T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EGZOZ GAZI İÇERİSİNDEKİ SU BUHARININ KURUTULMASI ve SİSTEMİN EMİSYONLAR ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

NURETTİN ALİ DAŞDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. MUAMMER ÖZKAN

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EGZOZ GAZI İÇERİSİNDEKİ SU BUHARININ KURUTULMASI
ve
SİSTEMİN EMİSYONLAR ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

NURETTİN ALİ DAŞDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. MUAMMER ÖZKAN

İSTANBUL, 2015

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EGZOZ GAZI İÇERİSİNDEKİ SU BUHARININ KURUTULMASI ve SİSTEMİN EMİSYONLAR ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Nurettin Ali DAŞDEMİR tarafından hazırlanan tez çalışması 04.06.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Muammer ÖZKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Muammer ÖZKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç.Dr. Özgen AKALIN

İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Yrd.Doç. Dr. Tarkan Sandalcı

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Bu çalışma egzoz gazı ile dışarı atılan, aslında çoğu yayın ve makalede zararsız diye yazılan, gerçeğinde riskli bir emisyon olan su buharını tutmaya yöneliktir. Çalışmanın asıl esin kaynağı, maliyetleri çok yüksek olan emisyon cihazlarının ömrünün su buharı sebebi ile azalmasını önlemektir.

Tez çalışmasının oluşum sürecindeki değerli tavsiye ve yardımlarından dolayı tez danışmanım Doç. Dr. Sn. Muammer Özkan'a, ağabeyliğini, arkadaşlığını ve değerli görüşlerini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Sn. Orkun Özener'e ve çalışmalarımı maddi/manevi destekleyen böyle bir çalışmayı yapabilmem için imkan sağlayan FORD OTOSAN'a çok teşekkür ederim.

Ve, teşekkürlerimin ve şükranlarımın en büyüğü hayat arkadaşım, kadim dostum, biricik eşim Sevgi Daşdemir'e çok büyük destekleri ve gösterdiği büyük sabrınadır.

Emeklerini üzerimden eksik etmeyen aileme özel bir teşekkürü borç bilirim.

MAYIS, 2015

NURETTİN ALİ DAŞDEMİR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ xi

ÇİZELGE LİSTESİ xii

ÖZET xiv

ABSTRACT xvi

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 1
1.3 Hipotez 2
1.4 İçten Yanmalı Motor Kaynaklı Emisyonlar 2
1.4.2 Dizel Motor Kaynaklı Emisyonlar 4
1.4.2.1 Karbonmonoksit (CO) 4
1.4.2.2 Karbondioksit (CO_2) 5
1.4.2.3 Azotoksit Bileşikleri (NO_x) 5
1.4.2.4 Hidrokarbon (HC) 6
1.4.2.5 Kükürtoksit Bileşikleri (SO_x) 7
1.4.2.6 Partikül Maddeler (PM) 8
1.5 Emisyonlarla İlgi Yasal Zorunluluklar 8
1.5.2 Uluslararası Standartlar 9
1.5.3 Ulusal Standartlar 10
1.6 Dizel Motor Emisyonlarını Azaltma Yöntemleri 10

BÖLÜM 2

DENEYDE KULLANILAN YÖNTEM VE MATERYALLER 13

2.1 Yöntemler 13

2.1.1 Gerekçe 13
2.1.2 Emisyon Ölçüm Yöntemi ve Regülasyon Değerleri 14
2.1.2.2 FIA Ölçüm Yöntemi ve FID Analizörü 15
2.1.2.3 NDIR Ölçüm Yöntemi ve NDIR Analizörü 17
2.1.2.4 CLA Ölçüm Yöntemi ve CLD Analizörü 18
2.1.2.5 MPA Ölçüm Yöntemi ve PMD Analizörü 19
2.1.2.6 PM Ölçüm Yöntemleri 21
2.1.2.7 Emisyon Cihazı Ölçüm Lokasyonları 23
2.1.3 Kurutma ve Nem Alma Yöntemleri 23
2.1.3.1 Nem Alma Sistemleri 23
2.1.3.2 Kurutmada Kullanılacak Isı Kaynakları ve Isının Aktarılması 25
2.1.3.3 Kurutmanın Temel Mekanizması 28
2.1.3.4 Kurutma Yöntemleri 28
2.1.4 Test Yöntemleri 31
2.1.4.1 Test Çevrimleri 31
2.2 Kullanılacak Materyaller 35
2.2.1 Motor Seçimi 35
2.2.2 Test Odası Şartları ve Sabit Tutulan Değerler 37
2.2.3 Kullanılacak Yakıtın Belirlenmesi ve Analizi 39
2.2.4 Egzoz Gazı Kurutucu Ünite Tasarımı 41
2.2.5 Deney Düzeneği 44
2.2.5.2 Test Düzeneği Hazırlığı 45

BÖLÜM 3

EMİSYON ÖLÇÜM ANALİZLERİ 47

3.1 Emisyon Ölçüm Analizleri 47
3.1.1 O_2 Analizi 47
3.1.2 CO_2 Analizi 50
3.1.3 CO Analizi 53
3.1.4 NO_x Analizi 56
3.1.5 THC Analizi 59

BÖLÜM 4

EKONOMİK SONUÇLAR 63

4.1 Maliyet Çalışması 63

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER 65

KAYNAKLAR 68

ÖZGEÇMİŞ 71

SİMGE LİSTESİ

A	Isı transferi kesit alanı	(m^2)
L	Etkin uzunluk	(m)
C	Özgül ısı	($j.kg^{-1}.K^{-1}$)
H	Entalpi	($kj.kg^{-1}$)
m	Kütlesel debi	($kg.s^{-1}$)
T	Sıcaklık	(^oC)
ρ	Yoğunluk	($kg.m^{-3}$)
v	Viskozite	($N.s.m^{-2}$)
k	Isı iletim katsayıs	($W.m^{-1}.K^{-1}$)
Nu	Nusselt sayısı	
Re	Reynolds sayısı	
U	Toplam ısı geçiş katsayıs	($W.m^{-2}.K^{-1}$)
Ɛ	Hacimsel sıkıştırma oranı	
K	Özgül ısı kapasitesi oranıdır.	
A	Soğutucu yüzey alanı	(m^2)
cp	Sabit basınçta özgül ısı	(kJ/kgK)
cv	Sabit hacimde özgül ısı	(kJ/kgK)
n	Devir sayısı	(d/d)
S	Strok boyu	(cm)
ΔT	Sıcaklık farkı	(^oC)
λ	Hava fazlalık katsayısı	
θ_{LMTD}	Limit ısı oranı	
h1	Isı transfer katsayısı- sıcak taraf	($W.m^{-2}.K^{-1}$)

h2	Isı transfer katsayısı- soğuk taraf	($W.m^{-2}.K^{-1}$)
Q_{egz}	Egzoz ısı transferi	(kJ/h)
T	Sıcak akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları	(^oC)
t	Soğuk akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları	(^oC)

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa birliği
AFR	Air / Fuel Ratio (hava/yakıt oranı)
AFS	Air flow sensor
AÖN	Alt Ölü Nokta
CFCs	Kloroflourkarbonlar
CH_4	Metan
CLA	Chemo Luminescence analyser
CLD	Chemo Luminescence Detector
CO	Karbonmonoksit
CO_2	Karbondioksit
CRT	Sürekli rejenerasyon
CCRT	Sürekli katalitik rejenerasyondur
DDT	Gaz bileşeni emisyon türü
DPF	Diesel Particulate Filter
EAB	Enjektör Açılma Basıncı
ECE	Economic Commission for Europe (Avrupa Ekonomik Komisyonu)
EEC	European Economic Community (Avrupa Ekonomik Topluluğu)
EGGD	Egzoz Gazı Geri Dönüşümü
EGR	Exhaust gas recirculation
EKÜ	Elektronik Kontrol Ünitesi
EN 590	European diesel fuels standard
EPA	ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY , Amerika regülasyonu
EUI	Eletronic Unit Injector
FIA	Flama ionisation analyser

FID	Flame ionisation detection
H	Hidrojen
HC	Hidrokarbon
HFCs	Hidroflorokarbonlar
HFK	Hava Fazlalık Katsayısı
H_2	Hidrojen gazı
H_2CO_3	Karbonik asit
H_2O	Su
H_2SO_4	Sülfürik asit
HNO_3	Nitrik asit
HRCC	Yüksek sıkıştırma oranlı yanma odası
IR	Infrared (kızılötesi)
JIS	Japanese Industrial Standards
KA	Krank Açısı
KMA	Krank Mili Açısı,
Max	Maksimum
MPA	Magneto pneumatic analyser
$MtCO_2e$	Milyon ton karbondioksit eşdeğeri
N	Azot
NAPS-Z	Nissan'nın yanma odası tasarımı
NDIR	Non Dispersive InfraRed
NIK	Negatif Isı Katsayılı Direnç
NH_3	Amonyak (üre)
NO	Azotokit
NO_x	Azotoksitler
NO_2	Azotdioksit
N_2	Azot Gazı
N_2O	Dizazotmonoksit
N_2O_2	Dizazotdioksit
O	Oksijen
OBD	On Board Diagnostic System
OH	Hidroksit
O_2	Oksijen gazı

O_3	Ozon
P	Fosfor
PAH	Polinükleer aromatik hidrokarbonlar
Pb	Kurşun
PBC	Kimyasal bileşen
Pd	Paladyum
PFCs	Perflorokarbonlar
pH	Power of Hydrogen
PM	Partikül Madde
PMD	Para Magnetic Detector
Ppm	Parts per million (milyonda bir parça)
PS	Pferdestärke (Beygir Gücü)
Pt	Platin
PVC	Vinilklorid
Rh	Rhodium
SCR	Selective Catalytic Reduction
SFC	Specific Fuel Consumption
SF_6	Sulfürheksaflorid
SO_2	Kükürtdioksit
SO_3	Kükürttrioksit
SPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
THC	Total hidrokarbon
ULEV	Ultra- Low Emission Vehicle
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
ÜÖN	Üst Ölü Nokta
VGT	Variable geometry turbocharger

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Motorlu taşıttaki kirletici emisyon noktaları [9]. 3
Şekil 1.2 Dünyadaki emisyon standartları 10
Şekil 1.3 NOx Emisyonlarını Kontrol Etmede Kullanılan Çeşitli Yöntemler [14] 12
Şekil 2.1 Cutter çalışma prensibi [16] 16
Şekil 2.2 FID analizörü çalışma prensibi [16] 16
Şekil 2.3 NDIR ölçüm yöntemi 18
Şekil 2.4 CLD ölçüm yöntemi [18] 19
Şekil 2.5 PMD ölçüm yöntemi 20
Şekil 2.6 PMD ölçüm yöntemi şemetik gösterimi [18] 21
Şekil 2.7 PM ölçüm yöntemi 22
Şekil 2.8 Biriktirme ile ölçüm yöntemi 22
Şekil 2.9 Emisyon cihazı örnekleme lokasyonları 23
Şekil 2.10 Soğuk yüzeyde soğutarak nem tutma yöntemi [20] 24
Şekil 2.11 Ters akış prensibine göre çalışan ısı değiştiricili model 26
Şekil 2.12 Psikrometrik diyagram 30
Şekil 2.13 Motor üzerinde yapılan enstrumantasyonlar 36
Şekil 2.14 Egzozdan alınan örnekleme için hazırlanan test düzeneği 44
Şekil 2.15 Spiral şeklindeki krom boru 45
Şekil 2.16 Isı değiştirici imalatı 46
Şekil 2.17 Egzoz ölçüm sistemine entegresi 46

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 Kişi Başı Sera Gazı Emisyonu [6] 3
Çizelge 1.2 Avrupa Birliği standartlarına göre izin verilen kükürt seviyesi [5]. 7
Çizelge 1.3 Dizel motorundan kaynaklanan partikül madde oranları [5]. 8
Çizelge 1.4 Hafif taşıtlar için AB standartları 9
Çizelge 1.5 Ağır taşıtlar için AB standartları 9
Çizelge 1.6 NO_x emisyonlarını azaltmada kullanılan yöntemlerin etkileri [14] 12
Çizelge 2.1 Emisyon ölçüm metotları 15
Çizelge 2.2 FID ölçümü regülasyon limitleri [15] 17
Çizelge 2.3 NDIR ölçümü regülasyon limitleri 18
Çizelge 2.4 CLD ölçümü regülasyon limitleri [15] 19
Çizelge 2.5 PMD analizörleri ve regülasyon limitleri [15] 21
Çizelge 2.6 Bazı malzemelerin ısı iletim katsayı değerleri [21] 27
Çizelge 2.7 Kurutma yöntemleri 29
Çizelge 2.8 Fuel Loop Testi 32
Çizelge 2.9 Fuel Loop Test Çevrimi 33
Çizelge 2.10 Partial Fuel Loop Testi 34
Çizelge 2.11 Partial Fuel Loop Test Çevrimi 34
Çizelge 2.12 PUMA motoru Güç ve moment karakteristiği değerleri 35
Çizelge 2.13 PUMA motoru Güç ve moment karakteristiği grafiği 36
Çizelge 2.14 Partial Fuel Loop Testi Ara Değerleri Kütle Gösterimi 37
Çizelge 2.15 Egzoz Gazı Emisyon Oran Dağılımı 37
Çizelge 2.16 Yakıt analiz değerleri ve regülasyon limitleri 41
Çizelge 2.17 Isı değiştirici tasarımı için alınan sabit değerler 42
Çizelge 3.1 Partial Fuel Loop Testi O_2 analizi (Chiller Devrede) 48
Çizelge 3.2 Fuel Loop Testi O_2 Analizi (Chiller Devrede) 49

Çizelge 3.3 Fuel Loop Testi O_2 Analizi (Chiller Kapalı) 50
Çizelge 3.4 Partial Fuel Loop Testi CO_2 Analizi (Chiller Devrede).....51
Çizelge 3.5 Fuel Loop Testi CO_2 Analizi (Chiller Devrede).....52
Çizelge 3.6 Fuel Loop Testi CO_2 Analizi (Chiller Kapalı) 53
Çizelge 3.7 Partial Fuel Loop Testi CO Analizi (Chiller Devrede).....54
Çizelge 3.8 Fuel Loop Testi CO Analizi (Chiller Kapalı Tek Gün Ölçümü).....55
Çizelge 3.9 Fuel Loop Testi CO analizi (Chiller Devrede) 56
Çizelge 3.10 Partial Fuel Loop Testi NO_x Analizi (Chiller Devrede) 57
Çizelge 3.11 Fuel Loop Testi NO_x Analizi (Chiller Devrede).....58
Çizelge 3.12 Fuel Loop Testi NO_x Analizi (Chiller Kapalı) 59
Çizelge 3.13 Partial Fuel Loop Testi THC Analizi (Chiller Devrede) 60
Çizelge 3.14 Fuel Loop Testi THC Analizi (Chiller Devrede) 61
Çizelge 3.15 Fuel Loop Testi THC Analizi (Chiller Kapalı Tek Gün Ölçümü) 62
Çizelge 4.1 Emisyon cihazı arızasının toplam maliyet tablosu 63
Çizelge 4.2 Deney düzeneği kurulum maliyeti.....64
Çizelge 5.1 Fuel Loop test sonuçları 65
Çizelge 5.2 Partial Fuel Loop test sonuçları 66
Çizelge 5.3 Testlere göre egzoz giriş ve çıkış değerleri.....66

ÖZET

EGZOZ GAZI İÇERİSİNDEKİ SU BUHARININ KURUTULMASI
ve
SİSTEMİN EMİSYONLAR ÜZERİNE ETKİSİ

NURETTİN ALİ DAŞDEMİR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Muammer Özkan

Bu çalışmanın amacı egzoz gazı içerisindeki su buharını uygun kurutma yöntemi ile tutmak ve değişimin emisyonlar üzerindeki etkisini incelemektir. Bu sayede motor testlerinde kullanılan emisyon cihazları egzoz buharı içerisindeki nemden etkilenmeyecek ve emisyon cihazı yüksek bakım ve tamir maliyetlerinden de kaçınılmış olacaktır.

Tez için Ford Transit minibüslerinde kullanılan dizel motor ile test sistemi kurulmuştur. Su buharını kurutabilmek için ısı transferi formülleri kullanılarak ısı değiştirici tasarımı yapılmış, imalatın ardından ölçüm sistemine entegre edilmiştir.

Kurutucu tasarımı sayesinde, örnek gaz içerisindeki su buharının yoğuşması sağlanmış, gaz sıcaklığı 110^{o}C'den 13^{o}C'ye düşürülmüş, emisyon cihazları için aşırı nemli bölgedeki % 100 bağıl nem üzerindeki tehlikeli nem oranı sınırı % 80'e indirilmiştir. Test sonu grafikleri incelendiğinde kurutucu kullanılmadığı durumda ölçüm sonuçlarının THC, NO_x, CO_2,ve O_2 için yaklaşık %40 hatalı olduğu gözlenmiştir.

Emisyon ölçüm cihazlarının kullanım kılavuzunda yer alan sınır nem değerinin üzerindeki ölçümlerde verdikleri sonuçlar güvenilir değildir. Aşırı nemli bölge şartlarına

giren egzoz gazı numunelerinin ölçümlerinden önce, bağıl nem değerinin sınır değerler arasına çekilmesi gerekir. Bu durum, emisyon ölçümü öncesi, egzoz gazını kurutulmasını zorunlu kılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Emisyon, Su buharı, Kurutucu, Egzoz Gazı, Nem, Motor Testi, Araç Testi

ABSTRACT

DRYING OF WATER VAPOR WITHIN EXHAUST GAS

and

THE EFFECT OF DRYER ON EMISSIONS

NURETTİN ALİ DAŞDEMİR

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Muammer Özkan

This is the purpose of the work to keep the water vapor in the exhaust gas with the appropriate drying method and to examine the impact of on the emissions. Thus emission devices used in engine tests will not be affected from humidity within exhaust gas and it will be avoided high maintenance and repair costs.

The test system has been established with diesel engine used in Ford Transit minibus for thesis. Heat exchanger is designed using heat transfer formulas to dry the water steam, it has been integrated after the manufacture into measurement system.

Thanks to the dryer design, provided the condensation of water steam in the sample gas, gas temperature is reduced from 110°C to 13°C, dangerous humidity of over 100% limit for emission devices is reduced to 80% range. When the end of test graphics examined, it was observed incorrect results about 40% on THC, NO_x, CO_2, CO and O_2 emissions without dryer system.

Over range of humidity measurement results are not reliable that limit humidity value located in the manual of emission measurement devices. Before measurement of samples of exhaust gas in extreme humidity conditions, relative humidity should be reduced within limits. In this case, drying of the exhaust gas is required before the emission measurement.

Keywords: Emissions, Water Steam, Dryer, Exhaust Gas, Humidity, Engine Testing, Vehicles Testing

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Hava yeryüzündeki hayatın devamlılığı için gereken en temel unsurlardan biridir. Havanın bileşiminin bozulması hava kirliliği olarak tanımlanabilse de havanın bileşimini bozan her madde zararlı olmadığından dolayı hava kirliliğini çevreye zarar verebilecek maddelerin, hava ortamındaki, bitki, hayvan, insan ve eşyalara zarar verebilecek süre ve konsantrasyonda bulunması olarak tanımlamakta olup havadaki konsantrasyonu canlılara rahatsızlık ve/veya zarar verecek şekil değiştiren etmenler de emisyon olarak adlandırılmaktadır [1].

İçten yanmalı motorlardan kaynaklanan emisyonların azaltılması için, öncelikle içten yanmalı motorlardan yayılan emisyonların tespiti gerekir.

1.2 Tezin Amacı

Emisyon ölçüm yöntemine bağlı olarak, egzoz gazı içerisinde yer alan su buharının (nem) ölçüm sonuçları ile gerçek konsantrasyonlar arasında fark oluşturduğu bilinmektedir. Egzoz gazı içerisinde yer alan su buharının artması ölçüm sonuçları ile gerçek konsantrasyonlar arasındaki farkı arttırmaktadır. Nem açısından, egzoz gazı ölçüm cihazları güvenilir çalışma aralığı cihazların kullanım kılavuzunda verilmektedir. Her ne kadar günümüz teknoloji seviyesinde üretilen gaz analiz cihazları nem alma sistemlerine sahip olsada, aşırı nemli bölgedeki gaz numuneleri için bu sistemler yeterli olmamaktadır. Numunenin ölçüm için gerekli sınır nem değerinin üzerine çıkması

ölçüm sonuçlarının gerçek değerlerden sapmalarına neden olmasıyla birlikte, cihaz arızalarınıda beraberinde getirmektedir.

Bu nedenle egzoz gazı içerinde su buharı konsantrasyonunun artmasına neden olan emisyon azaltma yöntemlerinin kullanıldığı motorlarda, egzoz gazının kurutulması gerçeği ortaya çıkmaktdır.

1.3 Hipotez

Egzoz gazı içerisindeki aşırı nemi almak için tasarlanan su buharı ön yoğuşturma sistemi ile nem, egzoz içerisinden alındığı ve kurutulduğu takdirde ölçüm kararlılığı yüksek ve doğru emisyon değerleri alınabilecektir.

Bu çalışmada içten yanmalı motor egzoz gazı içerisindeki su buharının emisyonlar üzerine etkisi araştırılarak, kurutmanın emisyon değerleri üzerindeki etkisi yapılan testlerle ortaya koyulmuştur.

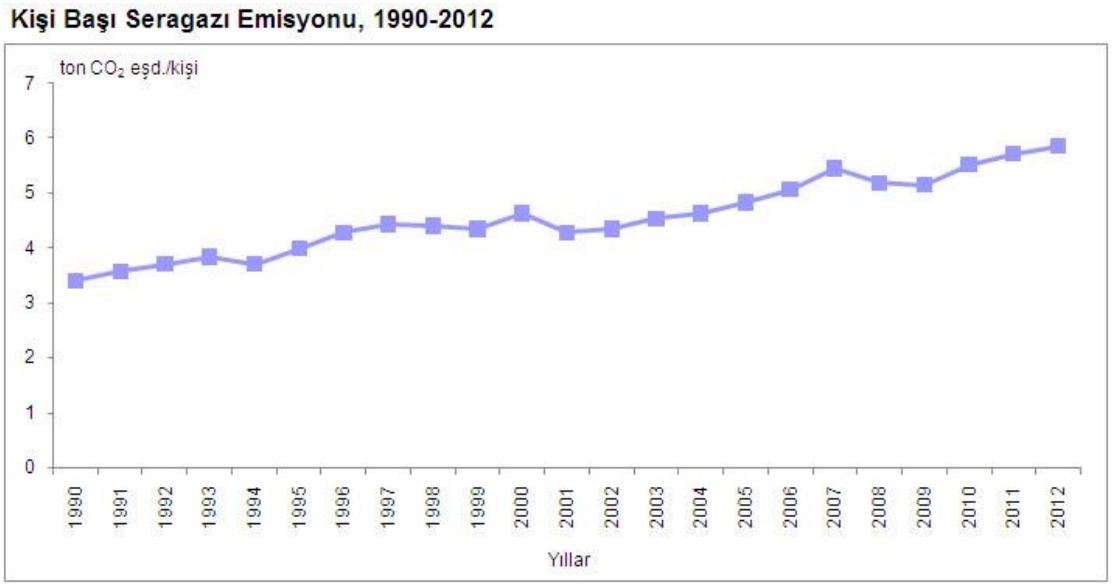
1.4 İçten Yanmalı Motor Kaynaklı Emisyonlar

Sanayileşmiş bölgelerdeki hava kirliliğinin yaklaşık %60-70'nin motorlu taşıtlardan kaynaklandığı tahmin edilmektedir [2]. Bu kirleticilerin özellikleri ve yoğunlukları motor tipine, motor kalibrasyonuna, kullanım tarzına, yakıt bileşimine ve atmosferik şartlara bağlıdır [4]. Bir insanın günlük ihtiyacı olan 15 m^3 temiz havayı bir tek taşıtın sadece 10 dakikalık bir süre içerisinde tehlikeli hale dönüştürmesi, kentlerdeki yüz binlerce taşıtın neden olduğu hava kirliliğinin boyutu hakkında bizlere yeterli bir fikir verebilir [5].

1990 yılında, Türkiye'deki emisyonlar, 187 milyon ton karbondioksit eşdeğeri olarak hesaplanmıştı. 2008 yılında, bu sayı neredeyse iki katına çıkarak 367 $MtCO_2e$'e ulaştı. Bu dönem süresince emisyonların yıllık büyüme oranı %3,8 oldu.

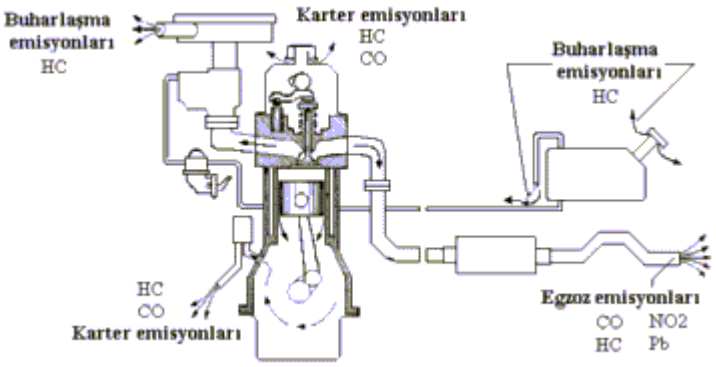
2012'ye gelindiğinde ise 439,9 Mt CO_2 eşdeğerine yükselmiştir. CO_2 eşdeğeri olarak 2012 yılı toplam sera gazı emisyonu 1990 yılına göre %133,4 artış gösterdi. 1990 yılında kişi başı CO_2 eşdeğer emisyonu 3,4 ton/kişi olarak hesaplanırken, bu değer 2012 yılında 5,9 ton/kişi olarak hesaplandı. Çizelge 1.1'de kişi başı sera gazı emisyon miktarı görülmektedir.

Çizelge 1.1 Kişi Başı Sera Gazı Emisyonu [6]



Dizel motorlar kaynaklı egzoz kompozisyonu ise büyük ölçüde motor tipi ve kullanım şartları, yakıt, yağlama yağı ve emisyon kontrol sistemi kullanılıp kullanılmadığına bağlı olarak değişmektedir. Dizel motorlu araçlar dizel motorların termal verimlerinin yüksek olması sebebiyle benzin motorlu araçlardan daha az CO ve yanmamış HC çıkarırlar. Fakat PM ve NO_x emisyonları hala yüksektir [7].

