

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇTEN YANMALI MOTORLARDA DEĞİŞKEN EGZOZ KAPANMA AÇILARI
İÇİN PERFORMANS ve EMİSYON DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

TAYFUN ONAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI

DANIŞMAN
YRD.DOÇ.DR.ALP TEKİN ERGENÇ

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İÇTEN YANMALI MOTORLARDA DEĞİŞKEN EGZOZ KAPANMA AÇILARI
İÇİN PERFORMANS ve EMİSYON DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ**

TAYFUN ONAR tarafından hazırlanan tez çalışması ..2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd.Doç.Dr.ALP TEKİN ERGENÇ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd.Doç.Dr. ALP TEKİN ERGENÇ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. ÖVÜN İŞİN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. AKIN KUTLAR

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

İçten yanmalı motorlarda değişken egzoz kapanma açıları için performans ve emisyon değişimlerinin incelendiği bu yüksek lisans tez çalışmasında benden yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç.Dr. ALP TEKİN ERGENÇ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tüm yaşantım boyunca benim mutluluğum için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve çalışmalarım sırasında maddi manevi büyük desteğini gördüğüm aileme teşekkürü bir borç bilirim.

OCAK, 2014

Tayfun

ONAR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	
BENZİNLİ MOTORLARDAN KAYNAKLANA EMİSYONLAR.....	3
2.1 Benzinli Motorlardan Kaynaklanan Emisyonlar	3
2.2 Yanmamış Hidrokarbonların Oluşumu.....	5
2.3 Benzinli Motorlarda Yanmamış Hidrokarbonların Oluşumu	5
2.4 Karbon Monoksit Oluşumu	6
2.5 Benzinli Motorlarda Karbon Monoksit Oluşumu.....	7
2.6 Azot Oksitlerin Oluşumu	8
2.7 Azot Dioksit Oluşumu.....	9
2.8 Benzinli Motorlarda Azot Oksit Oluşumu	10
2.9 NOx' lerin Çevre ve İnsan Sağlığına Etkisi	11
2.10 Benzinli Motorlarda NOx kontrol yöntemleri	12
BÖLÜM 3	

EGR GAZI RESİRKÜLASYONU	14
3.1 Egzoz Gazı Geri Dönüşümü Hakkında Temel Bilgiler	14
3.2 Egzoz Gazı Resirkülasyonu Sistemlerinin Çeşitleri	15
3.1.1 Floor-Jet Sistemi	15
3.1.2 Vakum Kontrollü EGR Sistemi.....	15
3.1.3 Değişik Tip EGR Sistemleri	16
3.3 Dahili Egzoz Gazı Resirkülasyonu	17
3.4 EGR'nin Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi.....	19
BÖLÜM 4	
MOTOR SUPAP YÖNETİM MEKANİZMASI.....	20
4.1 OHV Tip (Over Head Valve - Üstten Supaplı)	21
4.2 Külbütör Çubuğunda Yapılan Revizyon.....	21
BÖLÜM 5	23
DENEYSEL ÇALIŞMA	23
5.1 Deney düzeneği ve ekipmanları.....	23
5.1.1 Motor Teknik Özellikleri	24
5.1.2 DC Motor ve Load cell	26
5.1.3 PLC	27
5.1.4 Encoder.....	28
5.1.5 Yakıt Sarfiyatı Ölçümü	28
5.1.6 Emisyon ölçümü	28
5.2 Deney Sonuçları	29
BÖLÜM 6	33
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	33
5.1 Deney sonuçlarının yorumlanması	33
5.2 Öneriler	34
KAYNAKLAR.....	35
ÖZGEÇMİŞ.....	36

SİMGE LİSTESİ

CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbon dioksit
H ₂ O	Su
HC	Hidrokarbon
N	Azot
NO	Azot monoksit
NO ₂	Azot dioksit
N ₂ O ₂	Diazot dioksit
O ₂	Oksijen
OH	Hidroksit
H	Hidrojen
Be	Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
Me	Motor momenti (Nm)
n	Motor devri(devir/dakika)
Pe	Motor gücü(kW)
Pa	Ortam basıncı(kPa)
Pi	Silindir içi basıncı(kPa)
T	Ortam sıcaklığı(°C)
μ	Sürtünme katsayısı(N.s ₂ /m ₄)
λ	Hava fazlalık katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

AÖN	Alt ölü nokta
EGR	Egzoz gazı resirkülasyonu
HC	Hidrokarbon
KMA	Krank mili açısı
N	Azot
NO	Azot monoksit
NO ₂	Azot dioksit
N ₂ O ₂	Diazot dioksit
O ₂	Oksijen
OH	Hidroksit
OHV	Üstten supaplı-Over head valve
PAH	Poli aromatik hidrokarbon
PLC	Programlanabilir lojik kontrolör
PM	Partikül madde
Ppm	Milyonda bir partikül
ÜÖN	Üst ölü nokta
VVT	Değişken supap zamanlaması-Variable valve timing
VTEC	Değişken supap zamanlaması-Variable valve timing and electronic lift control

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Hava fazlalık katsayısına bağlı kirleticilerin değişimi	4
Şekil 2.2	Dört stroklu bir benzin motorunda HC, NO, CO emisyon kaynakları	6
Şekil 2.3	Dört stroklu bir benzin motorunda HC, NO, CO emisyon kaynakları	6
Şekil 2.4	$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$ reaksiyonun sıcaklığa etkisi	9
Şekil 2.5	Değişik yük ve hızlarda atılan NO_2 oranı	10
Şekil 2.6	Benzinli motorlarda NO_x kontrol yöntemleri.....	13
Şekil 3.1	Emme ve egzoz supap zamanı değiştiren sistem	18
Şekil 3.2	Normal kam mili ve VTEC kam mili	19
Şekil 4.1	Kam mili külbütör çubuğu ve supap mekanizması	20
Şekil 4.2	Üstten supaplı tek silindirli motor	21
Şekil 4.3	Revizyon yapılmış külbütör çubuğu ve orijinal külbütör çubuğu	22
Şekil 5.1	Deney şematik düzeneği.....	23
Şekil 5.2	Deney düzeneği resmi	24
Şekil 5.3	Honda GX 160 benzin motoru hız karakteristikleri	25
Şekil 5.4	Honda GX 160 benzinli motor	26
Şekil 5.5	DC motor ve load cell.....	27
Şekil 5.6	S7-200 PLC modülleri ve ekranı	27
Şekil 5.7	Enkoder, enkoder taşıyıcısı, enkoder kaprini ve bağlantı elemanı.....	28
Şekil 5.8	AVL DICOM 4000 gaz analiz cihazına ait teknik değerler	29
Şekil 5.9	Farklı egzoz supabı kapanma açıları için güç değişimi.....	29
Şekil 5.10	Farklı egzoz supabı kapanma açıları için NO_x emisyonlarının değişimi	30
Şekil 5.11	Farklı egzoz supabı kapanma açıları için CO_2 emisyonlarının değişimi	30
Şekil 5.12	Farklı egzoz supabı kapanma açıları için CO emisyonlarının değişimi.....	31
Şekil 5.13	Farklı egzoz supabı kapanma açıları için hava fazlalık katsayısının değişimi	31
Şekil 5.14	Farklı egzoz supabı kapanma açıları için HC emisyonlarının değişimi.....	32

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Kirletici konsantrasyonları ve bağıl yayılma miktarları	4
Çizelge 2.2 Azot Dioksitin İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi	12
Çizelge 4.1 Egzoz açılma ve kapanma krank açıları	22
Çizelge 5.1 Deney motorunun teknik özellikleri	24
Çizelge 5.2 AVL DICOM 4000 gaz analiz cihazına ait teknik değerler.....	29

**İÇTEN YANMALI MOTORDA DEĞİŞKEN EGZOZ KAPANMA AÇILARI İÇİN
PERFORMANS ve EMİSYON DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ**

Tayfun ONAR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr.Alp Tekin ERGENÇ

İçten yanmalı motorlarda yanma sonrası sıcaklık artışı ile yanmayı sağlayan hava içerisindeki azot ve oksijen yüksek sıcaklık mertebelerinde kimyasal olarak tepkimeye girerek birleşir ve canlı sağlığına zararlı olan azot oksitlere dönüşürler. Azot oksitler akciğer alveollerine etki ederek yapılarını bozup savunma sistemini etkisiz hale getirirler.

