yerine 4 supap kullanmak, silindir kafa geometrilerini değiştirmek, motorun çalışma koşullarına göre püskürtülen yakıtı ve hava hareketlerini optimize etmek gibi uygulamalar NO_x -PM emisyonlarını azaltmaktadır (Krieger vd.[48]; Sawyer vd.[49]).

3.1.2 Püskürtme Gecikmesi

Yakıt püskürtme başlangıcının geciktirilmesi püskürtme gecikmesi olarak bilinmektedir. Bu uygulama pik gaz sıcaklıklarını düşüreceği için NO_x emisyonunu önemli oranda azaltmaktadır ve halen otomobillerde NO_x emisyonlarını azaltmak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Buna rağmen püskürtme gecikmesi PM emisyonlarında ve yakıt ekonomisini olumsuz etkilemektedir [47].

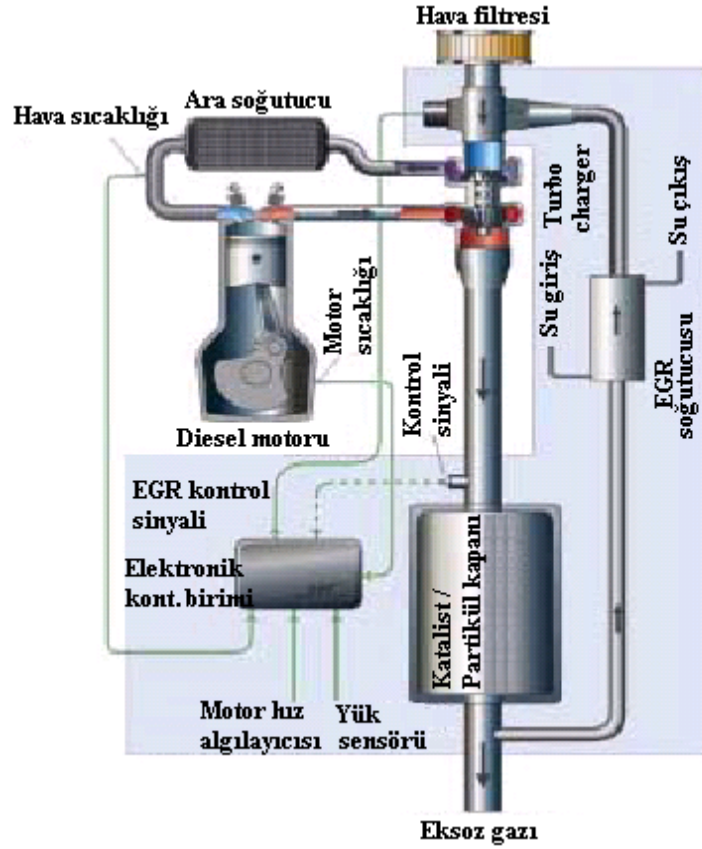
3.1.3 EGR (Exhaust Gas Recirculation)

İsminden de anlaşılacağı üzere, EGR motor egzoz gazlarının bir kısmını dolgu havası içerisine göndermeyi amaçlamaktadır. Birçok sistemde ara soğutucular vasıtasıyla resirküle edilmiş egzoz gazlarının sıcaklığı düşürülmektedir. Soğutulmuş, havadan daha az oksijene ve daha çok ısı kapasiteye sahip olan egzoz gazlarının emme manifolduna gönderilmesiyle, silindir içi yanma sıcaklığı düşürülmekte ve bu durum ise NO_x oluşumunu azaltmaktadır. İki tip EGR bulunmaktadır: [50]

Yüksek Basıncı EGR: Egzoz gazları ilk olarak turbo şarj sistemine gönderilmekte ve daha sonra emme manifolduna yönlendirilmektedir [50].

Düşük Basıncı EGR: Turbo şarj sisteminden çıkan egzoz gazları ilk olarak partikül filtrelerine, daha sonra ara soğutucuya ve son olarak buradan çıkan gazlar emme manifolduna gönderilmektedir. Yüksek orandaki partiküller turbo şarj sistemi ve motor içinde aşınmalara neden olabilmektedir. Bu nedenle düşük basınçlı EGR sistemlerinde genellikle dizel partikül filtreleri kullanılmaktadır [50].

Bazı durumlarda motor üreticileri PM emisyon seviyelerini düşürmek amacıyla yüksek basınçlı EGR sistemiyle birlikte katalistler kullanmaktadır. EGR sistemleri tipik olarak yanma gazlarının %25–40 arasındaki miktarını resirküle etmekte ve NO_x emisyonlarında %40'tan fazla düşüş sağlanmaktadır. Düşük basınçlı bir EGR+DPF şeması resimde görülmektedir [50].



Şekil 3.2 Düşük basınçlı EGR + DPF (Dizel Partikül Filtresi) sistemi (Emission control Technologies for diesel powered engines, Meca, December 2007)

Daha fazla oranda NO_x azalımı ve aynı zamanda daha az yakıt tüketimi sağlamak amacıyla motor üreticileri kombine hava emiş teknolojileri geliştirmişlerdir. Hem motor verimini ve hem de NO_x seviyesindeki düşüşü artırmak amacıyla değişken türbin geometrili turbo-şarj (VTG) sistemi ile düşük basınçlı EGR sistemi birleştirilmiştir. Düşük motor hız ve yüklerinde, düşük basınçlı EGR sistemi türbine enerji akışı sağlamakta iken yüksek hızlarda yüksek basınçlı EGR sistemi, kayıpları en aza indirmek amacıyla, optimum türbin geometrisiyle akış ihtiyacını karşılamaktadır. Düşük ve yüksek basınçlı EGR sistemi ile VTG'nin bir arada kullanılması bütün çalışma koşullarında daha iyi bir dolgu sıcaklığı kontrolü sağlayacaktır [50].

3.1.4 Yakıt Püskürtme Yöntemi

Gelişmiş yakıt püskürtme sistemlerinin iyileştirilmesi dizel motorları için büyük bir gelişmedir. Yeni sistemler uzun süreli kullanım, bakım maliyeti gibi isteklere cevap vererek yüksek püskürtme basınçlarını (geleneksel pompa sistemlerindeki püskürtme basınçları 900 bar iken, yeni sistemler 1500–2000 bar) ve esnek püskürtme oranlarını sağlamalıdır [47].

Yüksek püskürtme basıncına sahip sistemler ile püskürtülen yakıtlar, daha küçük boyutlarda, atomize şekilde püskürtüldüğü için, silindir içerisinde daha homojen bir karışım meydana gelmesini sağlamakta ve partikül emisyonları azaltılmaktadır. Geleneksel püskürtme sistemlerinde direk motordan güç alan pompalar kullanılarak her püskürtme işlemi için yeni bir basınç sağlanmakta ve böylece püskürtme için uygulanacak basınç motor hızına göre sınırlı kalmakta ve değişiklik göstermektedir. Bu tür sistemler büyük oranda emisyon azalımı elde etmek adına bütün çalışma koşullarına uygun püskürtme basıncını sağlayamamaktadır [47].

Püskürtme oranı ayarlamasıyla, püskürtme süresi boyunca yakıt akış oranı değiştirilmekte, püskürtme zamanı verimli bir şekilde ayarlanarak daha düşük emisyonlara ulaşılmaktadır. Bunun bir örneği pilot enjeksiyon uygulamasıdır. İlk olarak yakıtın çok küçük bir miktarı püskürtülmekte, sonrasında ise daha küçük ve daha gecikmiş ana püskürtme gerçekleşmekte ve NO_x emisyonu azaltılmaktadır. Gecikmiş (post) enjeksiyon uygulaması ise püskürtme oran ayarının diğer bir örneğidir. Yakıtın küçük bir miktarı daha geç, genişleme stroğunda püskürtülmektedir. Bu uygulama egzoz akışına hidrokarbon sağlamak ve egzoz kontrol yöntemlerinin daha verimli çalışabilmesine imkân vermektedir [47].

İleri püskürtme teknolojisinin önde gelen uygulamalarından bir tanesi de Common-Rail sistemidir. Bu sistem, içinde sürekli olarak enjektörlere gönderilmek üzere basınçlı yakıtın bulunduğu ve rail olarak adlandırılan depo hatlara sahiptir. Motorun hızından ve yükünden bağımsız olarak, her anda enjektörlere basınçlı yakıt gönderilebilmektedir. Buna rağmen yüksek basınçlar kaza ile ortaya çıkabilecek yakıt sızıntı riskini artırmaktadır. Ayrıca hassas imalat gerektirdiği için pahalıdır ve hemen hemen motor ücretinin % 30–40'ına varan maliyettedir (Ashley, [51]).

3.1.5 Dolgu Havaının Soğutulması

Turbo şarj sistemi direkt püskürtmeli dizel motorlarda çıkış gücünü artırmak amacıyla kullanılmaktadır ancak dolgu havasının sıcaklığını yükseltmektedir. Silindir içi sıcaklığın sıkıştırma işleminden önce daha yüksek olması NO_x emisyonlarını artırmaktadır. Bu durum turbo şarj için kullanılan havayı soğutarak (ara soğutma) önlenebilir ancak yakıt ekonomisini ve PM'yi olumsuz yönde etkilemektedir (Dickey vd. [47]) [46].

3.1.6 HCCI (Homogenous Charge Compression Ignition)

HCCI temel olarak yanma işleminin ideal bir şekilde gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır. Yakıt silindirin hemen dışında, ısıtılmış dolgu havasının içine püskürtülmekte (Port Fuel Injection), bu sayede yakıt ile havanın daha homojen karışması sağlanmaktadır. Karışımın daha iyi karışmasını sağlamak, silindir içindeki yakıtça zengin bölgelerin ve böylece partiküllerin oluşumunu azaltmaktadır. Sıkıştırma işlemi sırasında tek bir alev yerine çoklu ateşlemelerle daha düşük silindir içi sıcaklıklar meydana getirilmekte ve böylece NO_x emisyonları düşürülmektedir (Dickey vd. [47]) [46].

NO_x ve PM emisyonlarının azaltılmasında HCCI yöntemi oldukça büyük öneme sahiptir. Buna rağmen HCCI; yanma başlangıcının kontrolü, motor vurunusunun engellenmesi ve bütün motor hız-yüklerinde çalışma zorluğu gibi teknik konularla karşı karşıya kalmaktadır. Bunun da ötesinde HCCI motorlarında vurunuyu engellemek amacıyla motorun daha düşük sıkıştırma oranlarına sahip olması gerekmekte ve bu durum yakıt ekonomisini olumsuz yönde etkilemektedir (Dickey vd. [47]) [46].

Nissan araştırmacıları HCCI teknolojisini Nissan'ın yeni 4 supap/silindirli direk püskürtmeli dizel motoruna başarıyla uygulamışlar ve common rail püskürtme sistemi kullanmışlardır. Motor yüksek yüklerde HCCI modunda çalışamaz gibi gözükse de (bu durumda yüksek yüklerde NO_x ve PM emisyonları azaltımı sağlanamayacaktır), araştırmacılar daha yüksek yük durumlarında HCCI yanma bölgesinin genişletilmesiyle alakalı umut verici yöntemler vaat etmektedir. Düşük yükte çalışma durumlarında, yakıt tüketiminde artış meydana gelmeden, NO_x ve PM emisyonlarında anlık azalışlar gözlemlenmiştir (Kimura vd. [52]). Nissan, Japon test çevrimlerine göre motoru başarı ile test etmiştir ancak US test çevrimlerinin Japon test çevrimlerinden daha ağır koşullar içerdiği de unutulmamalıdır [47].

3.1.7 Egzoz Kontrol Yöntemleri

Motor modifikasyonları tek başına NO_x ve PM emisyonlarını istenen düzeye getirebilmek için yeterli değildir, egzoz gazlarından NO_x ve/veya PM emisyonlarının atılmasına da ihtiyaç duyulmaktadır. Bu teknolojilerden bazıları otomobillerde ve ağır yük taşıtlarındaki (kamyon) birinci ve ikinci nesil sistemlerde hala kullanılmaktadır. Bazıları ise hala araştırma ve geliştirme aşamasındadır. Çizelge 3.3 bu çalışmaları listelemektedir [47].

Çizelge 3.3 Egzoz kontrol yöntemleriyle NO_x ve PM emisyonlarının azalım potansiyeli (Diesel Passenger Vehicles and the Environment, Union of Concerned Scientists).

Teknoloji	Azalma Potansiyeli (%) ^a		Durum ^b	Yakıt kükürtü ^c	MPG ^d (%)	Notlar
	NO _x	PM				
Fakir Karışım NO _x Katalistleri	10-35		Comm	Imp.	0-5	Sürüş çevrimleri üzerinde etkilidir
	20-50		Demo	Imp.	4-9	HC ilavelerinde yüksek ve sürekli verimlilik sağlamaktadır.(Yüksek verim elde etmek için HC ilavesine gerek duyulmaktadır).
NO _x Emiciler	50-95		Demo	Low	2-3	Düzgün ve dengeli azalimler
	52		Demo	Low	2-3	Düzgün-dengeli sonuçlar kullanılarak test çevrimleri simülasyonu yapılmıştır. Uzun ömürlü değildir ve HC ilavesi gerektirmektedir.
SCR Katalistleri	40-45		Comm	Tol.	2-3	Üre depolama altyapısı mevcut değildir, amonyak sızıntı tehlikesi mevcuttur.
	70-90		Demo	Tol.	4-6	
Plazma Destekli Katalistler	35-70		Demo	Tol.	2-5	Araştırma ve geliştirme aşamasının başlangıcındadır.
Gelişmiş Dizel Oksidasyon Katalistleri		20-40	Comm	Imp.		Ultrafin emisyonlarında muhtemel artış, fakat PAH emisyonlarının azaltılmasıyla dengelenebilir.
Partikül Kapanları		70-95	Demo	Imp / Low	1-5	Dioxin emisyonlarında muhtemel artış söz konusudur.

a.Günümüzün en iyi teknolojisi ile sağlanabilen azalimler.

b.Durum: Comm=Şuanda ya da yakın zamanda ticari olarak mevcut; Demo=Laboratuarlarda ideal koşullar altında gösterilmektedir.

c.Kükürt: Tol.=Kükürtlü yakıt kullanılabilir; Imp.=Düşük kükürtlü yakıtla gelişmektedir; Low=Düşük kükürtlü yakıt gerektirmektedir. (<50 ppm)

d.MPG=Birim karbon dioksit miktarına karşılık tüketilen yakıt yüzdesi

e.Egzoz gazı içerisine dizel yakıtı yada diğer HC içeren kaynakların püskürtülmesi ile HC ilavesi (Post enjeksiyonla ya da katalist içine direk püskürtülebilir).

3.1.8 NO_x Katalistleri

Geleneksel üç yollu katalistler, yalnızca motorun stokiyometrik orana yakın çalıştığı durumlarda, NO_x emisyonlarının azaltılmasında başarılı olabilmektedir. Dizel motorlar genellikle ihtiyaç duyulandan daha fazla miktarda hava ile çalışmaktadır. Bu durum motor verimini artırmaktadır ancak geleneksel katalist teknolojisini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden yeni NO_x katalistleri oksijence geniş bir ortam içerisinde NO_x 'leri N₂ 'ye indirgeyecek şekilde geliştirilmelidir [47].

3.1.9 Fakir Karışım NO_x Katalistleri

Bu tip katalistlerde, egzoz gazlarında bulunan hidrokarbonlar, NO_x'i N₂'ye dönüştürmek için yardımcı eleman olarak kullanılmaktadır. Egzoz gazları içindeki HC / NO_x oranı yüksek olduğu zamanlarda, bu katalistler daha verimli çalışabilmektedir. Buna rağmen dizel motorlarda bu oran çok düşüktür ve genel olarak 1'den daha küçük değerdedir (Hoezler vd. [53]) Bu durum egzozdaki HC/ NO_x oranını artırmak için egzoz gazlarına hidrokarbon ilavesini zorunlu kılmaktadır ve bu amaçla egzoz gazları içerisine post enjeksiyon yöntemiyle dizel yakıtı püskürtülmektedir. Hidrokarbon ilavesi, katalistlerin daha verimli çalışmasını sağlamaktadır ancak ilave oranına bağlı olarak % 1–7 arasında bir yakıt sarfiyatına neden olmaktadır (Bunting vd. [54]) [47].