Bir taşıtın başlıca kirletici kaynakları; egzoz emisyonu, yakıt-yağ buharı, kurşun bileşikleri, asbest ve lastik tozları, aşınma, paslanma ve korozyon sonucu oluşan gaz, sıvı ve katı atıklarla kirletmektedir [8]. Şekil 1.1'de bir motorlu taşıttaki kirletici emisyon noktalar gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Motorlu taşıttaki kirletici emisyon noktaları [9].

Emisyon oranları farklı motorlar arasında CO, NOX ve HC emisyonları ateşleme zamanı, yük, hız ve belirli hava/yakıt oranı gibi değişkenlere bağlı olarak farklılık göstermektedir.

1.4.2 Dizel Motor Kaynaklı Emisyonlar

1.4.2.1 Karbonmonoksit (CO)

Karbonmonoksit yüksek toksidik özelliği olan kokusuz, renksiz, havanın yoğunluğuna yakın yoğunluğa sahip olan bir gazdır. Ülke çapındaki bütün CO emisyonlarının yaklaşık %60'ını, şehirlerde %95 kadarına karayolu taşıtları sebebiyet vermektedir. CO emisyonlarının diğer kaynakları şe endüstri prosesleri ile kazan ve cop yakma fırınlarında yakılan yakıtlar teşkil etmektedir [3]. Genellikle zengin yakıt karışımlarının oluşturduğu yanmanın sonunda oluşmaktadır. Normalde dizel motorlarda CO emisyon seviyesi düşüktür. Çünkü silindire giren hava fazladır. Genelde CO emisyon problemi eski benzinli motorlarda vardır [10]. CO (Karbon monoksit) motorun silindirlerindeki kötü yanma sonucunda, silindire alınan yakıtın bir kısmının, silindir içerisinde yanarken yetersiz oksijenden dolayı tam yanmaması ve yakıt molekülünün 2 yerine 1 oksijen ile birleşmesi ile ortaya çıkan zehirli gazdır. Karbonmonoksidin oksitlenme oranı silindir içerisindeki oksijen miktarına, gaz sıcaklığına ve reaksiyonun gerçekleşmesi için ne kadar zaman olduğuna (motor hızına) bağlı olarak değişir. CO'i kontrol etmenin en etkin yolu hava fazlalık katsayısını değiştirmektir.

CO atmosferde genellikle oksitlenerek CO_2'ye dönüşür. CO oksitlenme denklemi aşağıdaki akış ile gerçekleşir;

$$CO + OH \rightarrow CO_2 + H \qquad (1.1)$$

Karbon monoksitin oksijen taşıma kapasitesini azaltması sonucunda kandaki oksijen yetersizliği nedeniyle kan damarlarının çeperleri, beyin, kalp gibi hassas organ ve dokularda fonksiyon bozuklukları meydana gelir [5].

1.4.2.2 Karbondioksit (CO_2)

CO_2 (Karbondioksit) fosil yakıtların yanması sonucunda ortaya çıkan emisyonlardan biridir. İçeresinde Karbondioksitlerin bir kısmı tabiatta bitkiler tarafından fotosentez edilerek oksijene dönüştürülürken büyük bir kısmı sera gazı etkisi göstererek küresel ısınmaya sebep olmaktadır [5].

1.4.2.3 Azotoksit Bileşikleri (NO_x)

NO, NO_2, N_2O_2 ve benzeri bileşiklerin tümü NO_x olarak tanımlanmaktadır. Azot oksitler içinde NO, kokusuz bir gazdır. Genelde stokiyometrik orana yakın hava yakıt karışımlarında yanma sırasında NO oluşur. NO oluşumunu arttıran parametreler gaz sıcaklığı ve oksijen konsantrasyonudur. İçten yanmalı motorlarda yanma odasındaki sıcaklık 1800K'nin üzerine çıktığında, havanın içerisindeki azot ve oksijen kimyasal olarak birleşerek azot oksit denilen, insan sağlığına ve çevreye zararlı bir gaz hâline dönüşür [11]. Stokiyometrik karışımın bir miktar fakir tarafında (λ=1-1,1) NO oluşumu maksimum iken, karışım zenginleşip fakirleştikçe NO miktarı da azalır.

$$O + N_2 \leftrightarrow NO + N \quad (1.2)$$

$$N + O_2 \leftrightarrow NO + O \quad (1.3)$$

Yukarıdaki mekanizma hava fazlalık katsayısı (HFK) 0.8'den büyük olan zenginlikte veya fakir karışımlar için geçerlidir. HFK $\leq$ 0.8 olan karşımlarda ise;

$$N + OH \leftrightarrow NO + H \quad (1.4)$$

reaksiyonu önem kazanmaktadır.

Motorda yanma yüksek basınç altında olduğundan alev bölgesi çok incedir (~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 [12].

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

$NO + HO_2 \leftrightarrow NO_2 + OH$ [10] (1.5)

Nitrik asit oluşumuna sebep olur. Çevre şartlarında kararsızdır ve oksijenle birleşerek NO_2'ye dönüşür. Maksimum Atmosfer değeri 9 mg/$m^{3'}$ tür [19]. NO_2, keskin kokulu kırmızı kahverengi karışımı bir gazdır. Düşük yoğunlukta olması halinde bile akciğeri tahriş eder, dokulara ve mukoza zarına zarar verir.

Azot oksitler, kandaki hemoglobin ile birleşmektedir. Ciğerdeki nemle birleşerek nitrik asit oluştururlar. Oluşan asit miktarının konsantrasyonunun azlığı nedeniyle etkisi de az olmaktadır. Ancak zamanla birikerek solunum yolu hastalıkları bulunan kişiler için tehlike oluşturmaktadır [11]. Ayrıca NO_x'ler aeresol ve fotokimyasal duman oluşumu ile ozon tabakasının tahribine yol açmaktadırlar [13].

Akciğerlerin çalışmasını bozar, mukoza zarını tahriş eder ve felç yapıcı etkisi vardır. Maksimum atmosfer değeri 9 mg/$m^{3'}$ tür.

1.4.2.4 Hidrokarbon (HC)

Yakıtın tam yanmaması, yakıtın tutuşamaması ve benzinin (yakıt deposundan veya dolum sırasında) buharlaşması neticesinde ortaya çıkarlar. Yaklaşık olarak motora giren yakıt miktarının %1-1.5'ini oluştururlar [3].

Motorun silindirlerindeki kötü yanma sonucunda silindire alınan yakıtın bir kısmının ateşleme zamanında yanmadan kalması ve egzozdan benzin buharı olarak atılmasıdır. Hidrokarbonlar, azot oksit ve güneş ışığı etkisi ile ozon meydana getirir. Bazı hidrokarbonlar mukozada tahrişe yol açar, bazıları ise kanserojendir (katran zift gibi) [5].

Hidrokarbonlar; yanmamış ve kısmen yanmış hidrokarbonlar olarak yakıtın yanması sonucu oluşurlar.

Yanmamış Hidrokarbonlar C_nH_m olarak gösterilirler. Parafinler, olefinler ve aromatik hidrokarbonlardır [5].

Kısmen yanmış hidrokarbonlar, aldehitler (C_nH_m.CHO), ketonlar (C_nH_m.CO), karboksilik (C_nH_m.COOH), karbonmonoksitlerdir (CO) [5].

1.4.2.5 Kükürtoksit Bileşikleri (SO_x)

Dizel yakıtlarda az da olsa kükürt bulunur. Yakıttaki kükürt, silindir içinde yanarak kükürt dioksiti oluşturur. Kükürtdioksit (SO_2); renksiz, sert kokulu, yanmaz, patlamaz bir gazdır. Günümüzde yakıt içerisindeki kükürt oranı 10 ppm mertebelerine düşürülmüştür [3]. Sülfürdioksit tahriş edicidir. Buna rağmen burun mukozasında kolayca çözülebildiği için ciğerleri etkileme olasılığı oldukça düşüktür. Ancak canlıların savunma mekanizmalarını zayıflattığı için diğer kirleticilerin etkilerinin artmasına sebep olmaktadır [10].

SO_2 oksijenle de birleşebilir. Bu durumda ise kükürt trioksit oluşur. Kükürt trioksitte çok zehirli bir gazdır [3].

Kükürtdioksit (SO_2) su buharı ile birleşerek sülfürik asit (H_2SO_4) oluşturabilirler. Sülfürik asit yüksek derecede asidik bir bileşen olup canlı ve cansız varlıkları büyük ölçeklerde etkilemektedir.

SO_2 oksijenle birleşebilir. Bu durumda ise kükürt trioksit (SO_3) oluşur. Kükürt trioksitte çok zehirli bir gazdır [3]. Yanma sırasında oluşan SO_3 motor soğukken yoğuşan su buharı ile birleşir ve süfürik aside (H_2SO_4) dönüşür. Motor yağına karışan sülfürik asit motordaki segmanlar, yataklar gibi motor aksamını aşındırır ve motor ömrünü kısaltır [5].

Egzoz gazı emisyon standartları ile birlikte Avrupa'da auto-oil programları ile dizel yakıt standardı (EN 590) altına alınarak geliştirilmektedir.

Yakıttaki sülfür miktarı, PM emisyonları ve diğer olumsuz etkileri nedeniyle emisyon seviyeleri ile birlikte sürekli azaltılmaktadır. Çizelge 1.2'deki değerler bu azalışın yıllara göre durumunu vermektedir.

Çizelge 1.2 Avrupa Birliği standartlarına göre izin verilen kükürt seviyesi [5].

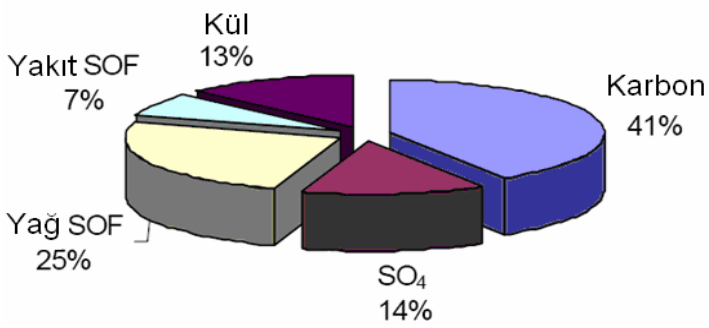
Emisyon Seviyesi	Yıllar	Sülfür Miktarı (ppm)	Sülfür Miktarı (%)
EURO 1 / 2	1998	500 ppm	0.050%
EURO 3	2000	350 ppm	0.035%
EURO 4	2005	50 ppm	0.005%
EURO 5 / 6	2009/2015	10 ppm	0.001%

1.4.2.6 Partikül Maddeler (PM)

Partikül maddeler katı karbonlu malzeme, kül, uçucu organik ve kükürt bileşiklerinden oluşur. Partikül maddeler, ulaşım araçlarında, endüstriyel proseslerde ve ısınma ihtiyacında yakıtların yanması sonucu oluşur. Dizel motorlu taşıtlarda partiküller, karbon, karbon-hidrojen bağları ve yakıttaki kükürtten kaynaklanan kükürt dioksit ve hidrojen sülfürden oluşmaktadır [3]. PM değerinin düşmesi için yanmanın kararlı ve düzgün bir şekilde gerçekleşmesi gerekmektedir [10].

Çizelge 1.3'te ağır hizmet tipi dizel motorundan kaynaklanan partikül madde kompozisyonunu göstermektedir [5].

Çizelge 1.3 Dizel motorundan kaynaklanan partikül madde oranları [5].



Partiküller çapları bakımından tehlike sınıflandırmasına tabidirler [3]. Dizel motorlarda oluşan partiküller ciğere girerek ciğeri yükleme etkileri gösterir. Bu sebeple ciğerin kendini temizleme mekanizması yavaşlayabilir ve diğer kirleticilerin kanserojen etkileri ortaya çıkabilir. Oluşan partiküllerin bir kısmı ise toksidik özelliktedir. Toksit özelliği olan partiküller canlılar üzerinde kanserojen etki oluşturmaktadır. PM değerinin düşmesi için yanmanın kararlı ve düzgün bir şekilde gerçekleşmesi gerekmektedir [10].

1.5 Emisyonlarla İlgi Yasal Zorunluluklar

Endüstriyel işletmeler, üretimde kullanılan yakıtların yanma sonrası çevreye yaydıkları zehirli gazlar ve diğer zehirli bileşikler nedeniyle insan ve çevre sağlığı açısından son derece zararlı etkiler taşımaktadırlar. Bu emisyonlar resmi yönetimlerce uluslararası çevre protokollerinde izin verilen maksimum değerlerin altında çevreye verilmelidir.

Avrupa Birliği'nde emisyon gereksinimleri hafif taşıtlar için 1970'li yıllar öncesinde, ağır taşıtlar için 1980'li yılların sonlarında doğmuştur. Birleşmiş Milletler ve bazı Avrupa ülkelerinin önderliğinde, AB son olarak benzinli araçlarda katalitik konvertörlerin kullanımını zorunlu hâle getirmiştir. AB'nin getirdiği standartlardan önce belirli bir emisyon kuralına uymadan üretilen motorlara Noneuro (Euro standartları öncesi) motor denilmektedir. Daha sonraları ise getirilen sınırlamalar sonucu 1992-1993 yılları arasında Euro I, 1995-1996 yılları arasında Euro II, 2000 yılında Euro III, 2005 yılında Euro IV standartlarına geçilmiştir. 2009 yılında EuroV ve 2014 yılında da Euro VI sınırlamasına geçilmesi planlanmıştır [5].

Hafif ve ağır taşıtlardaki emisyon standartlarının yıllara göre sayısal değerleri Çizelge 1.4 ve Çizelge 1.5'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 1.4 Hafif taşıtlar için AB standartları

	Zaman	CO		HC		NOx		HC+NOx		PM	
		Dizel	Benzin	Dizel	Benzin	Dizel	Benzin	Dizel	Benzin	Dizel	Benzin
Euro1	1994	5.17	5.17	-	-	-	-	1.40	1.40	0.19	-
Euro2	1998	1.25	4.00	-	-	-	-	1.00	0.65	0.12	-
Euro3	2001	0.80	4.17	-	0.25	0.650	0.180	0.720	-	0.07	-
Euro4	2006	0.63	1.81	-	0.13	0.330	0.100	0.390	-	0.04	-
Euro5	2010	0.63	1.81	-	0.13	0.235	0.075	0.295	-	0.005	0.005
Euro6	2015	0.63	1.81	-	0.13	0.105	0.075	0.195	-	0.005	0.005

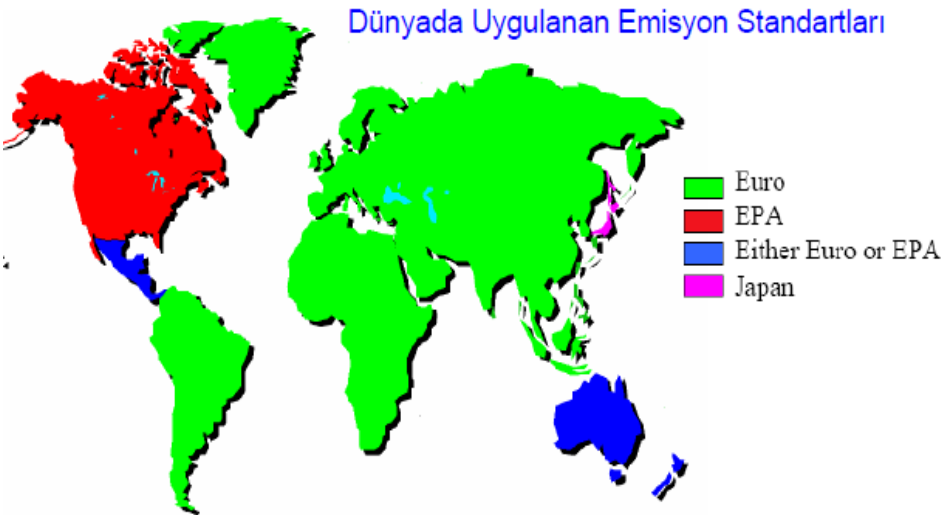
Çizelge 1.5 Ağır taşıtlar için AB standartları

	Zaman	CO		HC		NOx		HC+NOx		PM	
Euro1	1994	6.90	6.90	-	-	-	-	4.90	1.7	0.19	-
Euro2	1998	1.50	5.00	-	-	-	-	0.96	0.8	0.12	-
Euro3	2001	0.95	5.22	-	0.29	0.780	0.210	0.86	-	0.07	-
Euro4	2006	0.95	2.27	-	0.16	0.390	0.110	0.46	-	0.04	-
Euro5	2010	0.74	2.27	-	0.16	0.280	0.082	0.350	-	0.005	0.005
Euro6	2015	0.74	2.27	-	0.16	0.125	0.082	0.215	-	0.005	0.005

1.5.2 Uluslararası Standartlar

Dünyada emisyonlara yönelik ilk düzenlemeler 1968 yılında California'da, ilk sınırlama ise 1972 yılında Avrupa Birliği ülkelerinde ECE R 15.00 Regülasyonu ve EEC 72/220

Yönetmelik'i ile başlamıştır. Günümüzde; tüm gelişmiş ve gelişme yolundaki dünya ülkeleri, çeşitli standartlarla (EEC/ECE, EPA, JIS) egzoz emisyonlarına denetimler uygulamaktadır. Şekil 1.2'de dünya ülkelerinin kullandığı standartlar gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Dünyadaki emisyon standartları

1.5.3 Ulusal Standartlar

Hava kirliliğini önlemek amacıyla motorlu araçlara getirilen Euro emisyon standartlarına uygun yeni motor, egzoz sistemleri ve yakıtların kullanımı AB ülkelerinin ardından, 2009 yılından itibaren ülkemizde de zorunlu hâle gelmiştir [5].

1.6 Dizel Motor Emisyonlarını Azaltma Yöntemleri

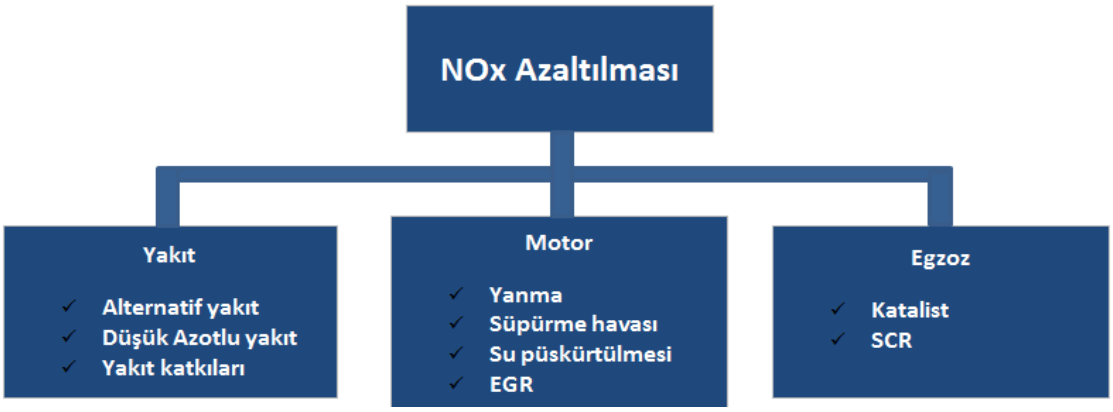
Emisyon gazı azaltma yöntemleri uygulanırken egzoz gazı nemlenmeye maruz kalır. Buda bizim ölçüm sonuçlarımızı etkileyerek emisyon cihazlarının zarar görmesine sebep olur.

Dizel motorlarda emisyonları düşürmek için kullanılan en yaygın yöntemler aşağıdaki gibidir:

- Egzoz Gazları Resirkülasyonu(EGR)
- Common Rail Teknolojisi
- Kapalı çevrim yakıt sistemi

- Oksidasyon Katalisti
- Partikül Toplama Kutuları(DPF)
- De-nox Katalisti
- Basıncı Ayarlanabilen Turbo Kompresörleri
- Ayarlanabilen Ara soğutma Sistemleri
- Az Yağ Yakan Çok Supaplı Motorlar
- OBD (On Board Diagnostic System)
- İkinci hava püskürtme sistemi (AIR)
- Yakıt buharlaşması kontrol sistemi (EVAP)
- Karter havalandırma sistemi
- Yavaşlamada yakıt kesme sistemi(motor freni esnasında)
- Seçici Katalitik İndirgeme (SCR)
- Üç Yollu Konvertörler
- Turboşarj
- Değişken Geometrili Turboşarj (DGT)
- ULEV (Ultra- Low Emission Vehicle) [5], [3]

Dizel motorlarında NO_x emisyonlarını azaltmak için kullanılan yöntemler Şekil 1.3'te yanma öncesi, yanma anı ve yanma sonrası olmak üzere üç ana başlıkta incelenebilir.



Şekil 1.3 NOx Emisyonlarını Kontrol Etmede Kullanılan Çeşitli Yöntemler [14]

Dizel motorlarında NO_x emisyonlarını azaltmada kullanılan yöntemlerin etkileri Çizelge 1.6'da gösterilmiştir. Sadece EGR uygulaması ile NO_x emisyonlarında % 75'lik bir azalma elde edilebilmektedir. Tüm yöntemler ve katalitik konvertör kullanarak ise NO_x emisyonlarında % 95'lik bir azalış sağlanabilmektedir.

Çizelge 1.6 NO_x emisyonlarını azaltmada kullanılan yöntemlerin etkileri [14]

NO_x Emisyonu				
Standart Ayar (% 100)				
Sıkıştırma Oranının Arttırılması				% 80
Pükürtme Avansının Azaltılması			% 55	
EGR		% 25		
Su Püskürtülmesi		% 30		
EGR+Su püskürtülmesi	% 20			
Tüm Yöntemler+Katalitik Konvertör	% 5			

Çalışmamızda emisyon ölçümlerini etkileyen ve emisyon cihazlarında büyük arızalara sebep olan egzoz gazı içerisindeki su buharını tutma yöntemleri anlatılacaktır.

BÖLÜM 2

DENEYDE KULLANILAN YÖNTEM VE MATERYALLER

Bu bölümde, yapılan çalışma için kullanılması gereken motor tipi, emisyon regülasyonları, yakıt türü, kurutucu (nem tutucu) tipi ve emisyon ölçüm yöntemlerine değinilmiştir. Belirlenen yöntemler sonrasında ise kurulması planlanan sistem için uygun materyaller bir araya getirilerek deney düzeneği oluşturulmuştur.

2.1 Yöntemler

2.1.1 Gerekçe

İçten yanmalı motor test odalarında, egzozla atılan aşırı su buharının emisyon cihazı analizörlerine verdiği hasar ve ölçüm kararsızlığı oluşturması sebebi ile egzoz içerisindeki su buharını tutmaya yönelik çalışma yapılması gerekmiştir. Bu doğrultuda kurulan test düzeneği su buharının emisyonlar üzerine etkisinin tespiti için kullanılmıştır. Numune egzoz gazı, kurutulmamış (aşırı nemli) ve izin verilen ölçüm sınırının altında kurutulmuş olmak üzere gaz ölçümleri yapılmıştır.

Üre ve egzoz sonrası yakıt püskürtme sistemlerini bulunduran EU5 ve EU6 emisyon değerlerine sahip motorların test düzeneklerinin kurulu olduğu dinamometre test odalarında, emisyon ölçümü sırasında % 100'ün üzerinde nemlilik değerlerine varan gaz örneklemesinin emisyon analzörleri üzerinde bıraktığı hasar azaltılmak ve yok edilmek istenmektir.

EU3 ve EU4 seviyelerinde motorlardan alınan egzoz örneklemesi 70-80% mertebesinde nem değerine sahipken, emisyon cihazları sorunsuz ölçüm alabilmekte ve uzun bakım periyotları geçirmektedir.

EU5 ve EU6 motorlarda, üre dozajlama ile kullanılan SCR sistemi ve DPF 'te kurumları regen modunda tekrar yakmak için kullanılan turbo sonrası yakıt püskürtme enjektörü ile beraber atılan egzoz gazındaki su buharı değeri yükselmekte ve emisyon cihazlarında hasara sebep olmaktadır.

Emisyon cihazları üzerinde bulunan taşınabilir chiller üniteleri, nem değeri yüksek egzoz içerisinden yoğuşması gereken sıvı buharını tam anlamıyla tahliye edememekte ve yetersiz kalmaktadır.

Araştırma doğrultusunda egzoz üzerinden alınan örnekleme , ısı değiştirici içerisinden geçirilerek sıvı buharı ön tahliye istasyonu kurulacak ve sıvı ayrı bir haznede toplanarak, kısmen kurutulmuş gaz analizörlere devam edecektir.

Deneyde egzoz borusu üzerinden probe yardımı ile alınan gaz örnekleri, ısı değiştirici içerisinden geçerek soğutulacak ve sistemde bulunan tahliye hortumu yardımıyla soğuma esnasında yoğuşan gaz buharı tahliye edilirken, nemini bırakan gaz ısıtılarak veya ısı değiştiriciden çıktığı şekliyle emisyon cihazı analizörlerine iletilecektir.

Isı değiştirici giriş ve çıkışına konumlandırılan sıcaklık ölçerler ile egzoz gazı giriş ve çıkş değerleri hesaplanarak, gaz üzerinde yapılan fiziksel tepkimeler ile egzoz gazı emisyon değerlerinin değişim karakteristiği irdelenecektir.

2.1.2 Emisyon Ölçüm Yöntemi ve Regülasyon Değerleri

İçten yanmalı motorlarda yanma sonrası oluşan egzoz gazı içerisinde bulunan emisyon bileşikleri alt limiti, Birleşmiş Milletler komisyonuna üye Avrupa ülkeleri tarafından belirlenmektedir. Regülasyonlarda araçtan atılması gereken maksimum emisyon değerleri, yakıt sarfiyatı, emisyonların nasıl ölçülmesi gerektiği açıkça tarif edilmiştir. Çizelge 2.1'de regülasyonda yer alan emisyon ölçüm metotları gösterilmiştir [15].