Bu çalışmada benzinli motorlardan kaynaklanan azot oksit emisyonlarının azaltılması için dahili egzoz gazı resirkülasyonu uygulanmıştır. Dahili egzoz gazı resirkülasyonu ile sıcak gazların bir kısmı silindir içerisinde bırakılarak dolgunun seyreltilmesi ve yanma sonrası sıcaklıkların düşürülerek azot oksit oluşumunun azaltılması amaçlanmaktadır. Dahili egzoz gazı resirkülasyonu, tek silindirli benzinli içten yanmalı bir motorun supap yönetim mekanizması içerisindeki egzoz supabı külbütör çubuğuna revizyon yapılarak gerçekleştirilmiştir. Revizyon sonrasında egzoz supabı normal açılma zamanlamasına göre geç açılıp ve normal kapanma zamanlamasına göre ise erken kapanmıştır. Böylelikle dahili egzoz gazı resirkülasyonu sağlanıp azot oksit emisyonlarındaki düşüş testler sonrasında belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Benzinli motorlar, Dahili egzoz gazı resirkülasyonu, Egzoz emisyon kontrolü

**THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF VARIABLE EXHAUST VALVE
CLOSING ANGLE ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS
ON SINGLE-CYLINDER GASOLINE ENGINES**

Tayfun ONAR

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Yrd.Doç.Dr.ALP TEKİN ERGENÇ

With temperature increase after combustion in the internal combustion engine, the nitrogen and oxygen in the air for combustion is combined with chemically reacts in a high temperature range and are converted into nitrous oxide, which is harmful to human health. Nitrogen oxides by affecting the structure of lung alveoli, inactivate and deform their defense system.

In this study, internal exhaust gas recirculation is applied in order to reduce nitrogen oxide emissions by caused gasoline engines. By way of internal gas recirculation, leaving a part of hot gases inside the cylinder dilution of filler and decreasing nitrogen oxides formation is aimed with after burning temperatures reduction. Internal gas recirculation was carried out through valve exhaust valve rocker bar revision within single cylinder gasoline internal combustion engine's valve management mechanism. After valve rocker revision exhaust valve opening time was late opened and closing time was early closed according to normal valve timing. Thereby internal exhaust gas recirculation is obtained decrease in nitrogen oxide emissions are determined after the tests.

Keywords: Gasoline engine, Internal exhaust gas recirculation, Exhaust emissions control

1.1 Literatür Özeti

Dünyadaki enerjinin % 30 kadarı yanmasız bir şekilde hidrolik ve nükleer santrallerde üretilmektedir. Geriye kalan % 70 enerji fosil yakıt adı verilen kömür, petrol, gaz veya bunların sentetik türevlerinin yakılmasıyla elde edilmektedir.[1]

Hava kirliliğinin başlıca sebepleri şöyle sıralanabilir;

Motorlu taşıtlar, konut ısıtmaları, termik santraller, endüstriden gelen gazlar.

Şehirlerdeki kirlenmenin büyük bir bölümü otomobillerden kaynaklanmaktadır. Bu kirleticilerin özellikleri ve yoğunlukları motor tipine, motor ayarına, kullanım tarzına, yakıt bileşimine ve atmosferik şartlara bağlıdır.[2]

Motorlu taşıtlar çevreyi; egzoz emisyonu, yakıt yağ buharı, kurşun bileşikleri, asbest ve lastik tozları, aşınma, paslanma ve korozyon sonucu oluşan gaz, sıvı ve katı atıklarla kirletmektedir. Bu kirleticilerin en etkin ve zararlı olanları egzoz gazında bulunan CO, HC, NO_x ve PM (is, duman vb.) emisyonlarıdır. Bunlardan NO_x ile PM emisyonları daha çok dizel motorlarından kaynaklanmaktadır.[3]

NO, NO₂, N₂O₂ ve benzeri bileşiklerin tümü NO_x olarak tanımlanmaktadır. 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. Ayrıca NO_x' ler aerosol ve fotokimyasal duman oluşumu ile ozon tabakasının tahribine yol açmaktadır.[4]

Azot oksitler içinde NO_x kokusuz bir gazdır. Akciğerlerin çalışmasını bozar, mukoza zarını tahriş eder ve felç yapıcı etkisi vardır. Nitrik asit oluşumuna sebep olur. Çevre şartlarında kararsızdır ve oksijen ile birleşerek NO_2 gazını oluşturur. NO_2 keskin kokulu kırmızı kahverengi karışımı bir gazdır. Düşük yoğunlukta olması halinde bile akciğerleri tahriş eder, dokulara ve mukoza zarına zarar verir. [5]

1.2 Tezin Amacı

Dünyanın enerji gereksiniminin büyük bölümünü karşılayan fosil kaynaklı yakıtlar gittikçe azalmaktadır ayrıca fosil yakıtlarla çalışan enerji makinaları atmosfere attığı yüksek miktarda NO_x emisyonu ve is partiküllerinden dolayı, özellikle yolcu ve yük taşımacılığında yüksek oranda karayolu ulaşımını kullanan ülkelerde hava kirliliği açısından ciddi problem oluşturmaktadır. Sunulan tez çalışmasında, yüksek sıcaklıklarda ve havadaki azotla oksijenin reaksiyona girmesiyle oluşan NO_x oluşumuna, değişken egzoz supabı kapanma açılarının etkisinin deneysel olarak analizi yapılmıştır. Bu tezin amacı, değişken egzoz supabı kapanma açılarının deneysel analizler aracılığıyla emisyon değerlerine etkisinin incelenmesidir.

1.3 Hipotez

Dünya genelinde motorlar üzerinde yapılan çalışmalar yakıt tüketimini düşürecek, egzoz emisyonlarını sınırlandıracak sistemler etrafında yoğunlaşmıştır. Bu konuda çalışma talepleri dikkate alındığında bu çalışma ve kullanılan sistem ile optimum oranının geliştirilmesi ile ilgili somut sonuçlar elde edilecektir.

BENZİNLİ MOTORLARDAN KAYNAKLANA EMİSYONLAR

2.1 Benzinli Motorlardan Kaynaklanan Emisyonlar

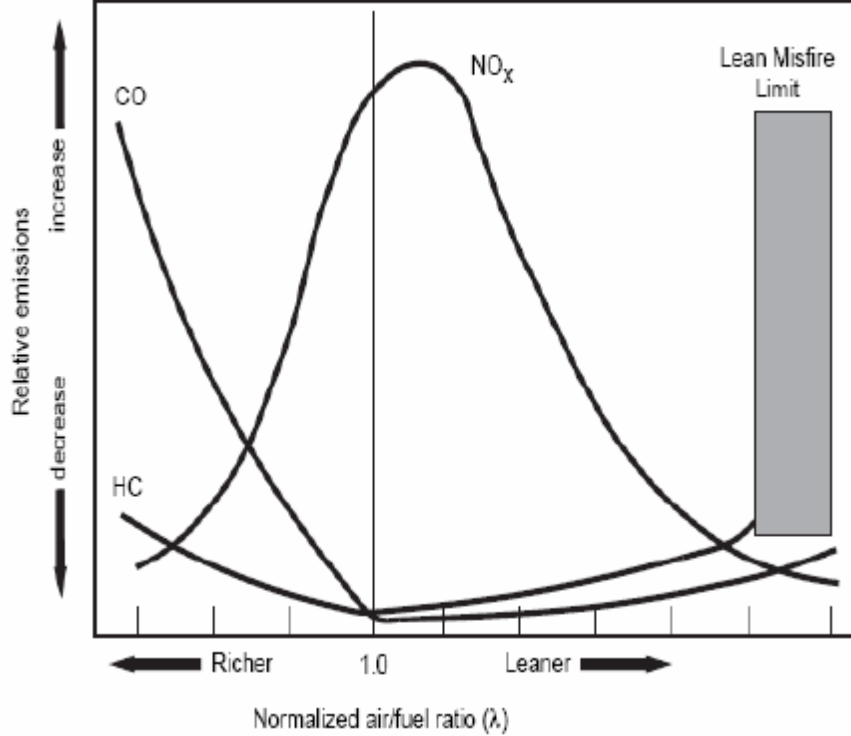
- Hidrokarbonlar (HC)
- Karbon monoksit (CO)
- Azot oksit (NO_x)