Her katalistin verimli olarak çalışabildiği bir sıcaklık aralığı vardır. Bu sıcaklık aralığı tipik olarak katalistin ilk aktiviteye girdiği sıcaklığa (Light off sıcaklığı) yakın değerlerde başlamaktadır ve platinyum için 200 °C' den 250 °C'ye; bakır için 450 °C'den 500 °C'ye kadar olan aralıklardadır (Kreiger vd. [48]). US test çevrimlerinde egzoz sıcaklıkları 150–500 °C arasında değişmektedir ve çalışma aralığını genişletmek için katalist içine değişik tipte metaller katılabilmektedir. Buna rağmen genel olarak egzoz gazları, kataliste 300–400°C sıcaklıklarında girmektedir (Hoelzer vd. [53]). Bu aralık ise bakır ve platinyumun verimli çalışma aralığının dışındadır ve birçok test çevriminde verimsiz oldukları ortaya çıkmaktadır [47].

Yakıtın içerdiği kükürt seviyesinin yüksek olması da katalistin verimli çalışmasını engellemektedir. Çünkü NO_x ve kükürt bileşikleri, katalistin aktif bölgesinde reaksiyona girmek için yarış vermektedir ve kükürt bileşikleri azot oksitlerin redüklenmesini

engellemektedir. Aslında birçok dizel arařtırmacısı, fakir karıřım NO_x katalistlerinin bařarılı bir Őekilde çalıřabilmeleri için dūřuk kūkūrtlū yakıt kullanılmasında hemfikirdir [47].

3.1.10 SCR Katalistleri (Selective Catalytic Reduction)

SCR katalistlerinde redūkleyici eleman olarak hidrokarbonlar yerine nitrojen içerikli bileřikler (amonyak ve ũre gibi) kullanılmaktadır. Amonyak ve ũre bileřikleri, hidrokarbonlardan daha aktif oldukları için SCR katalistlerinin kūkūrt içerikli yakıtlarda da verimli çalıřmasını saęlamaktadır (Hammer vd. [55]). SCR sistemlerin stasyonel kaynaklardaki verimlilięi ve uygulanabilirlięi kanıtlanmıřtır ancak dūřuk yūklū mobil alanlarda kullanımı hala birtakım zorluklar içermektedir: [47]

- Altyapı sistemi içerisinde bir ũre veya amonyak kaynağına olan ihtiyaç;
- Amonyakın depolanma ve ikmal maliyetleri;
- Emisyonların artma potansiyeli (Emisyon kontrol sistemi çalışmasa bile araç alışabileceğinden dolayı meydana gelebilecek emisyon);
- Karmaşık bir amonyak enjeksiyon sistemi gerektirmesi;
- Amonyakın toksik oluşu ve muhtemel amonyak sızıntıları sonucu meydana gelebilecek istenmeyen reaksiyonlar (Geçiş halinde veya diğer çalışma durumlarında reaksiyona girmemiş amonyak sızıntısı).

SCR sistemlerinde NO_x'lerdeki azalma oranı % 50–70 iken yakıt tūketiminde ki artıř % 3–5 olmaktadır (Bunting vd.[54]) [47].

3.1.11 Azot Oksit Emiciler

NO_x emiciler iki farklı çalıřma moduna sahiptir. Birincisi, fakir yanma boyunca (hava miktarının fazla olduęu yanma), sūnger gibi davranarak azot oksitleri emmek; ikincisi ise periyodik rejenerasyon boyunca ũ yollu katalistler gibi NO_x'in N₂'ye dūnūřtūrulmesini saęlamak. Rejenerasyon, hidrokarbon ilavesi ile gerçekleřtirilmektedir. Hidrokarbonlar emicilerde geçici bir redūkleyici ortam oluřturmaktadır ve bu durum NO_x'in emici malzemedan salınmasını ve N₂'ye redūklenmesini saęlamaktadır. Fakir karıřım NO_x katalistlerinde olduęu gibi, dizel yakıtı, hidrokarbon kaynaęı olarak direk katalist içine veya egzoz gazları içine enjekte edilebilir [47].

3.1.11.1 Plazma Destekli Katalistler

Plazma destekli katalistler yeni bir teknoloji olmakla birlikte kükürte karşı tolerans gösterebilme özelliğiyle NO_x emisyonlarının yüksek düzeyde azaltılmasını amaçlamaktadır. Bu teknoloji fakir karışım NO_x ya da SCR katalisti ile termal olmayan bir plazmayı birleştirmeyi amaçlamaktadır [47].

Termal olmayan bir plazma; oldukça düşük sıcaklığa sahip bir gazdır ve içerisinde, kendisinden daha fazla kinetik enerjiye sahip olan ve tahrik edilmiş elektronlar bulundurmaktadır. Egzoz gazlarıyla karıştırıldığı zaman plazma serbest radikaller üretmekte ve kimyasal reaksiyonları hızlandırmaktadır. Esas amaç NO_x'in N₂'ye dönüşüm reaksiyonunun, termal olmayan bir plazma kullanımı ile hızlandırılmasıydı ve bazı şirketler bunun oldukça yüksek azot oksit azaltımı sağlayacağını iddia ettiler. Buna rağmen araştırmacılar yüksek miktarda enerji verilmeksizin dizel egzoz gazı ortamında NO_x-N₂ dönüşümünün gerçekleşmesinin mümkün olmadığını ortaya koymuşlardır (Penetrante vd. [56]). Ayrıca açıkta bulunan NO_x kolaylıkla nitrik asit gibi son ürünlere dönüşebilmektedir. [47].

Termal olmayan katalistler, esas etkilerini NO'nun NO₂'ye oksitlenmesinde göstermektedir. Bu durum zarar verici gibi görülebilir ancak SCR ve fakir karışım NO_x katalistlerinin verimliliğini artırmaktadır ki bu katalistler azot oksitin temel bileşeni olan NO₂ bulunduğu zaman en iyi şekilde çalışmaktadır (Penetrante vd.[56], Hammer vd. [55]) Dizel egzoz gazları NO₂ miktarının dengelenmesiyle tipik olarak % 70–90 oranında NO_x gazından meydana gelmektedir(Heywood [40]) Bu nedenle kataliste non-termal bir plazma eklenmesi egzoz kontrol sisteminin etkinliğini artırmaktadır. Plazma ayrıca kükürt toleransını da artırmaktadır [47].

3.2 Yakıtlarda Yapılan Geliştirmeler

Yakıtlar ve otomobil motorları, sürücüler tarafından genellikle birbirinden ayrı, bağımsız kavramlar gibi düşünülmektedir. Buna rağmen bu iki kavram birbirinden bağımsız düşünülemez ki bir motorun emisyon ve performans karakteristikleri kullanılan yakıtla yakından ilişkilidir [47].

3.2.1 Dizel Yakıtı ve Geliştirilmesi

Dizel yakıtı, petrolün daha az rafine edilerek damıtılması sonucu üretilmektedir. Setan sayısı, yakıt yoğunluğu, aromatik içeriği ve kükürt içeriği konuları dizel motorlarındaki emisyonların azaltılması amacıyla yakıtlarda yapılan çalışmaların önde gelen geliştirme alanlarındandır [47].

3.2.1.1 Setan Sayısı

Setan sayısı yakıtın tutuşmaya hazır olup-olmadığının bir ölçüsüdür ve yüksek setan sayıları yakıtın daha kısa tutuşma süresine sahip olduğunu ifade etmektedir. Daha kısa tutuşma gecikmesi, silindir içerisindeki basınç artışının daha yavaş meydana gelmesini sağlamakta ve bu durum NO_x oluşum oranını düşürmektedir [47].

US dizel yakıtları için en düşük setan sayısı 40 'dır ve bu sayıyı yükseltmek NO_x emisyonlarının daha az olmasını sağlayacaktır. Buna rağmen yapılan araştırmalara göre setan sayısını 55–60 seviyelerine çıkarmak, emisyonlar üzerinde çok küçük bir azalma sağlamaktadır (Heywood [41]).

3.2.1.2 Yakıt Yoğunluğu

Emisyonların yanma sistemi tasarımı (yanma odası tasarımı, enjeksiyon sistemi-miktarı-oranı ve püskürtme basıncı gibi) ile yakından ilişkili olmasına rağmen, yakıt enjeksiyonu ve hava-yakıt karışımının oluşumu yakıtın yoğunluğuna bağlıdır. Yakıt yoğunluğunu düşürmek genel olarak eski motorlarda daha az NO_x üretimi ve PM emisyonlarında da faydalar sağlayacaktır. Buna rağmen bu faydalar, yakıt püskürtme işleminin elektronik olarak gerçekleştirildiği günümüz modern motorlarında elde edilmeyebilir [47].

3.2.1.3 Aromatlar

Aromatik bileşikler daha yüksek sıcaklıklarda yanmaktadır, bu nedenle aromatik içeriği azaltmak makul düzeyde NO_x 'lerin azalmasını sağlamakta ancak PM emisyonlarındaki etkisi oldukça küçüktür. Buna rağmen modern, düşük PM emisyonlu motorlarda bu durum önemsenmeyebilir (Lee vd.[57]). Aromatik içeriği US'de hacim başına %35 ile sınırlı iken California'da %10 ile sınırlandırılmaktadır [47].

3.2.1.4 Yakıt Sülfür İçeriği

Yakıtın ihtiva etmiş olduğu kükürt miktarı emisyonlar üzerinde iki temel etkiye sahiptir. Birincisi: Yakıt kükürtünün yaklaşık %1-2'si sülfata dönüşmekte ve bu durum direkt olarak PM emisyonunu artırmaktadır (Lee vd.[57]). İkincisi: Şuan ki kükürt seviyesi, geliştirilmekte olan egzoz kontrol sistemlerinin çalışmasını yavaşlatarak ya da kapasitesini düşürerek olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Örnek olarak NO_x emiciler, oksidasyon katalistleri yüksek kükürt oranlarından etkilenmekte ve kükürt zehirlenmesi olarak bilinen etkiye maruz kalmaktadır [47].

3.2.2 Alternatif Yakıtlar Ve Dizelle Yapılan Karışımlar

3.2.2.1 Biodizel (BD)

Biodizel yakıtı hayvansal iç yağlardan ya da bitkisel yağlardan üretilmektedir. Soya fasulyesi Amerika'da en çok kullanılan biodizel üretim kaynağıdır ancak kanola, mum yağı ya da atık yemek yağları da bu amaçla kullanılmaktadır. Kimyasal işlem sonucu elde edilen fakir (hafif) biodizel (BD100), normal dizel yakıtı ile karıştırılabilmektedir (Genellikle karışımın %20'si biodizel iken %80 i dizel yakıtı olacak şekildedir). Bu yakıtlar sadece yakıt sisteminde ya da motorda ufak değişimler yapmak suretiyle kullanılabilir [47].

Biodizel yakıtı normal dizel yakıtından daha fazla oksijen içermekle birlikte PM emisyonlarına neden olan aromalar ve kükürt içeriğine sahip değildir. Buna rağmen biodizelin yanması sonucu oluşan egzoz gazında birkaç sülfat çeşidi ve yüksek oranda SOF bulunmaktadır. Üretim kaynağına bağlı olarak yüksek setan sayısı (45-65) içermesine rağmen, püskürtme zamanlaması uygun ayarlanmadığı sürece NO_x emisyonlarında artış meydana gelmektedir [47].

3.2.2.2 Dimetil Eter (DME)

DME; yenilenebilir biokütle, doğal gaz, kömür gibi karbon içeren her maddeden sentezlenebilir ancak günümüzde genellikle metanolün dehidrasyonu yöntemiyle elde edilmektedir. Ürün karbon-karbon bağı, kükürt ve aromalar içermeyen, kısmen oksitlenmiş bir gazdır. Oldukça yüksek setan sayısına sahiptir (Fleish vd.[58]) Bu özellikler, PM ve NO_x emisyonlarının daha düşük değerlerde olmasını sağlamaktadır [47].

Oda sıcaklık ve basınç değerlerinde gaz halinde bulunan DME, hazır bir şekilde dizel yakıtının yerine kullanılamamaktadır. Daha çok propan gibi sıvı fazda depolanması için basınçlı tanklara ihtiyaç duyulmaktadır. Yakıt enjeksiyon sistemi, sızıntılara karşı hassas hale gelmekte ve kullanım süresi kısalmaktadır (yakıtın yüksek buharlaşma basıncına ve düşük viskoziteye sahip olmasından dolayı) ve bundan dolayı bazı modifikasyonlara gerek duyulmaktadır (Kapus ve Ofner [59]). LPG’de olduğu gibi güvenlik endişeleri de bulunmaktadır ve kullanılmakta olan dizel altyapısı ile DME’nin kullanımı olanaksızdır. DME; emisyon bakımından avantajlara sahip olmasına rağmen yakıt depolama ve altyapı değişikliği sorunlarıyla karşı karşıyadır [47].

3.2.2.3 Dimetoksi Metan (DMM)

DME ile alakalı olan dezavantajlar DMM için de geçerlidir ve bu nedenle yapılan araştırmalar DMM’nin dizel yakıt katkısı olarak kullanılması yönündedir. Dimetoksi metan, Dimetil etana benzemektedir ancak oda şartlarında sıvı fazdadır ve dizel yakıt ile herhangi bir oranda karıştırılabilmektedir. DMM ve dizel karışımı, motorda herhangi bir değişim yapılmaksızın kullanılabilir ve NO_x emisyonlarında değişiklik olmazken PM emisyonlarında düşüş gözlemlenmektedir. Ayrıca DMM kullanımı ultrafine parçacıkların artmasına neden olmaktadır (Marciq vd. [60]) [47].

3.2.2.4 Fisher-Tropsch Dizel (F-T)

Fisher-Tropsch işlemi hidrojen ve karbondioksit gibi sentetik gazları syncrude olarak adlandırılan sentetik, kaba yağlara dönüştürmektedir (Glasstone [61]). Sentetik gazlar genel olarak doğalgazlardan kendi kendine meydana gelmektedir. Sentetik yağdan daha sonra geleneksel yöntemle F-T üretilmektedir ve kullanılmakta olan dizel altyapısına da uygundur [47].

Fisher-Tropsch dizel yüksek setan sayısı, düşük kükürt ve aromatik oranı gibi birçok olumlu özelliğe sahip sıvı bir yakıttır. Bu özellikler NO_x ve PM emisyonlarında fayda sağlamanın yanında F-T yakıtına motorlarda bir değişiklik yapılmadan kullanma olanağı sunmaktadır [47].

3.2.3 Su Püskürtme Metodları

3.2.3.1 Dizel-Su Emülsiyonları

Normal olarak karışım oluşturamadıkları halde dizel yakıtı ile suyun karıştırılmasını sağlamak amacıyla yürütülen çalışmalardır. Yakıtta eklenen su, (EGR'de olduğu gibi) seyreltici olarak etki etmekte, yanma sıcaklığını düşürerek NO_x oluşumunu engellemektedir. Birçok durumda PM emisyonlarını da düşürmektedir (Kreiger vd. [48]). Yakıt sistemindeki, altyapıdaki uygunsuzluklar ve maliyetler su ilave işleminin karşı karşıya olduğu olumsuzluklardır. Ancak yakıt-su emülsiyonları yakıt içerisine, ek olarak setan sayısını artırıcı bir takım katkı maddelerinin eklenmesini gerektirmektedir ve bu durum yakıt maliyetini %45-50 oranında yükseltmektedir (Ramavajjala vd. [62]) [47].