Çizelge 2.1 Emisyon ölçüm metotları

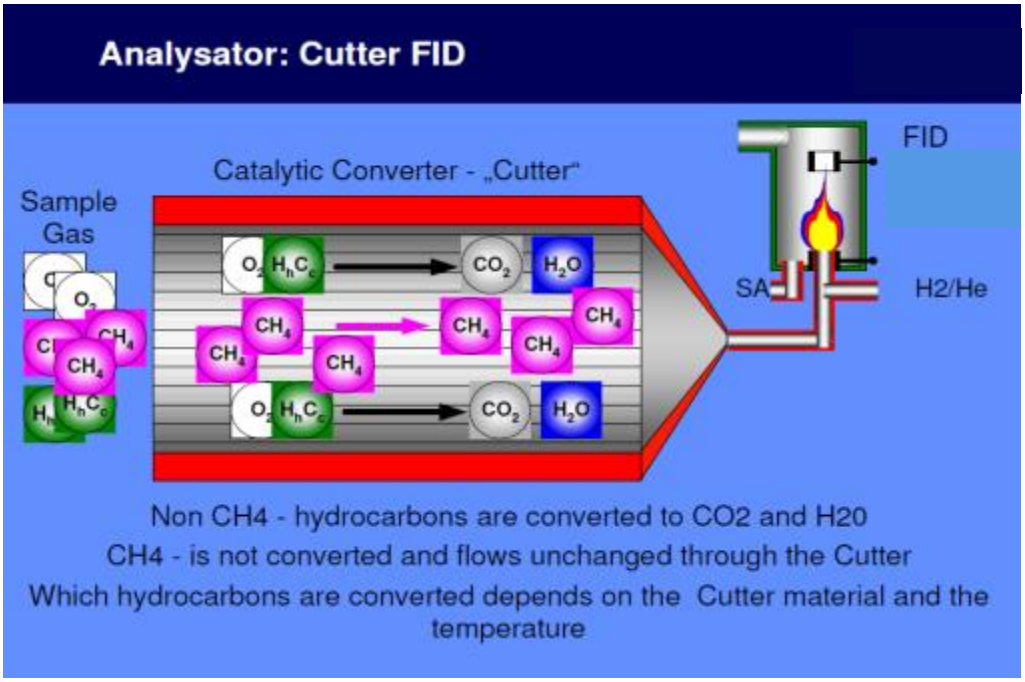
Emsiyon	Emisyon Ölçüm Yöntemi	Kullanılan Analizör
THC	Elektron ölçümü	FID
CO	IR ışığı altında dalga boyu ölçümü	NDIR
CO2	IR ışığı altında dalga boyu ölçümü	NDIR
O2	Manyetik alanda kutuplara ayrılma ve meydana gelen basıncın ölçümü	PMD
NOx	Kimyasal denklem sonucu ışık siddeti ölçümü	CLD
PM	Opaklık ve Tartım Ölçüm Yöntemi	Smokemeter & Particle Counter

Bu bölümde emisyon cihazında kullanılan yöntemler anlatılmıştır

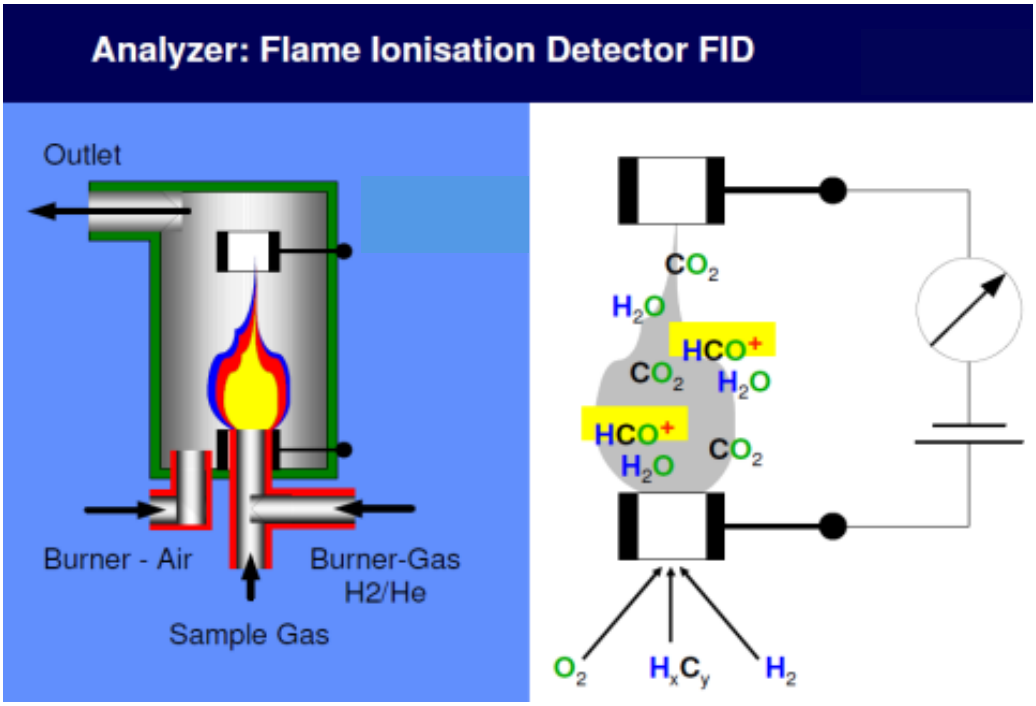
2.1.2.2 FIA Ölçüm Yöntemi ve FID Analizörü

Egzoz gazı içerisindeki HC'lar katalitik konvertör içerisinden geçtiklerinde CO_2 ve H_2O'ya dönüşürler dönüşemeyen CH_4 gibi HC'lar ise dışarı atılırlar.

Bu HC'ları ölçebilmek için FID (flame ionisation detection) denilen bir ölçüm yöntemi geliştirilmiştir. Emisyon cihazı pompası yardımı ile çekilerek alınan egzoz örneklemesi saf hidrojen gazı ile yakılarak üzerine hava püskürtülür ve elektrotlar yardımı ile yanan HC bileşiklerinin bıraktığı iyonlar ölçülerek cihaz ara yüzünde değerler gösterilir[16]. Sistemin şematik resmi Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de anlatılmıştır.



Şekil 2.1 Cutter çalışma prensibi [16]



Şekil 2.2 FID analizörü çalışma prensibi [16]

FID analizörleri regülasyon limitleri Çizelge 2.2'de açıklanmıştır. Sistemin devamlı aktif olabilmesi ve HC bileşiklerinin daha doğru ölçülebilmesi için saflık derecesi yüksek Hidrojen tüpleri emisyon cihazı sistemine bağlanması gerekmektedir. Örnek alınan

gazın ısısını koruyarak yanma odasına iletilmesi gerekmektedir. Ayrıca emisyon cihazlarına ölçüm aralığı bilinen belirli ppm değerlerine sahip tüpler bağlanır.

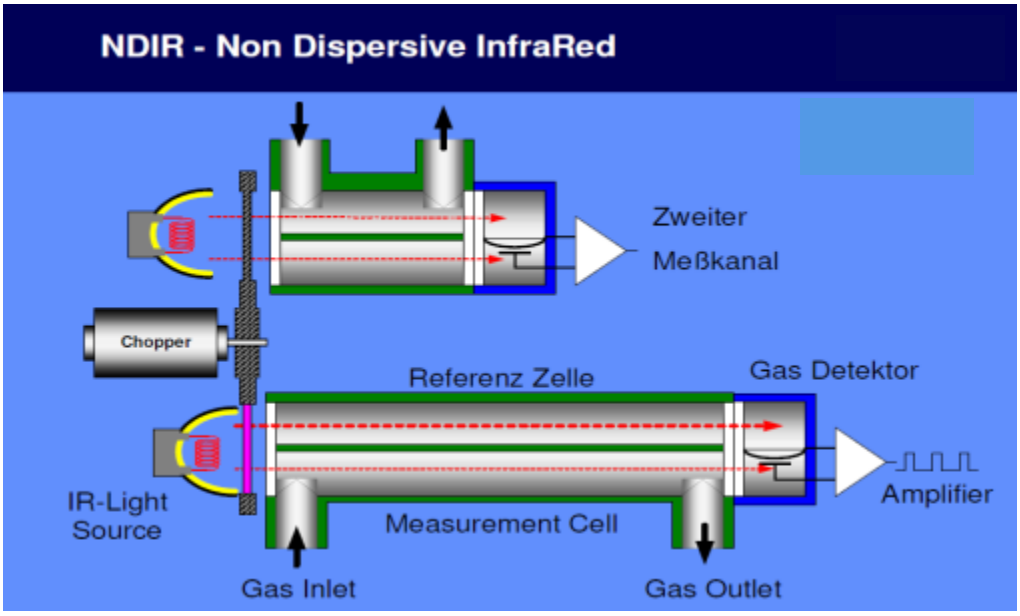
Çizelge 2.2 FID ölçümü regülasyon limitleri [15]

FIA			
Tanım	**İlgili Regülasyon Bölümü**	**Regülasyon Limiti**	**Cihaz Limiti**
Toplam Hata	AnnIII App 4, 3.1	2%	2%
Tekrarlanabilirlik	AnnIII App 4, 3.1.2	155 ppm altı %1 155 ppm üstü %2	0.50%
Gürültü	AnnIII App 4, 3.1.3	10 saniyede %2 altı fs	5 saniyede %1 altı fs
Sıfır Kayması	AnnIII App 4, 3.1.4	1 saatte %2 fs	1 saatte %1 fs
Span Kayması	AnnIII App 4, 3.1.4	1 saatte %2 fs	1 saatte %1 fs
CO Interferance chenck	AnnIII App 5, 1.9.1	<1%	<1%
O2 interference check	AnnIII App 5, 1.8.1	±%5	±%2

2.1.2.3 NDIR Ölçüm Yöntemi ve NDIR Analizörü

NDIR ölçüm yönteminde egzoz gazı içerisindeki moleküllerin kendine özgü atom boylarını kızıl ötesi ışık kaynağı yardımı ile belirleme yöntemidir. Kızılötesi ışıktaki değişimleri optik okuyucu yardımı ile ölçülüp emisyon bileşen miktarı belirlenmektedir. Farklı moleküllerin farklı ppm değerindeki referans gazlarına ihtiyaç duyarlar. Referans gazlarda aynı IR ışığına maruz bir kanaldan geçirilir. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilir ve analizörlerin gönderdiği sinyaller yükseltici (amplifier) yardımı ile ölçülerek değerlendirme modülü olan IFC' ye iletilir. Bu ölçüm yöntemi ile CO ve CO_2 gazları ölçülmektedir. Ayrıca HC, NO, NO_2 ve SO_2 moleküllerine de bu ölçüm yöntemi uygulanabilmektedir [16].

Sistemin şematik resmi Şekil 2.3'te, NDIR analizörleri ve regülasyon limitleri ile ilgili spek Çizelge 2.3'te açıklanmıştır.



Şekil 2.3 NDIR ölçüm yöntemi

Çizelge 2.3 NDIR ölçümü regülasyon limitleri

NDIR			
Tanım	**İlgili Regülasyon Bölümü**	**Regülasyon Limiti**	**Cihaz Limiti**
Toplam Hata	AnnIII App 4, 3.1	2%	2%
Tekrarlanabilirlik	AnnIII App 4, 3.1.2	155 ppm altı %1 155 ppm üstü %2	0.50%
Gürültü	AnnIII App 4, 3.1.3	10 saniyede %2 altı fs	5 saniyede %1 altı fs
Sıfır Kayması	AnnIII App 4, 3.1.4	1 saatte %2 fs	1 saatte %1 fs
Span Kayması	AnnIII App 4, 3.1.4	1 saatte %2 fs	1 saatte %1 fs
CO Interferance chenck	AnnIII App 5, 1.9.1	<1%	<1%

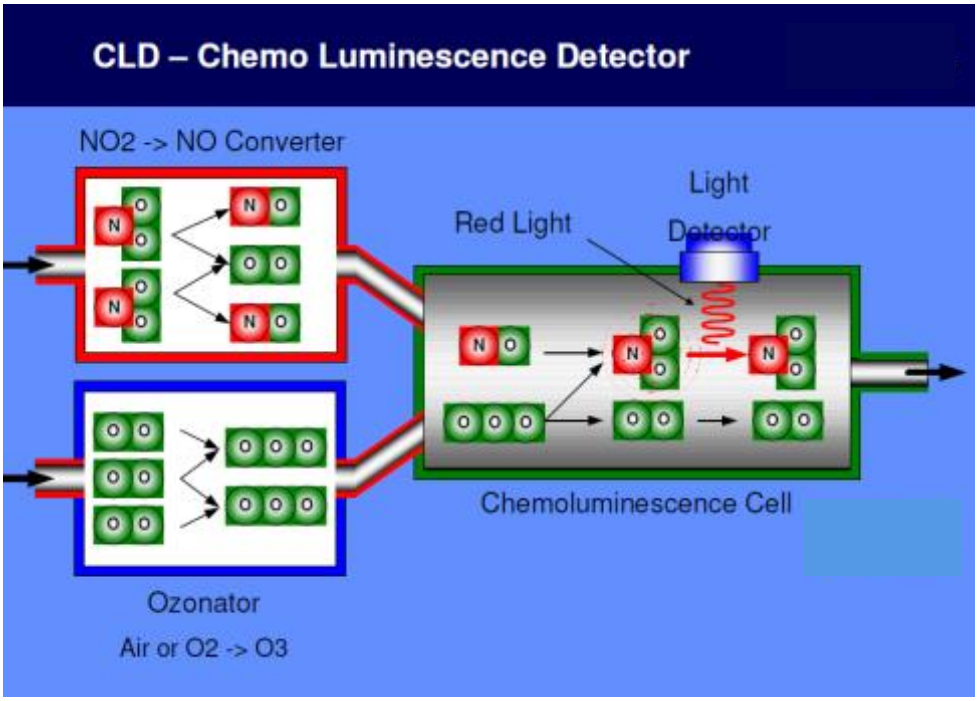
2.1.2.4 CLA Ölçüm Yöntemi ve CLD Analizörü

CLA yöntemi ile yüksek hassasiyette NO ve NO_x bileşikleri ölçülebilmektedir. Diğer gaz bileşiklerine kolayca uygulanamamaktadır. Sistem içerisinde bulunan ozon jeneratörü ile cihaza beslenen saf O_2 → O_3'e dönüşür. Cihaz içerisine giren emisyon NO; O_3 ile birleşerek O_2'nin tekrar ayrılmasını sağlar [16].

Ayrılma sırasında bileşen miktarına göre büyük bir ışık kaynağı oluşur. Buda ışık dedektörü ile algılanarak yükselticiye (amplifier) gider ve emisyon değer sinyali belirlenir. NO_x için ise önce C bileşiği yardamı ile NO'ya ayrılır ve sonrasında O_3 ile birleştirilir. Cihazda verilen NO_x değeri hesaplanabilmesi için ekstra bir kimyasal olay

meydana gelir. Örnek alınan gazın ısısını koruyarak yanma odasına iletilmesi gerekmektedir [16].

Sistemin şematik resmi Şekil 2.4'de, CLD analizörleri ve regülasyon limitleri ile ilgili spek Çizelge 2.4'de açıklanmıştır.



Şekil 2.4 CLD ölçüm yöntemi [18]

Çizelge 2.4 CLD ölçümü regülasyon limitleri [15]

CLA			
Tanım	**İlgili Regülasyon Bölümü**	**Regülasyon Limiti**	**Cihaz Limiti**
Toplam Hata	AnnIII App 4, 3.1	2%	2%
Tekrarlanabilirlik	AnnIII App 4, 3.1.2	155 ppm altı %1 155 ppm üstü %2	0.50%
Gürültü	AnnIII App 4, 3.1.3	10 saniyede %2 altı fs	10 saniyede %2 altı fs
Sıfır Kayması	AnnIII App 4, 3.1.4	1 saatte %2 fs	1 saatte %1 fs
Span Kayması	AnnIII App 4, 3.1.4	1 saatte %2 fs	1 saatte %1 fs
NOx converter efficiency check	AnnIII App 5, 1.7	>%95	>%95
CO2 quench check	AnnIII App 5, 1.9.2.1	<%3 fs	<%1 fs
water quench check	AnnIII App 5, 1.9.2.2	<%3 fs	<%2 fs

2.1.2.5 MPA Ölçüm Yöntemi ve PMD Analizörü

MPA yöntemi ile manyetik alan içerisindeki O_2 atomu moleküllerinin kutuplarının ayrılması sırasında çıkan basıncın ışık dedektörü ile algılanması ve yükselticiye (amplifier) iletilmesi ile ölçülür. Oksijen miktarına göre basıncın şiddeti değişir.

Oksijenin basınç şiddeti;

$$P = \frac{1}{2} H^2 x\ X\ x\ C \qquad (2.1)$$

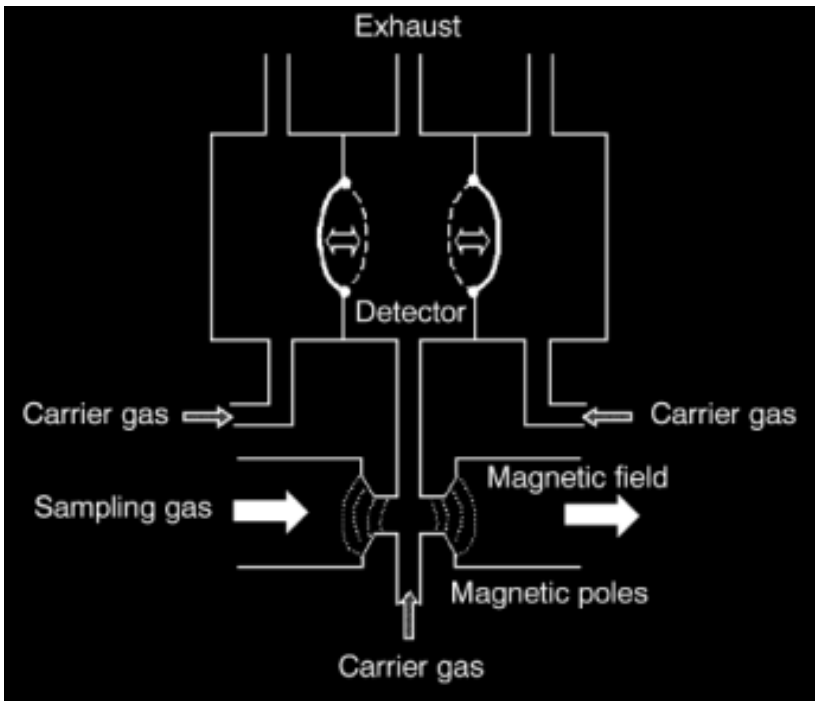
Formülü ile hesaplanır. Burada değerler;

H: Manyetik alan kuvveti

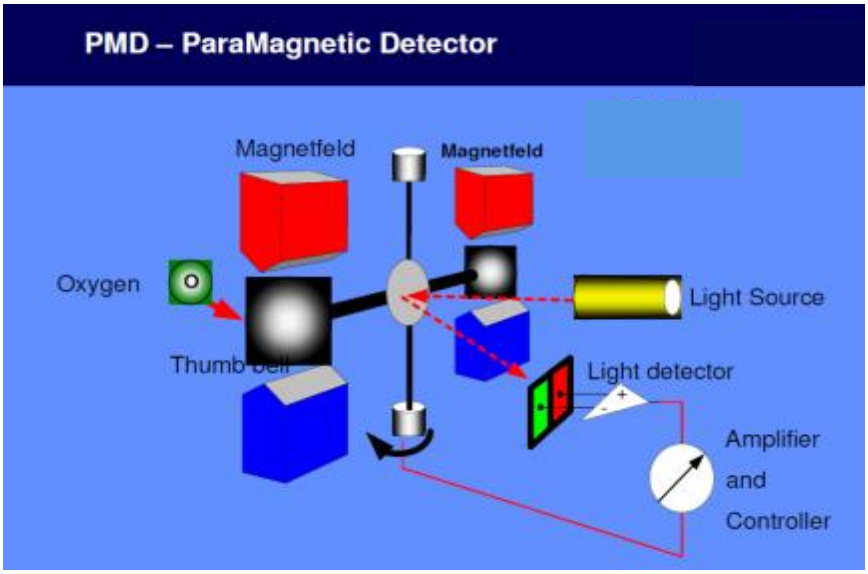
X: Oksijen molekülünün manyetik hassaslığı

C: Oksijen konsantrasyonudur.

Sistemin şematik resmi Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da, PMD analizörleri ve regülasyon limitleri ile ilgili spek Çizelge 2.5'te açıklanmıştır [17].



Şekil 2.5 PMD ölçüm yöntemi



Şekil 2.6 PMD ölçüm yöntemi şemetik gösterimi [18]

Çizelge 2.5 PMD analizörleri ve regülasyon limitleri [15]

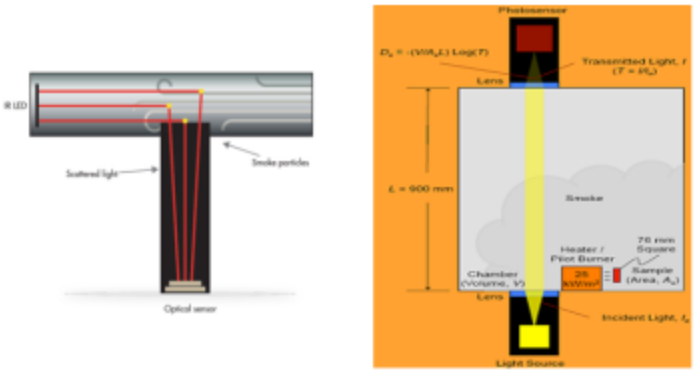
MPA			
Tanım	**İlgili Regülasyon Bölümü**	**Regülasyon Limiti**	**Cihaz Limiti**
Toplam Hata	Limit Tanımı Yok		2%
Tekrarlanabilirlik	Limit Tanımı Yok		0.50%
Gürültü	Limit Tanımı Yok		<%5
Sıfır Kayması	Limit Tanımı Yok		1 saatte %1 fs
Span Kayması	Limit Tanımı Yok		1 saatte %1 fs

2.1.2.6 PM Ölçüm Yöntemleri

Özellikle dizel motor emisyonlarında daha çok önem kazanan ölçüm yöntemidir. Anlık ölçüm yöntemleri ve biriktirme ile ölçüm yöntemleri olmak üzere iki grupta incelenebilir.

Anlık ölçüm yöntemine partikül maddenin lazer yöntemi ile ölçülmesi örnek verilebilir. Lazer, bir ışık kaynağından gönderilerek karşı taraftan ışık dedektörü tarafından algılanmaya çalışılır. Partikül yoğunluğu ışık gecikmesini arttırır ve sinyaller yükseltici (amplifier) ile algılanarak PM ölçülür.

Sistemin şematik resmi Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



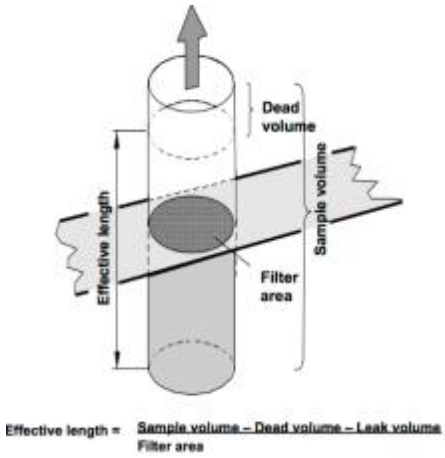
Şekil 2.7 PM ölçüm yöntemi

Biriktirme ile ölçüm yöntemini de kendi içerisinde ikiye ayırabiliriz.

•Partikül ölçüm kağıdı üzerinde belli bir süre biriktirme yapılarak opaklığı ölçülebilmekte veya

•Nemsiz ortamda kağıt üzerine biriktirme yapılarak hassas terazi ile tartılabilmektedir [18], [16], [19].

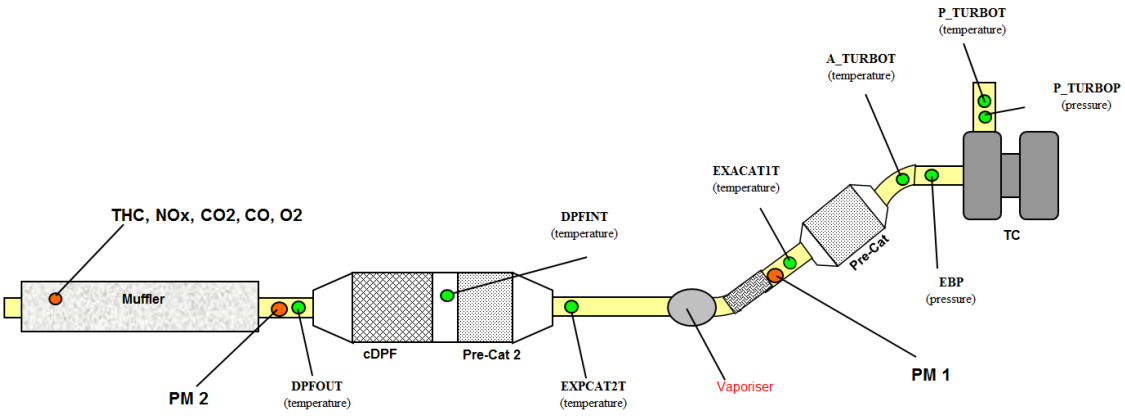
Sistemin şematik resmi Şekil 2.8'de gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Biriktirme ile ölçüm yöntemi

2.1.2.7 Emisyon Cihazı Ölçüm Lokasyonları

Regülasyonlarda, egzoz akışının cihazların örnekleme çekim vakumu ile bozulmaması için emisyon ölçüm lokasyonları uzaklık limitleri tanımlanmıştır. Bu oran boru çapı ile değişmektedir. Şekil 2.9'daki gibi bir cihaz dizilimi kullanılacaksa boru çapının 36 katı uzunluğunda bir egzoz düzeneği kullanılmalıdır [18].