Motor içerisinde yalnızca karbon ve hidrojenden oluşan motor yakıtının tam yanması sonucunda diğer zararlı ürünler hariç sadece CO₂ ve H₂O oluşacaktır. Ancak, yanma odasında oluşacak kimyasal reaksiyon prosesleri için çok az bir zaman söz konusudur ve hava yakıt karışımının homojen olmaması, ideal termodinamik denge durumuna ulaşmasına izin vermezler. Sonuç olarak egzoz gazları içerisinde tamamlanmamış yanma ürünleri bulunur. Ayrıca bu yanma ürünlerine ek olarak, havada seyreltici olarak bulunan inert azotun yüksek sıcaklıklardaki oksidasyonu ile oluşan NO_x'lerde bulunur. Yine, bu kirleticilere ek olarak Diesel motorları, benzinli motorlarda neredeyse hiç bulunmayan karbon partikülleri yayarlar. Ortama atılan emisyon miktarları sadece motor tipine göre değil, aynı zamanda motorun dizaynına, yanma odası geometrisine ve çalışma şartlarına da bağlıdır. Motor yakıtlarının kükürt ihtiva etmesi sonucu kükürt oksitler ve alkol yakıtların kullanımı sonucu oluşan aldehitlerde yukarıda bahsedilen kirleticilere eklenebilir.[6]

Çizelge 2.1 Kirlenici konsantrasyonları ve bağıl yayılma miktarları

Kirlenici Madde	Konsantrasyonu (ppm)	Bağıl Yayılma Miktarı (g/kg yakıt)
NO _x	500 – 1.000	20
CO	10.000 – 20.000	200
HC	3.000	25

Kirlenici emisyonlarını kontrol eden en önemli değişken karışımın hava yakıt oranı ya da bu değişkenin tersi olan yakıt/hava oranıdır. Hava yakıt oranı CO, NO, aldehitler ve yanmamış Hidrokarbon emisyonlarını direkt olarak etkiler. Fakir karışımlarda oluşan CO ve HC emisyon miktarları zengin karışımlara göre düşüktür. Bahsedilen fakir karışım yanması, yakıtın yanmadan egzoz sistemine atılmasına neden olan misfiring gibi (bazı çevrimlerde ateşlemenin olmaması ve silindir içine alınan dolgunun yakılamaması), yanmada bozulmaya neden olmaz.[6]



Şekil 2.1 Hava fazlalık katsayısına bağı kirlenicilerin değişimi

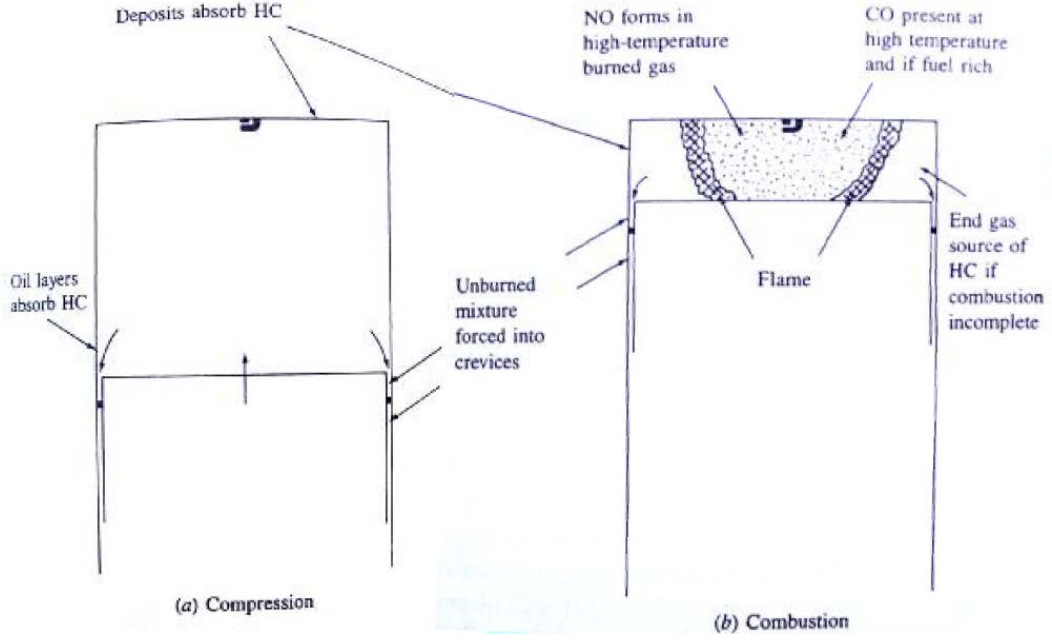
2.2 Yanmamış Hidrokarbonların Oluşumu

Yanmamış hidrokarbon emisyonları veya genelde organik maddeler hidrokarbonların tamamlanmamış yanması sonucuna oluşurlar. Yüksek sıcaklıklarda homojen fazda oluşan CO ve NOx'lerin aksine hidrokarbonlar düşük sıcaklıklarda ve silindir cidarlarına yakın bölgelerde karışımdaki heterojen etkiler sonucu oluşurlar.[6]

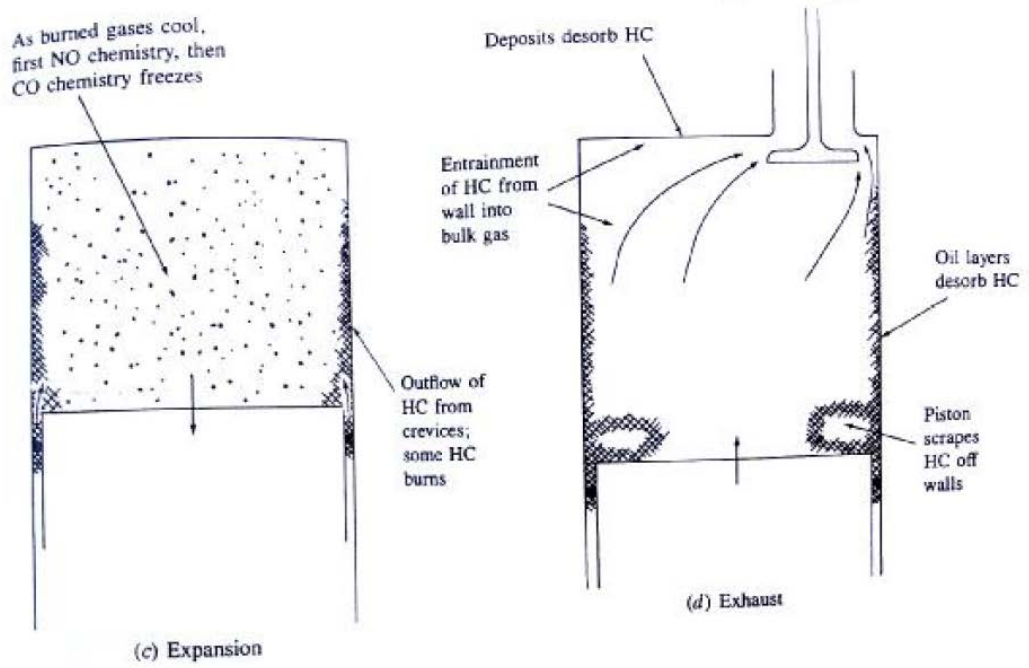
2.3 Benzinli Motorlarda Yanmamış Hidrokarbonların Oluşumu

Benzin motorları egzozu genellikle 1000-3000 ppm HC içerir. Bu motora gönderilen yakıtın yaklaşık %1 ila %2,5 karşılık gelir. HC emisyonları yakıt/hava karışım oranının artmasıyla birlikte hızla artar. Eğer karışım çok fakirse yakıt hava oranının düşürülmesinden dolayı HC emisyonları yanmanın bozulmasına ve ateşlemenin oluşmadığı çevrim sayısına bağlı olarak keskin bir şekilde artar. Benzinli motorlarda yanmamış HC oluşumuna çeşitli mekanizmalar etki etmektedir. Bu mekanizmalar:

- Alevin yanma odası cidarında sönmesi sonucu yüzeyler üzerinde yanmamış karışımdan oluşan ince bir tabaka bırakması,
- Alev küçük hacimlerin girişindeki darboğazları geçemediği için bu hacimleri dolduran karışımın ilk yanma prosesine katılmaması,
- Emme ve sıkıştırma strokları sırasında yanma odası çeperlerini kaplayan yağ filmi tarafından absorbe edilen yakıt buharının, genişleme ve egzoz stroklarında yakıt buharı formunda tekrar geri bırakılması,
- Yakıt/hava oranı ateşleme zamanı ya da özellikle hızlanma ve yavaşlama esnasında ayarsız EGR gibi faktörlerden dolayı yanma bozulması ve çevrimlerin bir kısmında tamamlanmamış yanmanın oluşması (kısmi yanma veya ateşleme bozukluğu)



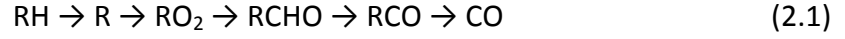
Şekil 2.2 Dört stroklu bir benzin motorunda HC, NO, CO emisyon kaynakları



Şekil 2.3 Dört stroklu bir benzin motorunda HC, NO, CO emisyon kaynakları

2.4 Karbon Monoksit Oluşumu

CO oluşumu esas olarak son ürün CO_2 neden olan hidrokarbon oksidasyonu prosesi içindeki bir ara kademedir.



Burada R hidrokarbon radikalini göstermektedir. Oluşan CO daha sonra düşük reaksiyon hızlarında CO₂'ye okside olur. Reaksiyon denklemi,



Yakıtın oksidasyon hızı mevcut oksijen konsantrasyonuna, gazların sıcaklığına ve belli bir motor hızında oluşacak reaksiyon için gerekli zamana bağlıdır.

CO emisyonlarını kontrol eden ana parametre karışımın yakıt/hava oranıdır. Zengin karışımlarda, CO konsantrasyonu yakıt/hava oranı ile birlikte sürekli olarak artar ve oksijen eksikliği eksik yanmaya neden olur. Gazlar içerisindeki CO konsantrasyonuna ilk varsayım yaklaşık 1600-1700 K sıcaklıklar için su gazı reaksiyonu olarak bilinen denge reaksiyonuyla verilir.



Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijen yetersizliğidir. Yanma odasının tümü ele alındığında genel olarak oksijen yetersizliği olabileceği gibi, karışımın tam homojen olmaması durumunda yanma odasının herhangi bir bölgesinde yerel olarak ta yetersiz olabilir.

Yüksek alev sıcaklıklarında su gazı reaksiyonu olarak verilen denklemin CO₂ miktarına oranla daha fazla CO elde edilebileceği görülmektedir. Ancak sıcaklık düştükçe CO'nun CO₂'ye oksidasyonu söz konusudur. Bu bakımdan fakir ve stokiyometrik karışımlarda egzoz gazları içerisindeki CO miktarı daha az olurken, zengin karışımlarda soğuk egzoz gazları içerisinde bile oksijen yetersizliği nedeniyle yüksek miktarlarda CO bulunmaktadır.



Şeklinde tanımlanan bu denge reaksiyonu sıcaklığa bağlı olarak oluşmaktadır. Bu nedenle yanma odası sıcaklığının düşürülmesi CO emisyonlarını azaltmaktadır.[6]

2.5 Benzinli Motorlarda Karbon Monoksit Oluşumu

Benzinli motorlar değişik çalışma şartları altında çalışır. Bu motorlarda yük kontrolü hava/yakıt oranıyla sağlanır. Kısmi yüklerde karışımın yakıt/hava oranı zengin karışım

oluşturacak şekildedir. Zengin karışım şartları altında CO emisyonları önemli miktarlarda oluşmaktadır.

CO emisyonunu azaltılması için karışımın homojenliğinin artırılması ve fakirleştirilmesi gerekir. Çok silindirli motorlarda, silindirler arasındaki yakıt/hava oranındaki dağılım dengesizliği CO emisyonunun artmasındaki en büyük nedenlerden biridir. Günümüzde benzinli motorlarda, porta püskürtme ya da direkt püskürtme yapılarak karışımın silindirlere dengesiz dağılım durumu hemen hemen ortadan kaldırılmıştır. Yine ani ivmelenme ve yavaşlama durumlarında, kullanılan yakıt miktarının kontrolü CO konsantrasyonunun azaltılması için önemli bir noktadır.[6]

2.6 Azot Oksitlerin Oluşumu

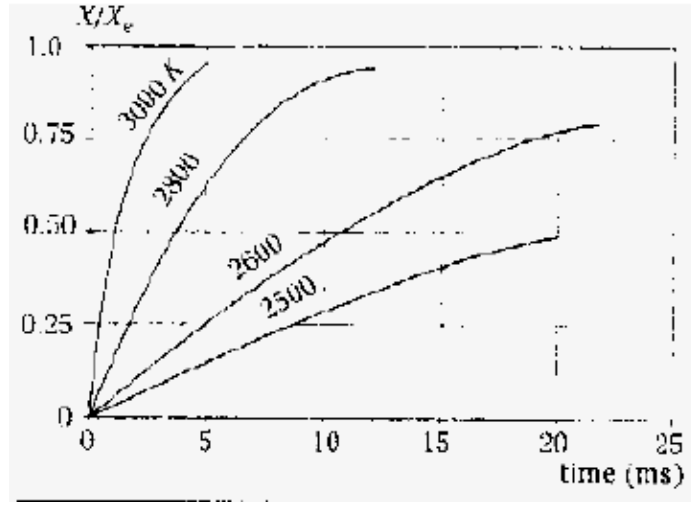
Azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) genellikle birlikte bulunurlar ve NO_x'ler olarak isimlendirilirler. NO_x'ler içerisinde miktar olarak NO yüksek oranda bulunur. NO'nun ana kaynağı motorlarda yakıcı olarak kullanılan emme havası içerisindeki moleküler azottur. Benzin ve Diesel yakıtları NO oluşumu için etkili olmayacak miktarlarda çok az azot içerirler. Ancak, ağır akaryakıtlarda bu değer egzozda küçük oranlarda yakıt kaynaklı NO oluşumuna neden olabilirler. Atmosferik azottan NO oluşum mekanizması Zeldovitch mekanizması olarak bilinir. Stokiyometri civarında NO oluşum ve bozunum reaksiyonları (genişletilmiş Zeldovitch mekanizması) aşağıda görülmektedir.



Verilen reaksiyonlarda (1.7) reaksiyonu temel olarak çok zengin karışım şartlarında oluşur. NO hem alev cephesinin içinde hem de alevin geçtiği alevin arkasında kalan bölgelerdeki gazın içerisinde oluşur. Yanmanın yüksek basınç altında gerçekleştiği motorlarda, alev içerisindeki reaksiyon bölgesi oldukça ince (yaklaşık 0,1 mm) ve kısa ömürlüdür. Alev reaksiyon bölgesi oldukça ince olduğundan NO oluşumunun esas olarak alevin arkasındaki yüksek sıcaklıklı yanmış gaz bölgesinde olduğu kabul edilebilir. Silindir içerisindeki basınç, yanmış gazların sıcaklığı yanmanın hemen ardından oluşan sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıklara ulaştığı için, yanma süresince artar.

Bunun sebebi, zengin yakıt/hava karışım bölgeleri hariç NO'nun yalnızca küçük bir bölümünün alev içerisinde oluşması ve geri kalan büyük bölümünün alevin geçtiği bölgede kalan gazlar içerisinde oluşmasıdır.