3.2.3.2 Fümigasyon

Fümigasyon yönteminde su, emme manifoldunun içine püskürtülür. Fümigasyon tekniği ile dizel motorlarında NO_x emisyonlarının azaldığı görülmüştür fakat bu yöntemde, yanma odası içindeki sıvı haldeki suyun emisyonları azaltmaya yönelik olumsuz etkileri olduğu için olumsuzluklar vardır. Bu yüzden, fümigasyon, direkt su püskürtme yöntemiyle aynı NO_x emisyonlarının azalması durumu karşılaştırıldığında, fümigasyonun iki kat daha fazla sıvı hacmi püskürtülmesi gerektiği görülmektedir. Yöntemin dezavantaj olarak ifade edilebilecek tarafı, yanma sonunda sıvı haldeki su, yağlama yağının kirlenmesine ve motor aşınmalarının artmasına neden olmasıdır [63].

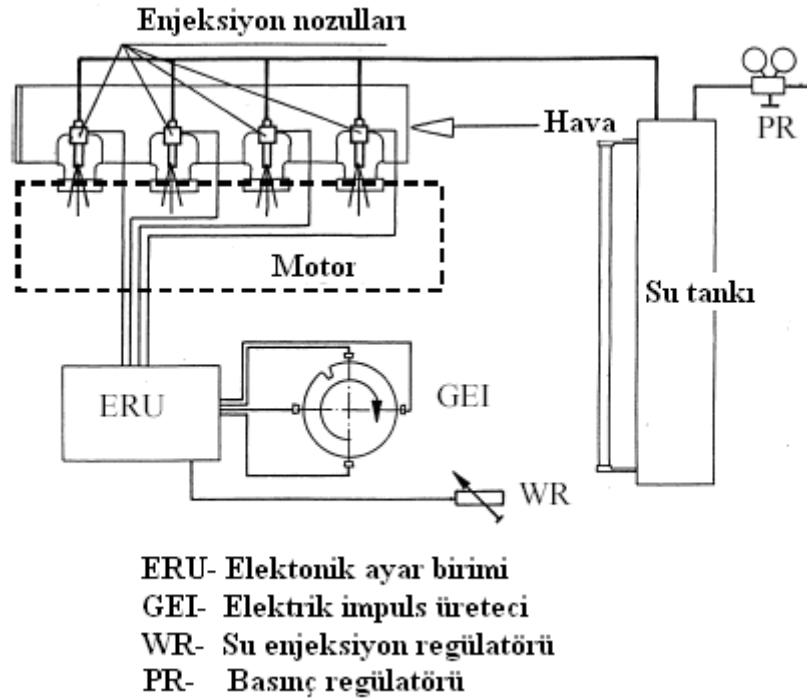
İs ve azot oksit emisyonlarını azaltmak amacıyla uygulanan değişik yöntemlerden biri de (Kokhetsu vd. [43]) tarafından uygulanan hava içerisine su ilavesidir (WIA). Diğer yöntem ise daha önce değinildiği üzere yakıt içerisine su ilavesidir (WIF). WIA yöntemi yanma işleminde daha çok termal etkiye sahip iken WIF yöntemi yanma işleminin kimyasını etkilemektedir ve bu nedenle NO_x-PM emisyonlarının azaltılmasında daha etkili bir yöntemdir. N. Samec, B.Kegl ve R. Dibble yapmış oldukları sayısal ve deneysel çalışmada motorlarda hava içerisine su ilave yöntemini (Water In Air), iki farklı teknikle incelemişler ve ayrıca yakıt içine su ilave yöntemini de farklı su içeriğine sahip emülsiyonlar kullanarak gözlemlemişlerdir. Hava içerisine su püskürtme yönteminde ilk olarak su motorun emme manifoldundaki hava akışı

içerisine periyodik olarak püskürtülmüştür (WIA1). İkinci yöntem ise turbo şarj sisteminin rotoruna suyun sürekli olarak püskürtülmesiyle gerçekleştirilmiştir [63].

Su ilave yönteminin eksoz emisyonlarına etkisini incelemek amacıyla yapmış oldukları deneysel çalışmada hava soğutmalı, dört silindirli bir diesel motoru kullanmışlardır. Motora su enjeksiyon yöntemini gerçekleştirebilmek amacıyla ekipmanlar takviye edilmiştir [63].

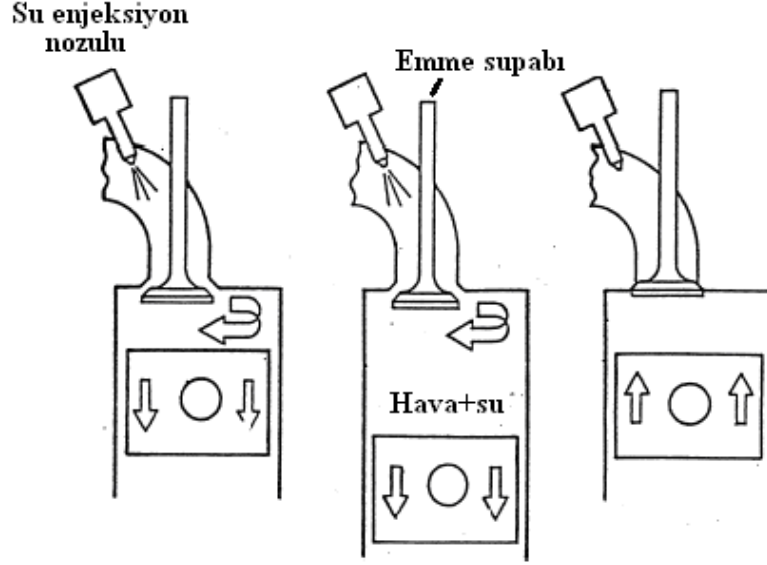
1.Yöntem: Emme havasına su püskürtülmesi

Emme manifoldundaki hava akışı içerisine su püskürtme işlemi Şekil 3.3 'te görülen sistemle gerçekleştirilmiştir. Bu sistem hava/su oranının serbestçe ayarlanmasına imkan vermektedir [63].



Şekil 3.3 Su Enjeksiyon Sistemi (Emme havasına su püskürtülmesi) [64]

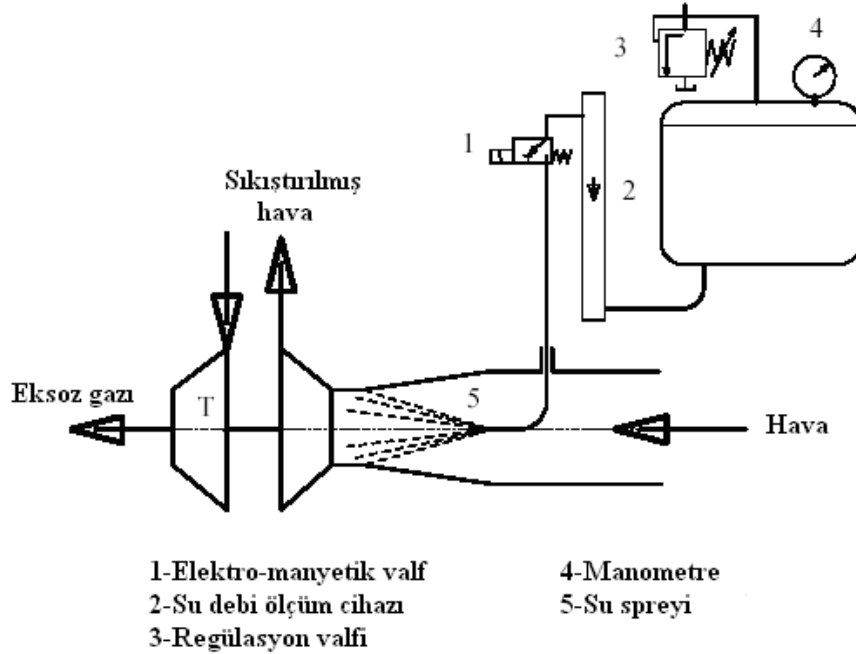
Hava akışı içerisine püskürtülen su miktarı püskürtme basıncıyla birlikte değişmektedir ve basınç değeri su tankının basıncını kontrol eden elektronik bir basınç kontrol regülatörü ile ayarlanmaktadır. Su püskürtme işlemi 20 C'de TDC'den sonra başlamakta, emme stroku boyunca devam etmekte ve emme supabının kapanmasıyla birlikte sona ermektedir. Su enjeksiyon nozulunun konumu Şekil 3.4'te görülmektedir [63].



Şekil 3.4 Su enjeksiyon nozulunun konumu [63]

2.Yöntem: Turbo şarj rotoruna su püskürtülmesi

Bu yöntemde Şekil 3.5'te görüldüğü gibi su turbo şarj sistemine sürekli olarak püskürtülmektedir. Bu sistem kurulum kolaylığı bakımından çoklu su püskürtme sistemlerinden daha avantajlıdır [63].



Şekil 3.5 Su enjeksiyon sistemi (Turbo nozuluna) [63]

Araştırmacılar yapmış oldukları deney sonucunda her iki yöntemin de azot oksit emisyonları üzerinde hemen hemen aynı etkiye sahip iken is emisyonunda fazla etkili

olmadığını görmüşlerdir. Ancak ikinci yöntemin motorda meydana gelen termik yükler bakımından daha etkili olduğunu ifade etmektedirler [63].

3.2.3.3 Direkt Püskürtme

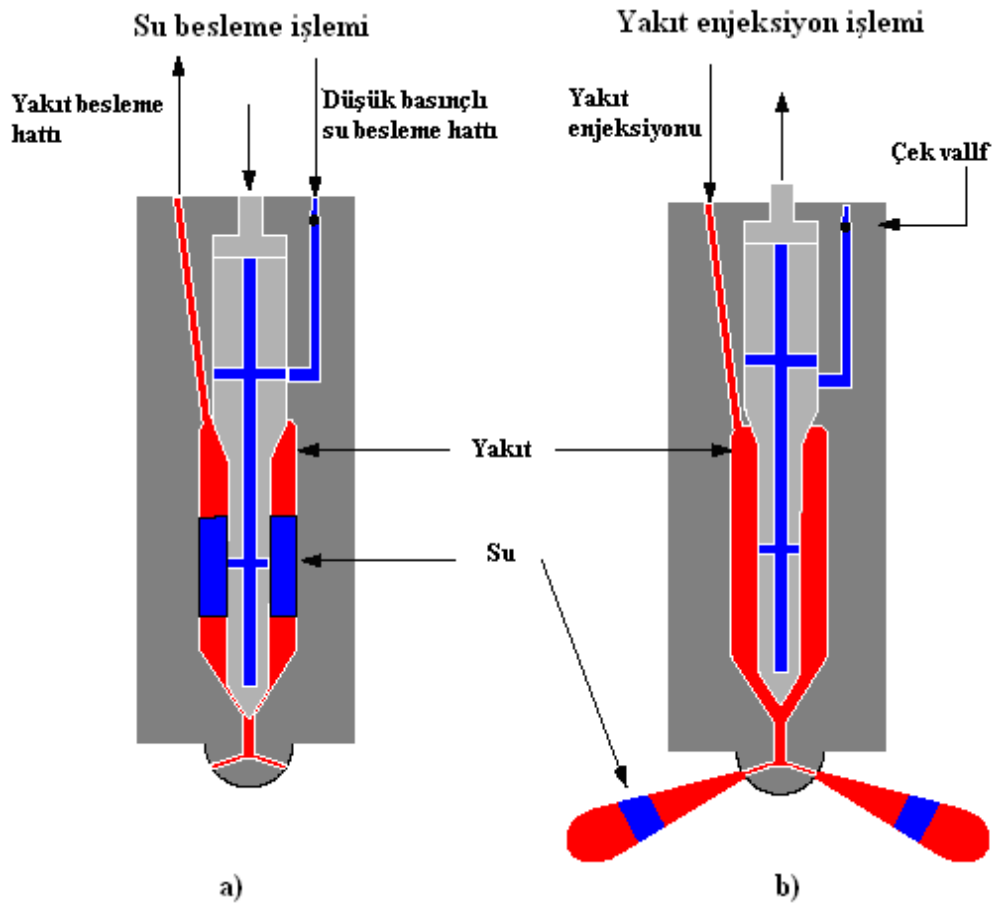
Direkt su püskürtmenin fimügasyona göre avantajı, sıvı haldeki suyun alevlere daha yakın olması ve silindir çeperlerinden uzakta olmasıdır. Direkt su püskürtmede su oranı, yakıt/su emülsiyonlarından farklı olarak, soğuk çalışma veya diğer geçici çalışma şartlarında değişken olabilir. Direkt su püskürtme sistemi için, enjeksiyon sisteminin modifiye edilmesi gerekmesine rağmen, silindir başına bir tane enjektör kullanılmasıyla paralel püskürtme sistemlerine göre toplam maliyetin daha aşağıya çekilmesi mümkündür [63].

F. Bedford vd. yapmış oldukları deneysel çalışmada silindir içerisine direk su püskürtme işleminin emisyonlar üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmalarında yakıt ile suyu özel tasarımı, tek bir enjektörden yanma odası içerisine püskürtmüşlerdir. Burada yakıt ile suyun sadece püskürtme esnasında birleştiğine dikkat edilmelidir ve direk püskürtme işlemi bir emülsiyon yöntemi değildir [4].

Emme havası içerisine su püskürtme (Fumigasyon) yöntemi diesel motorlarda azot oksit emisyonlarının azaltılmasını sağlamaktadır ancak bazı sakıncaları da mevcuttur. Bu yöntemle püskürtülen su yanma odası içerisinde etkili olabileceği bölgelere ulaşamamakta ve emisyonlar üzerinde daha az iyileşme meydana getirmektedir. Bu nedenle fumigasyon yönteminde direk püskürtme yöntemiyle karşılaştırıldığında aynı oranda NO_x azalması sağlamak için yaklaşık olarak iki kat daha fazla suya ihtiyaç duyulmaktadır. Ek olarak yanma işleminden sonra sıvı halde su bulunması yağın yapısını değiştirebilmekte ve bu durum motorda aşınmalara neden olmaktadır [4].

Alternatif olarak kullanılan emülsiyonlar azot oksit ve PM emisyonlarında düşüş sağlamak ancak yanma sıcaklığını gelişi güzel düşürmektedir. Yanma işleminde çok erken meydana gelen sıcaklık düşüşleri tutuşma gecikmesini ve motor gürültüsünü artırmaktadır. Ayrıca çalışma şartlarında yakıt içerisindeki su oranı sabittir ve soğukta çalışma veya geçici çalışma koşullarında değiştirilememektedir [4].

Direk su püskürtme yönteminin fumigasyona göre avantajı püskürtülen suyun alev bölgesine ve silindir duvarlarına yakın yerlerde bulunmasıdır. Emülsiyonların aksine direk su püskürtme yöntemi soğukta ve değişik çalışma koşullarında su oranını değiştirme imkanı sunmaktadır. Buna rağmen enjeksiyon sisteminin direk püskürtme işlemi için geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Silindir başına tek bir enjektör kullanılarak toplam maliyetin paralel püskürtme sisteminden daha az olması amaçlanmaktadır. Direk enjeksiyon sisteminde kullanılan tipik bir enjektörün şematik resmi aşağıda görülmektedir [4].



Şekil 3.6 Direk su enjeksiyon yönteminde kullanılan özel enjektörün şematik resmi [4]

Bu enjektörün temel prensibi su ile yakıtın aynı enjektörden silindir içerisine püskürtülmesidir. Enjektör; su besleme olayının gerçekleştirildiği iç kısımdaki doğrusal hareketli tek yönlü valf ve dış gövde kısmından meydana gelmektedir. Şekil 3.6 püskürtme olayından önce su besleme işlemini göstermektedir. Düşük basınçlı su besleme sisteminden gelen su, tek yönlü valften geçerek enjektörün bir kısmını doldurur ve dolgu suyu miktarı kadar yakıt, yakıt besleme sistemine geri döner.