Şekil 2.9 Emisyon cihazı örnekleme lokasyonları

2.1.3 Kurutma ve Nem Alma Yöntemleri

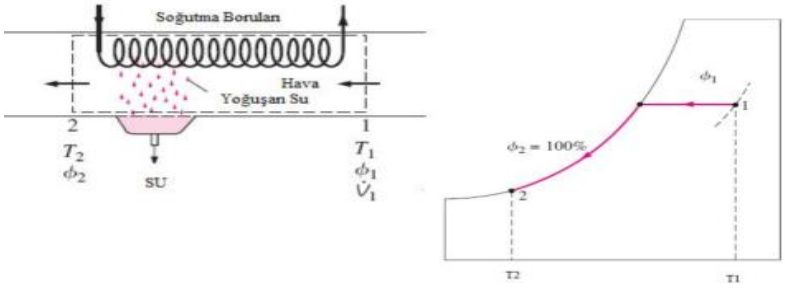
Bu bölümde egzoz gazını kurutma işlemleri için katı, gaz ve sıvı kurutma yöntemleri araştırılmıştır. Ayrıca kurutmanın esası olan nem alma yöntemleri, kurutma yöntemleri ve kurutma prosesinin ısı transfer yöntemi ile açıklaması anlatılacaktır. Emisyon cihazı ölçüm yeteneğini değiştirmeyecek şekilde, cihaz içerisinde kullanılan sisteme yakın bir kurutma sitemi seçilecektir. Tasarım hesaplarının ardından, kurutucu imal edilerek testlere başlanacaktır.

2.1.3.1 Nem Alma Sistemleri

Bazı durumlarda havanın veya gazların içinde bulunan nemi istenilen değerlere çekmek gerekmektedir. Hava içinde bulunan fazla nem genel olarak soğutma ya da soğurulma usulleri ile çekilir.

Soğuk Yüzeyde Soğutarak Nem Alma: Hava soğutulduğu zaman nem tutma kabiliyeti azalır bu nedenle; soğuk bir yüzeyde soğutulan hava içindeki fazla nem yoğunlaşarak su

haline gelir. Sistemde içinden nem çekilen hava son ısıtıcıda tekrar mahal hava sıcaklığına kadar ısıtılarak ortama üflenir. Kış aylarında, mutlak nemi düşük olan dış hava ısıtılarak ortama üflendiğinde mahal havasının nemini düşürülür. Şekil 2.10'da nem alma prosesi görülmektedir [20].



Şekil 2.10 Soğuk yüzeyde soğutarak nem tutma yöntemi [20]

Hava İçine Soğuk Su Püskürterek Nem Alma: Kanaldan akmakta olan sistem havasının içine sıcaklığı havanın çiğ noktası sıcaklığının altında buhar püskürtüldüğü zaman da hava ile birebir temas ettiğinden havayı doygunluk sınırının altında soğutur. Böylece doygunluk sınırının altında soğuyan hava taşıdığı fazla nemi yüzeylerde bırakır [20].

Desesif-Evaporatif Soğutma Sistemleri: Adsorpsiyon ve absorpsiyon ile nem almanın esasında maddenin higroskopik olma özelliği yatar. Nemli hava içindeki su buharının kısmi basıncı nem alınan madde içindekinden daha fazla olunca, havadan bu maddeye nem geçişi olur ve böylece havanın nemi azalır. Maddenin ısıtılmasıyla da nem alıcı maddeyi rejenere etmek yani nemini alarak eski durumuna getirmek mümkündür. Desisif-evaporatif soğutma için gerekli olan ilk şey muhakkak ki dış hava neminin alınmasıdır. DES sistemlerinde dış havanın nemi ya sıvı ya da katı nem alıcı maddeler kullanılarak azaltılmaktadır. Bu maddeler sorbant olarak isimlendirilmektedir. Katı sorbantlar genellikle bir taşıyıcı madde üzerine getirilmektedir. Bu katı nem alıcıların dışında sıvı nem alıcılarda bulunmaktadır [20].

2.1.3.2 Kurutmada Kullanılacak Isı Kaynakları ve Isının Aktarılması

Kurutma ve distilasyon gibi farmasötik temel işlemler için ısı enerjisi gereklidir. Kurutma amacı ile ısıtmada, değişik distilasyon işlemlerinde, distilasyonla saf su üretiminde gerekli olan ısı enerjisi kaynağı, elektrik, yakıt olarak kullanılan sıvı petrol ürünleri ve petrol gazlarıdır. Küçük ölçekteki üretimlerde ısı enerjisi kaynağı olarak elektrik enerjisi kullanılır. Büyük ölçekteki üretimlerde ise, belirtilen diğer ısı kaynakları kullanılarak su buharı elde edilip su buharı vasıtasıyla ısı, kurutma aletlerine dolaylı olarak aktarılabilir. Dolaylı ısı aktarılması, kurutulacak maddenin içinde bulunduğu kabın cidarının veya kurutucunun cidarının ısıtılması ile olur.

Isı aktarılmasının bir diğer yolu da havanın veya azot gibi inert gazların ısıtıldıktan sonra kurutulacak madde üzerinden geçirilmesi, yani kurutulacak maddeye doğrudan ısı aktarılmasıdır. Bu sayede nem geçişleri de mümkün olmaktadır.

Havanın veya azot gazının ısıtılması, bunların elektrikli ısıtıcılarla ısıtılmış veya buharla ısıtılmış yüzeylerden geçirilmesi ile sağlanır. Uygulanan kurutma yöntemine göre ısı aktarılması; iletim (kondüksiyon), yayılım (konveksiyon), ışınım (radyasyon) ile olur [21].

İletim ile Isı Aktarılması: Bir maddeye ısı uygulandığında, madde içinde hareket olmadan, uygulama yeri ile belirli uzaklıktaki bir nokta arasında belirli bir sıcaklık farkı (gradyanı) oluşuyorsa, bu ısı aktarımı, iletimle ısı aktarımıdır. Bu şekilde ısı aktarımı ile ısı miktarı Q, iletkenlik katsayısı K (veya U) , yüzey alanı A ve sıcaklık farkı ΔT gibi parametreler önem kazanmaktadır [21].

Taşınım katsayısı ve toplam ısı geçirme katsayısı hesabında, İç ve dış taraftaki ısı taşınım katsayısı belirlenirken Newton soğuma kanunundan yararlanılmaktadır.

$$Q=U \times A \times (\Delta T) \qquad (2.2)$$

Burada;

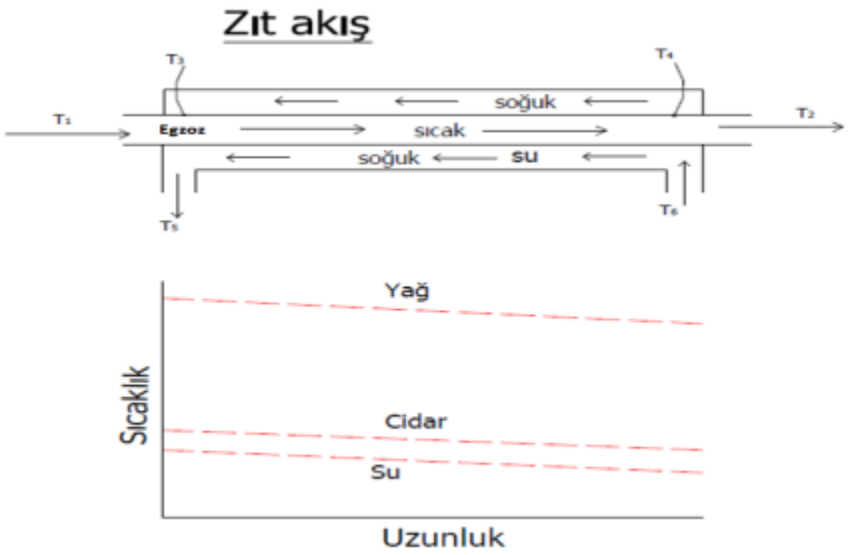
U: Toplam ısı geçirme katsayısı (W/m^2K)

ΔT: Ortalama sıcaklık farkı(°C)

A: Isı transferi yüzey alanı (m^2)

İletim yolu ile ısı transferi geçisine en iyi örnek, heat exchanger olarakta bilinen ısı değiştiricilerdir. Sistem aynı zamanda soğuk yüzeylerde soğutularak nem almayada iyi bir örnektir.

Kullanım amacına yönelik soğutma en iyi olan ısı değiştirici (heat exchanger) ise ters akış prensibi ile çalışan modelidir. Şekil 2.11'de ters akış prensibine göre çalışan ısı değiştirici modeli görülmektedir.



Şekil 2.11 Ters akış prensibine göre çalışan ısı değiştiricili model

Kurutucu ünite tasrımı yapılırkende emisyon cihazları chiller grubunu simüle etmesi için iletim yolu ile ısı trasferi yapılana, soğuk yüzeylerde nem tutma yöntemine uygun ters akışlı ısı değiştirici modeli seçilmiştir [22].

$\Delta T_1 = T_1 - T_5$ (2.3)

$\Delta T_2 = T_2 - T_6$ (2.4)

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (2.5)$$

Yukarıdaki formüllerle ifade edildiği şekli ile bu formüllerden ısı atımı hesaplanarak kullanılması gereken ısı değiştirici içerisindeki boru cidarı yüzey alanı bulunarak uygun tasarım seçilecektir. Çizelge 2.6'da bazı maddeler için belirlenmiş ısı iletim katsayı değerleri verilmiştir [21].

Çizelge 2.6 Bazı malzemelerin ısı iletim katsayı değerleri [21]

Termal İletkenlik Katsayısı(K) w/(m°K)			
Bakır	379	Cam yünü	0.06
Aluminyum	242	Su	0.6
Çelik	3	Hava	0.03
Paslanmaz çelik	17	Taş beton	2.3
Kurşun	35	Kazan taşı	0.09
Borosilikat cam	1	Gazbeton	0.07

Yayılımla Isı Aktarılması: Bir akışkan ısıtılınca genleşir, yoğunluğu azalır ve yükselir, soğuk kısımla karışarak ısı yayılır. Kalorifer radyatörleri ile ısıtılan havanın yükselip yukardaki soğuk hava ile karışması, iletimle kap içine aktarılan ısı ile ısınan sıvının yükselip soğuk kısımla karışması, bu tür ısı aktarımına verilebilecek örneklerdir. Isının yayılımla aktarılma hızları, fanlar (havada) veya mekanik karıştırıcılar (sıvıda) kullanılarak zorlama ile artırılabilir [21].

Işınımla Isı Aktarılması: Her ısıtılmış madde veya yüzey, ışınımla ısı yayar, güneş enerjisi dünyaya ışınımla ulaşır. Kızıl ötesi ışınlar (IR) ışınımla ısı yayarlar. Isıya dayanaklı özel materyaller, elektrikli ısıtıcılarla, 400-1400 °K arasında ısıtılırsa 8-1 mikrometre dalga boyları arasında IR ışınları yayarlar. İstenen güçte elde edilen İR ışınları, bir yansıtıcı yardımı ile ısıtılacak ya da kurutulacak madde üzerine, ışınımla Q/t aktarım hızı ile gönderilebilir. IR fırınları yaş granüllerin ve nemli tozların kurutulmasında kullanılabilir. Işınımla ısı aktarımı, terazili nem miktar tayini aletlerinde olduğu gibi IR lambaları ile veya elektrikli ısıtıcılarla ya da bu ısıtıcılarla ısıtılmış IR yayan metal levhalarla yapılabilir.

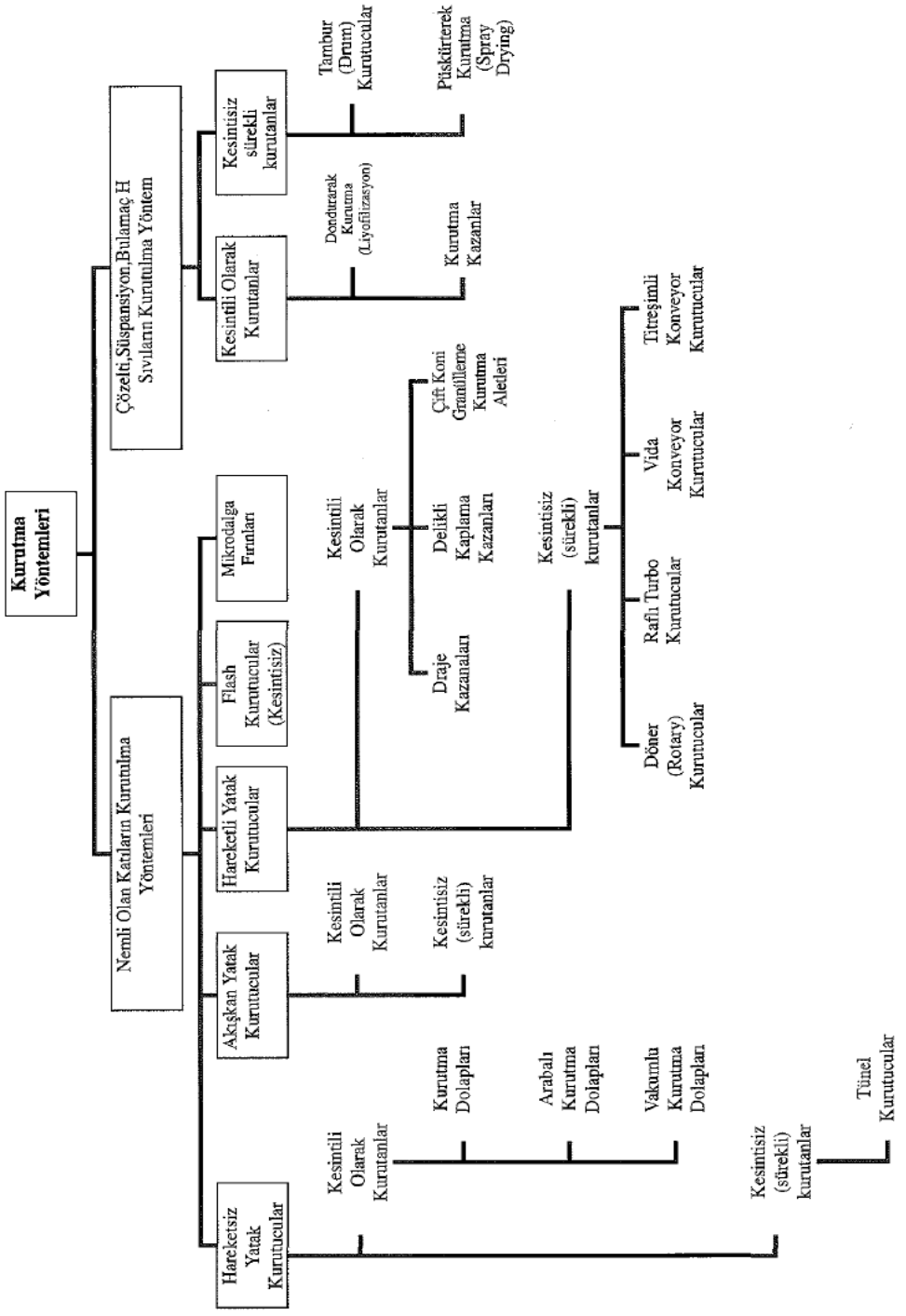
2.1.3.3 Kurutmanın Temel Mekanizması

Kurutma işleminde, kurutulacak madde üzerine ısı enerjisi aktarılarak suyun (ya da organik çözücünün) buharlaşması için gerekli latent buharlaşma ısısı sağlanır. Bu ısı aktarımı sonucu buharlaşan su, madde yüzeyinden kurutucu hava içine difüzlenerek uzaklaşır. Böylece ısı aktarımı suyun maddeden buharlaşarak uzaklaşması şeklinde bir kütle aktarımına neden olur [21].

2.1.3.4 Kurutma Yöntemleri

Kimya ve farmasötik alanda uygulanabilecek kurutma yöntemleri Çizelge 2.7'de gösterilmiştir [21].

Çizelge 2.7 Kurutma yöntemleri



Kurutulacak maddeye uygulanacak kurutma yöntemi seçilmesinde aşağıdaki noktalar göz önüne alınmalıdır;

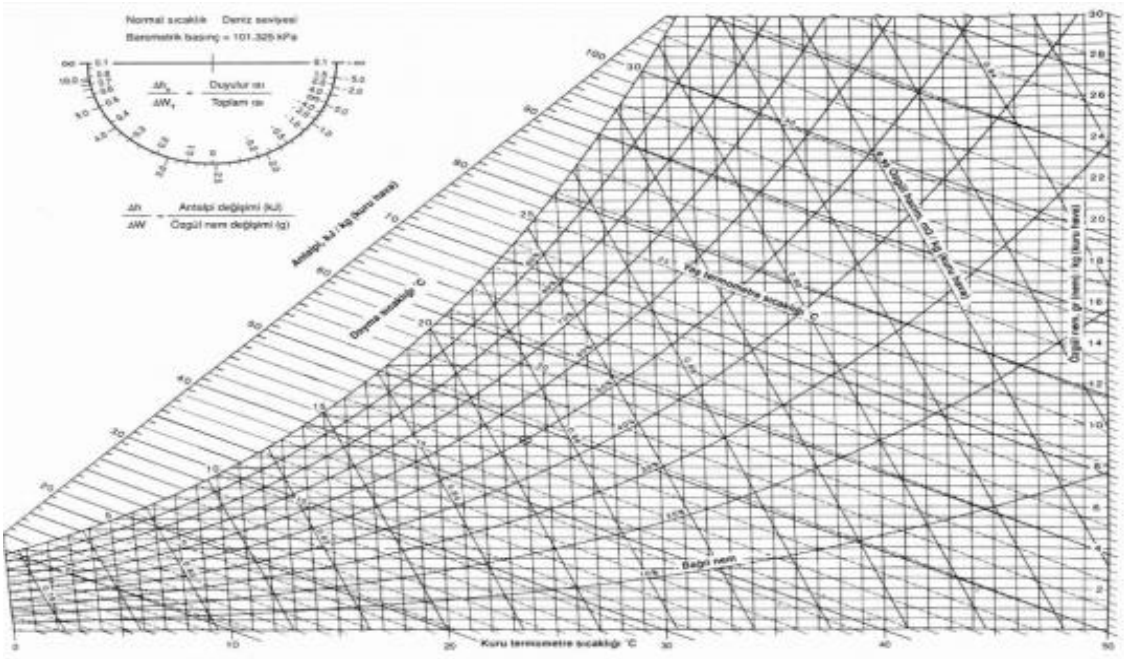
Maddenin kuruma özellikleri: Kurutmadan önceki nem içeriği, nemin tipi (bağlı su, bağlı olmayan su ve her ikisi birden), kurutmadan sonraki nem içeriği, kurutma sıcaklığı, kurutma süresi.

Elde edilecek kuru maddenin özellikleri: Parti kül büyüklüğü, akıcılığı, nem içeriği ve nem içeriği tekdüzeliği, parlama özelliği, korosif özelliği, kırılganlık özelliği, toksisitesi.

Kurutma işlemi ile ilgili özellikler: Partiler (batch) halinde ya da kesintisiz (devamlı) kurutma, kurutmadan önce veya sonra maddenin işleme tutulup tutulmamasının gerekliliği, kurutulacak maddenin alete giriş (besleme) şekli, kurutulmuş maddenin dışarı alınış şekli, aletin kapasitesi ve saatte elde edilecek kuru madde miktarı, kurutucu hava ile dışarı atılacak tozların geri kazanımı.

Aletin çalışma koşulları: Aletin bulunduğu yer, kaplayacağı alan, kurutucu havanın temizliği, sıcaklığı, nemi, ısıtmada kullanılacak enerji (elektrik, yakıt, sıcak buhar), kurutulacak nemli maddenin kaynağı ve giriş yeri, kabul edilebilir gürültü titreşim düzeyi ve havanın toz içeriği.

Kurutma esaslarında da görüldüğü gibi kurutmanın temeli nem hesabına dayanmaktadır. Mutlak nem ve Bağıl nem değerlerini yine ısı transferi derslerinde anlatılan formüller ile hesaplayarak psikrometrik diyagramdan elde etmek mümkündür. Şekil 2.12'de psikrometrik diyagram gösterilmiştir [21].



Şekil 2.12 Psikrometrik diyagram

2.1.4 Test Yöntemleri

2.1.4.1 Test Çevrimleri

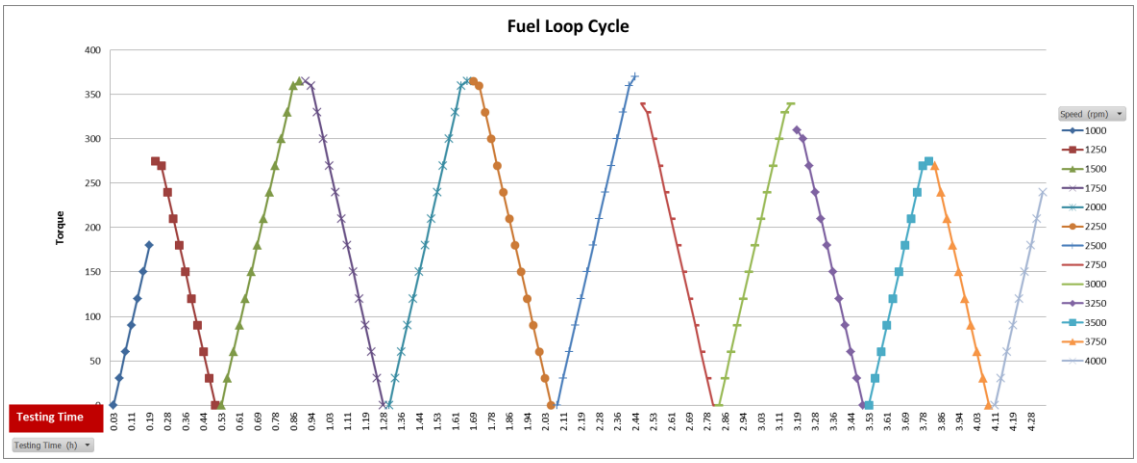
Sistemin emisyon üzerine etkisini en iyi şekilde anlamak için fuel loop ve partial fuel loop adı verilen farklı devir, tork ve pedal pozisyon noktalarında yazılmış test çevrimleri ile motor test edilecektir.

Fuel loop: Değişken noktaları olan ve motor haritasını komple tarayan bir testtir. Bu sebeple motorun farklı performans noktalarında egzoz emisyon değerlerini anlamak ve motor karakteristiğini çıkarmak mümkündür. 1000 rpm'den başlayarak 250 devir artımla 4000 rpm'e kadar belirli tork değerleri gezilecektir. Test çevrim değerleri ve çevrim eğrisi, sırası ile Çizelge 2.8 ve Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.8 Fuel Loop Testi

Step No	Speed (rpm)	Torque (Nm)	Control Mode	Step Duration (s)	Total Time (h)	Step No	Speed (rpm)	Torque (Nm)	Control Mode	Step Duration (s)	Total Time (h)	Step No	Speed (rpm)	Torque (Nm)	Control Mode	Step Duration (s)	Total Time (h)
1	1000	0	Speed / Torque	100	0.03	53	2000	180	Speed / Torque	100	1.47	105	3000	90	Speed / Torque	100	2.92
2	1000	30	Speed / Torque	100	0.06	54	2000	210	Speed / Torque	100	1.50	106	3000	120	Speed / Torque	100	2.94
3	1000	60	Speed / Torque	100	0.08	55	2000	240	Speed / Torque	100	1.53	107	3000	150	Speed / Torque	100	2.97
4	1000	90	Speed / Torque	100	0.11	56	2000	270	Speed / Torque	100	1.56	108	3000	180	Speed / Torque	100	3.00
5	1000	120	Speed / Torque	100	0.14	57	2000	300	Speed / Torque	100	1.58	109	3000	210	Speed / Torque	100	3.03
6	1000	150	Speed / Torque	100	0.17	58	2000	330	Speed / Torque	100	1.61	110	3000	240	Speed / Torque	100	3.06
7	1000	100	Speed / Alpha	100	0.19	59	2000	360	Speed / Torque	100	1.64	111	3000	270	Speed / Torque	100	3.08
8	1250	100	Speed / Alpha	100	0.22	60	2000	100	Speed / Alpha	100	1.67	112	3000	300	Speed / Torque	100	3.11
9	1250	270	Speed / Torque	100	0.25	61	2250	100	Speed / Alpha	100	1.69	113	3000	330	Speed / Torque	100	3.14
10	1250	240	Speed / Torque	100	0.28	62	2250	360	Speed / Torque	100	1.72	114	3000	100	Speed / Alpha	100	3.17
11	1250	210	Speed / Torque	100	0.31	63	2250	330	Speed / Torque	100	1.75	115	3250	100	Speed / Alpha	100	3.19
12	1250	180	Speed / Torque	100	0.33	64	2250	300	Speed / Torque	100	1.78	116	3250	300	Speed / Torque	100	3.22
13	1250	150	Speed / Torque	100	0.36	65	2250	270	Speed / Torque	100	1.81	117	3250	270	Speed / Torque	100	3.25
14	1250	120	Speed / Torque	100	0.39	66	2250	240	Speed / Torque	100	1.83	118	3250	240	Speed / Torque	100	3.28
15	1250	90	Speed / Torque	100	0.42	67	2250	210	Speed / Torque	100	1.86	119	3250	210	Speed / Torque	100	3.31
16	1250	60	Speed / Torque	100	0.44	68	2250	180	Speed / Torque	100	1.89	120	3250	180	Speed / Torque	100	3.33
17	1250	30	Speed / Torque	100	0.47	69	2250	150	Speed / Torque	100	1.92	121	3250	150	Speed / Torque	100	3.36
18	1250	0	Speed / Torque	100	0.50	70	2250	120	Speed / Torque	100	1.94	122	3250	120	Speed / Torque	100	3.39
19	1500	0	Speed / Torque	100	0.53	71	2250	90	Speed / Torque	100	1.97	123	3250	90	Speed / Torque	100	3.42
20	1500	30	Speed / Torque	100	0.56	72	2250	60	Speed / Torque	100	2.00	124	3250	60	Speed / Torque	100	3.44
21	1500	60	Speed / Torque	100	0.58	73	2250	30	Speed / Torque	100	2.03	125	3250	30	Speed / Torque	100	3.47
22	1500	90	Speed / Torque	100	0.61	74	2250	0	Speed / Torque	100	2.06	126	3250	0	Speed / Torque	100	3.50
23	1500	120	Speed / Torque	100	0.64	75	2500	0	Speed / Torque	100	2.08	127	3500	0	Speed / Torque	100	3.53
24	1500	150	Speed / Torque	100	0.67	76	2500	30	Speed / Torque	100	2.11	128	3500	30	Speed / Torque	100	3.56
25	1500	180	Speed / Torque	100	0.69	77	2500	60	Speed / Torque	100	2.14	129	3500	60	Speed / Torque	100	3.58
26	1500	210	Speed / Torque	100	0.72	78	2500	90	Speed / Torque	100	2.17	130	3500	90	Speed / Torque	100	3.61
27	1500	240	Speed / Torque	100	0.75	79	2500	120	Speed / Torque	100	2.19	131	3500	120	Speed / Torque	100	3.64
28	1500	270	Speed / Torque	100	0.78	80	2500	150	Speed / Torque	100	2.22	132	3500	150	Speed / Torque	100	3.67
29	1500	300	Speed / Torque	100	0.81	81	2500	180	Speed / Torque	100	2.25	133	3500	180	Speed / Torque	100	3.69
30	1500	330	Speed / Torque	100	0.83	82	2500	210	Speed / Torque	100	2.28	134	3500	210	Speed / Torque	100	3.72
31	1500	360	Speed / Torque	100	0.86	83	2500	240	Speed / Torque	100	2.31	135	3500	240	Speed / Torque	100	3.75
32	1500	100	Speed / Alpha	100	0.89	84	2500	270	Speed / Torque	100	2.33	136	3500	270	Speed / Torque	100	3.78
33	1750	100	Speed / Alpha	100	0.92	85	2500	300	Speed / Torque	100	2.36	137	3500	100	Speed / Alpha	100	3.81
34	1750	360	Speed / Torque	100	0.94	86	2500	330	Speed / Torque	100	2.39	138	3750	100	Speed / Alpha	100	3.83
35	1750	330	Speed / Torque	100	0.97	87	2500	360	Speed / Torque	100	2.42	139	3750	240	Speed / Torque	100	3.86
36	1750	300	Speed / Torque	100	1.00	88	2500	100	Speed / Alpha	100	2.44	140	3750	210	Speed / Torque	100	3.89
37	1750	270	Speed / Torque	100	1.03	89	2750	100	Speed / Alpha	100	2.47	141	3750	180	Speed / Torque	100	3.92
38	1750	240	Speed / Torque	100	1.06	90	2750	330	Speed / Torque	100	2.50	142	3750	150	Speed / Torque	100	3.94
39	1750	210	Speed / Torque	100	1.08	91	2750	300	Speed / Torque	100	2.53	143	3750	120	Speed / Torque	100	3.97
40	1750	180	Speed / Torque	100	1.11	92	2750	270	Speed / Torque	100	2.56	144	3750	90	Speed / Torque	100	4.00
41	1750	150	Speed / Torque	100	1.14	93	2750	240	Speed / Torque	100	2.58	145	3750	60	Speed / Torque	100	4.03
42	1750	120	Speed / Torque	100	1.17	94	2750	210	Speed / Torque	100	2.61	146	3750	30	Speed / Torque	100	4.06
43	1750	90	Speed / Torque	100	1.19	95	2750	180	Speed / Torque	100	2.64	147	3750	0	Speed / Torque	100	4.08
44	1750	60	Speed / Torque	100	1.22	96	2750	150	Speed / Torque	100	2.67	148	4000	0	Speed / Torque	100	4.11
45	1750	30	Speed / Torque	100	1.25	97	2750	120	Speed / Torque	100	2.69	149	4000	30	Speed / Torque	100	4.14
46	1750	0	Speed / Torque	100	1.28	98	2750	90	Speed / Torque	100	2.72	150	4000	60	Speed / Torque	100	4.17
47	2000	0	Speed / Torque	100	1.31	99	2750	60	Speed / Torque	100	2.75	151	4000	90	Speed / Torque	100	4.19
48	2000	30	Speed / Torque	100	1.33	100	2750	30	Speed / Torque	100	2.78	152	4000	120	Speed / Torque	100	4.22
49	2000	60	Speed / Torque	100	1.36	101	2750	0	Speed / Torque	100	2.81	153	4000	150	Speed / Torque	100	4.25
50	2000	90	Speed / Torque	100	1.39	102	3000	0	Speed / Torque	100	2.83	154	4000	180	Speed / Torque	100	4.28
51	2000	120	Speed / Torque	100	1.42	103	3000	30	Speed / Torque	100	2.86	155	4000	210	Speed / Torque	100	4.31
52	2000	150	Speed / Torque	100	1.44	104	3000	60	Speed / Torque	100	2.89	156	4000	100	Speed / Alpha	100	4.33