NO oluşumu yüksek sıcaklıklara bağlıdır. Şekilde 1.4. de reaksiyonun değişik sıcaklıklarda zamana bağlı değişimi görülmektedir. Azot oksit oluşumunu tanımlayan ana denklem;

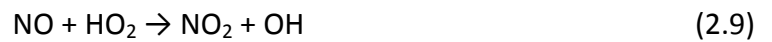


Şekil 2.4 $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}$ reaksiyonun sıcaklığa etkisi

NO oluşum reaksiyonları tüm durumlarda yanma reaksiyonlarından daha yavaştır. Egzoz gazları içinde ölçülen konsantrasyon değerleri reaksiyonun dengede olmadığını açıklar. Bu durum oksijen konsantrasyonu ile de yakından ilgilidir. Bu yüzden, yüksek sıcaklık ve yüksek oksijen konsantrasyonu, NO oluşum miktarını artırır.[6]

2.7 Azot Dioksit Oluşumu

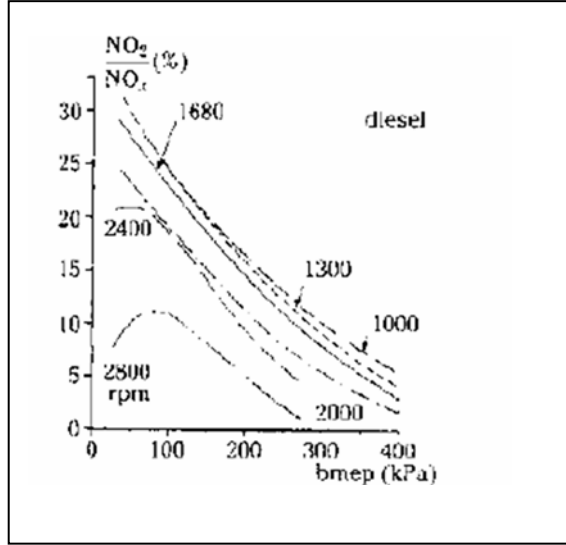
Kimyasal denge hesaplamaları, yanmış gazlar içerisindeki NO_2 konsantrasyonunun NO ile kıyaslandığında önemsiz olduğunu göstermektedir. Bu durum Otto motorlarında daha etkindir, çünkü NO_2 'ler içerisindeki NO_2 oranı %30'lara kadar çıkmaktadır. NO_2 'nin sürekliliği ile ilgili bir açıklamada, alev içerisindeki NO oluşumunun hızlı bir şekilde NO_2 ye dönüşebilmesidir.



Eğer alev içerisinde oluşan NO_2 daha soğuk bir akışkanla karışarak sönmezse, daha sonra tekrar NO 'ya dönüşür.



Otto motorlarında rölantide çalışma süresinin uzun tutulması NO_2 oranının bir hayli artmasına neden olur. Bu durum Diesel motorlarında, NO_2 'nin NO 'ya dönüşümünü engelleyebilecek bir çok soğuk bölge bulunduğundan dolayı kısmi yüklerde görülür. NO_2 aynı zamanda düşük hızlarda, gazların daha uzun süre oksijenle temas halinde bulduklarından dolayı egzoz sistemi içerisinde de oluşur. Şekil 2.5. bir Diesel motorunda hız ve yükün fonksiyonu olarak toplam NO_x 'e göre NO_2 yüzdesini göstermektedir. NO_2 yüzdesi hıza bağlıdır ve kısmi yüklerde de daha yüksektir. Otto motorlarında, yakıt/hava oranı 0.85 için bu oran %2'yi geçmez.[6]



Şekil 2.5 Değişik yük ve hızlarda atılan NO_2 oranı

2.8 Benzinli Motorlarda Azot Oksit Oluşumu

Otto motorları yakıt/hava karışımının yanma odasındaki varlığıyla karakterize edilirler ve bu tür motorlarda emme stroku süresince emme sistemi içerisindeki karışım homojendir. Yanmanın neden olduğu basınç artışı süresince, yüksek sıcaklıklarda, yanmış gaz bölgelerinde oluşan NO konsantrasyonları sabittir. Alev cephesinin ilerlemesi ile yanan karışımın bulunduğu bölgede NO oluşumu temel prensiplere uygun olarak gerçekleşir. Fakir karışımlarda, genişleme strokunun başlarında pistonun AÖN'ya

doğru hareketi ile yanmış gazlar genişlemeye ve soğumaya başlar. Soğumayla birlikte donma tabir edilen durum oluşur ve NO oluşumu durur, az miktarda NO bozunumu gerçekleşir. Zengin karışımlarda donma, dolgu tam olarak yandıktan sonra genişleme strokunun sonlarına doğru oluşur ve önemli miktarda NO bozunumu gerçekleşir.

NO_x oluşumu içerisindeki, en yüksek NO katkısına fraksiyonlardan dolayı ilk yanan kısmın büyük etkisi vardır. Yanma odasında yeterli hava hareketleri olmadığı durumda, en yüksek NO konsantrasyonu buji civarında oluşur. Bu sayede, sıcaklık dağılımına bağlı olarak yanma odasındaki NO konsantrasyonu dağılımı gözlemlenebilir.

NO emisyonlarını etkileyen en önemli faktörler yakıt/hava oranı silindir içerisinde yanmamış karışım içinde bulunan art gaz miktarı ve ateşleme zamanıdır. Bu parametreler kıyaslandığında, yakıt özelliklerindeki olağan değişimlerin NO oluşumu üzerine katkısı önemsizdir.[6]

2.9 NO_x lerin Çevre ve İnsan Sağlığına Etkisi

Nitrik oksit (NO) kendi başına zehirleyici etkiye sahip değildir. İlgilenilen etkileri; hemoglobine bağlanma yeteneği (CO 'den 1000 kat daha fazla) ve amfizemi tipine etkisidir. Bu etkiler hayvan testlerinde doğrulanmamış ve 15-20 ppm arasında etkisi belirtilmemiştir.

NO 'nun asıl etkisi, bir NO₂ habercisi gibi akışı yavaşlatmaktır. Azot peroksit çözünmez ve akciğer sisteminin derinlerine nüfuz edebilir. Akciğer alveollerine etki eder, yapılarını bozar, savunma sistemini zayıflatır. Bu da diğer hastalıklara neden olur. Azot peroksit akciğerdeki belirli hücrelerin ölümüne neden olur ve solunum fonksiyonlarının düzenini bozar. NO₂ zehirlenmesinin belirtileri uykusuzluk, çarpıntı ve mukus zarında oluşan bozukluklardır.[6]

Yapılan çalışmalarda 0.01 ppm'in altındaki azot dioksit konsantrasyonlarında 2-3 yaş arası çocuklarda bronşit vakalarında artış gözlenmiştir. Azot dioksit konsantrasyonu 150 ppm (285µg/m³) veya üzerinde olduğunda insan sağlığı üzerinde öldürücü etkiye sahiptir. Azot dioksit akciğeri tahriş eder ve solunum enfeksiyonuna neden olur. Azot dioksitin yukarıda bahsedilen direkt etkisi dışında, fotokimyasal reaksiyona girmesi ve yanmış hidrokarbonlarla birlikte zincirleme reaksiyona girmesi sonucu fotokimyasal

smog ve bununla birlikte fotokimyasal oksidantlar (ozon ve PAH) oluştururlar.[6]

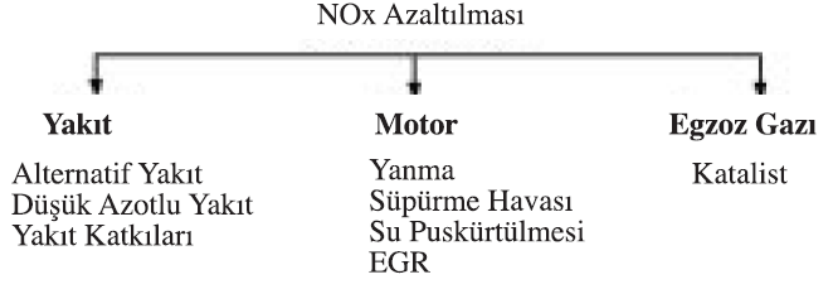
Yaz aylarında şehir içi bölgelerde yer seviyesinde ozon oluşumunun habercisi azot dioksittir. Azot oksitler ayrıca, göz tahrişine, st solunum sisteminde enfeksiyona (zellikle çocuklarda), astımın şiddetlenmesine, bronşitin artmasına neden olur. Azot oksitler, boğaz ve akciğeri olumsuz etkiler.[6]

Çizelge 2.2 Azot Dioksitin İnsan Sağlığı zerine Etkisi

NO ₂ (ppm)	Sre	Etkiler
0.12	-	Koku algılama sınırı
0.3	3.75 saat	FVC ve FEV de küçük artışlar (%5-9)
1.5-2	2-3 saat	Sağlıklı yetişkinlerde havayla artan solunum yolu şikayetleri
1	15 dakika	Bronşitli kişilerin solunum yollarında direncin artması
2.5	2 saat	Sağlıklı kişilerde solunum yollarında direncin artması
5	15 dakika	Akciğerde gaz alışverişinin engellenmesi
10	-	Koku algılanmasının engellenmesi
50	-	Geri dönüşümlü bronşiyolit
150	-	2-3 hafta içinde bronşiyolit sonunda ölüm
≥2	1-3 saat	Akciğer fonksiyonlarında değişme

2.10 Benzinli Motorlarda NO_x kontrol yöntemleri

NO_x emisyonlarını kontrol etmede kullanılan çeşitli yöntemler şekilde gösterilmiştir. Başlıca yakıtta, motorda ve egsoz gazlarında alınacak önlemler olarak toplanabilir. Püskürtme avanslarının değiştirilmesi, emme supabı özellikleri (silindir başına düşen supap sayısı, emme kanalı şekli ve uzunluğu vb.) motordaki yanma işlemine etki eden önemli parametrelerdir.