Püskürtme işleminin başlangıcında yakıt besleme sisteminden yüksek basınçta yakıtın enjektöre gönderilmesiyle, tek yönlü valf yukarı doğru hareket ederek su besleme hattına yakıt karışmasını engeller ve enjektör ucundan yakıt-su karışımı püskürtülmüş olur. Enjektörün içindeki karışım miktarı tam olarak bilinmemektedir ve enjektör tasarımına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Tipik olarak enjektör içerisindeki ikincil bölmenin daha geniş olması daha fazla miktarda karışımın meydana gelmesine; daha küçük olması ise daha az miktarda karışımın meydana gelmesine neden olmaktadır. Motor hesaplarından görüldüğü üzere enjektörün uç bölgelerinde su bulunması önemli oranda tutuşma gecikmesine neden olmaktadır [4].

Yapılan çalışmada silindir içerisine direk su enjeksiyonunun etkisi kiva-3v kodlarını temel alan CFD (Computational Fluid Dynamics) programı kullanılarak incelenmiştir. Oluşturulan Sprey modelinin güvenilirliği deneysel çalışmayla tasdik edilmiştir. Yapılan motor hesaplamaları deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır [4].

Buharlaştırma gizli ısısının karışım spreyi içerisinde sıvılaşmaya neden olan fiziksel özellik olduğu gözlemlenmiştir. Su-yakıt karışım spreynin dağılım simülasyonu göstermektedir ki suyun yüksek gizli ısı değerinden dolayı sıvı spreyn nüfuziyeti %35 artmaktadır. Buhar nüfuziyeti, sıvı nüfuziyeti kadar değişiklik göstermemektedir. Buna rağmen su varlığında yakıt penetrasyonu eksen boyunca jet momentumunda artış meydana gelmesine bağlı olarak artmaktadır [4].

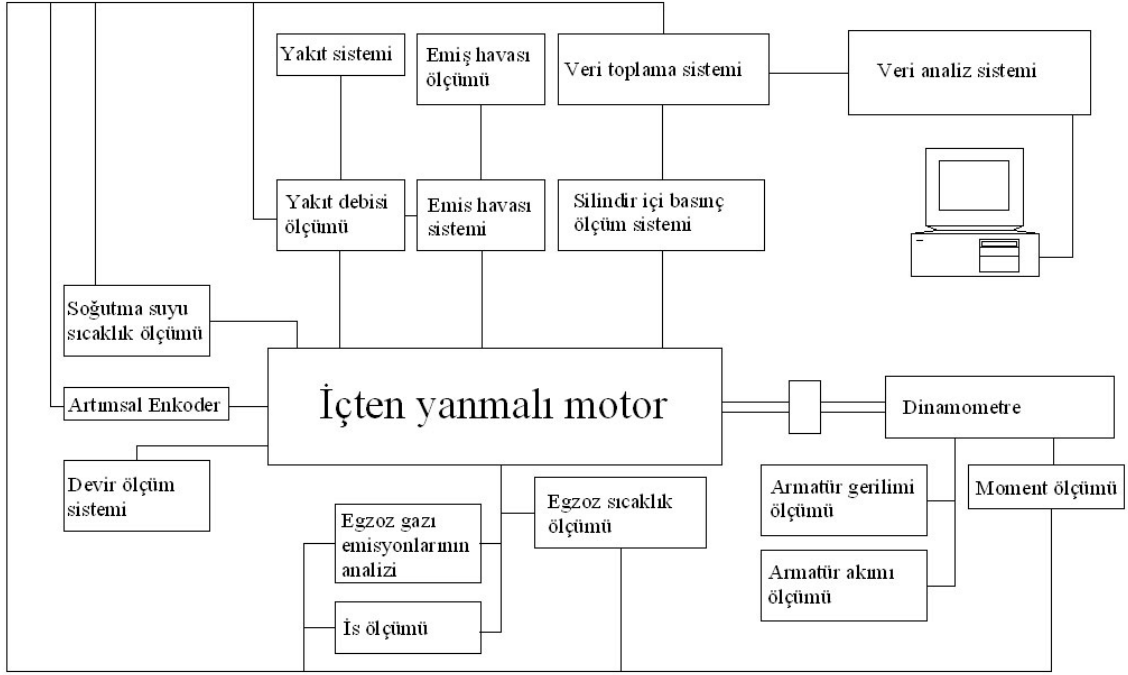
%44 yükte çalışma durumunda SFC (Özgül yakıt tüketimi), PM ve NO_x emisyonlarının azaldığı, %86 yükte çalışma durumunda ise sadece NO_x emisyonlarının azaldığı gözlemlenmiştir. Hesaplamalar azot oksit ve is emisyonlarını azaltmak için silindir içi pik sıcaklıkları düşürmek gerektiğini göstermektedir. Püskürtme avansının artırılması %44 yük durumunda SFC, PM ve NO_x emisyonlarında önemli oranda azalma sağlarken; %86 yük durumunda yakıt sarfiyatında biraz artışa neden olmakta, geniş oranda da PM ve NO_x emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır [4].

Su püskürtülmesiyle sıvı fazdaki suyun buharlaşması ve alev etrafındaki gazın özgül ısısının artmasından dolayı yanma sıcaklığında düşüş meydana gelmektedir. Fazla miktarda su eklenmesiyle püskürtülen su hacmi artmakta ve böylece püskürtme süresi uzamakta ve sonuç olarak is emisyonunda artış meydana gelmektedir [4].

DENEY SETİ ÖZELLİKLERİ VE DENEY SONUÇLARI

4.1 Deney setinin özellikleri

Deneyde Tecquipment marka test düzeneği ve CFR TD2 tipi motor kullanılmıştır. Deneylerde bu motorun tercihindeki öncelikli sebep deney motorunun tek silindirli olması ve deney setinin çok amaçlı bir deney seti oluşudur. Deney düzeneği bünyesinde içten yanmalı bir dizel motoru, motor test düzeneği, emisyon analiz cihazı, is ölçüm cihazı, yük hücreleri ve termokupllar bulunmaktadır. Deney setinin şematik şekli Şekil 4.1'deki gibidir ve teknik özellikleri maddeler halinde verilmiştir.



Şekil 4.1 Deney setinin şematik şekli

4.1.1 Motor teknik özellikleri

Marka: Ferrymann Engine-1977

Toplam silindir hacmi: 799 cc

Süpürme hacmi: 765cc

Sıkıştırma oranı: 20

Strok: 120 mm

Silindir çapı: 90 mm

Supap sistemi: Külbütör mekanizması

Emme supap adedi: 1

Egzoz supap adedi: 1

Emme supabı açılma avansı: 0° KMA

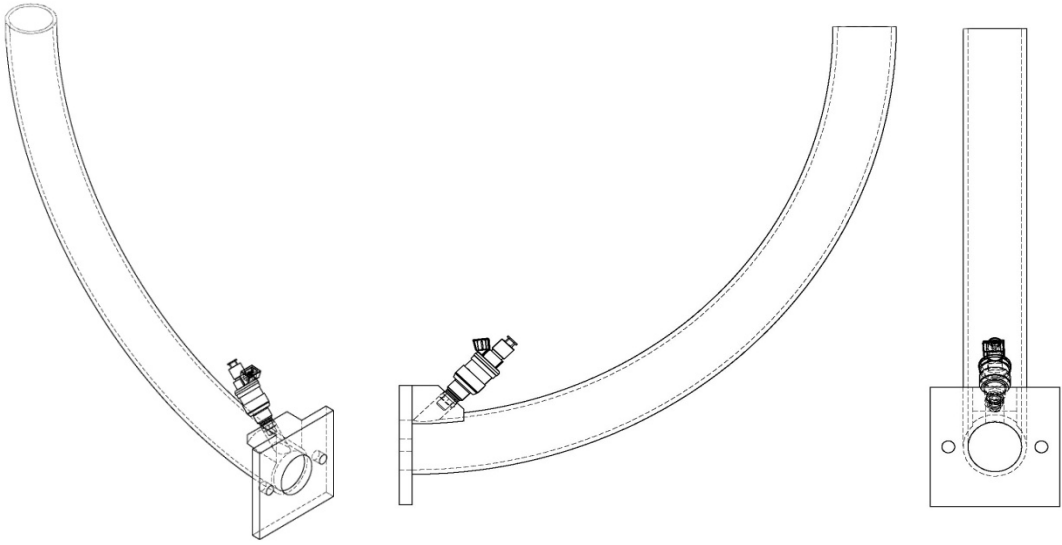
Emme supabı kapanma gecikmesi: 60° KMA AÖN'dan sonra

Egzoz supabı açılma avansı: 25° KMA AÖN'dan önce

Egzoz supabı kapanma gecikmesi: 0° KMA

Emme manifoldu özellikleri

Katalogundaki dizaynına bakılarak orijinal manifold dizaynına sadık kalmak şartıyla yeni bir manifold imal edildi. Emme manifoldu çeperlerinde su birikimini engellemek ve porta püskürtme yapabilmek amacıyla su püskürtme enjektörünün konumlanması supap boynuna püskürtme yapacak şekilde tasarlanıp, enjektör kütüğü ve emme manifoldu Yıldız Teknik Üniversitesi Otomotiv Anabilim Dalı laboratuvarında imal edilmiştir.



Şekil 4.2 Yeniden tasarlanan emme manifoldu

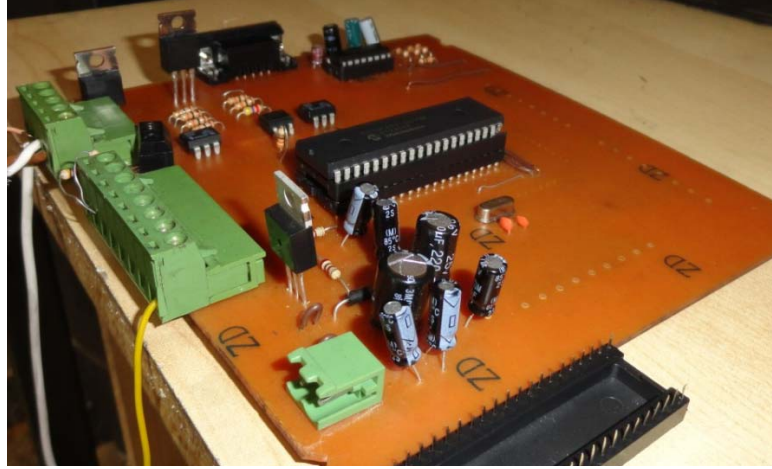
4.1.2 Su püskürtme sistemi özellikleri

Su püskürtme sistemi, sabit basınçta su sağlayacak bir benzin pompası ve emme hattı üzerine yerleştirilen Şekil 4.3'de görülen Siemens marka DeKa tipi benzin enjektöründen meydana gelmektedir.

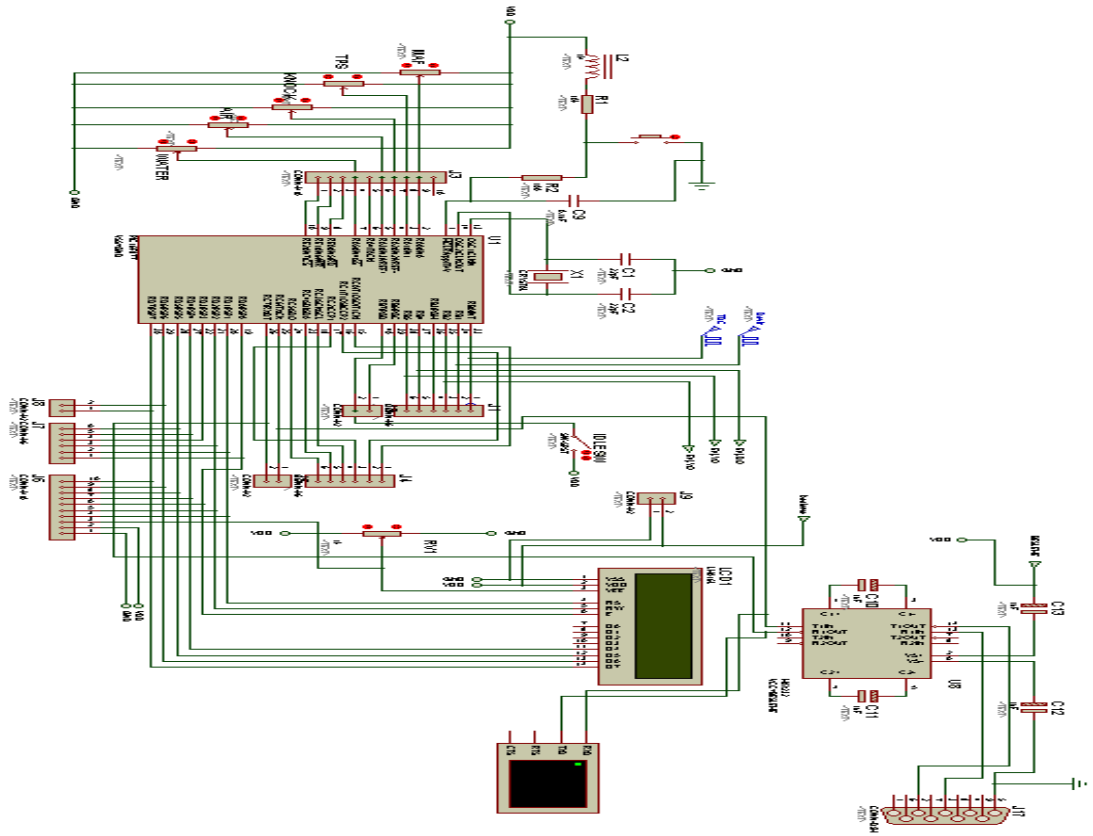


Şekil 4.3 Siemens Deka Benzine enjektörü

Püskürtülecek olan su miktarı enjektörün iğnesinin açık kalma süresine bağlı olarak değişmektedir. Su püskürtme sistemini kontrol etme amacıyla dizayn edilmiş enkoder'den aldığı üst ölü nokta sinyali ile püskürtme zamanlamalarını ayarlayan Şekil 4.4' deki kontrol devresi sürücü kartının kullanılmasıyla, su püskürtme süreleri ve avansları değiştirilebilmektedir. Püskürtme, emme stroğunun başına gelecek şekilde ayarlanmıştır. Kontrol devresi sürücü kartının devre şeması Şekil 4.5'teki gibidir.