Çizelge 2.9 Fuel Loop Test Çevrimi



Fuel loop çevrimi ile kurutucu ünite, emisyon ölçüm sitemine entegre edildikten sonra aşağıdaki test yöntemleri sırası ile denenecektir.

•**Chiller kapalı**: Kurutucu ünite takıldıktan sonra sistemi soğutacak chiller suyu kapatılarak koşulan testtir. Egzoz gazı ortam şartlarında bir yüzey ile karşılaşarak doğal yollardan ısısını kaybeder. Bu yöntem ile ısı değiştiricinin kendi soğutma kapasitesi belirlenecektir.

•**Chiller devrede**: Kurutucu ünite takıldıktan sonra sistemi soğutacak chiller suyu açılarak koşulan testtir. Sistem içerisinden 5°C'lik sabit sıcaklığa soğutulan su geçecektir. Sıcak egzoz gazının soğuk yüzey ile temas etmesinin ardından egzoz gazı nemini bırakacaktır.

Partial Fuel Loop: Örnekleme sayısını arttırmak ve doğrulama amaçlı ara yükler için koşulan testtir. Detay çevrim ve çevrim grafiği Çizelge 2.10 ve Çizelge 2.11'de verilmiştir. Motor maksimum yarım yükleme ile çalışmakta ve 0 pedal pozisyonundan başlayarak 10'ar artımla test koşulmaktadır.

Partial Fuel loop çevrimi ile kurutucu ünite, emisyon ölçüm sitemine entegre edildikten sonra aşağıdaki test yöntemleri sırası ile denenecektir.

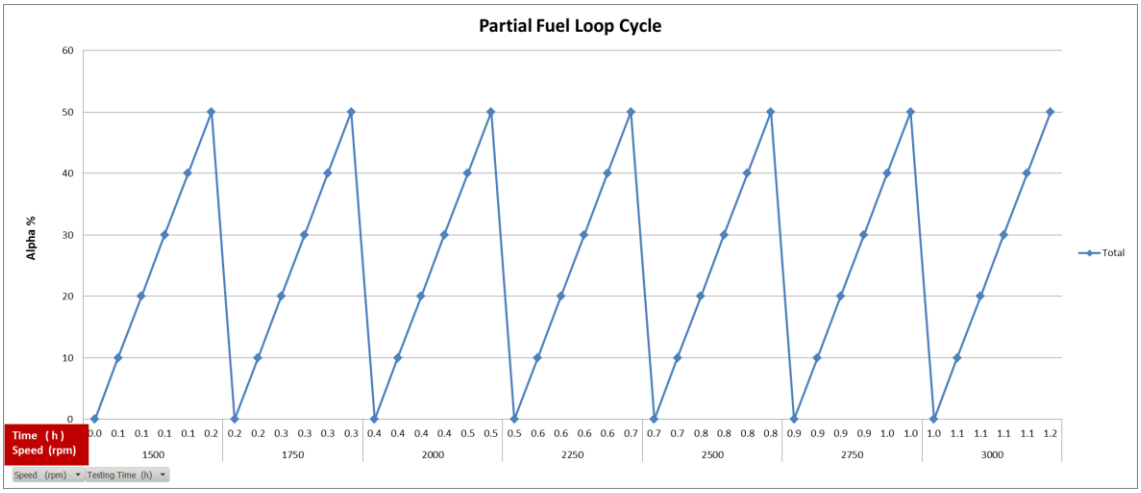
•**Chiller devrede**: Kurutucu ünite takıldıktan sonra sistemi soğutacak chiller suyu açılarak koşulan testtir. Sistem içerisinden 5°C'lik sabit sıcaklığa soğutulan Su geçecektir. Sıcak egzoz gazının soğuk yüzey ile temas etmesinin ardından egzoz gazı nemini bırakacaktır.

Çizelge 2.10 Partial Fuel Loop Testi

Partial Fuel Loop Test Cycle

Step No	Speed (rpm)	Alpha (%)	Testing Time (h)	Step No	Speed (rpm)	Alpha (%)	Testing Time (h)
1	1500	0	0.0	22	2250	30	0.6
2	1500	10	0.1	23	2250	40	0.6
3	1500	20	0.1	24	2250	50	0.7
4	1500	30	0.1	25	2500	0	0.7
5	1500	40	0.1	26	2500	10	0.7
6	1500	50	0.2	27	2500	20	0.7
7	1750	0	0.2	28	2500	30	0.8
8	1750	10	0.2	29	2500	40	0.8
9	1750	20	0.2	30	2500	50	0.8
10	1750	30	0.3	31	2750	0	0.9
11	1750	40	0.3	32	2750	10	0.9
12	1750	50	0.3	33	2750	20	0.9
13	2000	0	0.4	34	2750	30	0.9
14	2000	10	0.4	35	2750	40	1.0
15	2000	20	0.4	36	2750	50	1.0
16	2000	30	0.4	37	3000	0	1.0
17	2000	40	0.5	38	3000	10	1.1
18	2000	50	0.5	39	3000	20	1.1
19	2250	0	0.5	40	3000	30	1.1
20	2250	10	0.6	41	3000	40	1.1
21	2250	20	0.6	42	3000	50	1.2

Çizelge 2.11 Partial Fuel Loop Test Çevrimi



2.2 Kullanılacak Materyaller

2.2.1 Motor Seçimi

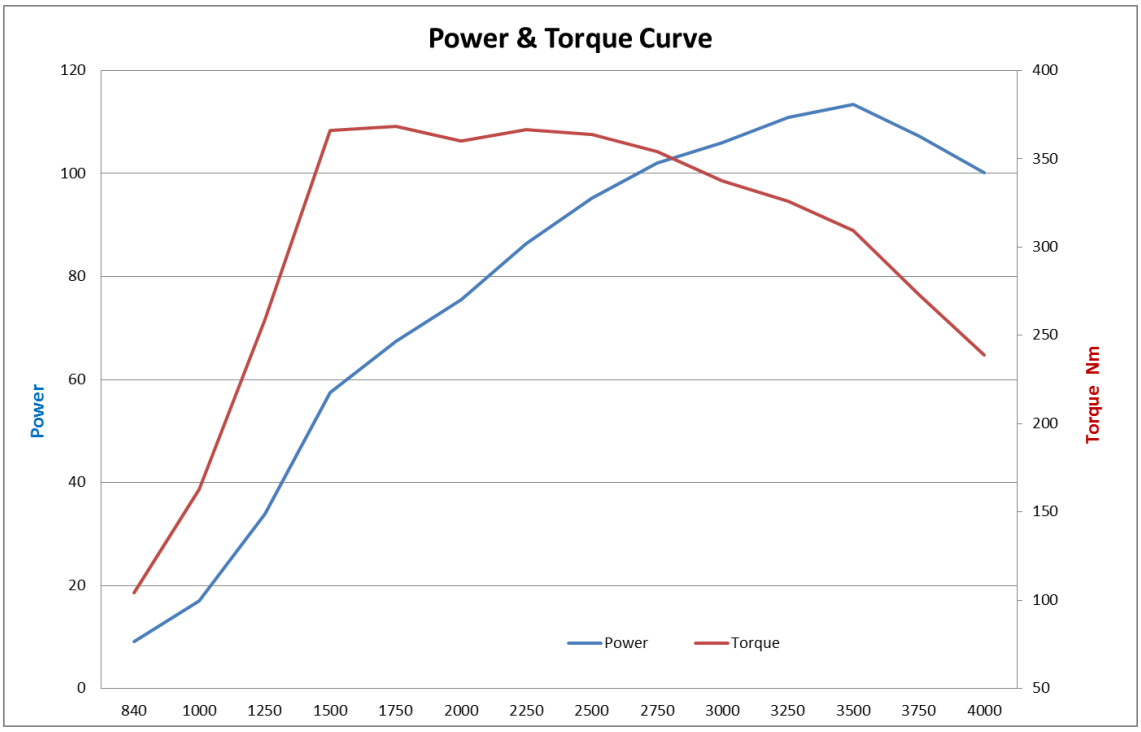
Test için emisyon değerleri bilinen halen piyasada satışı olan ve Ford Transit minibüslerinde kullanılan Puma Global 2.2L 155PS maksimum 355 Nm tork değerine sahip motor seçilmiştir. Yakıt hava oranı maksimum tork bölgesinde 1/17 maksimum güç noktasında 1/20 mertebesindedir.

Motor performans metriği ve güç eğrisi Çizelge 2.12'de ve Çizelge 2.13'te gösterilmiştir.

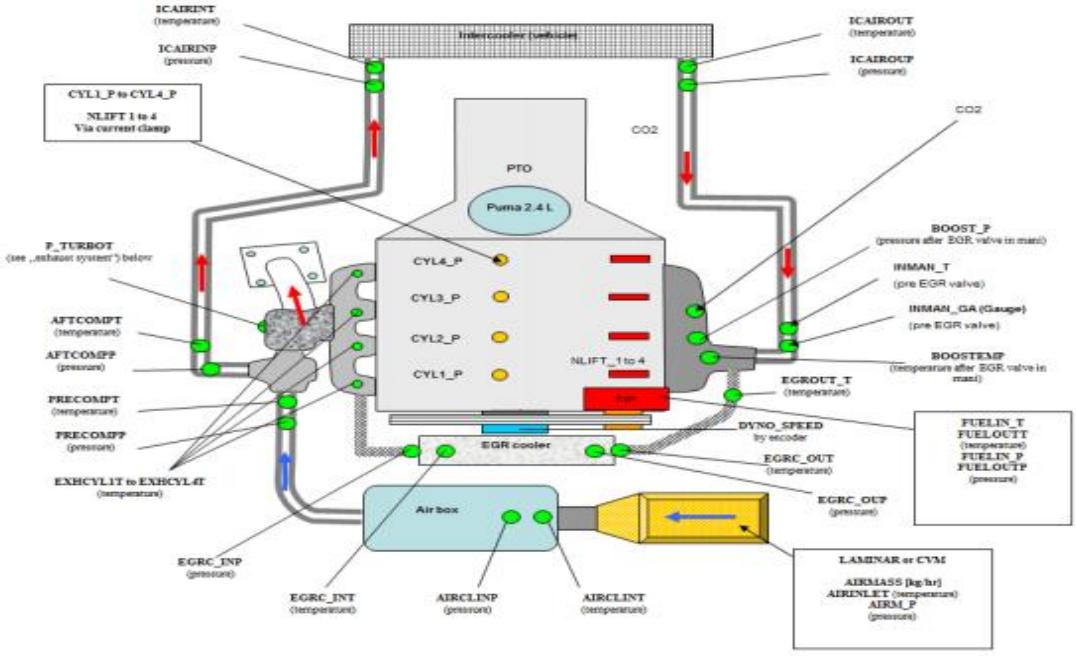
Çizelge 2.12 PUMA motoru Güç ve moment karakteristiği değerleri

ALPHA %	SPEED rpm	TORQUE Nm	P kW	SFC g/kWh	AFS_dm kg/h	Air / Fuel Ratio
100	840	104.4	9.18	253.4	62.49	26.9
100	1000	162.6	17.03	248.4	84.95	20.1
100	1250	258.9	33.89	234.5	148.22	18.7
100	1500	365.9	57.47	223.5	259.86	20.2
100	1750	368.3	67.49	213.6	335.23	23.3
100	2000	360.2	75.45	222.3	326.99	19.5
100	2250	366.6	86.37	220.4	369.83	19.4
100	2500	363.8	95.24	223.3	398.55	18.7
100	2750	354.2	102.02	227.5	426.98	18.4
100	3000	337.3	105.96	236.9	436.21	17.4
100	3250	325.8	110.87	232.5	521.18	20.2
100	3500	309.5	113.42	234.3	518.73	19.5
100	3750	272.9	107.17	238.9	527.58	20.6
100	4000	239	100.13	243.7	521.81	21.4

Çizelge 2.13 PUMA motoru Güç ve moment karakteristiği grafiği



Motorlar test edilirken, tamamiyle gözetim altında tutulması için çeşitli komponentler üzerine sıcaklık, basınç ve flow metre enstrümante edilerek ölçüm noktalarıda gözlem altında tutulmaktadır. Şekil 2.13'te test motorumuz üzerinde yapılan enstrümanteler görülmektedir.



Şekil 2.13 Motor üzerinde yapılan enstrumantasyonlar

Enstrümanteler ve motor üzerinde bulunan dahili sensörler yardımı ile parametreler derlenerek modellemeler ve emisyon hesaplarıda sensörler üzerinden yapılabilmektedir.

Motora alınan yakıt mikatarı ile beraber giren hava debisi ölçülerek egzoz gazı bileşenleri sensörlerin transfer fonksiyonları yardımı ile hesaplanabilmektedir.

Partial Fuel Loop testinde % 50 yükleme noktasındaki motora giren ve motordan çıkan miktarları Çizelge 2.14 'te görülmektedir.

Çizelge 2.14 Partial Fuel Loop Testi Ara Değerleri Kütle Gösterimi

	SPEED	ALPHA	TORQUE	P	FB_VAL	AIRFLOW	THC_PREGH	O2_PREGH	NO_PREGH	CO_PREGH	CO2_PREGH
	rpm	%	Nm	kW	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
Normal	1750	50	218.3	39.85	8.89	142.4	0.00049	9.86499	0.09629	0.00114	28.41363
With Dryer	1750	50	218.2	39.93	8.92	142.9	0.00043	11.13499	0.0879	0.00071	26.17173

PUMA motorumuzda kullanılan genel yanma denklemini şu şekildedir:

$$C_{17}H_{34} + 25{,}5(O_2 + 3{,}76\ N_2) \rightarrow PM, NOx, CO_2, CO, CH_4, H_2O, N_2 \quad (2.6)$$

Denklem baz alındığında motorlardan atılan emisyon değerleri için Çizelge 2.15'te yer alan kolerasyon varlığından söz edilebilir [23].

Çizelge 2.15 Egzoz Gazı Emisyon Oran Dağılımı

CO	0,85
HC	0,05
NOx	0,08
Katı partüküller	0,005

Testlerde koşan her stepte AFR miktarı farklı olduğu için yanma denklemi farklılık gösterecektir.

2.2.2 Test Odası Şartları ve Sabit Tutulan Değerler

Testler, emisyon cihazları kararlılıklarının gün bazlı olarak ± %3 mertebesinde değişkenlik göstermesi sebebi ile sürekli ölçüme tabi tutulacaktır.

Test tekrarları ile değişik ölçüm sonuçları kaynağının emisyon cihazı, ortam koşulları yoksa motor kalibrasyonu kaynaklı mı olduğunu anlamak gerekmektedir.

Test sırasında CO_2, CO ve O_2 için soğuk ölçüm metodları uygulanırken THC ve NO_x için preheater dediğimiz ısıtma yöntemi uygulanarak gaz, egzozdan çıktığı şekli ile analizörlere girmesi sağlanacaktır.

Testler süresince, motorun emiş havası 25^oC ve %50 bağıl nem olacak şekilde sabit tutulacaktır.

Emisyon cihazları örnekleme hattı sonunda egzoz örnekleme sıcaklığı ortalama 110 ^oC'dir.

Yapılan tüm testlerde motor kalibrasyonu aynıdır. Motor üzerindeki ve harici takılan sensörlerden 10Hz ile kayıt alınacaktır. Bu sayede daha hassas ölçümler yapılabilecektir.

Testler süresince aşağıdaki maddeler sürekli gözlem altında tutulacaktır:

- Test yapılan ortamı ve motorun hava emiş ağzını sürekli aynı koşullara şartlandırma,
- Chiller suyunun kurutucu ünite'ye sabit 5^oC sıcaklıkta girmesi,
- Egzoz gazını dryer'dan çıktıktan sonra kullanılan ısıtıcı ünitenin (preheater) sıcaklığının sabit değerlerde ısıtılması,
- Test sırasında kullanılan motor kalibrasyonunun aynı olduğundan emin olma,
- Test sırasında sürekli aynı parametreler ile kayıt alma,
- Emisyon cihazları kalibrasyon gazlarını gözetim altında tutma,
- Test öncesinde cihazların 1 saat kurulum ve hazırlanma sürecini takip etme,
- Ölçüm aralığına uygun referans gazın kullanıldığından emin olma,
- Cihaz nem değerini gözetim altında tutma,

•Kurutucu ünite nem toplama haznesini gözetim altında tutma ve dolum sonrasında yenisi ile değiştirme,

•Sistemde kullanılan ısıya dayanıklı teflon hortumların kurum doluluk oranlarını gözetim altında tutma,

•Kurulan düzeneğin tamamen egzoz içerisinden gaz numunesi çekebilmesi için, sistemin dış ortam havasından yalıtabilirliğinin sağlanması ve sürekliliği.

Testler ölçüm doğruluğunu görmek ve değerler arasında düzeltme faktörü belirlemek için ortalama 5 tekrar ile koşturulacaktır.

Soğutma: Çalışmada amaçlanan, egzozu soğutmak ve gazı yoğuşturmak olduğu için emisyon cihazları içerisinde bulunan chiller grupları soğutma kapasiteleri emsal alınmıştır. Bu sebeple kurutucu ünite içerisinden binada klima santrallerinde kullanılan $5^{o}C$ sıcaklığa kadar düşürülen chiller suyu geçirilecektir.

Gaz sıcaklığını daha fazla düşürebilecek bakır borulu sistemler, akışkan olarak soğutucu akışkanların basınçlı dolandığı evaporatörlü sistemler ve farklı eşanjör modelleri ve soğutma analizleri yapmak mümkündür.

Isıtma: Egzoz gazı pre heater ile $190^{o}C$'ye ısıtılarak gazlara egzoz çıkışındaki koşulları simüle edilecektir. Eşanjör çıkışında $10^{o}C$'lere kadar düşürülen egzoz gazı emisyon cihazına girmeden önceki ısısı olan 40 – $60^{o}C$ mertebesine geri çıkarılacaktır.

2.2.3 Kullanılacak Yakıtın Belirlenmesi ve Analizi

Petrol, hidrokarbonların karışımından meydana gelmiş olup, her zaman sabit bir kimyevi bileşimi yoktur. Doğal akaryakıt olan ham petrol, bulunduğu ülkeye göre değişimler gösterir. Örnek verilecek olursa; Amerika' da çıkarılan petroller genellikle hidrokarbon sınıfından olan bileşikleri, Rusya petrolleri, naften sınıfından bileşikleri, Romanya petrolleri ise bu ikisinin bir karışımını içerir. Ortalama elementel birleşimleri ise; %84 Karbon (C), %12 Hidrojen (H), %1 Oksijen(O) olup çok az miktarda da Kükürtten (S) oluşur.

Mazot veya motorin dizel motorlarda kullanılan, ham petrolün damıtma ürünlerinden biridir. Ham petrolün damıtılması sırasında 200-300°C kaynama aralığında alınan üçüncü ana ürün motorindir. [24]

Motorin içinde bulunan kükürdün yanması ile oluşan kükürt oksitler ve daha sonra oluşan sülfürik asit dolayısıyla partikül emisyon değerlerinde çok önemli miktarda azalma sağlanacaktır. Yakıt içerisinde bulunan yüksek miktardaki kükürt katalitik konvertör dönüşüm veriminde ciddi düşüşlere neden olmaktadır.

Avrupa ülkelerinde 2005 yılından itibaren minimum kükürt değeri 50 ppm iken 2015 'te kullanılan yakıt içerisindeki kükürt miktarı 10 ppm'dir. Regülasyonlar maksimum 10 ppm'lik yakıtın kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Yakıt içeriğindeki kükürt ile partiküler madde emisyon değerleri arasında ilişki dikkate alındığında motorin kükürt değerinde sağlanan %99,99'luk azalma, partikül emisyon değerlerinin tamamına yakınının yok olmasına neden olacaktır. Emisyon değerlerinde sağlanan iyileşme neticesinde, asit yağmurlarının oluşumu, bitki örtüsüne ve insan sağlığına verilen zarar minimum seviyeye düşürülmüş olacaktır [24].

Ayrıca motorindeki kükürt oranının artışıyla, kış ayları boyunca filtre tıkanma sıcaklığı da azalmaktadır. Bunlara ek olarak kükürt oranının motorine etkisi ise şöyle sıralanabilir;

- Setan sayısında artış sağlamaktadır.

- Yakıt sistemlerinde korozyon oluşumu önlenmektedir.

- Çevre ve insan sağlığına zararlı CO, NO_x, Hidrokarbon ve partiküler madde emisyonlarında önemli oranda azalma sağlamaktadır.

- Motorda mevcut birikintileri temizlemekte, devamlı kullanıldığında motoru temiz tutmaktadır.

- Araç depolarına dolumu sırasında köpürme olmamakta, araç kirlenmemektedir.

- CFPP değerinde yaklaşık 5 C'ye yakın iyileştirme sağlayan ayrıca kimyasal ilave edilmektedir. [24]

Motorumuz bir dizel motoru olduğu için ülkemizde EU6 regülasyonuna uygunluk gösteren standart euro dizel kullanılacaktır.

Çizelge 2.16'da günümüzde kullanılan dizel yakıtın analiz değerlerini ve regülasyonlar tarafından belirlenen limitleri görebilirsiniz. [25]

Kullanılan yakıt Euro 6 regülsyonlarını karşılamaktadır.

Çizelge 2.16 Yakıt analiz değerleri ve regülasyon limitleri

Euro Diesel				Tübitak Analiz Raporu
ANALİZ	**BİRİM**	**TS EN 590**		Yakıt Numunesi
		EN AZ	**EN ÇOK**	
Yoğunluk	kg/m3	820	845	835.1
Kinematik Viskozite	mm2/s	2.00	4.5	2.777
Toplam Kirlilik	mg/kg	-	24	6.5
Oksidasyon Kararlılığı	g/m3	-	25	4
Parlama Noktası	ºC	>55	-	61.0
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası	ºC	-	+5 (YAZ) -15 (Kış)	-19
Destilasyon 250 C de elde edilen	% v/v	-	< 65	36.9
350 C de elde edilen	% v/v	85	-	94.0
%95'in elde edildiği sıcaklık	ºC	-	360	354.1
Karbon Kalıntısı	% m/m	-	0.30	<0,1
Su	mg/kg	-	200	70
Kül Tayini	% m/m	-	0.01	<0,001
Kükürt	mg/kg	-	10	8.2
Yağ Asidi Metil Esteri (YAME)	% v/v	-	7	<0,05
Polisikrik Armonik Hidrokarbonlar	% m/m	-	8	2.6
Setan Sayısı		51	-	54.3
Setan İndisi		46	-	52.5
Yağlama Özelliği	µm		460	362
Bakır Şerit Korozyon		-	1	1a
Bulutlanma Noktası	ºC	-	-	-5

2.2.4 Egzoz Gazı Kurutucu Ünite Tasarımı

Motordan atılan egzoz gazındaki suyu yoğuşturarak emisyon değerlerini düşürmek için kurulacak sistemde, 10mm çapındaki krom boru çapı seçimindeki kriter, emisyon cihazının örnek aldığı hattı değiştirmemektir [22].