Şekil 2.6 Benzinli motorlarda NO_x kontrol yöntemleri

Benzin motorlarında EGR yanma odasına emilen toplam dolgunun %10 'u civarındadır. Bu miktar NO_x emisyonlarının %50-60 azalmasını sağlar. Ancak bu uygulama hava içerisindeki O₂ miktarını düşürdüğünden HC emisyonlarını bir miktar arttırır.[7]

EGR GAZI RESİRKÜLASYONU

3.1 Egzoz Gazı Geri Dönüşümü Hakkında Temel Bilgiler

İçten yanmalı motorlardan atmosferi kirleten temel üç kirletici CO, HC, NO_x'lerdir. Bu kirletici oranlar hava/yakıt oranıyla doğrudan orantılıdır. Bunun içindir ki H/Y oranını değiştirerek CO ve HC oranları kontrol altına alınmaktadır fakat yanma sonu sıcaklığının artması sonucu NO_x oranında artış diğer kirleticilerle ters orantılı olduğundan büyük sorunlar ortaya çıkmıştır.

Motorlarda NO_x (nitrojen oksit) emisyonlarını kontrol edebilmek için iki yol vardır. Birinci yol katalitik konvertör kullanılarak egzoz gazını kimyasal işleme tabi tutmak. Diğer yol ise yanma esnasında nitrojen oksit oluşumunu azaltmaktır. Bir kısım egzoz gazları yanma odası içerisinde tutularak NO_x' in kontrolü için kullanılır. Bu egzoz gaz resirkülasyonu (geri dönüşüm- EGR) ile sağlanır.

H/Y oranı 15/1 oranına getirildiği zaman nitrojenin oksitlenmesi daha da artmaktadır ve NO_x oranında büyük bir artış görülmektedir. H/Y oranını 18/1 veya 20/1 seviyelerinde tuttuğumuz zaman yanma sonu sıcaklığı düştüğü için NO_x miktarında da düşme meydana gelmektedir. Öte yandan karışım oranının fakirleşmesinden dolayı da motor performansında büyük bir düşme meydana gelmektedir. Silindir içine giren havanın içeriğindeki gazlar: %75.5 Nitrojen ve %23 ise oksijenden oluşmaktadır. Bu iki element normal koşullarda tehlike arz etmez iken yüksek sıcaklıklarda birleşerek NO_x gazını oluşturmaktadır. Bu iki elementin silindir içinde birleşmesi 1370 °C'de olmaktadır. Bu yanma sonundaki sıcaklığı düşürmek amacıyla bir metot

uygulanmaktadır. Yanma odası içerisindeki egzoz gazları ile seyreltilmesi sonucu yanma sonu sıcaklıkları, dolayısıyla üretilen NO_x miktarı düşmektedir.

Uygulanan bu metotta karışım içine bir miktar egzoz gazı verilerek yanmayı biraz olsun kötüleştirerek yanma sonu sıcaklığını düşürmek suretiyle NO_x miktarını düşürülmektedir. Motor dizaynına bağlı olarak emme manifolduna giren egzoz gaz miktarı %6 ile %13 arasında değişir. Benzinli motorlarda egzoz gazı geri dolaşımı yanma odasına emilen toplam dolgunun %10'u düzeyinde olduğunda NO_x emisyonu % 50-60 kadar azalmaktadır. Bunun yanında egzoz gazı geri dolaşımı yanmayı kötüleştirir ve oksijen yüzdesi azaldığı için yanma sıcaklığı da düşer. Daha az yanma sonucu daha az emisyon salınımı gerçekleşir

Egzoz gazlarındaki NO_x miktarı emme anındaki nitrojene, oksijenin miktarına, yanma sonu sıcaklığına ve bu sıcaklıkta kalma sürecine bağlıdır.[8]

3.2 Egzoz Gazı Resirkülasyonu Sistemlerinin Çeşitleri

Bu bölümde iki çeşit egzoz gazı resirkülasyonu sistemi incelenecektir.

Bunlar;

- Floor-Jet sistemi
- Vakum kontrollü EGR sistemi

3.1.1 Floor-Jet Sistemi

Manifold içerisine giren egzoz gaz miktarını ayarlayan bu sistem egzoz gaz kesişmesine emme manifoldunun zeminine yerleştirilen iki küçük fiskiye ile egzoz gazlarının geçişi sağlanır. Motor çalışırken egzoz gazının ayarlanan bir miktarı (fiskiye'nin çapına bağlı olarak) fiskiyelerden emme manifoldu içerisindeki yakıt hava karışımının içerisine geçer ve böylece EGR sağlanmış olur. Bu sistem motorun tüm çalışma koşul arında istenilen randımanı veremediği için fazla kul anılmaz.[8]

3.1.2 Vakum Kontrollü EGR Sistemi

Egzoz manifoldunda bulunan egzoz gazlarını emme manifolduna transfer eden bir çelik boru bağlantısı vardır ve emme manifoldunda vakum değişmesini sinyal şekline getirip bir valfe vererek egzoz geçişini gaz kelebek açıklığına göre kontrol eden bir de vakum

yardımlı kesme valfi mevcuttur. Manifold vakumuyla çalışan bu valfe vakum motor soğutma suyu sıcaklığı ile çalışan bir termo valf tarafından sağlanır. Motor henüz ısınma esnasında iken termo valf kapalı olduğu için EGR valfi çalışmaz. Motor ısısı arttıkça termo valf açılarak emme manifoldunda ki vakum değişimlerini EGR valfine iletir ve motor hızına göre geri verilen egzoz gazı miktarı ayarlanmış olur. Isı ile çalışan valf motor su sıcaklığı 40°C'nin üstüne çıktığında bimetal disk genişlererek kanalı açar.[8]

3.2.2.1 Rölanti Devrinde EGR'nin Çalışması

Motor rölantide çalıştığı durumlarda gaz kelebeği kapalı konumda olduğu için atmosfer basıncı ve diyafram yayı EGR kesme valfini kapatarak egzoz gazlarının emme manifolduna geçmesine izin vermez.

3.2.2.2 Düşük ve Orta Devirlerde EGR'nin Çalışması

Motor ara hızlarda çalışırken gaz kelebeği yavaş yavaş açıldığında emme manifoldunda ki kısmen yüksek vakum EGR kesme valfine tesir ederek diyafram yayın kuvvetini yener ve kanalı yavaşça açar. Egzoz gazları emme manifolduna girerek H/Y karışımına karışır. Bu durumda emme manifolduna egzoz gazı akışı çok az olmaktadır fakat gaz kelebeği açılıp motor devri arttığı anda emme manifoldunda ki vakum miktarı artacağından EGR kesme valfi daha çok açılır ve egzoz gaz geçişi daha da artar. Bu anda maksimum bir egzoz gaz akışı vardır.[8]

3.2.2.3 Tam Yükte EGR'nin Başlaması

Motor tam yükte çalışırken motordan istenen güç çok fazla olacağından motorun çalışmasını olumsuz yönde etkileyen EGR sisteminin çalışmaması istenir. Motor tam açık gaz kelebeği konumunda çalışırken EGR sisteminde bulunan bir sınırlayıcı emme manifoldunda ki havanın hızının artmasıyla vakum o kadar düşer ki sınırlayıcı vakumun EGR kesme valfine ulaşmasına izin vermez. Motor tam yük ve hızlarda çalışırken EGR sistemi devre dışı kalır.[8]

3.1.3 Değişik Tip EGR Sistemleri

Valf ile kontrol edilen bir sistemde ayrı bir geçiş ile emme manifoldu egzoz manifoldu

bağlanır. Bu geçiş vakum kontrolü ile çalışan EGR valfi ile açılır veya kapanır. Valini üst kısmı diyaframlıdır. Karbüratör vakum kanalı vakum borusu ile valfin üzerine bağlanır. Vakum kanalında vakum olmadığı zaman EGR valfindeki diyaframa vakum etki etmez. Bundan dolayı yay supabı kapalı tutar. Egzoz gaz resirkülasyonu olmaz. Bu motorun boşta çalışma durumudur. NO_x oluşumu en azdır.