Şekil 4.4 Kontrol devresi sürücü kartı

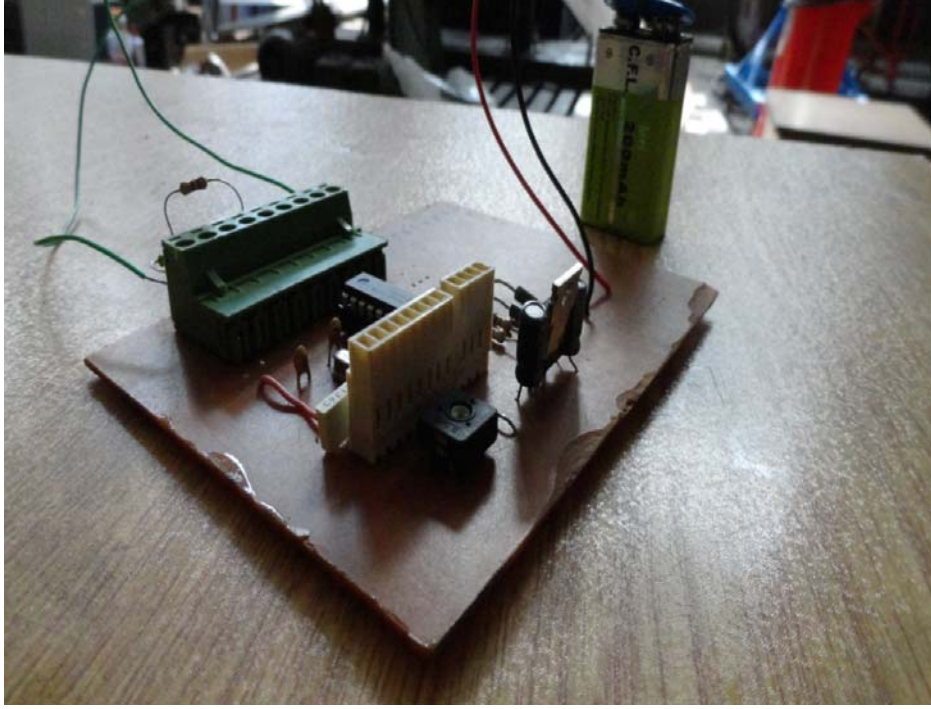


Şekil 4.5 Kontrol devresi sürücü kartının devre şeması

4.1.2.1 Enjektörün kalibrasyonu

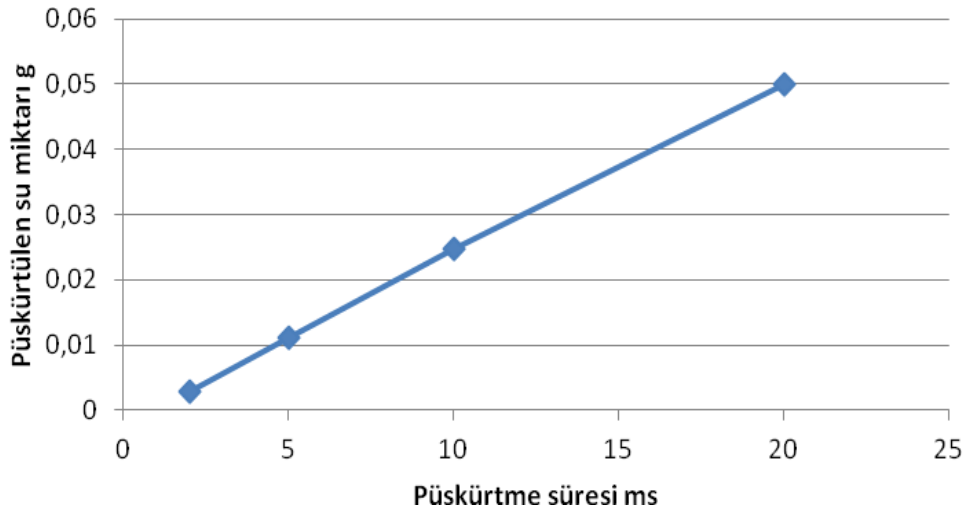
Yapılan çalışmada püskürtülecek olan su miktarının her bir çevrimde motora gönderilen yakıt miktarına oranlı olarak gönderilecek olmasından dolayı istediğimiz miktardaki suyu emme portuna gönderebilmek için enjektörün açık kalması gereken sürenin bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla, çeşitli püskürtme sürelerinde, çevrim başına püskürtülen su miktarının belirlenmesi yoluyla elde edeceğimiz enjektör karakteristik püskürtme eğrisinden yararlanarak, püskürtülmesi istenilen su miktarını püskürtülebilmesi için kontrol devresi sürücü kartından enjektöre ne süreyle açık kalma sinyali gönderilmesi gerektiği hesaplanır. Püskürtme pompası sabit basınçta devredeyken, sürücü karta 100 ms'de bir üst ölü nokta sinyali göndermesi için programlanmış Şekil 4.6'da görülen bir simülasyon kartı yardımıyla 100 ms'de bir 2 ms'lik püskürtme sürelerine programlanmasının ardından enjektörle, ölçekli bir kaba sırasıyla 3 dk. süreyle püskürtme yapılmış ve 3 dk. süreyle ard arda gerçekleşen 1800

püskürtme sonucunda kap içerisinde toplanmış olan su miktarı hassas terazi ile kütleli olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.6 Üst ölü nokta simülasyon kartı

Elde edilen ölçüm değerinden yola çıkarak, enjektörün bir püskürtmede püskürttüğü su miktarı hesaplanır. Aynı işlem, 5, 10 ve 20 ms'lik püskürtme süreleri için de tekrarlanmıştır. Bunun sonucunda, enjektörün farklı püskürtme sürelerindeki kütleli püskürtme miktarları kaydedilerek Şekil 4.7'de görülen enjektör karakteristiği belirlenmiştir.



Şekil 4.7 Benzin enjektörü karakteristik eğrisi

4.2 Sistem özellikleri

4.2.1 Devir sensörü

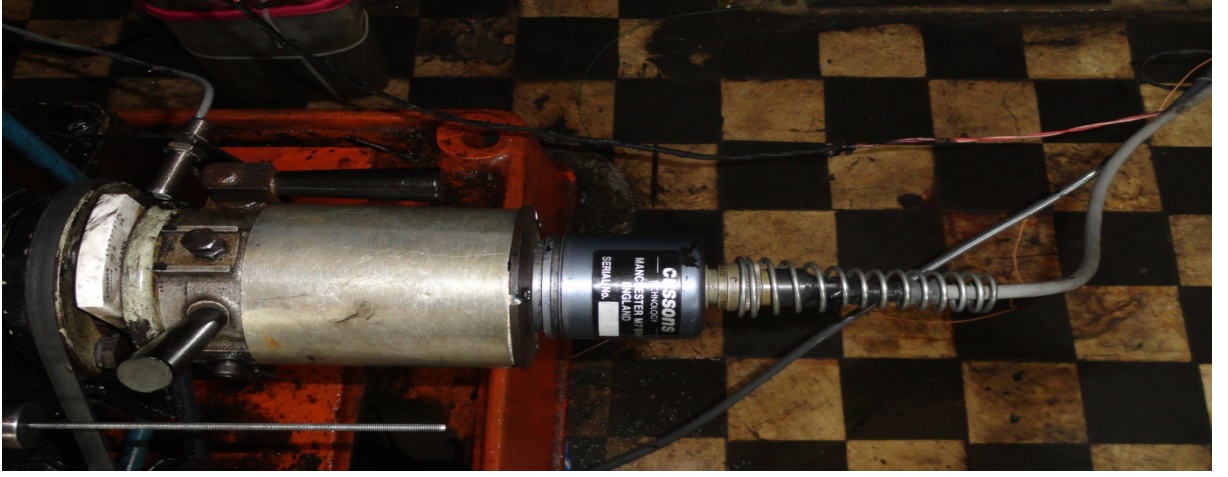
Şekil 4.8’de görülen kam miline bağlı olan kasnak üzerindeki civatalara karşılık gelecek şekilde bulunan indüktif sensör, önünden geçen her ferromanyetik eleman ile karşılaştığında düşük miktarda akım indüklemektedir. Oluşan 0,07 ile 10000 Hz aralığındaki giriş sinyalleri sayılmaktadır ve elde edilen bu sinyal, amaca özel üretilmiş olan indikatöre bağlanarak, devir görsel olarak kolaylıkla okunabilir hale getirilmiştir.



Şekil 4.8 Devir sensörü

4.2.2 Enkoder özellikleri

Şekil 4.9’ da görülen Cussons Technology marka Manchester M79RH model enkoderin miline akuple olan optik sensörden her ışık gelişinde, sinyal çıkışı 5 VDC’lik kare dalgalar oluşturur. Bu kare dalgaların sayılmasıyla devir sayısı, üst ölü noktada gelen kare dalganın algılanmasıyla da piston konumu belirlenmiştir.



Şekil 4.9 Enkoder

4.2.3 Basınç Sensörü

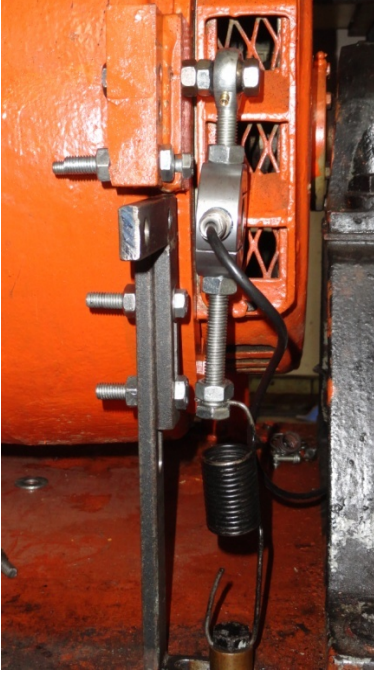
Silindir içi basınç değişikliklerinin gözlemlenebilmesi amacıyla Şekil 4.10'daki AVL marka piezoelektrik basınç sensörü kullanılmıştır. Gelen basınç değişikliklerine hızlı tepki verebilmesinden dolayı, ani basınç değişikliklerini izlemede piezoelektrik basınç sensörleri etkili şekilde kullanılabilir. Kullanılan piezoelektrik basınç sensörü, içinde bulundurduğu piezokristal üzerine etkiyen basınçla doğru orantılı elektriksel potansiyel üretir. Basınç sensöründen gelen çok düşük seviyedeki gerilim, Kistler marka 5011 tipi amplifikatör ile yükseltilmiştir. LeCroy marka Wavesurfer 424 model Osiloskop üzerinden, anlık basınç eğrileri, enkoderden gelen üst ölü nokta sinyali ve su püskürtme kontrol kartının sürücü devresinden gönderilen sinyaller görüntülenmiş ve kaydedilmiştir.



Şekil 4.10 AVL marka piezoelektrik basınç sensörü

4.2.4 Moment ölçümü

DC motor üzerine bağlanmış uzunluğu belli olan bir kuvvet kolunun uç kısmından Şekil 4.11’ de görülen REP Transducers marka TS 300 model 300 kg kapasiteli bir bası/çeki çalışabilen S tipi yük hücresi bağlanarak ölçülen kuvvet değerleri kullanılarak moment değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.11 Frenleme kuvveti ölçüm sistemi



Şekil 4.12 Yük hücresi

4.2.5 Yakıt sarfiyatı ölçümü

Yakıt deposunun iki plaka arasına yerleştirilmiş Şekil 4.12’de görülen REP Transducers marka TS 300 model 300 kg kapasiteli bir bası/çeki çalışabilen S tipi yük hücresi üzerine yerleştirilmesiyle yakıt sarfiyatı gravimetrik olarak hassas bir şekilde okunmuştur. 10 gr yakıtın tüketilme süresinin hesaplanmasıyla, motorun o anki çalışma şartındaki yakıt sarfiyatı değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 4.13 Yakıt sarfiyatı ölçüm sistemi

4.2.6 Sıcaklık ölçümleri

Soğutma suyu giriş ve soğutma suyu çıkış sıcaklıklarının ölçülebilmesi amacıyla Şekil 4.14'te görülen $-200\div 300$ °C aralığında ölçüm yapabilen T tipi termokupllar seçilerek kullanılmıştır. Soğutma suyu çıkış sıcaklığı, silindir kafasından soğutma suyu çıkış noktasının 60 cm sonrasında, soğutma suyu giriş sıcaklığı ise, motor su pompası girişinden 70 cm öncesinden ölçülmüştür.



Şekil 4.14 Soğutma suyu giriş ve çıkış hatlarında konumlandırılmış termokupllar

Egzos gazlarının sıcaklığının ölçülebilmesi amacıyla Şekil 4.14'te görülen $-200\div 1200$ °C aralığında ölçüm yapabilen K tipi termokupl egzoz supaplarının olabildiğince yakınında konumlandırılacak şekilde egzoz manifoldu üzerine yerleştirilmiştir.

Emme havası sıcaklığının ölçülebilmesi amacıyla $-200\div 300$ °C aralığında ölçüm yapabilen T tipi termokupl seçilerek kullanılmıştır.

Püskürtme suyu sıcaklığının ölçülebilmesi amacıyla $-200\div 300$ °C aralığında ölçüm yapabilen püskürtme suyu deposu üzerinde T tipi termokupl seçilerek kullanılmıştır.

4.2.7 Emisyon ölçümü

Şekil 4.15' te gösterilen gaz emisyonlarını ölçmek için kullanılan egzoz gazı analiz cihazı, AVL DICOM 4000 marka garaj tipi gaz analiz cihazı olarak geçmektedir. Gaz analiz cihazı CO, HC, CO₂ gazlarını kızıl ötesi yöntemle, NO_x gazlarını ise elektrokimyasal yöntemle ölçebilmektedir, ölçüm hassasiyetine ait teknik değerleri Çizelge 4.1'de listelenmiştir.



Şekil 4.15 AVL DICOM 4000 gaz analiz cihazı

Çizelge 4.1 AVL DICOM 4000 gaz analiz cihazına ait teknik değerler

AVL DICOM 4000	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO	0-10 %hacim	0.01 % hacim
CO ₂	0-20 %hacim	0.1 %hacim
HC	0-20000 ppm hacim	1 ppm
NO _x	0-5000 ppm hacim	1 ppm
O ₂	0-20 %hacim	0,01 %hacim
Λ	9999	0,001
Motor hızı	250-9960 rpm	10 rpm

İçten yanmalı motorun ürettiği is ise, Şekil 4.16'da gösterilen AVL marka 415 S model filtre tipi is ölçüm cihazıyla ölçülmüştür. Esas olarak Şekil 4.17'de gösterilen bağlantı noktasından bağlandığı egzoz hattından Şekil 4.18' de gösterilen prop ile belirli miktarlarda aldığı egzoz gazını, kağıttan bir filtreden geçirmektedir ve bir optik sensör bu filtrenin üzerindeki lekeyi ölçerek sonuçları FSN (Filter smoke number) ya da mg/m³ cinsinden vermektedir.



Şekil 4.16 AVL 415 S filtre tipi is ölçüm cihazı



Şekil 4.17 İs ölçüm cihazı – egzoz



Şekil 4.18 İS ölçüm cihazı probu

Ölçüm hassasiyetine dair teknik değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 AVL 415 S is ölçüm cihazına ait ölçüm hassasiyeti değerleri

Ölçüm aralığı 0-10 FSN
Hassasiyet 0.001 FSN

4.2.8 Veri toplama sistemi

Yapılan deneyde devir, yük hücrelerinden elde edilen kuvvet değeri, soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları, püskürtme suyu sıcaklığı, emme havası sıcaklığı, egzoz gazı sıcaklığı ve emisyon analizleri Labview 2010 programının kullanılmasıyla anlık olarak gözlenmiş ve kayıt altına alınmıştır.

National Instruments marka USB-6215 model motora bağlı durumda bulunan yük hücresi ve enkoderden gelen elektriksel verileri bilgisayarın anlayabileceği ve üzerinde işlem yapabileceği sayısal veriler hale çevirmeyi sağlayan Labview destekli bir veri toplama kartıdır (Şekil 4.19). Enkoderden elde edilen konum bilgisi ve devrin yanında, yük hücrelerinden de değer okuma amaçlı kullanılmıştır.



Şekil 4.19 National Instruments USB-6215 veri toplama kartı

National Instruments marka cDAQ model cihaz Şekil 4.20’ de görüldüğü gibi üzerinde 8 kanal bulunan bir kompakt şasideir. Söz konusu kanallara yerleştirilen modül aracılığıyla,

modüle bağlanan termokupllar ile soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıklarını, püskürtme suyu sıcaklığını ve emme havası giriş sıcaklığı ve egzoz gazı sıcaklığı ölçülerek kaydedilmiştir.