Soğuk yüzey temas alanının bulunması için aşağıdaki Çizelge 2.17'deki tabloda verilen veriler kullanılarak aşağıdaki hesap yöntemleri uygulanmıştır.

Çizelge 2.17 Isı değiştirici tasarımı için alınan sabit değerler

Akışkan Özellikleri	Ölçülen Değerler
Egzoz gazı giriş sıcaklığı	110 °C
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	10 – 15 °C
Egzoz gazı debisi	360 kg/sa
Egzoz gazı özısısı	1.1 – 1.25 kJ / kg K
Soğutma suyu giriş sıcaklığı	5 °C
Soğutma suyu çıkış sıcaklığı	15 °C
Soğutma suyu debisi	600 kg/sa
Soğutma suyu özısısı	1 kJ / kg K
Genel konveksiyon ısı iletim katsayısı (U)	2500 W / m^2.K

U: Yüksek ısı transfer katsayısı × W ×m^{-2}×K^{-1}

A: Isı değiştirici yüzey (m^2)

h_1: Isı transfer katsayısı- sıcak taraf (W ×m^{-2}×K^{-1})

h_2: Isı transfer katsayısı- soğuk taraf (W ×m^{-2}×K^{-1})

t: Sıcaklık (°C)

$$Q = m\ \frac{kg}{h} \times C_p \frac{kJ}{kg.K} \times \Delta T\ K \quad (2.7)$$

$$Q_{egzmin} = 360\ \frac{kg}{h} \times 1{,}1\ \frac{kJ}{kg.K} \times 373\ K = 147708\ \frac{kJ}{h} = 41030\ W = 41{,}03\ kW \quad (2.8)$$

$$Q_{egzmax} = 360\ \frac{kg}{h} \times 1{,}25\ \frac{kJ}{kg.K} \times 368\ K = 165600\ \frac{kJ}{h} = 46000\ W = 46\ kW \quad (2.9)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1}+\frac{1}{h_2}}\ \frac{W}{m2.K} \quad \text{(Isı transferi katsayısı)} \quad (2.10)$$

$$Q = U \times A \times \theta_{LMTD} \quad \text{(Yüzey alanına bağlı ısı geçişi)} \quad (2.11)$$

$$\theta_{LMTD} = \frac{\theta_A - \theta_B}{ln\frac{\theta_A}{\theta_B}} \quad (2.12)$$

Ters Akış Prensibine Göre [40];

T : Sıcak akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları

t : Soğuk akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları

$$\theta_A = T_{in} - t_{out} \quad (2.13)$$

$$\theta_{Amin} = 110 - 15 = 95°C \quad (2.14)$$

$$\theta_B = T_{out} - t_{in} \quad (2.15)$$

$$\theta_{Bmin} = 10 - 5 = 5°C \quad (2.16)$$

$$\theta_{LMTDmin} = 30{,}57\ °C \quad (2.17)$$

$$\theta_{LMTDmax} = 37{,}76\ °C \quad (2.18)$$

$$Q_{egzmin} = 41030\ W = 2500\ \frac{W}{m2.K} \times A_{min} \times 303{,}57\ K \quad (2.19)$$

$$A_{min} = 0{,}054\ m^2 \quad (2.20)$$

$$Q_{egzmax} = 46000\ W = 2500\ \frac{W}{m2.K} \times A_{max} \times 310{,}76\ K \quad (2.21)$$

$$A_{max} = 0{,}059\ m^2 \quad (2.22)$$

$$A_{min} = 0{,}054\ m^2 = \pi \times 0{,}01 \times L_{min} \quad (2.23)$$

$L_{min} = 1{,}7\ m$ (Kullanılması gereken min krom boru uzunluğu) (2.24)

$$A_{max} = 0{,}059\ m^2 = \pi \times 0{,}01 \times L_{max} \quad (2.25)$$

$L_{max} = 1{,}8\ m$ (Kullanılması gereken max krom boru uzunluğu) (2.26)

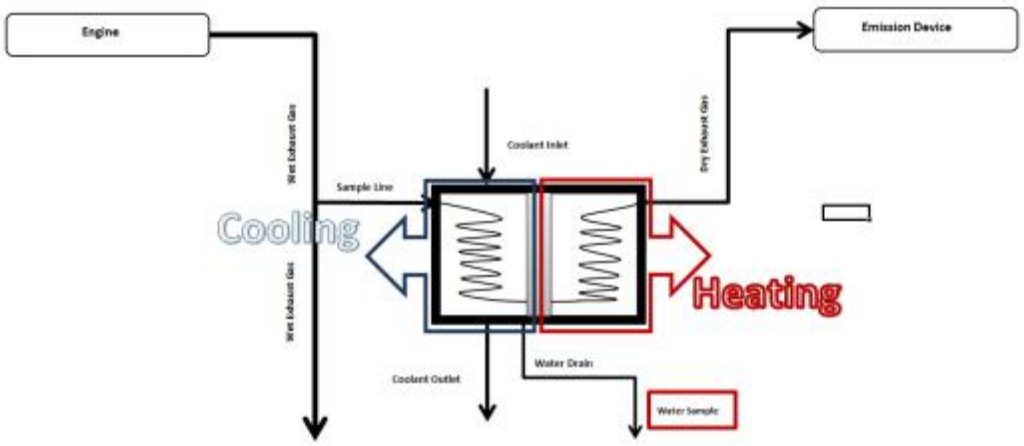
Isı transferi yüzey alanının hesabında, enerjinin korunum yasası uygulanmıştır. Egzoz gazının kaybettiği enerjinin soğutma suyunun kazandığı enerjiye eşit olacağı bilinmektedir. Buna dayanarak $Q_{in}=Q_{out}$ ile egzozun kaybettiği ısı enerjisi, soğutma suyunun kazandığı ısı enerjisine eşitlenerek gerekli su debisi 600kg/sa bulunarak sisteme regülatör ilave edilmiştir. Bu hesap, egzoz gazı özısısının minimum ve maksimum değerleri için ayrı ayrı yapılarak maksimum duruma göre uyarlanmıştır.

Gerekli soğutma suyu debisinin bulunmasının ardından, ısı değiştiricilerinde aktarılan ısı enerjisinin minimum ve maksimum değerleri kullanılarak ısı transferi temas yüzey alanı hesaplanmıştır. Bu hesapta da kullanılacak krom boru çapı sabit olacağı için için boru uzunluğu miktarı belirlenmiştir. Boruların olması gereken minimum boy 1.7m ve maksimum boy 1.8 m olarak hesaplanmıştır [26].

Krom boru hattı, içinden soğutma suyu geçirilen silindir içerisine yerleştirilmiştir. İçerisinden egzoz gazı geçirilecek krom boru minimum 1.7 m temas yüzeyi olabilmesi için helikal şekilde kıvrılarak soğutucu su ile temas eden alan yüzeyinin arttırılması amaçlanmıştır.

2.2.5 Deney Düzeneği

Egzozdan alınacak örnekleme için hazırlanan test düzeneği detayları aşağıdaki gibidir. Sistemde sıcaklığa ve paslanmaya karşı dayanımı olması sebebiyle krom borular tercih edilmiştir. Şekil 2.14'te hazırlanan düzenek şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Egzozdan alınan örnekleme için hazırlanan test düzeneği

Test düzeneğinde kullanılan malzemeler aşağıdaki gibidir:

- 2 adet K tipi thermocouple,
- 0.25m ¾'' paslanmaz boru,
- 2m 10mm'lik krom boru,
- Krom somun ve bağlantı elemanları (fittings)
- Sızdırmaz cam numune kabı,
- Isıya dayanıklı teflon hortumlar,

•Sızdırmazlık için sıvı yapıştırıcı,

•Gümüş kaynağı malzemeleri

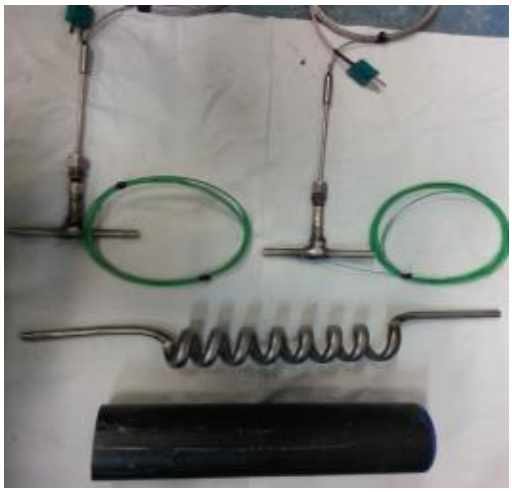
2.2.5.2 Test Düzeneği Hazırlığı

Testin amacına uygun eşanjör prensibi ile çalışan test düzeneği, çevredeki atık malzemeler ile yapılmıştır.

Test düzeneği;

•Thermocouple Şekil 2.15'te de görüldüğü gibi hazırlanan krom T'lere monte edildi.

•Krom boru, torna tezgahında metal boru üzerine sardırıldı ve spiral şekil alması sağlandı.



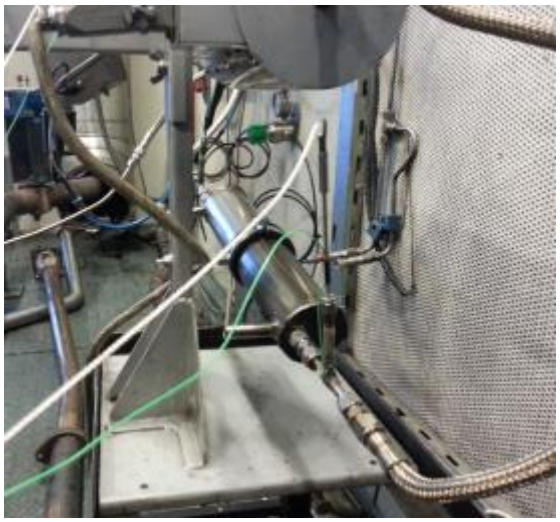
Şekil 2.15 Spiral şeklindeki krom boru

•Kalın krom boru içerisine alınan spiral ince krom boru, krom saç ile kapatılarak gümüş kaynağı ile sızdırmaz şekilde kaynatılmıştır. Sızdırmazlık testleri regülatörlü basınç kontrol yöntemleri yapılmıştır. Sistemin şekli Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Isı değiştirici imalatı

•Soğutucu ekipman, ısıtma prosesi öncesine bağlanıp su buharının tutulması sağlanacaktır. Şekil 2.17'de sisteme montaj edilmiş hali görülmektedir.



Şekil 2.17 Egzoz ölçüm sistemine entegresi

BÖLÜM 3

EMİSYON ÖLÇÜM ANALİZLERİ

3.1 Emisyon Ölçüm Analizleri

3.1.1 O_2 Analizi

Grafiklerde de görüldüğü gibi O_2 değerleri % ve ppm şeklinde gösterilebilmektedir. Verilen % değerleri yorumlanabilmesi ve grafikte görülebilmesi için 1000'e bölünerek tablolara işlenmiştir.

Emisyon cihazında ölçülen miktar;

- % 0 pedal pozisyonunda 200.000 – 210.000 ppm
- % 50 pedal pozisyonunda 40.000 – 80.000 ppm

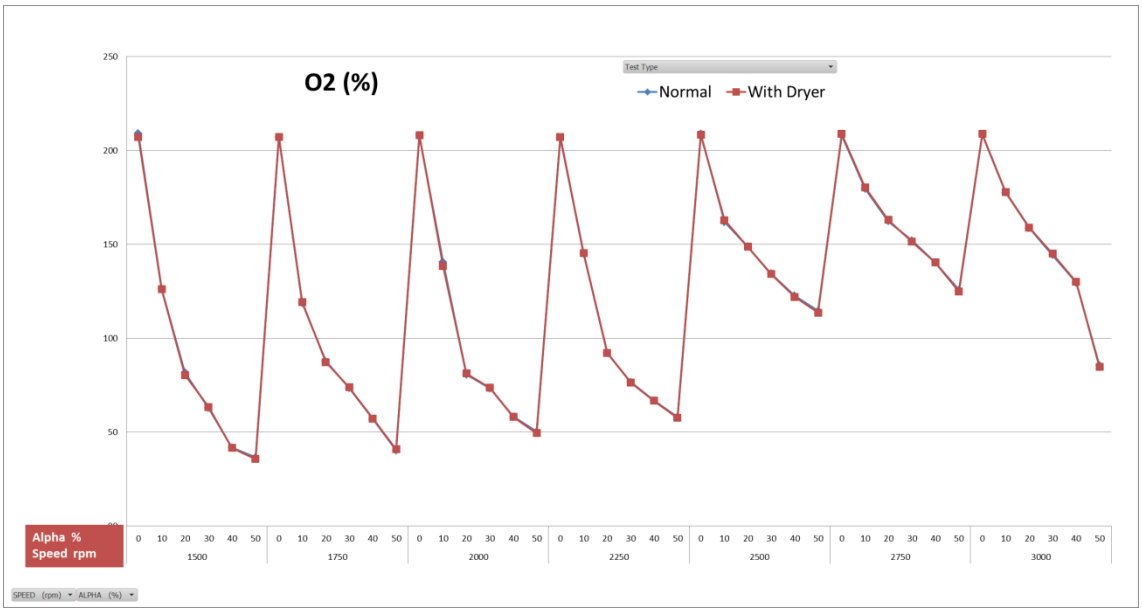
Turbo sonrası sensörlerde okunan kütlesel debi,

- % 0 pedal pozisyonunda 90 kg/h mertebelerine okunmaktadır.
- % 50 pedal pozisyonunda 5 kg/h mertebesinde okunmaktadır.

Çizelge 3.1'de partial fuel loop testinde koşularak alınmış O_2 emisyon dataları görülmektedir. Motora yapılan yükleme miktarı arttıkça % 50 pedal pozisyonlarında egzozdan atılan O_2 azalış göstermektedir.

'Normal' testinde sisteme orjinal araç egzoz setup'ı ile bağlanmış ve 'With Dryer' yazan testte ise egzoz kurutucu ünite ilave edilmiştir. İki test arasında % 0.2'lik bir ölçüm sonucu farkı olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 3.1 Partial Fuel Loop Testi O_2 analizi (Chiller Devrede)

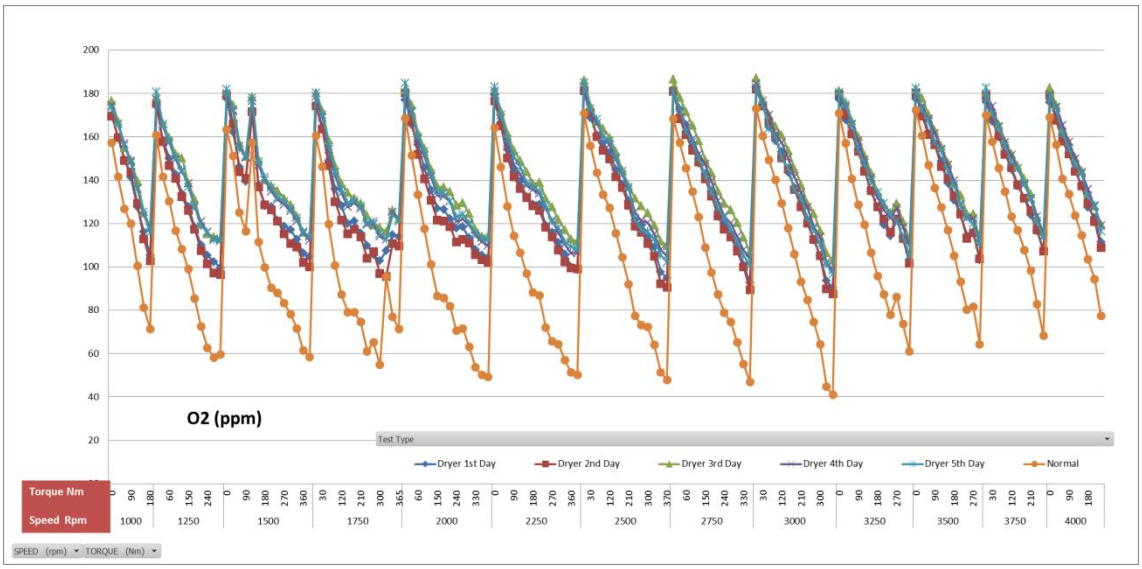


Çizelge 3.2'de ise fuel loop testleri koşulmuş ve ölçüm kararlılığı için üst üste 1'er gün arayla ölçümler alınmıştır.

'Normal' testinde sisteme orjinal araç egzoz setup'ı ile bağlanmış ve 'Dryer' yazan testlerde ise egzoz kurutucu ünite ilave edilerek chiller açılmış, soğutma suyu sisteme verilmiştir. Sistem üzerindeki thermocouple'dan okunan gaz sıcaklık giriş değeri 110 ^oC, çıkış değeri ise 13 ^oC mertebelerinde okunmaktadır.

İki test arasında %40'a varan bir ölçüm sonucu farkı olduğu görülmüş ve değişimin emisyon cihazı kararlılık toleransları dışında kalmıştır. Oksijen oranının tam yüklerde arttığı gözlenmiştir.

Çizelge 3.2 Fuel Loop Testi O_2 Analizi (Chiller Devrede)

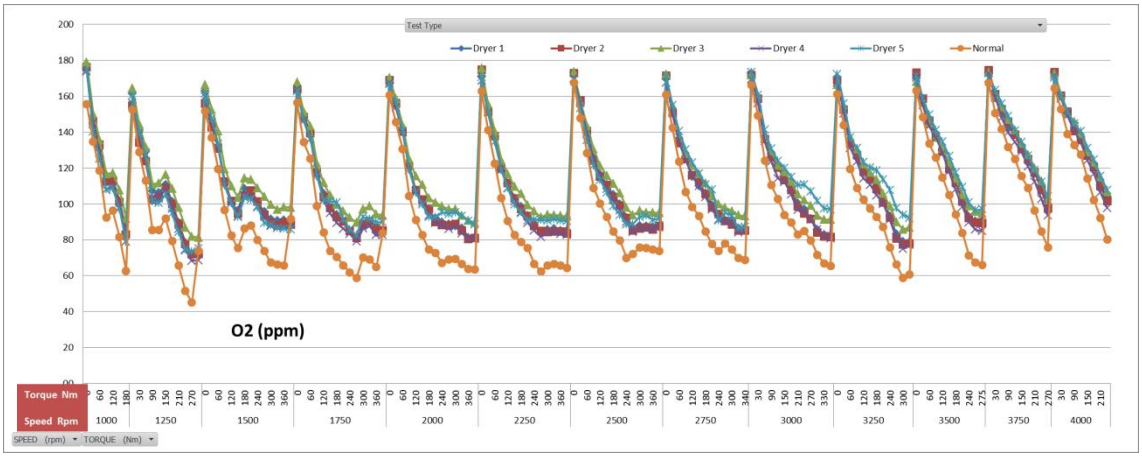


Çizelge 3.3'de ise yine aynı şekilde fuel loop testleri koşularak, ölçüm kararlılığı için üst üste 1'er gün arayla ölçümler alınmıştır. Egzoz ile atılan oksijen emisyonu, yine devrin artması ile artış göstermektedir. Yüklemenin olmadığı anlarda maksimum noktalara ulaşmaktadır. Bu anlarda kütlesel debi 76 kg/h mertebelerine çıkmaktadır.

'Normal' testinde sisteme orjinal araç egzoz setup'ı ile bağlanmış ve 'Dryer' yazan testlerde soğutma suları kapatılmıştır. Böylelikle egzoz gazının dolaştığı hat oda sıcaklığına soğutulmaktadır. Sistem üzerindeki thermocouple'dan okunan gaz sıcaklık giriş değeri max. 110^{o}C çıkış değeri ise spiral hat sonunda max. 50 ^{o}C civarında okunmaktadır.

Emisyon ölçümü sırasında su drenaj kabında su ve kurum karışımı şeffaf bir sıvının toplandığı gözlenmiştir. İki test arasında %18'lere varan bir ölçüm sonucu farkı olduğu görülmüş ve değişimin emisyon cihazı kararlılık toleransları dışında kalmasından dolayı fuel loop testinde soğutma sularının kapalı olarak test koşulmasının oksijen emisyonu üzerinde açıkca etkisinin olduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 3.3 Fuel Loop Testi O_2 Analizi (Chiller Kapalı)



3.1.2 CO_2 Analizi

Grafiklerde de görüldüğü gibi CO_2 değerleri % ve ppm şeklinde gösterilebilmektedir. Verilen % değerleri yorumlanabilmesi ve grafikte görülebilmesi için 1000'e bölünerek tablolara işlenmiştir.

Motora yapılan yükleme miktarı arttıkça % 50 pedal pozisyonlarında egzozdan atılan CO_2 artış göstermektedir.

Emisyon cihazında ölçülen miktar;

- % 0 pedal pozisyonunda 0 – 25.000 ppm

- % 50 pedal pozisyonunda 78.000 – 120.000 ppm

Turbo sonrası sensörlerde okunan kütlesel debi,

- % 0 pedal pozisyonunda 200 g/h mertebelerine okunmaktadır.

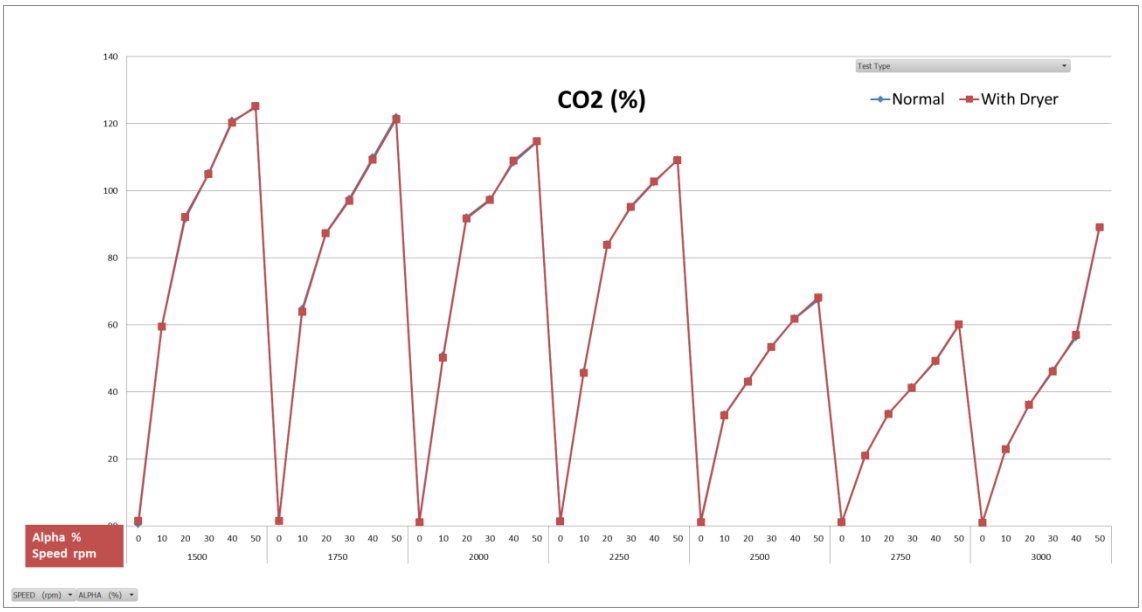
- % 50 pedal pozisyonunda 24 kg/h mertebesinde okunmaktadır.

Çizelge 3.4'te partial fuel loop testinde koşularak alınmış CO_2 emisyon dataları görülmektedir. Egzoz ile atılan karbondioksit emisyonu, devrin artması ile artış göstermekte fakat yüksüz olduğu anlarda minimum noktalara düşmektedir.

'Normal' testinde sisteme orjinal araç egzoz setup'ı ile bağlanmış ve 'With Dryer' yazan teste ise egzoz kurutucu ünite ilave edilmiştir. İki test arasında % 0.1'lik bir ölçüm

sonucu farkı olduğu gözlenmiş ve bu kadar küçük bir değişimin emisyon cihazı kararlılık toleransları içinde kalmasından dolayı partial fuel loop testlerinde, yapılann tasarımın CO_2 emisyonu üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı yorumlanmıştır.

Çizelge 3.4 Partial Fuel Loop Testi CO_2 Analizi (Chiller Devrede)



Çizelge 3.5'te ise fuel loop testleri koşulmuş ve ölçüm kararlılığı için üst üste 1'er gün arayla ölçümler alınmıştır. Egzoz ile atılan karbondioksit emisyonu, devrin artması ile azalmakta, tam yükte maksimum noktalarına ulaşmaktadır. Bu anlarda kütlesel debi 23 kg/h mertebelerine çıkmaktadır.