Gaz kelebeği açılmaya başlayınca vakum kanalında oluşan vakum EGR valfinin diyaframına etki eder. Diyafram supabı açmaya başlar. Egzoz gazları emme manifolduna geçer. Yakıt-hava karışımı ile egzoz gazları karışarak silindirler içerisine girer. Gaz kelebeği açıklığı arttığı zaman emme manifoldu vakumu düşer. Yanma oluşumu esnasında yakıt-hava karışımındaki egzoz miktarının artması yanmayı kötüleştirir. Bundan dolayı gaz kelebeğin açıklığı arttıkça egzoz gaz resirkülasyonuna daha az ihtiyaç duyulur. Vakumun azalması ile EGR valfi hemen hemen kapanır.[8]

3.3 Dahili Egzoz Gazı Resirkülasyonu

Yanma sırasında oluşan NO_x miktarı büyük ölçüde silindir içi sıcaklığa bağlıdır. Emme havasının egzoz gazları ile seyreltilmesi NO_x emisyonlarında büyük ölçüde düşüğe neden olmaktadır. Yanma odasındaki karışımın egzoz gazları ile seyreltilmesi yanma sonucu oluşan maksimum sıcaklığın düşmesine ve motor maksimum gücünde bir miktar azalmaya neden olunur. Benzinli motorlarda EGR yanma odasına emilen toplam dolgunun %10 'u civarındadır. Bu miktar NO_x emisyonlarının %50 civarında azalmasını sağlar. Uygulama hava içerisindeki O₂ miktarını düşürdüğünden hidrokarbon emisyonlarını bir miktar arttırır.[6]

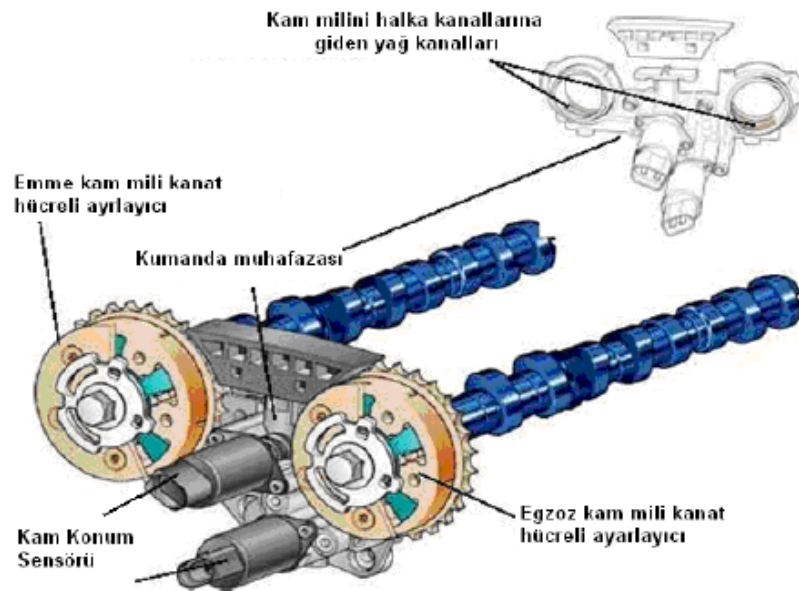
Dahili egzoz gazı resirkülasyonu yani iç EGR yönteminde sıcak egzoz gazlarının bir kısmı silindir içerisinde bırakılır. Bu sayede yakıt daha hızlı buharlaşarak karışım oluşumu hızlanır ve düşük yüklerdeki hidrokarbon (HC) ve karbon monoksit (CO) emisyonlarında da iyileşme görülür. Ancak dahili egzoz gazı resirkülasyonu yönteminde, optimum emisyon oranının sağlanabilmesi için değişken supap zamanlaması kullanılması gerekir.[6]

Değişken supap zamanlamalı (VVT) motorlar, aynı klasik supap zamanlamalı motorlara göre üretilen güç ve tork bakımından daha iyi sonuçlar sağlamaktadır. Bir diğer yandan

değişken supap zamanlamalı motorlar, egzoz emisyonlarını düşürücü ve özgül yakıt sarfiyatını azaltıcı etkide bulunurlar. Sistem yanması iyileştirilerek motor performansının yükseltilmesi ve egzoz emisyonlarının düşürülmesi sağlanır.[9]

Supap zamanlamasını değiştiren çok farklı mekanizmalar bulunmaktadır fakat esasında hepsinin yaptığı iş aynı sonuca varmaktadır. Değişken supap zamanlamaları sistemlerinde supaplara üç şekilde müdahale edilmektedir. Bunlar kam fazını kaydıran kam fazını değiştiren ve hem kaydırıp hem değiştiren sistemlerdir.[9]

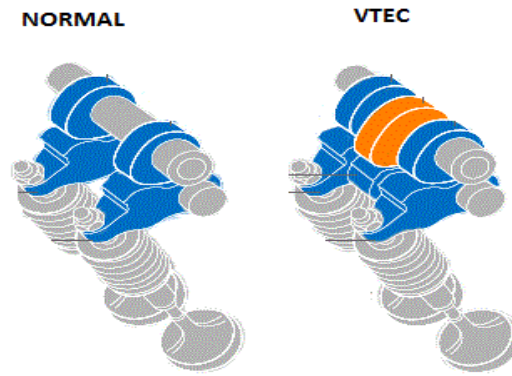
Değişken supap zamanlaması sistemleri değişen yük ve devir şartlarına göre hem emme hem de egzoz supabına müdahale ederek motora o an için ihtiyacı kadar olan dolguyu temin eder ve yanma sonrası düşürülmesi istenen emisyon değerlerini de istenilen ölçüde düşürülmesini sağlarlar. Bunun için CVVT (continuous variable valve timing) sistemi kullanılarak her iki eksantrik miline kanat hücreli ayarlayıcı monte edilip optimum yanma verimi ve düşük egzoz emisyonları gerçekleştirilir.[10]



Şekil 3.1 Emme ve egzoz supap zamanı değiştiren sistem

Değişken supap zamanlaması sistemlerinden olan VTEC (Variable valve timing and electronic lift control) ise her silindirde bulunan hem emme hem de egzoz supapları

için üçüncü bir külbütör kolu ve üçüncü bir kam bulunmaktadır. Orta külbütör kolunun birinci ve ikinci külbütör koluyla birbirine bağlanmasını sağlayan hidrolik pistonlar vardır. Ayrıca her silindire düşen egzoz ve emme kam bili üzerinde üçer adet kam bulunmaktadır. Yanma olayının performansının arttırılması için birinci ve ikinci kam düşük hızlarda devredeyken yüksek hızlarda orta kam ve orta külbütör devreye girer. Bu sistemde yüksek hızlarda devreye giren orta kam ve orta külbütör kolu sayesinde supap açık kalma süreleri ve açılma miktarları değiştirilmektedir. Böylelikle egzoz emisyonlarında iyileştirilip kontrol altında tutulabilmektedir. [11]



Şekil 3.2 Normal kam mili ve VTEC kam mili

3.4 EGR'nin Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi

Egzoz gazı resirkülasyonunun (EGR) iki etkisi bulunmaktadır.

- Silindir içine geri dönen egzoz gazları yanma sonu sıcaklığını düşürür.
- İçeri giren taze H/Y miktarını azaltır.