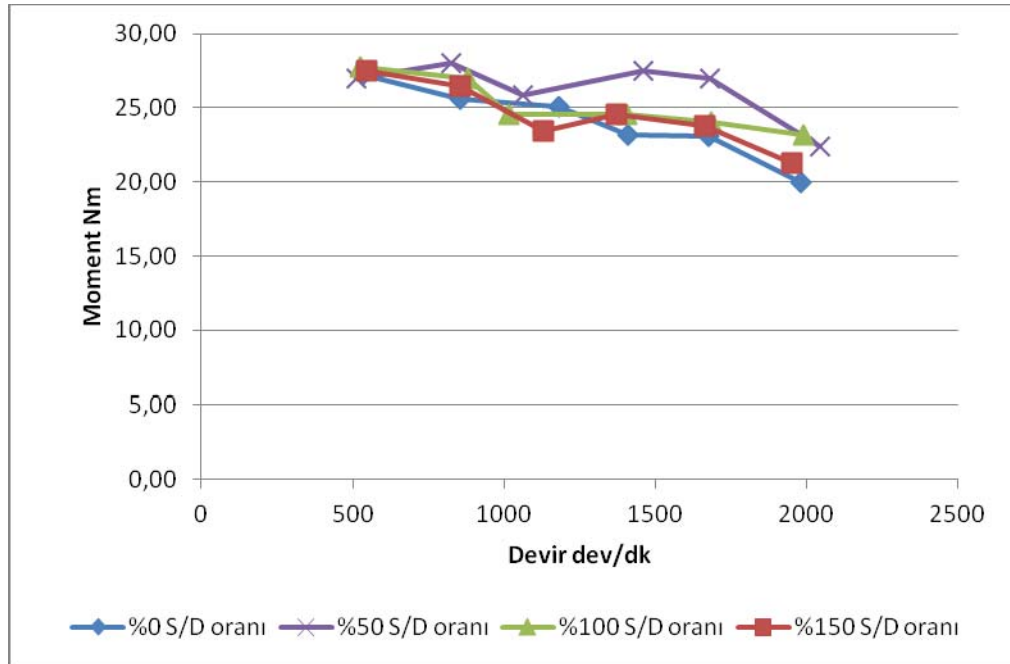


Şekil 4.20 National Instruments cDAQ modül şasisi

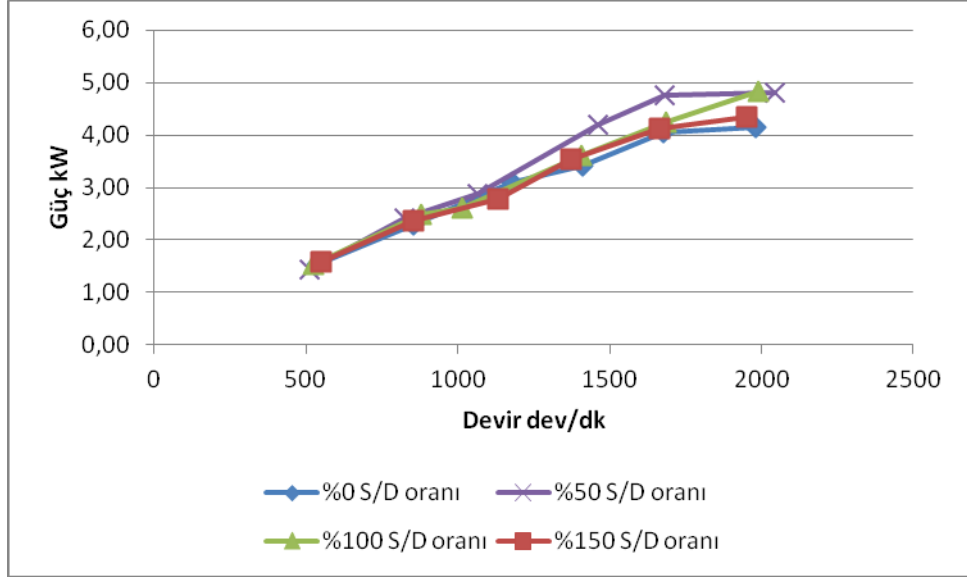
AVL DICOM 4000 gaz analiz cihazı ve AVL 415 S filtre tipi is ölçüm cihazlarıyla yapılan ölçümler de Labview 2010 programı üzerinden kayıt altına alınmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

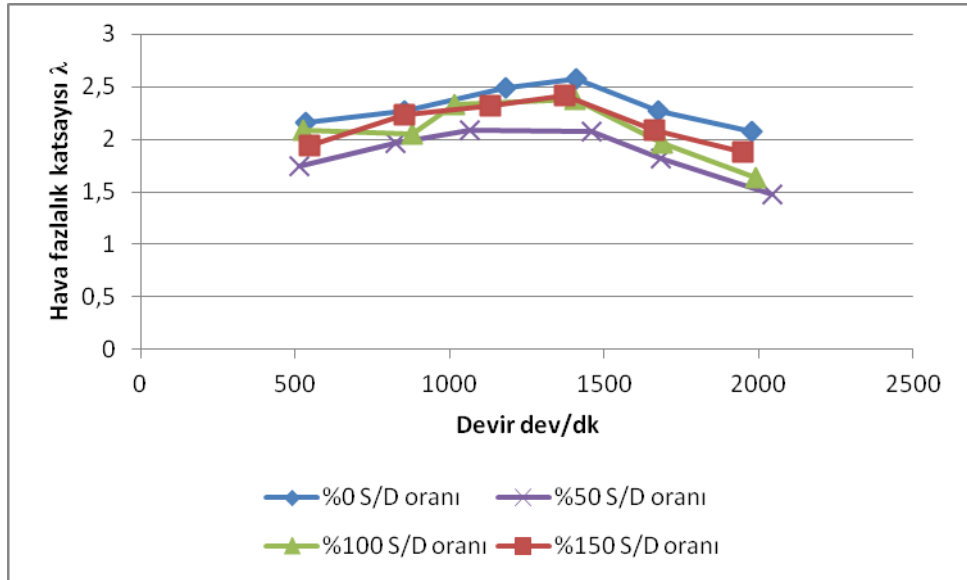
Yapılan deneyin sonucunda elde edilen grafikler aşağıda gösterilmektedir.



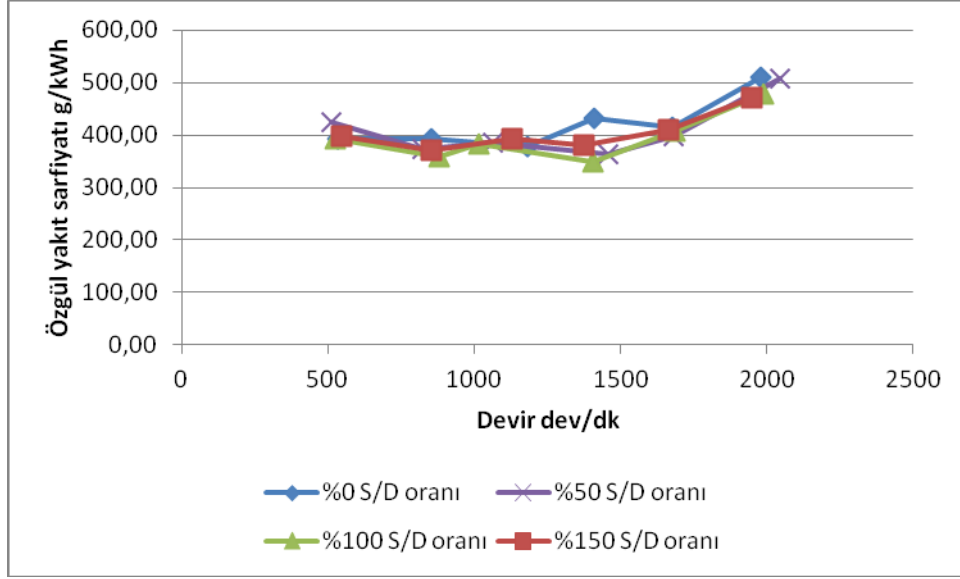
Şekil 5.1 Farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen moment eğrilerinin karşılaştırılması



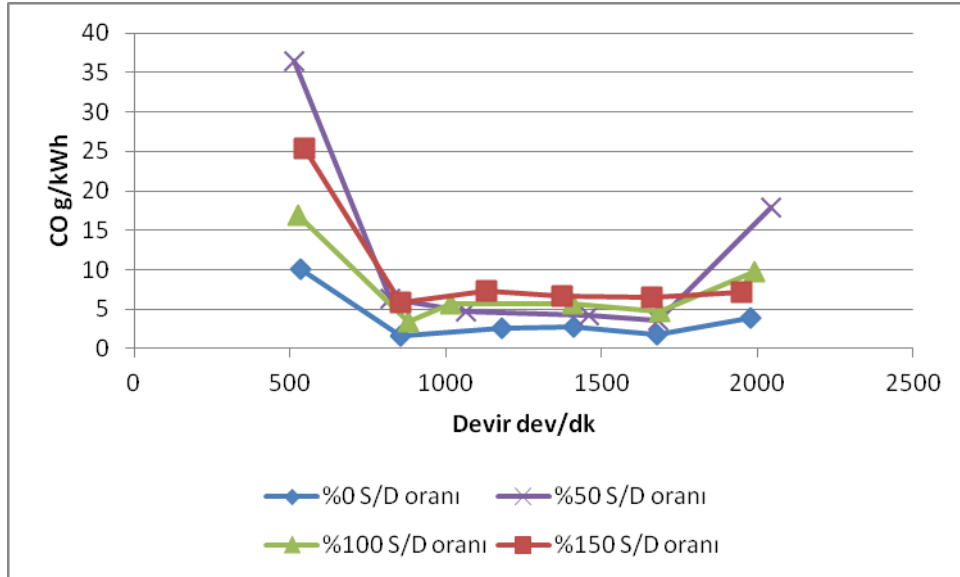
Şekil 5.2 Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen güç eğrilerinin karşılaştırılması



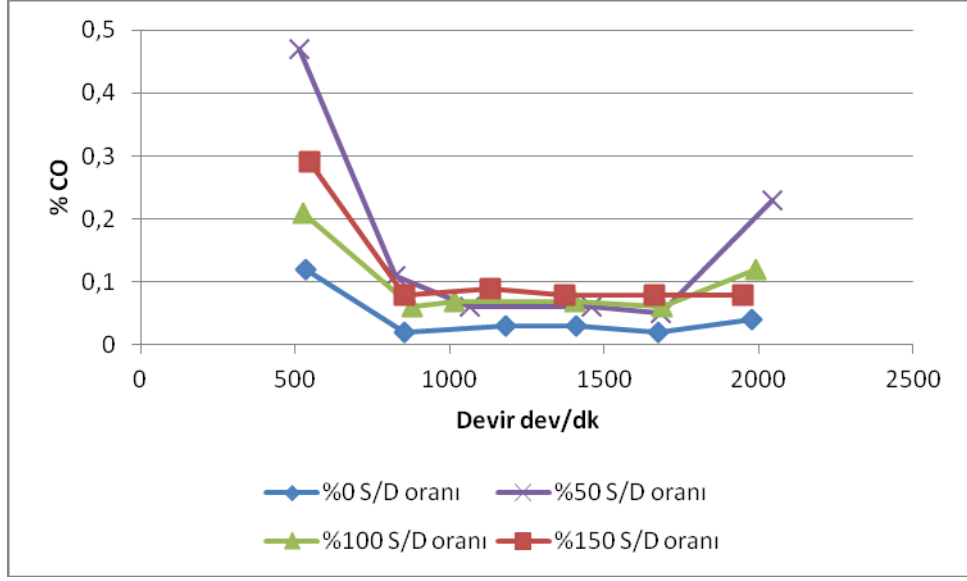
Şekil 5.3 Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle hava fazlalık katsayılarının karşılaştırılması



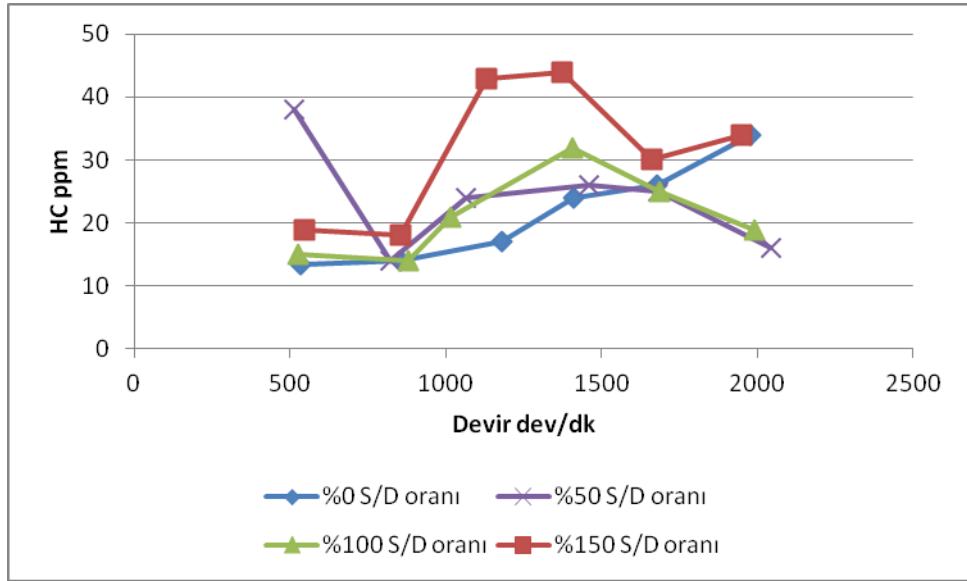
Şekil 5.4 Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen özgül yakıt sarfiyatı eğrilerinin karşılaştırılması



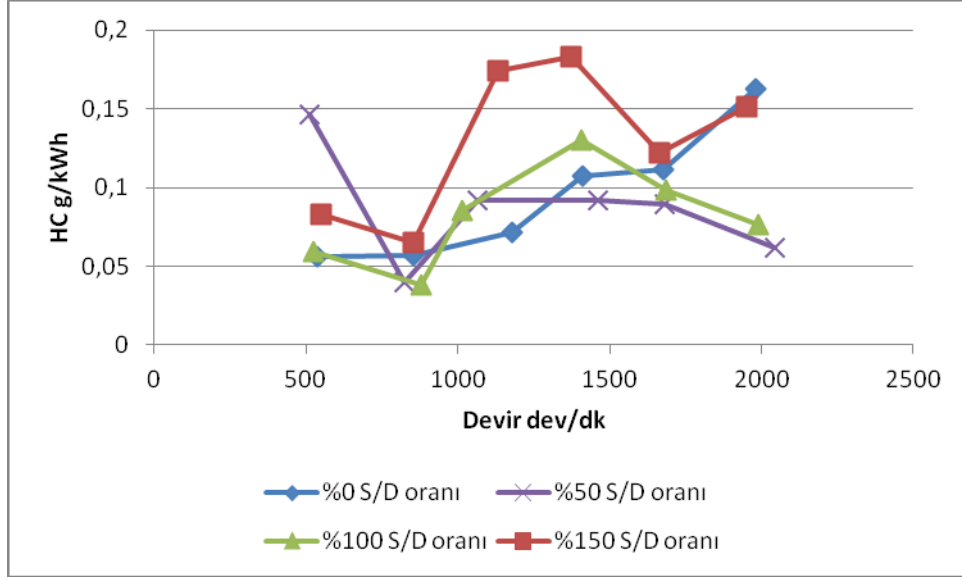
Şekil 5.5 Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen CO oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması



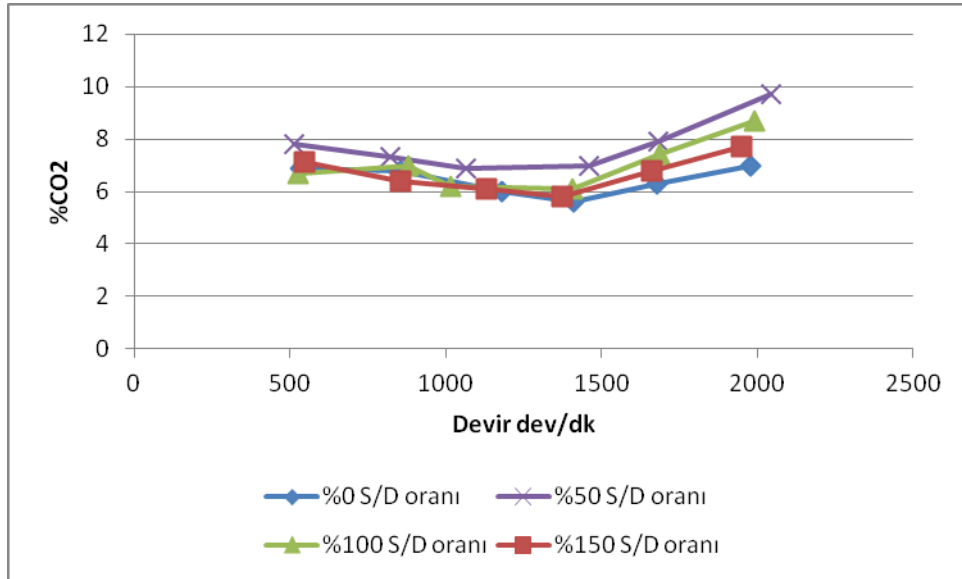
Şekil 5.6 Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen CO oluşum eğrilerinin yüzdesel karşılaştırılması