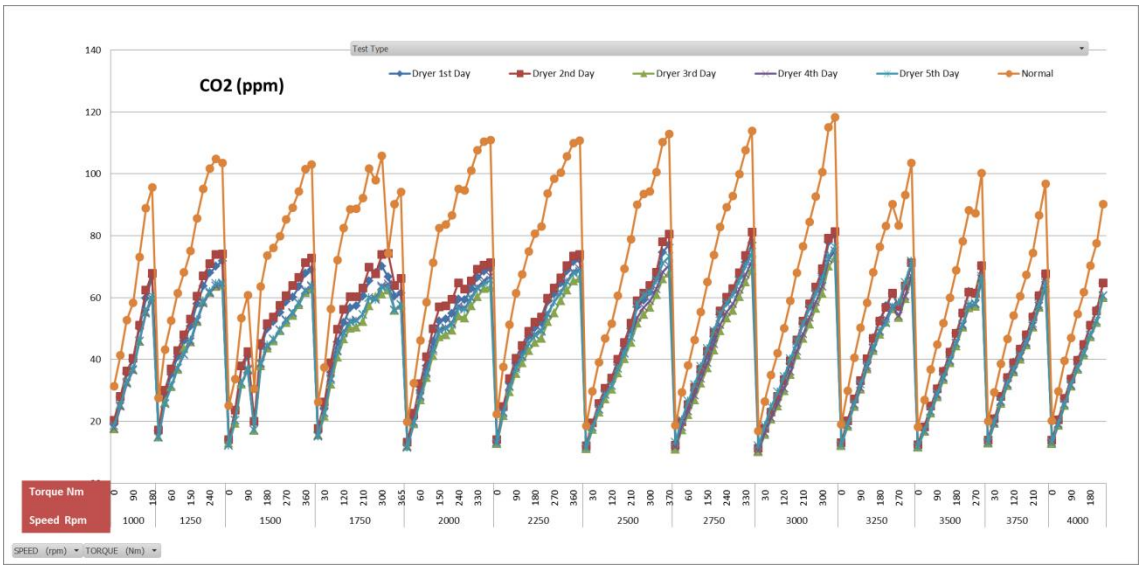
'Normal' testinde sisteme orjinal araç egzoz setup'ı ile bağlanmış ve 'Dryer' yazan testlerde ise egzoz kurutucu ünite ilave edilerek soğutma suları açılmıştır. Böylelikle egzoz gazının dolaştığı hat 5 derecedeki su ile soğutulmaktadır. Sistem üzerindeki thermocouple'dan okunan gaz sıcaklık giriş değeri 110°C, çıkış değeri ise 13 °C mertebelerinde okunmaktadır.

Emsiyon ölçümü sırasında su drenaj kabında su ve kurum karışımı sarı bir sıvının toplandığı gözlenmiştir.

İki test arasında %40'a varan bir ölçüm sonucu farkı olduğu görülmüş ve değişimin emisyon cihazı kararlılık toleransları dışında kalmasından dolayı fuel loop testinde soğutma sularının açık olarak test koşmanın karbondioksit emisyonu üzerinde açıkca etkisinin olduğu söylenebilmektedir.

Karbondioksit oranının tam yüklerde arttığı gözlenmiştir. Sonuç bölümünde değerlerdeki azalışlar yorumlanacaktır.

Çizelge 3.5 Fuel Loop Testi CO_2 Analizi (Chiller Devrede)



Çizelge 3.6'da ise yine aynı şekilde fuel loop testleri koşularak, ölçüm kararlılığı için üst üste birer gün arayla ölçümler alınmıştır. Egzoz ile atılan karbondioksit emisyonu, devrin artması ile azalmakta, tam yükte maksimum noktalarına ulaşmaktadır. Bu anlarda kütlesel debi 17 kg/h mertebelerine çıkmaktadır.

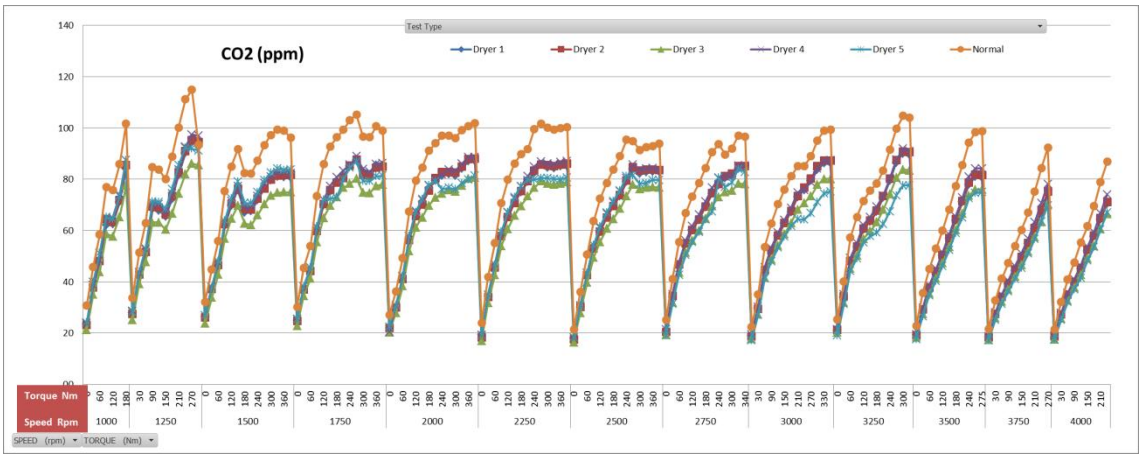
'Normal' testinde sisteme orjinal araç egzoz setup'ı ile bağlanmış ve 'Dryer' yazan testlerde soğutma suları kapatılmıştır. Böylelikle egzoz gazının dolaştığı hat oda sıcaklığına soğutulmaktadır. Sistem üzerindeki thermocouple'dan okunan gaz sıcaklık giriş değeri max. 110^{o}C çıkış değeri ise spiral hat sonunda max. 50 ^{o}C civarında okunmaktadır.

Emisyon ölçümü sırasında su drenaj kabında su ve kurum karışımı şeffaf bir sıvının toplandığı gözlenmiştir.

İki test arasında %15'lere varan bir ölçüm sonucu farkı olduğu görülmüş ve değişimin emisyon cihazı kararlılık toleransları dışında kalmasından dolayı fuel loop testinde soğutma sularının kapalı olarak test koşmanın karbondioksit emisyonu üzerinde etkisinin olduğu söylenebilmektedir.

Sonuç bölümünde değerlerdeki azalışlar yorumlanacaktır.

Çizelge 3.6 Fuel Loop Testi CO_2 Analizi (Chiller Kapalı)



3.1.3 CO Analizi

Grafiklerde yüksek CO değerleri % ve düşük CO değerleri ise ppm şeklinde görülmektedir.

Motora yapılan yükleme miktarı arttıkça % 50 pedal pozisyonlarında egzozdan atılan O_2 azalış, CO_2 değerleri ise artış göstermekteydi. Ara pedal pozisyonlarında ise CO değerleri artış göstermektedir.

Emisyon cihazlarında CO değerlerinden yalnız bir tanesi okunmaktadır. Eksik veya CO açısından zengin bir yanma varsa CO_H , yok ise O_2 veya CO_2'in fazla olduğu drumlarda ise CO_L değeri alınır.

Emisyon cihazında ölçülen miktar;

•Ara pedal pozisyonlarında 10.000 – 25.000 ppm

Turbo sonrası sensörlerde okunan kütlesel debi,

•Ara pedal pozisyonlarında 8 g/h mertebelerinde okunmaktadır.

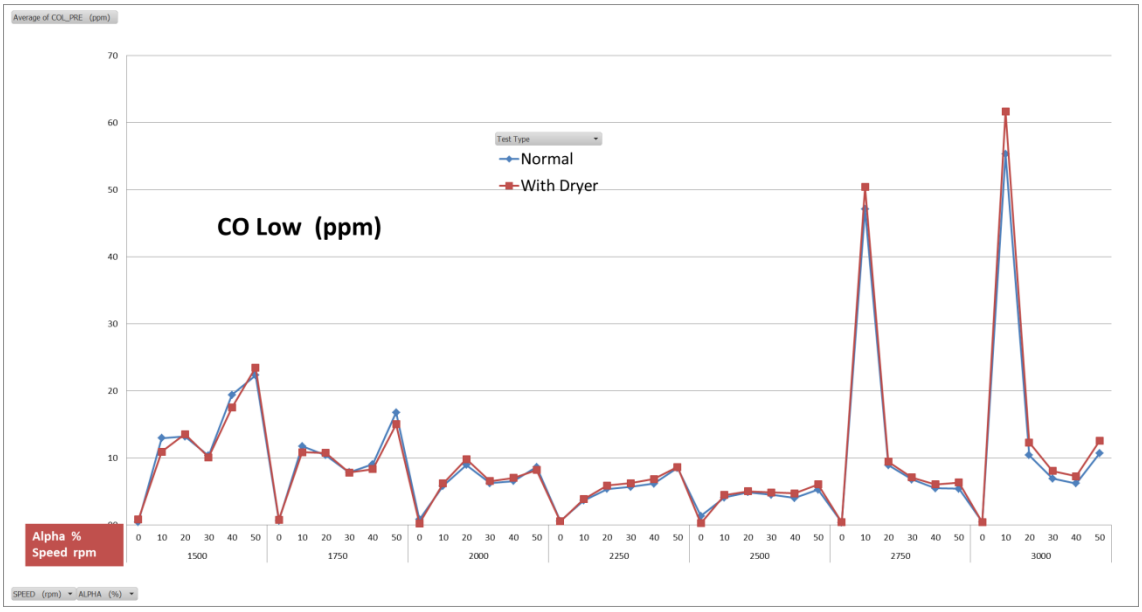
Çizelge 3.7'de partial fuel loop testinde koşularak alınmış CO_L emisyon dataları görülmektedir. Egzoz ile atılan karbomonoksit emisyonu, devrin artması ve ara yüklerde artış göstermekte fakat yüksüz ve tam yüklü anlarda değerler azalmaktadır.

'Normal' testinde sisteme orjinal araç egzoz setup'ı ile bağlanmış ve 'With Dryer' yazan teste ise egzoz kurutucu ünite ilave edilmiştir. İki test arasında % 2'lik bir ölçüm sonucu

farkı olduğu gözlenerek, değişimin emisyon cihazı kararlılık toleransları içinde kalmasından dolayı partial fuel loop testlerinde, yapılann tasarımın CO_L emisyonu üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı veya testin CO_L değerleri alınabilen bir test olmadığı görüşüne varılabilir.

CO_L değerlerinin yorumlabilmesi için aynı test'te alınan CO_H datalarına bakılması gereklidir.

Çizelge 3.7 Partial Fuel Loop Testi CO Analizi (Chiller Devrede)



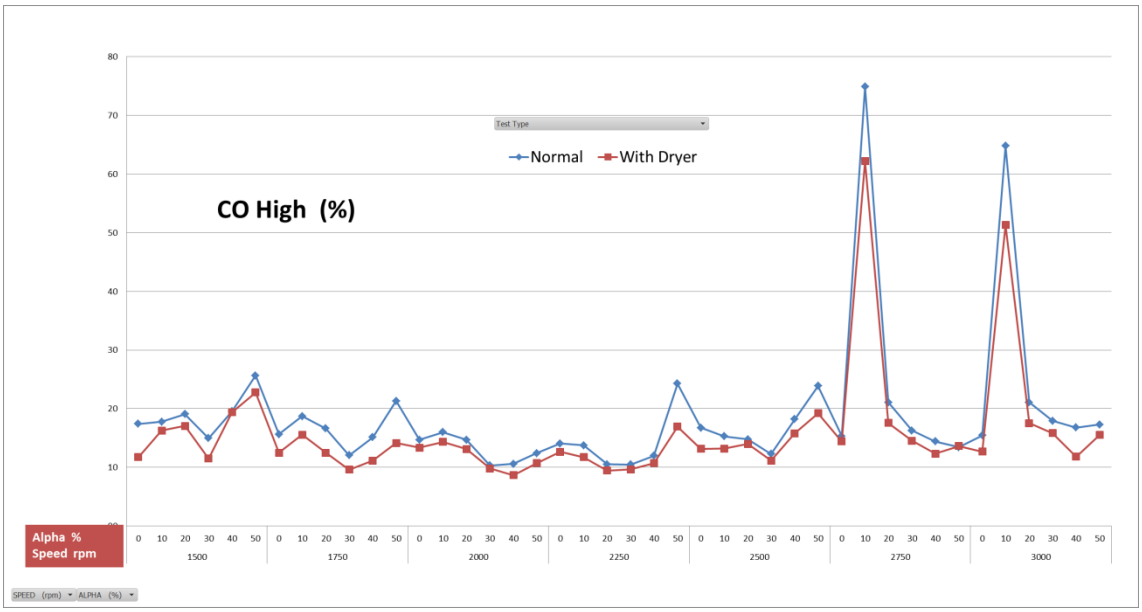
Çizelge 3.8'de partial fuel loop testinde koşularak alınmış CO_H emisyon dataları görülmektedir. Egzoz ile atılan karbomonoksit emisyonu, devrin artması ve ara yüklerde artış göstermekte fakat yüksüz ve tam yüklü anlarda değerler azalmaktadır.

'Normal' testinde sisteme orjinal araç egzoz setup'ı ile bağlanmış ve 'With Dryer' yazan teste ise egzoz kurutucu ünite ilave edilmiştir.

İki test arasında % 10'a varan bir ölçüm sonucu farkı olduğu gözlenmektedir. Bu testte sadece CO emisyonu varlığından söz etmek mümkündür.

Ölçüm farklılığı emisyon cihazı kararlılık toleransı dışında kalmasından dolayı partial fuel loop testlerinde, yapılan tasarımın CO_H emisyonu üzerinde etkilerinin olduğundan söz edilebilir. Egzoz gazı kurutucu sistemi CO değerlerini düşürerek hatalı ölçüm yapılmasına sebep olabilir. Atılan emisyonun sensörlerden okunan debisi maksimum 8 g/h'dir.

Çizelge 3.8 Fuel Loop Testi CO Analizi (Chiller Kapalı Tek Gün Ölçümü)



Çizelge 3.9'da ise fuel loop testleri koşulmuş ve ölçüm kararlılığı için üst üste 1'er gün arayla ölçümler alınmıştır. Egzoz ile atılan karbonmonoksit emisyonu, devrin artması ile azalmakta, tam yüke yakınara yüklerde maksimum noktalarına ulaşmaktadır.

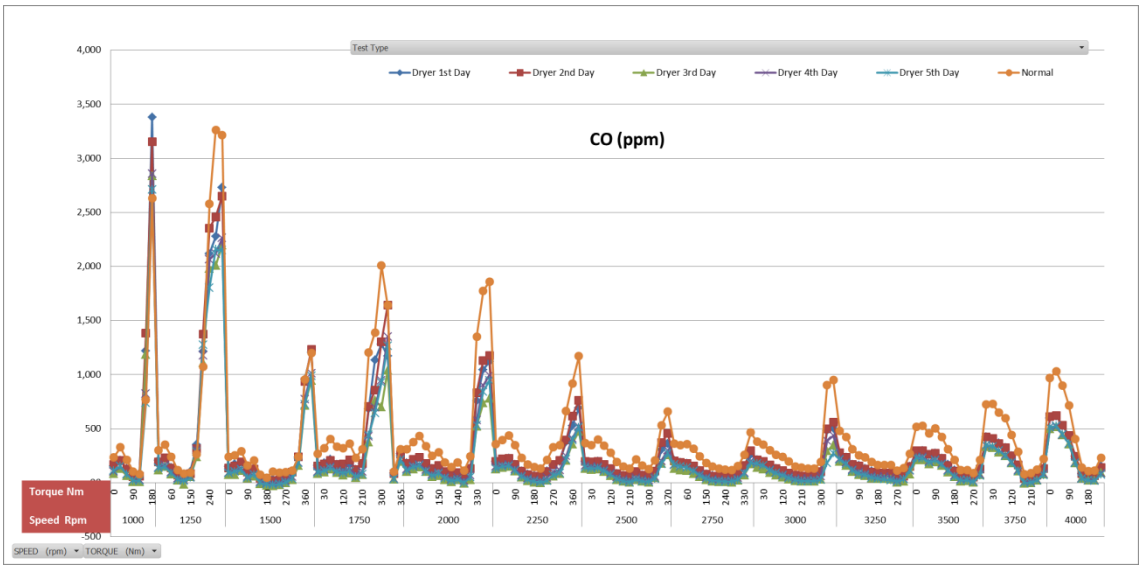
'Normal' testinde sisteme orjinal araç egzoz setup'ı ile bağlanmış ve 'Dryer' yazan testlerde ise egzoz kurutucu ünite ilave edilerek soğutma suları açılmıştır. Böylelikle egzoz gazının dolaştığı hat 5 derecedeki su ile soğutulmaktadır. Sistem üzerindeki thermocouple'dan okunan gaz sıcaklık giriş değeri 110^{o}C, çıkış değeri ise 13 ^{o}C mertebelerinde okunmaktadır.

Emsiyon ölçümü sırasında su drenaj kabında su ve kurum karışımı sarı bir sıvının toplandığı gözlenmiştir.

İki test arasında pik noktalarda %50'lere varan bir ölçüm sonucu farkı olduğu görülmüş ve değişimin emisyon cihazı kararlılık toleransları dışında kalmasından dolayı fuel loop testinde soğutma sularının açık olarak test koşmanın karbonmonoksit emisyonu üzerinde açıkca etkisinin olduğu söylenebilmektedir.

Karbonmonoksit oranının tam yüklere yakın bölgelerde arttığı gözlenmiştir. Sonuç bölümünde değerlerdeki azalışlar yorumlanacaktır.

Çizelge 3.9 Fuel Loop Testi CO analizi (Chiller Devrede)



3.1.4 NO_x Analizi

NO_x gazının insan sağlığına verdiği zarara karşın yüzdesi az olduğu için değerleri ppm şeklinde gösterilmektedir.

Motora yapılan yükleme , devir ve sıcaklık miktarı arttıkça gaz ile beraber atılan NO_x miktarıda artış göstermektedir.

Emisyon cihazında ölçülen miktar;

- % 0 pedal pozisyonunda 0 – 10 ppm

- % 50 pedal pozisyonunda 300 – 880 ppm

Turbo sonrası sensörlerde okunan kütlesel debi,

- % 0 pedal pozisyonunda 5 g/h mertebelerine okunmaktadır.

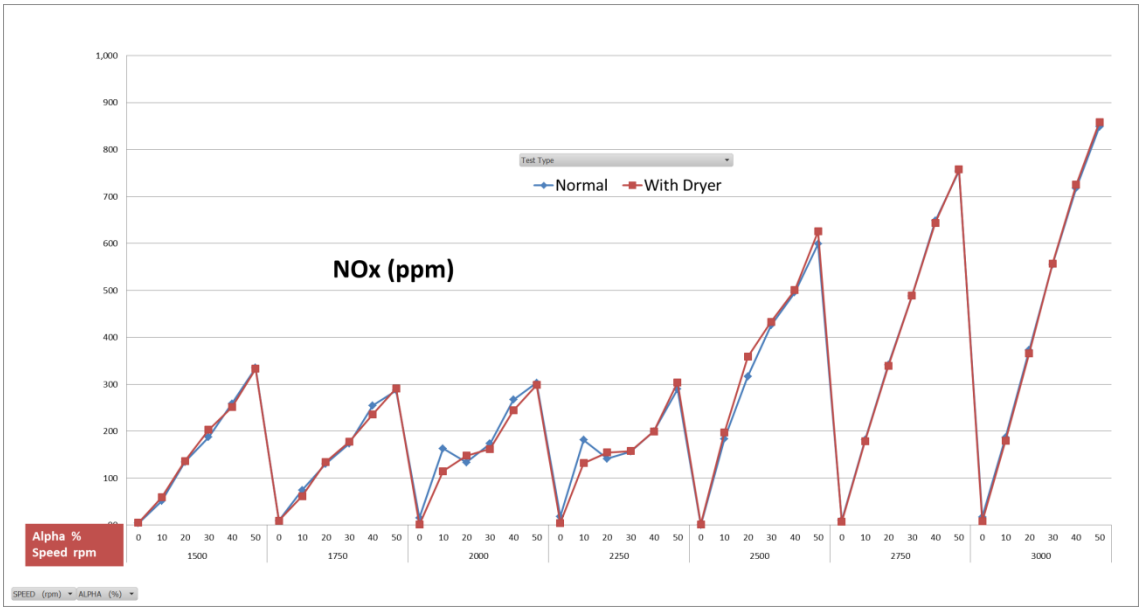
- % 50 pedal pozisyonunda 500 g/h mertebesinde okunmaktadır.

Çizelge 3.10'da partial fuel loop testinde koşularak alınmış NO_x emisyon dataları görülmektedir. Egzoz ile atılan azotoksit emisyonu sıcaklığı arttıran maksimum tork ve maksimum güç noktalarında maksimum seviyeye ulaşmaktadır.

'Normal' testinde sisteme orjinal araç egzoz setup'ı ile bağlanmış ve 'With Dryer' yazan teste ise egzoz kurutucu ünite ilave edilmiştir. İki test arasında % 2'lik bir ölçüm sonucu

farkı olduğu gözlenmiş ve bu kadar küçük bir değişimin emisyon cihazı kararlılık toleransları içinde kalmasından dolayı partial fuel loop testlerinde, yapılann tasarımın NO_x emisyonu üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı yorumlanmıştır.

Çizelge 3.10 Partial Fuel Loop Testi NO_x Analizi (Chiller Devrede)



Çizelge 3.11'de fuel loop testleri koşulmuş ve ölçüm kararlılığı için üst üste 1'er gün arayla ölçümler alınmıştır.

'Normal' testinde sisteme orjinal araç egzoz setup'ı ile bağlanmış ve 'Dryer' yazan testlerde ise egzoz kurutucu ünite ilave edilerek soğutma suları açılmıştır. Böylelikle egzoz gazının dolaştığı hat 5 derecedeki su ile soğutulmaktadır. Sistem üzerindeki thermocouple'dan okunan gaz sıcaklık giriş değeri 110°C, çıkış değeri ise 13 °C mertebelerinde okunmaktadır.

Emsiyon ölçümü sırasında su drenaj kabında su ve kurum karışımı sarı bir sıvının toplandığı gözlenmiştir.

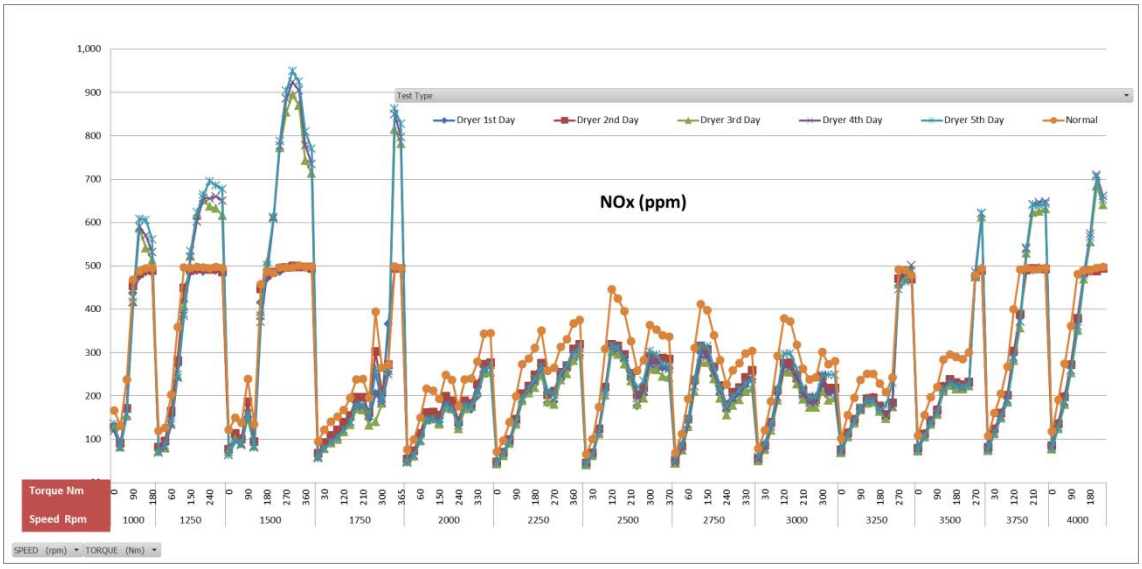
Grafikten de açıkca görüldüğü gibi normal ölçüm ve ilk iki günlük dryer ile ölçüm sırasında emisyon cihazı kalibrasyonu kaydığı (zero & span gazlarında 1000 ppm yerine 500 ppm değerinde kalibrasyon gazı kullanımı) için ölçüm sonuçları motorun NO_x trendinin altında çıkmıştır. Düşük ppm değerlerinde düzgün sonuç vermesi yüksek ppm değerlerinde 500 ppm ile sınırlanması bu sebepledir.

Testin son 3 günün de alınan ölçümler gazın trendi ile uyuşmakta ve motorun normal emisyon değerleri altında kalmaktadır.

İki test arasında %25'lere varan bir ölçüm sonucu farkı olduğu görülmüş ve değişimin emisyon cihazı kararlılık toleransları dışında kalmasından dolayı fuel loop testinde soğutma sularının açık olarak test koşmanın azotoksit emisyonu üzerinde açıkca etkisinin olduğu söylenebilmektedir.

Azotoksit oranının motorun performansının fazla olduğu noktalarda arttığı gözlenmiştir. Sonuç bölümünde değerlerdeki azalışlar yorumlanacaktır.

Çizelge 3.11 Fuel Loop Testi NO_x Analizi (Chiller Devrede)



Çizelge 3.12'de ise yine aynı şekilde fuel loop testleri koşularak, ölçüm kararlılığı için üst üste 1'er gün arayla ölçümler alınmıştır.

'Normal' testinde sisteme orjinal araç egzoz setup'ı ile bağlanmış ve 'Dryer' yazan testlerde soğutma suları kapatılmıştır. Böylelikle egzoz gazının dolaştığı hat oda sıcaklığına soğutulmaktadır. Sistem üzerindeki thermocouple'dan okunan gaz sıcaklık giriş değeri max. 110^{o}C çıkış değeri ise spiral hat sonunda max. 30 ^{o}C civarında okunmaktadır.

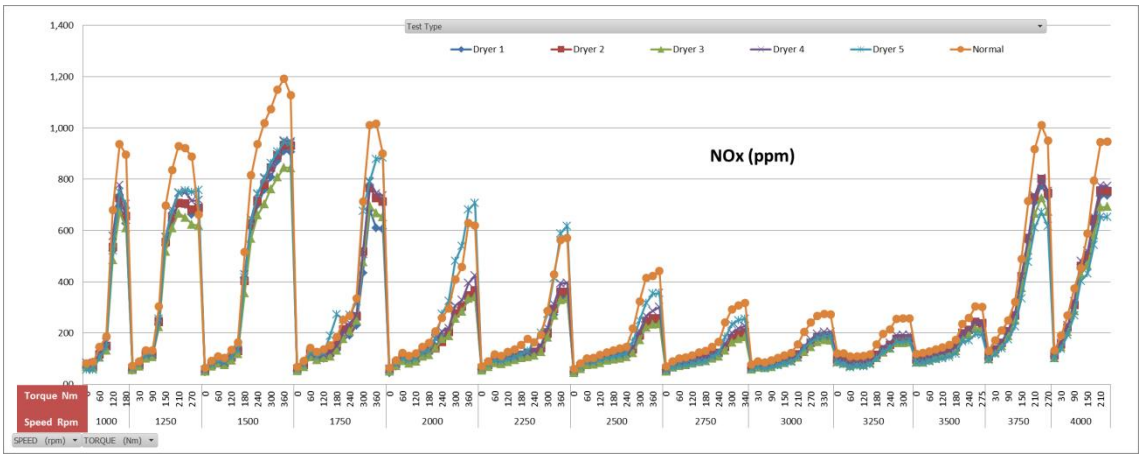
Emisyon ölçümü sırasında su drenaj kabında su ve kurum karışımı şeffaf bir sıvının toplandığı gözlenmiştir.