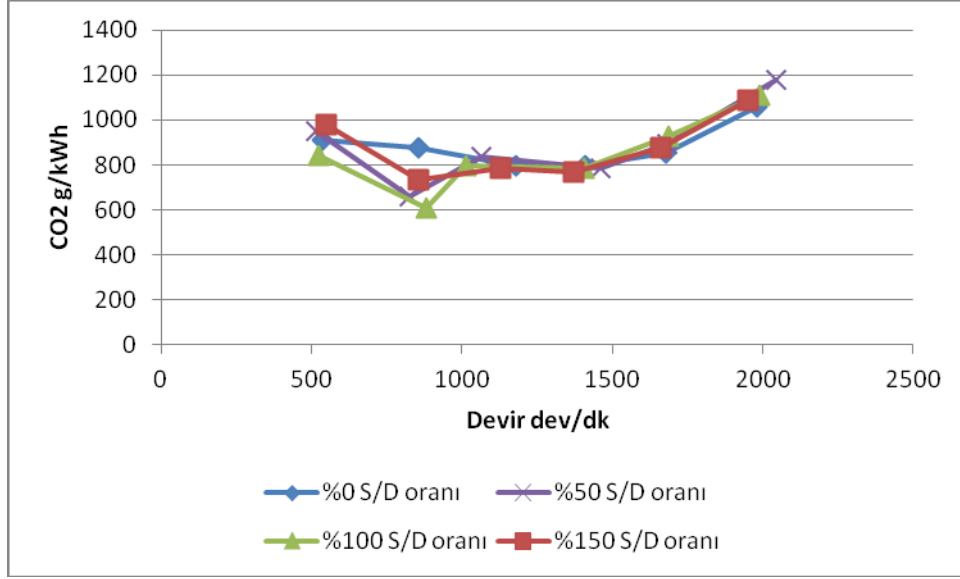
Şekil 5.7 Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen HC oluşum eğrilerinin ppm cinsinden karşılaştırılması



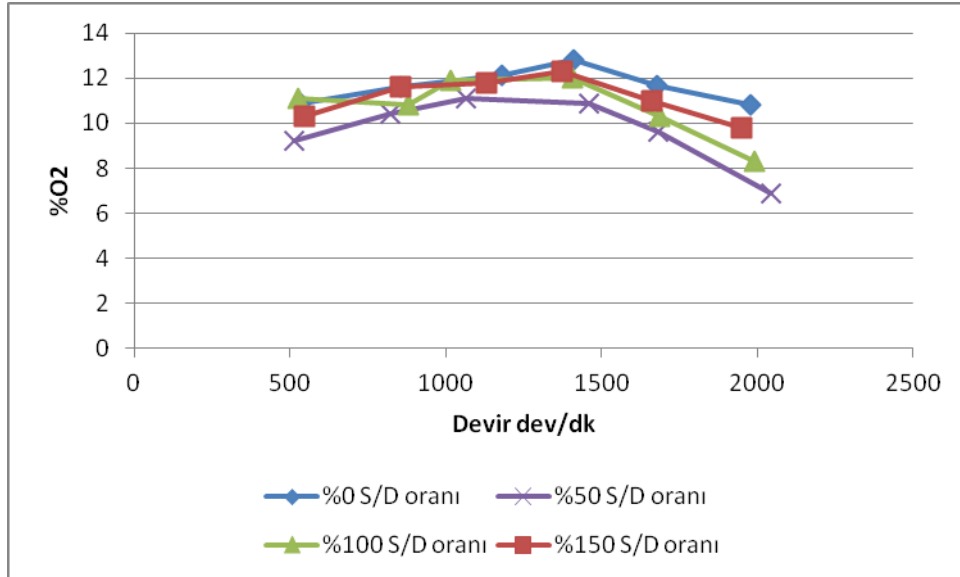
Şekil 5.8 Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen HC oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması



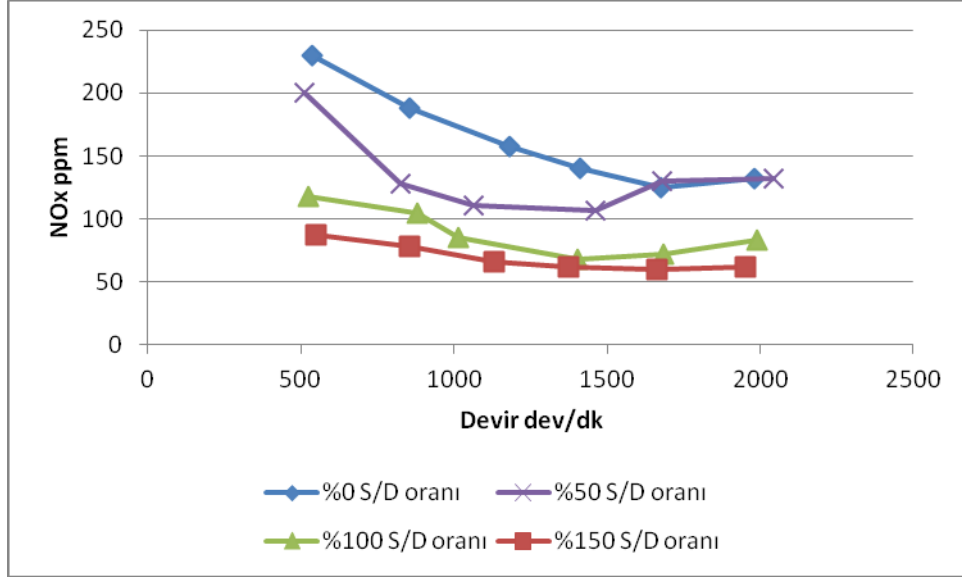
Şekil 5.9 Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen CO₂ oluşum eğrilerinin yüzdesel karşılaştırılması



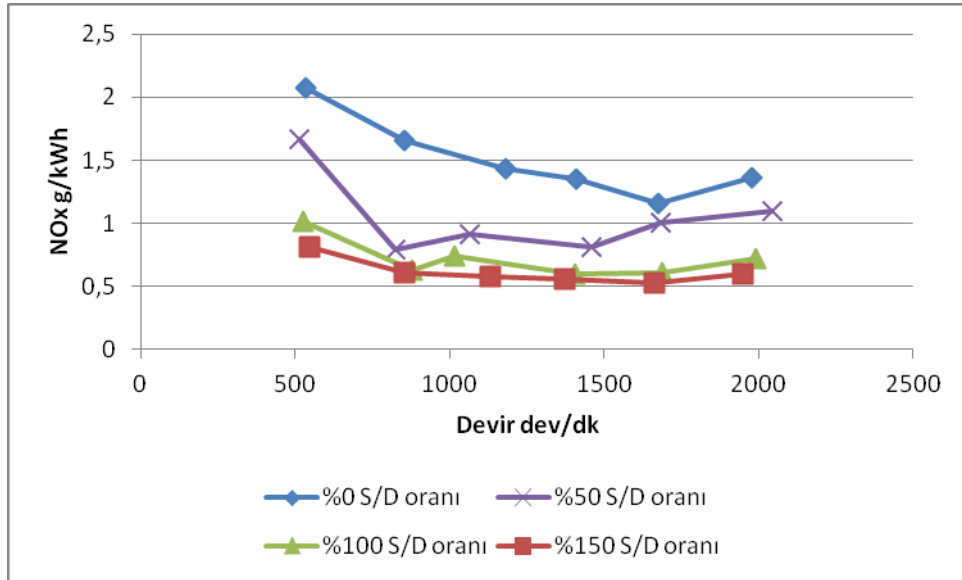
Şekil 5.10 Devre göre farklı Su/Dizel kütle oranlı su püskürtmeyle elde edilen CO₂ oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması



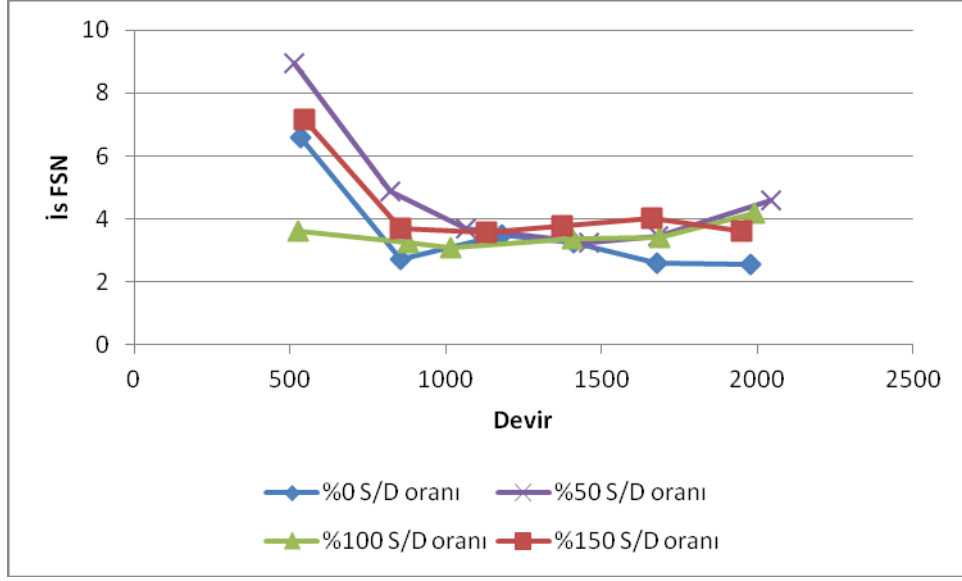
Şekil 5.11 Devre göre farklı Su/Dizel kütle oranlı su püskürtmeyle elde edilen O₂ seviyelerinin yüzdesel karşılaştırılması



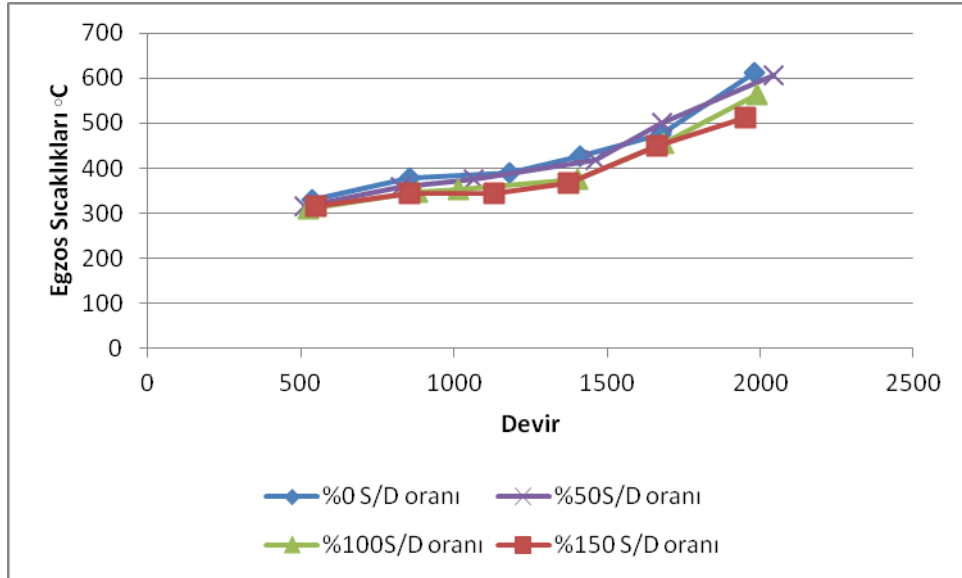
Şekil 5.12 Devre göre farklı Su/Dizel kütle oranlı su püskürtmeyle elde edilen NO_x oluşum eğrilerinin karşılaştırılması



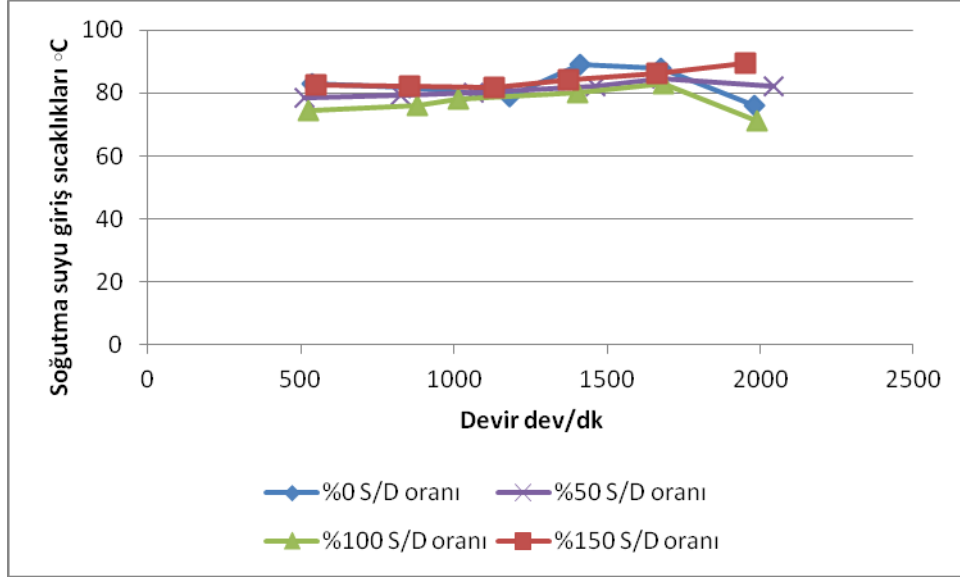
Şekil 5.13 Devre göre farklı Su/Dizel kütle oranlı su püskürtmeyle elde edilen NO_x oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması



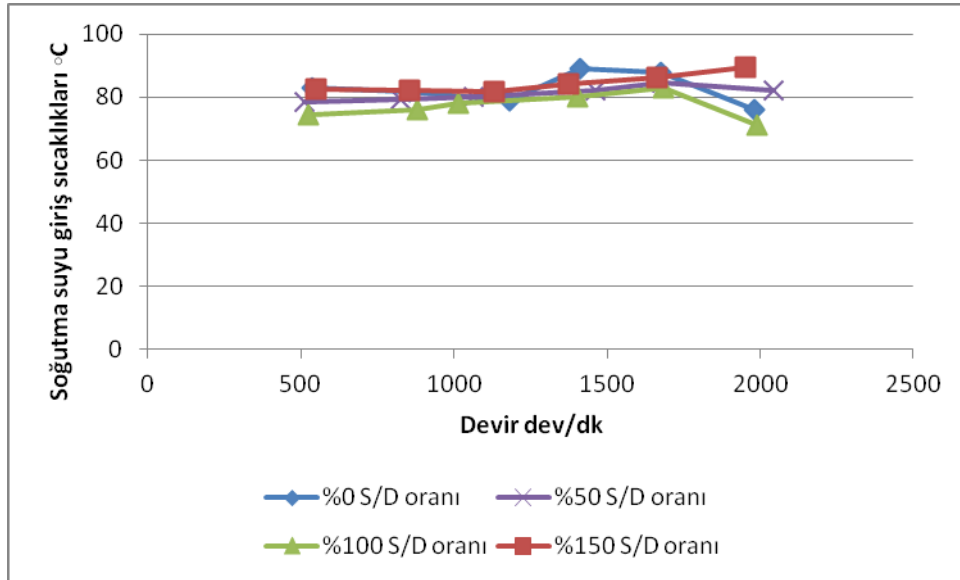
Şekil 5.14 Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmeyle elde edilen CO oluşum eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 5.15 Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmede egzoz sıcaklıklarının karşılaştırılması



Şekil 5.16 Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmede soğutma suyu giriş sıcaklıklarının karşılaştırılması



Şekil 5.17 Devre göre farklı Su/Dizel kütleli oranlı su püskürtmede soğutma suyu çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması

SONUÇLAR

- Yapılan çalışma sonucunda görülmüştür ki kütlece %150 su/dizel oranıyla porta püskürtme yapıldığında NO_x emisyonlarında %70'lere varan ciddi düşüşler gerçekleşmektedir. Suyun püskürtülmesiyle meydana gelen soğuma egzoz gazı

sıcaklıklarındaki düşüğe yansımıştır. Tüm püskürtme oranlarında kısmi yüklerde özgül yakıt sarfiyatında iyileşme göstermektedir.

- NO_x açısından inceleme yapıldığında su püskürtmenin yapılmadığı duruma kıyasla, kütlece %150 S/D püskürtme oranlarında %74'e, kütlece %100 S/D püskürtme oranlarında %70'e ve kütlece %50 S/D püskürtme oranlarında %54'e ulaşan azalmalar görülmüştür. Su/Dizel oranı arttıkça elde edilen iyileşmede de artış görülmüştür.
- NO_x emisyonlarındaki en büyük düşüş kısmi yük şartlarında görülmüştür.
- Emme portuna su püskürtülmesi metodunda suyun buharlaşmak için silindirden çektiği ısıyla silindir içinde meydana gelen sıcaklık düşüşünden dolayı termal verim azalır. Tamamlanmamış yanma ve düşük termal verimden dolayı CO ve HC seviyeleri yükselir. Aynı zamanda is partiküllerinin oksitlenmesi için gereken sıcaklığa silindir içi soğumadan dolayı ulaşamadığından is partikülleri de artış gösterir.

ÖNERİLER

- Emme portuna su püskürtülmesi sistemi dizel motorlarında NO_x emisyonlarının azaltılmasında etkili olarak kullanılabilir. Fakat sistem, püskürtülecek su/yakıt oranı HC ve CO emisyonlarında meydana gelen artıştan dolayı optimize edilmelidir. Partikül madde sayısında artış meydana getirmesinden dolayı ek önlemlere ihtiyaç duyulur. Sistem motor konstrüksiyonunda büyük değişikliklere ihtiyaç duymadığı için ilk kurulum maliyeti oldukça düşüktür. Püskürtülen suyun yanma odası duvarlarına yapışması, yağlama yağının viskozitesini değiştirebilebileceği için aşınmalar artabilir. Uygulanmasının önündeki bir başka zorluk, suyun depolanması için ayrı bir depo bulundurma zorunluluğudur.
- EGR ile beraber kullanılması NO_x emisyonlarında çok ciddi düşüşler elde etmemizi sağlayacaktır.
- Sistem, emisyon salınımı açısından en büyük problemi NO_x olan hidrojen yakıtıyla çalışan motorlarda da kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Hountlas, D.T., (2006). "Use of Water Emulsion and Intake Water Injection as NO_x Reduction Techniques for Heavy Duty Diesel Engines", 01-1414.
- [2] Brusca, S., (2001). "Evaluation of the Effects of Water Injection in a Single Cylinder CFR Cetane Engine", 01-2012.
- [3] Kyunghyun, R. "Effect of Water induction on the performance and exhaust emissions in a diesel engine", (II).
- [4] Bedford, B., (2000), "Effects of Direct Water Injection on DI Diesel Engine Combustion", 01-2938.
- [5] Nazha, M.A.A., (2001) "The Use of Emulsion, Water Induction and EGR for Controlling Diesel Engine Emissions", 01-1941.
- [6] Psota, M.A., "Water injection effects on NO_x emissions for engines utilizing diffusion flame combustion", 971657.
- [7] Steinhilber, T. ve Sattelmayer, T., (2006) "The effect of water addition on HCCI Diesel Combustion", 01-3321.
- [8] Lanzafame, R., (1999), "Water Injection Effects In A Single-Cylinder CFR Engine",SAE International, 1999-01-0568.
- [9] Submarian, K.A., (2011),"A comparison of water–diesel emulsion and timed injection of water into the intake manifold of a diesel engine for simultaneous control of NO and smoke emissions. s.l. : Energy Conversion and Management", S. 849–857. 849–857.
- [10] Özcan, H. ve Söylemez, M.S., (2005), "Experimental Investigation of the Effects of Water Addition on the Exhaust Emissions of a Naturally Aspirated, Liquefied-Petroleum-Gas-Fueled Engine", Energy and Fuels, 19, 1468-1472
- [11] Ergeneman, M., Mutlu, M., Kutlar, O.A., ve Arslan, H.,(1998), "Taşıtlardan Kaynaklanan Egzoz Kirleticileri", Birsen Yayınevi, İstanbul, s.38-40.
- [12] Çakıroğlu, M.,(1996), "Motorlu Taşıt Trafiğinde Egzoz Emisyonları", İstanbul, 1. Ulusal Ulaşım Sempozyumu, 565-573.
- [13] Işıksoluğu, M. A.,(1997), "Dizel Motorlu Taşıtların Egzoz Gazındaki Duman Koyuluğu ve Ölçümde Karşılaşılan Sorunlar",Mühendis ve Makine Dergisi, 38, 453, 22-25.

- [14] Saraçoğlu, S., Borat, O.ve Gönülata, B., (1977), "İstanbul Ticaret Odası Seminerler Dizisi No:1",Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği, Marmara Bölgesinde Çevre Kirlenmesi Semineri, : Ağaoğlu Kitabevi,, 27-30 Eylül 1977, İstanbul.
- [15] Borat, O., Balcı, M., ve Sürmen, A., (1994), "Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği", Ankara, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları-3.
- [16] Bilginpek, H.,(1991), "Dizel Motorları", 30, MEB Basımevi ,İstanbul.
- [17] Balcı, M.,(1995), "Motorlu Taşıtlarda Kirletici Denetimi", Bursa : 4. Yanma Sempozyumu, 437-447.
- [18] Anonymous, (1995), Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Önlenmesi Paneli, Ankara, 72.
- [19] Anonymous,(1993), Bosch Teknik Bülten, Ankara, 26-27.
- [20] İçingür, Y., Çelikten, İ ., Salman, M.S., ve Koca, A.,(1995), "Dizel Motorlarında Servis Koşullarından Kaynaklanan Emisyonların Deneysel Olarak İncelenmesi", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü III. Ulusal Sempozyumu, Ankara, 156-167.
- [21] Chan, M., Das, S., ve Reitz, R.D.,(1997), "Modelling Multiple Injection and EGR Effects on Diesel Engine Emissions", SAE Paper No: 972864.
- [22] Soruşbay, C., (1989), "İçten Yanmalı Motorlarda Egzoz Gazları Emisyonu",İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.[23] U.S. Environmental Protection Agency,(1982), "Air Quality Criteria for Nitrogen Oxides", DC, U.S. Government Printing Office, Report No: EPA 600/8-82-06, Washington.
- [24] De Neuers, N.,(1995), "Air Pollution Control Engineering", McGraw-Hill International Editions, Singapur.
- [25] Demirsoy, M., (2003), "Benzin ve Dizel Motorları Egzoz Gazlarının Temizlenmesi İçin Alınan Tedbirler" Dokuz Eylül Üniversitesi Denizli Mühendislik Fakültesi, Denizli.
- [26] Leuckel, W., (1985), "Schadstoffbildung bei industriellen Verbrennungsanlagen und primäre Minderungsmaßnahmen", 1. Tecflam Seminer,. Heidelberg,.
- [27] De Soete, G.,(1981), "Physikalisch-Chemische Mechanismen beider Stickoxidbildung in industriellen Flammen Gas Wärme international", Bond.
- [28] Olcay, T., ve Alp, K.,(1996), "Hava Kirlenmesi Kontrolü", Ticaret Odası, 1996-36, İstanbul.
- [29] Kahraman, F., Sever, K., ve Karadeniz, S., (2003), "Endüstriyel Çalışmada Mekanik Tehlikeler", Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü -Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2006 (1) 33-44, Bornova, İzmir
- [30] İçin, E., Tezer, E., (1997), "Egzoz Gazlarının Çevreye Etkisinin Azaltılması İçin Otomotiv Sektöründe Alınacak Önlemlerin Ekonomik Yönü", Seminer Egzoz Gazlarının Çevreye Etkileri, 15 Nisan 1996, Türkiye'deki Humboldt Bursiyerleri Derneği Yayın No:1, s.104-120, İstanbul.

- [31] Salanina, S., ve Zhang, Y.,(2004), "Aerosols: Connection between regional climatic change and air quality–(IUPAC technical report), Pure and Applied Chemistry", 76(6), 1241- 1253.
- [32] Özdemir, O.,(2005), "Sağlık ve Toplum Dergisi", Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Sayı:1, Ankara.
- [33] Aksay, C. S., Ketenoğlu, O., ve Kurt, L., (2005) "Küresel Isınma ve İklim Değişikliği", S Ü Fen Ed Fak Fen Dergisi, Sayı 25 (2005) 29 -41, Konya.
- [34] Eraslan, İ.,(1988), "Hava Kirliliğinin Kent ve Orman Ağaçlarına Etkisi ve Çevre Mevzuatımız", Çevre'88: Dördüncü Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi , 5-9 Haziran, 1988, İzmir.
- [35] Möller, D.,(2004), "The tropospheric ozone problem", Arhiv Za Higijenu Radai Tokikologiju, 55(1), 11-23.
- [36] Papset, F.,(1993), "Low emission natural gas engines for commercial vehicles", Institution Mechanical Engineers, automobile emission and combustion, MEP, 195-201.
- [37] Suess, M.J. ve Craxford, S.R., (1976), "Manual on Urban Air Quality Management,. Copenhagen", WHO Regional Publ., European Series No 1, WHO Kopenhag.
- [38] Rigas, M. L., Ben-Jebria, A., ve Ultman, J. S., (1997) "Longitudinal distribution of ozone absorption in the lung: Effects of nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and ozone exposures", Archive of Environmental Health, 52, 173-178.
- [39] Morgan W. K. C., Reger, R. B., ve Tucker, D. M., (1997), "Health effect of diesel emissions, The Annals of Occupational Hygiene", 41(6), 643-658.
- [40] Seinfeld, J.H., (1990), "Air Pollution - Physical and Chemical Fundamentals", McGraw-Hill Book Comp.
- [41] Heywood, J.B., (1988), "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill Publishing Company s.586-592, NewYork.
- [42] Khan, I.M., ve Wang, C.H.T., (1973), "Factors Affecting Emissions of Smoke and Gaseous Pollutants from Direct Injection Diesel Engines, Lucas Engineering Review", Vol.6, No.2, Kasım.
- [43] Kohketsu, S., Mori, K., Sakai, K., ve Hakozaiki, T., (1997), "EGR Technologies for a Turbocharged and Intercooled Heavy-Duty Diesel Engine", SAE Paper, No: 970340.
- [44] Narusawa, K., Odaka, M., Koike, N., Tsukamat, Y., ve Yoshida, K., (1990), "An EGR Method for Heavy-Duty Diesel Engines Under Transient Operations", SAE Paper, No: 900444.
- [45] Directive as last amended by Commission Directive 2006/51/EC,. OJ L 275, (OJ L 152, 7.6.2006),. 2005, s. p.11.
- [46] Dickey, D.W., T.W. Ryan, and A.C. Matheaus., (1998), "NO_x Control in Heavy-Duty Diesel Engines-What is the Limit", SAE, No. 980174.

- [47] Mark J., Morey C., (1999), "Diesel Passenger Vehicles and the Environment", Union of Concerned Scientists.
- [48] Krieger, R.B., R.M. Stewart, K.A. Pinson, N.E. Gallopoulos, D.L. Hilden, D.R. Monroe, R.B. Rask, A.S.P. Solomon, and P. Zima., (1997), "Diesel Engines: One Option to Power Future Personal Transportation Vehicles," Proceedings of the 1997 Diesel Engine Emissions Reduction Workshop", Temmuz 28-31, La Jolla, California : Washington
- [49] Sawyer, R.F. and J.H. Johnson., (1995), "Diesel Emissions and Control Technology in Diesel Exhaust: A Critical Analysis of Emissions, Exposure, and Health Effects", Health Effects Institute, Nisan 1995, Cambridge.
- [50] Manufacturers of Emission Controls Association (MECA), (2007), "Emission Control Technologies for Diesel-Powered Engines" Aralık, 2007.
- [51] Ashley, S., (1997) "Diesel cars come clean". Mechanical Engineering Magazine, August,199(8), 52–56.
- [52] Kimura, S., Y. Matsui, and M. Koike., (1998) "New Combustion Concept for Simultaneous Reduction of NO_x and Particulate Emissions from Small DI Diesel Engines - Congress of the International Federation of Automotive Engineering Societies", <http://www.sia.fr/publications.nsf>, June 1998.
- [53] Hoelzer, J., Zhu J., Savonen C.L., Kharas K.C.C., Bailey O.H., Miller M., and Vuichard J., (1997), "Proceedings of the 1997 Diesel Engine Emissions Reduction Workshop", Temmuz 28-31, Washington : DC: DOE,.
- [54] Bunting, B, Cunningham M.J., and Miller R.K., (1998), "A Diesel Perspective on Lean NO_x Catalysts, Diesel Engine Emissions Reduction Workshop", Castine, Maine.
- [55] T. Hammer, S. Broer, (1998), "SAE Technical Paper" , Series No. 982428.
- [56] Penetrante, B.M., Brusasco R.M., Merritt B.T., Pitz W.J., Vogtlin G.E., Kung M.C., Kung H.H., Wan C.Z., and Voss K.E., (1998), "Plasma-Assisted Catalytic Reduction of NO_x", SAE Papers, No. 982508.
- [57] Lee, R., Pedley J. and Hobbs C., (1998), "Fuel Quality Impact on Heavy Duty Diesel Emissions: - A Literature Review", SAE Papers, No. 982649.
- [58] Fleisch, T., McCarthy C., Basu A., Udovich C., Charbonneau P., Slodowske W., Mikkelsen S., and McCandless J.M., (1995), "A New Clean Diesel Technology: Demonstration of ULEV Emissions on a Navistar Diesel Engine Fueled with Dimethyl Ether", SAE Papers, No. 95006.
- [59] Kapus, P., and Ofner H., "Development of a Fuel Injection Equipment and Combustion System for DI Diesels Operated on Dimethyl Ether", SAE Papers. No. 950062.
- [60] Maricq, M.M, Chase R.E., Podsiadlik D.H., Siegl W.O. and Kaiser E.W., (1998), "The Effect of Dimethoxy Methane Additive on Diesel Vehicle Particulate Emissions", SAE Paper, No. 982572.

- [61] Glasstone, S., (1982) "Energy deskbook-Power resources; Power (Mechanics); Handbooks", Technical Information Center, Dept. of Energy (Oak Ridge, Tenn.) ,Book (ISBN 087079468X), U.S.
- [62] Ramavajjala, M., Palekar V., Slone R., and Yowell G., (1997), "Fuel Additives for In-Cylinder NO_x Reduction from Diesel Engines, Proceedings of the 1997 Diesel Engine Emissions Reduction Workshop", La Jolla, CA, Temmuz 28-31,1997, DC: DOE Washington,.
- [63] F. Bedford, Rutland, C.,(2000), "Effects of Direct Water Injection on DI Diesel Engine Combustion", SAE International, 2000. 2000-01-2938.
- [64] Peavy, S.H., Rovve, D.R. ve Tchoboglous, G., (1986), "Environmental Engineering", McGraw-Hill Book Comp.
- [65] Mollenhauer, K. ve Tschoeke H., (2010), "Handbook of Diesel Engines", Berlin, Springer.
- [66] Ladommatos, N., "NO_x Control Using Egr,. West London", Brunel University of West Londra.
- [67] Samec N. , Dibble R. , Chen Y V, "Reduction of NO_x and Soot Emission by Water Injection During Combustion in a Diesel Engine", F20001075

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emre ORAK
Doğum Tarihi ve Yeri : 15.08.1986 / İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : emreorak@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lise	Fen-Matematik	Kabataş Erkek (Anadolu) Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011-...	Yıldız Teknik Üniversitesi Otomotiv A.B.D.	Araştırma Görevlisi
2010-2011	TGS Yer Hizmetleri A.Ş.	Kalite Uzmanı
2008-2009	Saim Ülker Proje Group	Şantiye Şefi/Proje Müh.
2006-2008	Ekin Mühendislik İnş. San. Ltd. Şti.	Proje Mühendisi