Egzoz ile atılan azotoksit emisyonu, devrin artması ile azalmakta, motorun performans noktalarında artış göstermektedir. Bu anlarda kütlesel debi 500 g/h mertebelerine çıkmaktadır.

İki test arasında %25'lere varan ölçüm sonucu farkı olduğu görülmüş ve değişimin emisyon cihazı kararlılık toleransları dışında kalmasından dolayı fuel loop testinde soğutma sularının kapalı olarak test koşulmasının azotoksit emisyonu üzerinde açıkca etkisinin olduğu söylenebilmektedir.

Sonuç bölümünde değerlerdeki azalışlar yorumlanacaktır.

Çizelge 3.12 Fuel Loop Testi NO_x Analizi (Chiller Kapalı)



3.1.5 THC Analizi

THC gazının insan sağlığına verdiği zarara karşın yüzdesi az olduğu için değerleri ppm şeklinde gösterilmektedir.

Motora alınan yakıt miktarı ile beraber yanmanın tam olmadığı noktalarda yani motorun performans noktalarında düşük yüklerde NO_x'ların tam tersi olarak artış göstermektedir.

Emisyon cihazında ölçülen miktar;

- % 0 pedal pozisyonunda 15 – 300 ppm

- % 50 pedal pozisyonunda 0 – 10 ppm

Turbo sonrası sensörlerde okunan kütlesel debi,

•% 0 pedal pozisyonunda 5 g/h mertebelerine okunmaktadır.

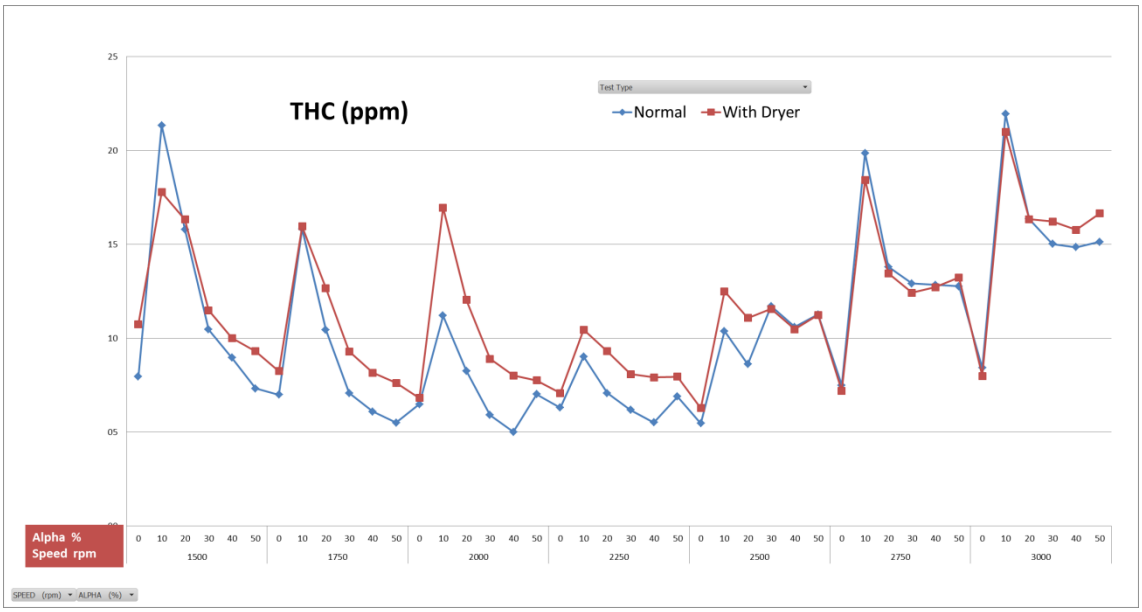
•% 50 pedal pozisyonunda 0 g/h mertebesinde okunmaktadır.

Çizelge 3.13'te partial fuel loop testinde koşularak alınmış THC emisyon dataları görülmektedir. Egzoz ile atılan total hidrokarbon emisyonu sıcaklığı arttıran maksimum tork ve maksimum güç noktalarında minimum seviyeye ulaşmaktadır.

'Normal' testinde sisteme orjinal araç egzoz setup'ı ile bağlanmış ve 'With Dryer' yazan teste ise egzoz kurutucu ünite ilave edilmiştir. İki test arasında, tam yüklerde % 5'lik bir ölçüm farkı olduğu gözlenmiştir. THC analizörüde NO_x analizörleri gibi ıstılmış, ölçüm kararlılığı düşük olan analizörlerdir. Diğer analizörlerden farklı olarak stabilitesi %10'dur. Pik noktalarda bu %8'lik ölçüm farklılıkları kabul edilebilir sınırlar içerisindedir.

Daha detaylı yorumlama için diğer testler incelenecektir.

Çizelge 3.13 Partial Fuel Loop Testi THC Analizi (Chiller Devrede)



Çizelge 3.14'te ise fuel loop testleri koşulmuş ve ölçüm kararlılığı için üst üste 1'er gün arayla ölçümler alınmıştır.

'Normal' testinde sisteme orjinal araç egzoz setup'ı ile bağlanmış ve 'Dryer' yazan testlerde ise egzoz kurutucu ünite ilave edilerek soğutma suları açılmıştır. Böylelikle egzoz gazının dolaştığı hat 5 derecedeki su ile soğutulmaktadır. Sistem üzerindeki

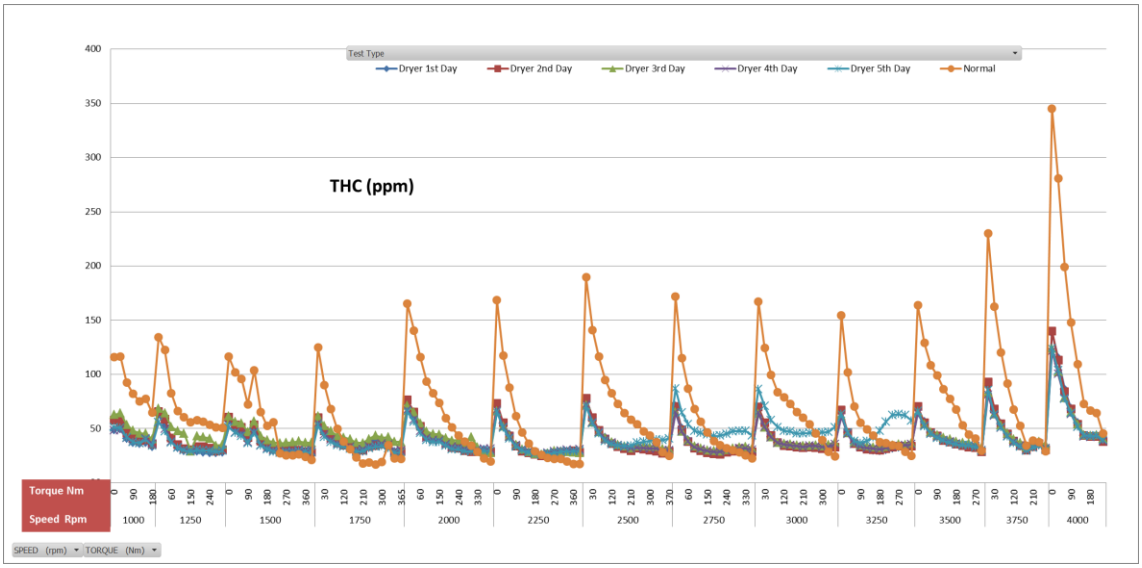
thermocouple'dan okunan gaz sıcaklık giriş değeri 110°C, çıkış değeri ise 13 °C mertebelerinde okunmaktadır.

Emsiyon ölçümü sırasında su drenaj kabında su ve kurum karışımı sarı bir sıvının toplandığı gözlenmiştir.

İki test arasında pik yüklerde %50'lere varan bir ölçüm sonucu farkı olduğu görülmüş ve değişimin emisyon cihazı kararlılık toleransları dışında kalmasından dolayı fuel loop testinde soğutma sularının açık olarak test koşmanın THC emisyonu üzerinde açıkca etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç bölümünde değerlerdeki azalışlar yorumlanacaktır.

Çizelge 3.14 Fuel Loop Testi THC Analizi (Chiller Devrede)



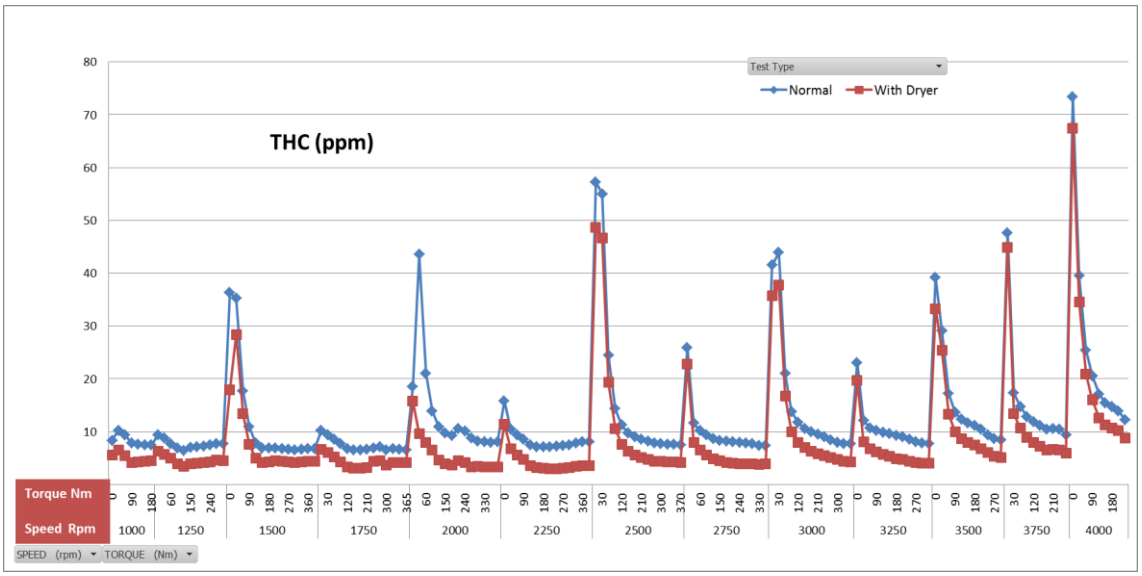
Çizelge 3.15'te ise fuel loop testi koşulmuştur. THC emisyonu, devrin artması ve yüklerin artması ile azalmakta fakat tam yükte maksimum noktalara ulaşmaktadır. Bu noktalarda kütlesel debi 20 g/h mertebelerine çıkmaktadır.

'Normal' testinde sisteme orjinal araç egzoz setup'ı ile bağlanmış ve 'Dryer' yazan testlerde soğutma suları kapatılmıştır. Böylelikle egzoz gazının dolaştığı hat oda sıcaklığına soğutulmaktadır. Sistem üzerindeki thermocouple'dan okunan gaz sıcaklık giriş değeri max. 110°C çıkış değeri ise spiral hat sonunda max. 30 °C civarında okunmaktadır.

Emisyon ölçümü sırasında su drenaj kabında su ve kurum karışımı şeffaf bir sıvının toplandığı gözlenmiştir.

İki test arasında, tam yüklerde % 8'lik bir ölçüm farkı olduğu gözlenmiştir. Pik noktalarda ölçüm farklılıkları kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Daha detaylı yorumlama için diğer testler incelenecektir. Fuel loop testinde soğutma sularının kapatılarak sample line'ın uzatılmasının, ara yükler için THC emisyonu üzerinde yeterince etkisi olduğu söylenememektedir.

Çizelge 3.15 Fuel Loop Testi THC Analizi (Chiller Kapalı Tek Gün Ölçümü)



BÖLÜM 4

EKONOMİK SONUÇLAR

4.1 Maliyet Çalışması

Deney sonucunda çıkış noktası olan emisyon cihazı arızaları, kurutma düzeneği sayesinde azaltılarak, daha kararlı ve stabil sonuçlar alınmasının yanı sıra cihaz arızlarının ve yaşanan problemlerin birde ekonomik boyutu vardır.

Çizelge 4.1'de bir emisyon cihazının arızası ile harcanan para ve zaman kaybının sonuçları görülmektedir. Çizelge 4.2'de ise basit bir kurutma sisteminin maliyeti görülmektedir.

Çizelge 4.1 Emisyon cihazı arızasının toplam maliyet tablosu

Bir Emisyon Cihazı Bakım ve Duruş Maliyet Tablosu	
Maliyet Kalemi	**Toplam Maliyet**
Emisyon Cihazı Tamir Bedeli	20,000.00 €
Yurt Dışı Nakliye Maliyeti	6,000.00 €
Test Odası Duruş Maliyeti (Cihaz min 8 haftada tamir edilebilmektedir)	20,000.00 €
Test Operatörü Maliyeti	3,000.00 €
Proje Gecikme Bedeli (Testlere Yurt Dışında Devam Etme)	100,000.00 €
TOPLAM:	**149,000.00 €**

Çizelge 4.2 Deney düzeneği kurulum maliyeti

Deney Düzeneği Maliyeti	
Malzemeler	**Fiyat**
K tipi thermocouple	10.00 €
0.25m ¾'' paslanmaz boru	3.00 €
2m 10mm'lik krom boru	10.00 €
Krom somun ve bağlantı elemanları (fittings)	25.00 €
Sızdırmaz cam numune kabı maliyeti	90.00 €
Isıya dayanıklı teflon hortumlar	10.00 €
Sızdırmazlık için sıvı yapıştırıcı	2.00 €
Gümüş kaynağı malzemeleri	50.00 €
Toplam:	**200.00 €**

Tablolardan da görüldüğü gibi yapılan çalışma, tamir masraflarını ve masrafların yol açtığı daha büyük zararları afaki derecede azaltmaktadır.

Maliyet çalışması sadece bir emisyon cihazı için ele alınmıştır, tesislerin bunun gibi cihazlardan birden fazla bulundurduğu düşünülürse ve yıl bazında, cihaz arızalarının bu işlemin birkaç defa yapıldığı hesaba katılırsa buradan ayrılacak kaynaklar daha büyük yatırımlar olarak değerlendirilebilecektir.

Testlerin, tez çalışması boyunca toplam maliyeti 50.000 €'dur. Hesaplamaya test odası bir aylık rezervasyon maliyeti, operatör maliyeti, motor maliyeti, motor paleti toplama maliyeti, test setup'ı kurulum maliyeti, emisyon cihazı referans gaz maliyeti, yakıt maliyeti dahildir.

Çalışmanın tamamı FORD OTOSAN firması tarafından karşılanmıştır.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma sonucunda, dinamometre test odalarında kullanılacak bir ısı değiştirici ekipman ile egzoz örneklemesi içerisindeki su buharının önemli ölçüde tutulabildiği, gaz kurutma işleminin emisyon ölçümüne direkt olarak etkilediği ve ölçüm farklılığı oluşturduğu görülmüştür.

Kullanılan kurutucu ekipman ile emisyon cihazları, egzoz içerisinde oluşan fazla su buharından uzak tutularak ve egzoz gazı bağıl nemi aşırı nemli bölgelerden emisyon cihazı ölçüm limitleri içerisine indirilmiştir.

Fuel loop ve partial fuel loop testleri sonucunda, egzoz gazı kurutucu sistemin emisyonlar üzerindeki etkisini gösteren değişim tabloları aşağıdadır.

Çizelge 5.1 Fuel Loop test sonuçları

Fuel Loop Test Sonuçları				
Emisyon Seviyesi	**Emisyon**	**Test Yöntemi**	**Değişim Yüzdesi**	**Durum**
Euro V	CO	Chiller Kapalı	10.0%	**Azaldı**
		Chiller Devrede	50.0%	**Azaldı**
	CO2	Chiller Kapalı	15.0%	**Azaldı**
		Chiller Devrede	40.0%	**Azaldı**
	NOx	Chiller Kapalı	25.0%	**Azaldı**
		Chiller Devrede	25.0%	**Azaldı**
	THC	Chiller Kapalı	8.0%	**Azaldı**
		Chiller Devrede	50.0%	**Azaldı**
	O2	Chiller Kapalı	18.0%	**Arttı**
		Chiller Devrede	40.0%	**Arttı**

Çizelge 5.2 Partial Fuel Loop test sonuçları

Partial Fuel Loop Test Sonuçları				
Emisyon Seviyesi	**Emisyon**	**Test Yöntemi**	**Değişim Yüzdesi**	**Durum**
EURO V	CO	Chiller Devrede	2.0%	**Azaldı**
	CO2	Chiller Devrede	0.1%	**Azaldı**
	NOx	Chiller Devrede	2.0%	**Azaldı**
	THC	Chiller Devrede	5.0%	**Arttı**
	O2	Chiller Devrede	0.2%	**Arttı**

Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'de olduğu gibi tasarlanan sistemin chiller devredeyken ve motor yükünün fazla olduğu fuel loop gibi çevrimlerde test koşmasının emisyonlar üzerinde büyük etki gösterdiği açıkca görülmektedir.

Soğutma işleminde egzoz gazı sıcaklığının azalmasına paralel olarak ölçülen emisyon değerleri kararlı ölçüm değerine yaklaşmaktadır.

Sistemden uzaklaştırılan nem değerinin test tipine ve egzoz çıkış sıcaklığına göre yoğunlaşan sıvı sonrası bağıl nem değerleri Çizelge5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 Testlere göre egzoz giriş ve çıkış değerleri.

Test Çevrimlerine Göre Nem ve Egzoz Sıcaklık Değerleri (Sabit 25°C ve 50.0% Bağıl Nem Değerinde)					
Test	**Soğutma**	**Maksimum Egzoz Sıcaklıkları (°C)**		**Bağıl Nem Değeri (%)**	
		Giriş	**Çıkış**	**Normal**	**Kurutucu ile**
Partial Fuel Loop Testi	Var	110	80	%100 üzerinde (Aşırı nemli bölge)	%100 üzerinde (Aşırı nemli bölge)
Fuel Loop Testi	Yok	110	50	%100 üzerinde (Aşırı nemli bölge)	90.0%
	Var	110	13	%100 üzerinde (Aşırı nemli bölge)	80.0%

Soğutmanın yapıldığı fuel loop testinde nem değerleri aşırı doymuş bölgeden emisyon uyarı limitinin altına düşerek %80 bağıl nem bölgesine indirilmiştir.

Yoğuşturma kapasitesi daha yüksek kurutucu ile yapılabilecek testlerde egzoz içerisindeki nem daha da azaltılıp egzoz gazı örneklemesi yeteri kadar kurutulduktan sonra emisyon değerleri sabitlenerek kararlı ölçümler verebilecektir.

Bu sayede hatalı ölçüm ihtimali ve kararlılık toleransı ortadan kaldırılarak daha kesin emisyon ölçüm sonuçları elde edilecektir.

Emisyon ölçümünde meydana gelen yaklaşık %40 hata yapılan çalışma ile ortadan kaldırılsada, aşırı nemli bölgede veya bu bölgeye yakın noktalarda yapılan kalibrasyon çalışmalarını etkileyecektir. Bunun olumsuzluğun giderilmesi için her motora düzeltme katsayısı hesaplanmalı veya ölçüm sistemlerine kurutucu ünite ilave edilmelidir.

Maliyet azaltma çalışmalarının yanı sıra kurutulmuş egzoz gazının daha stabil ölçüm sonuçları vermesi sayesinde emisyon ölçüm doğruluğu arttırılacak ve emisyon çalışmaları kesinlik kazanacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Bayram A., (2005). "Türkiye'de Hava Kirliliği Sorunu ve Çözüm Önerileri. Avrupa Birliği Sürecinde Türkiye'de Çevre Yönetimi", Ak-Tel Mühendislik Yayını, 109-137; Derleyen: Orhan G., (2012). Hava Kirliliği Ve Asit Yağmurları: Uzun Menzilli Sınırlar Ötesi Hava Kirliliği Sözleşmesi Ve Protokolleri Karşısında Türkiye'nin Konumu, Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi, 20:123-150.

[2] Borat O., Balcı M. ve Sürmen A.,(1992). Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği, 3,Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Ankara; Derleyen: MEB,(2011). Motorlu Araçlar Teknolojisi Egzoz Emisyon Kontrolü, Ankara.

[3] Kılıç, T., Gümüş A., Bozkurt T., Şentürk H., Mamalı C., Solak Z., Ünal G., Karataş Ö., (2003), "Motorlu taşıtlar ve Adapazarında motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonların envanterlenmesi", İstanbul.

[4] Çakıroğlu M.,(1996). Motorlu Taşıt Trafiğinde Egzoz Emisyonları, 1. Ulusal Ulaşım Sempozyumu, Mayıs, İstanbul, 565-573; Derleyen: Haşimoğlu C., İçingür Y., Öğüt H., (2000), "Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi", Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 26, 127-135.

[5] MEB, (2011). Motorlu Araçlar Teknolojisi Egzoz Emisyon Kontrolü, Ankara.

[6] TÜİK, (2014). Seragazı Emisyon Envanteri, No:16174, İstanbul.

[7] Jian Liu, J., Zhao Z., Xu, C., Duan, A.,(2008). Simultaneous removal of NOx and diesel soot over nanometer Ln-Na-Cu-O perovskite-like complex oxide catalyst, Applied

Catalysis B: Environmental 78, 61–72; Derleyen: Keskin A., (2009). “Dizel motorlarında partikül madde emisyon kontrolü ve Gelişmeler”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), Karabük.

[8] Işıksoluğu, M. A., (1997). “Dizel Motorlu Taşıtların Egzoz Gazındaki Duman Koyuluğu ve Ölçümde Karşılaşılan Sorunlar", Mühendis ve Makine Dergisi, 38, 453, 22-25; Derleyen: “Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi”, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 26, 127-135.

[9] NETCEN, (2006). Vehıcle Emıssıon Factor Database AFP, 01; Derleyen: Kılıç T., Gümüş A., Bozkurt T., Şentürk H., Mamalı C., Solak Z., Ünal G., Karataş Ö., ”Motorlu taşıtlar ve Adapazarında motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonların envanterlenmesi”, İstanbul.

[10] Yılmaz H., Dıesel Motorlarda Emisyon Miktarını Etkileyen Parametler Ve Emisyonu Düşürme Yöntemleri, İstanbul.

[11] Ergeneman, M., Arslan H., ve Mutlu M.,(1998). “ Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 4-8,; Derleyen: “Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi”, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 26, 127-135.

[12] Borat O., Balcı M., ve Sürmen A. (1994). Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları. 3,25, Ankara; Derleyen: Derleyen: “Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi”, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 26, 127-135.

[13] Kaytakoğlu, S., Var, F., ve Öcal, S. E., (1995).“Motorlu Taaşıtlardan Kaynaklanan Kirlilik ve Giderilme Yöntemleri", Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü 3. Ulusal Sempozyumu, Ankara, 143-155; Derleyen: “Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi”, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 26, 127-135.

[14] Andrews, G., (1995). “NOx Formation and Control", The Eleventh Annual Short Course on Diesel Particulates and NOx Emissions, University of Leeds, England; Derleyen: “Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi”, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 26, 127-135.

[15] UN Emmission Regulation, (2013). “E/ECE/ 324/ Rev.1/ Add.48/Rev.6 - E/ ECE/ TRANS/ 505/ Rev.1/ Add.48 /Rev.6”, Addendum 48: Regulation No. 49 , Revision 6.

[16] HORIBA, (2010). Emission Measurement Princple / Specification, Berlin, Germany..

[17] Ergenç, A.T., (2009). “Motorlar”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Ders Notları, İstanbul.

[18] AVL, (2005). Emmission Measurement Method, A-8020 Graz, Austria.

[19] Yiğit, E., (2009). DİZEL MOTOR EMİSYONLARIN İNCELENMESİ, Lisans Tezi, SAKARYA ÜNİVERSİTESİ ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ FAKÜLTESİ, Sakarya.

[20] Bulut, S. ve Ünveren, M., (2011), “Nemlendirme ve Nam Alama Sistemleri” HSK ArGe Teknik Bülteni, No: 8.

[21] Doğanay, T., (2004). KURUTMA, Modern Farmasötik Teknoloji, Bölüm 3, syf 18-47.

[22] Wolverine, (2013). Basic Equations for Heat Exchanger Design, Heat Transfer Data Book, syf: 60-71.

[23] Altıparmak, D., (1995), “Motorlu Taşıtlar Tekniği”, Ajans Türk Gazetecilik ve Matbaacılık A.Ş/ Ankara; Derleyen: MEGEP, (2011). MOTORLU ARAÇLAR TEKNOLOJİSİ EGZOZ EMİSYON KONTROLÜ, 525MT0300 Ankara.

[24] Tosun, Y.E., (2004). “Yanma Tekniği”, KKÜ MEB Yayınları 2004.

[25] Tübitak MAM, (2013). Dizel Yakıt Analizi, Kocaeli.

[26] Yalçın, E. ve Kavaklı, A., (2010). “Absorbsiyonlu sogutma sistemleri ile egzoz gazı atık ısısından faydalanarak otobüs kliması sistemleri için kaynatıcı tasarımı”, BAÜ FBE Dergisi Cilt:12, Sayı:1, 136-152 .

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Nurettin Ali DAŞDEMİR

Doğum Tarihi ve Yeri : 03.11.1988 / Isparta

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : nurettindasdemir@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Enerji	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimleri	Ali Güral Anadolu Lisesi	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	FORD OTOSAN (Devam ediyor)	Motor Toplama ve Test Mühendisi
2010	ÇAĞRI ALHAN	Plastik Enjeksiyon Sorumlusu
2007	ATAY İNŞAAT	Teknik Çizer