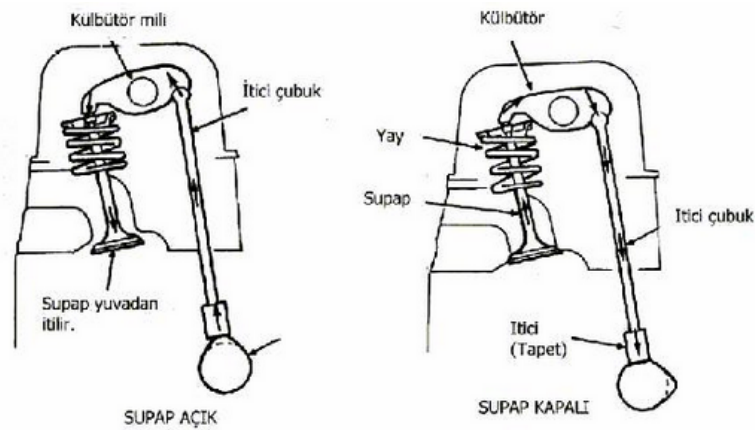
Emme manifolduna giren H/Y karışımına direkt olarak etki eden bu egzoz gazları motor gücünü ve NOx miktarını düşürmektedir ve de özgül yakıt tüketimine artırmaktadır. Gaz kelebek açıklık miktarı arttıkça buna bağlı olarak araç hızı artmaktadır araç hızının artmasına bağlı olarak yapılan EGR miktarında bir artış görülmektedir. Düşük araç hızlarında ve rölanti çalışmasında EGR olmaz.[8]

BÖLÜM 4

MOTOR SUPAP YÖNETİM MEKANİZMASI

Dört zamanlı bir motor, emme, sıkıştırma, yanma ve egzoz stroklarına sahiptir. Ancak supap çalışması için sadece iki stroka gerek vardır: emme ve egzoz strokları. Bu yüzden supap mekanizması tek bir motor çevrimini tamamlamak için krank milinin her iki turunda eksantrik mili bir kez dönerek emme ve egzoz supaplarını çalıştıracak tarzda tasarlanmıştır.

Krank mili zamanlama dişlisi krank milinin bir ucuna bağlanmıştır ve eksantrik mili zamanlama dişlisi egzoz eksantrik milinin ucuna tutturulmuştur. Egzoz eksantrik mili bir triger (zamanlama) kayışı üzerinden krank mili tarafından tahrik alır. Emme eksantrik mili, emme ve egzoz eksantrik milleri arasındaki dişlilerden tahrik alır. Eksantrik mili zamanlama dişlisinin diş sayısı krank mili zamanlama dişlisinin diş sayısının iki katıdır.(Böylece eksantrik mili, krank milinin her iki turunda bir tur döner)
[12]

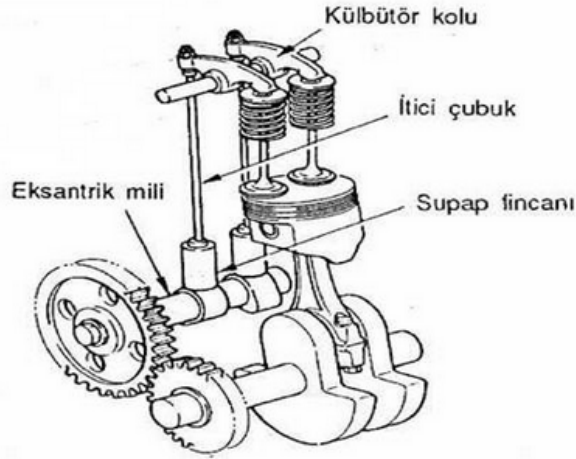


Şekil 4.1 Kam mili külbütör çubuğu ve supap mekanizması

Solda, kam çıkıntısı supap itici tablasını ve itici çubuğu yukarıya iter ve külbütör milini ve supabı aşağıya iterek supabın kapanmasına neden olur. Sağda, kam çıkıntısı supap itici tablasının altından dışarı çıktığı zaman supap yayları supabı geri çekerek kapatır, külbütörü yukarı iter. İtici çubuk ve supap itici tablasını aşağıya iter. Külbütör milinin ve supabın aşağıya itilerek açılmasına neden olur. Supap açık olarak bulunduğu anda, supap yaylarının üstüne kuvvet gelir ve yayları sıkıştırır. Kam çıkıntısı supap itici tablasının altından dışarı geçtiği zaman yay, supabı yukarı doğru çekerek supabı kapalı konumda tutar. Sonra külbütör sallanarak geriye doğru bir kuvvetle itici çubuk ve supap itici tablasını aşağıya doğru iterek supabı kapalı konuma getirir.[12]

4.1 OHV Tip (Over Head Valve - Üstten Supaplı)

Eksantrik mili silindir bloğu içine, supaplar ise yanma odasının üstüne yerleştirilmiştir. Silindir kapağı basit bir yapıya sahip olmasına rağmen supap ile eksantrik arasında supap fincanı, itici çubuk ve külbütör kolu gibi pek çok parça bulunmaktadır.[12]



Şekil 4.2 Üstten supaplı tek silindirli motor

4.2 Külbütör Çubuğunda Yapılan Revizyon

Proje dahilinde amaç edinilen NO_x gazlarının azaltılması için iç EGR yapılacaktır. İç EGR standart supap itici çubuğunun yeniden imali ile mümkün olabilir.

Düzenek şu şekilde imal edilmiştir;

- Supap itici çubuğu kesildi ve bir miktar kısaltıldı.
- Kısa itici çubuğa burç sıkı geçme takıldı.
- Burç içerisine supap yayı katsayısından düşük bir yay yerleştirildi.
- Yay üzerine diğer uzun olan supap itici çubuğu basacak şekilde yerleştirildi.
- Elde edilen yeni konstrüksiyon supap iticisi ile külbütör manivelası arasına yerleştirilmiştir.



Şekil 4.3 Revizyon yapılmış külbütör çubuğu ve orijinal külbütör çubuğu

Yeni imal edilen supap itici çubuğu egzoz açılma zamanını geciktirecek ve kapanma zamanını ise erkene alacaktır. Bu şekilde egzoz gazları dışarıya tam atılmadan silindir içerisinde kalıp taze dolguyu seyrelterek NO_x 'in azalmasını sağlayacaktır.

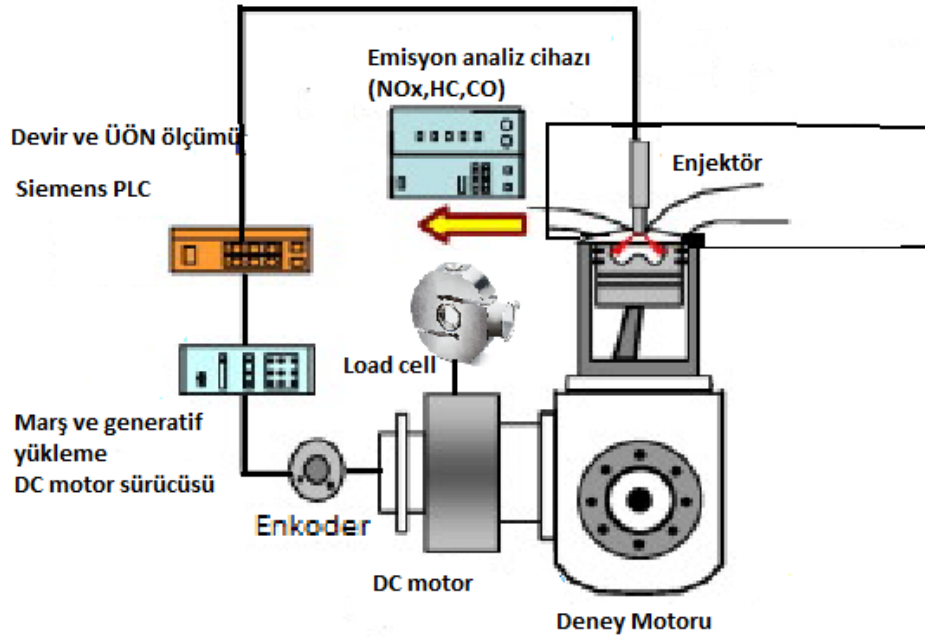
Yapılacak deneyler için egzoz supabı açılma ve kapanma zamanlamaları aşağıdaki gibidir;

Çizelge 4.1 Egzoz açılma ve kapanma krank açıları

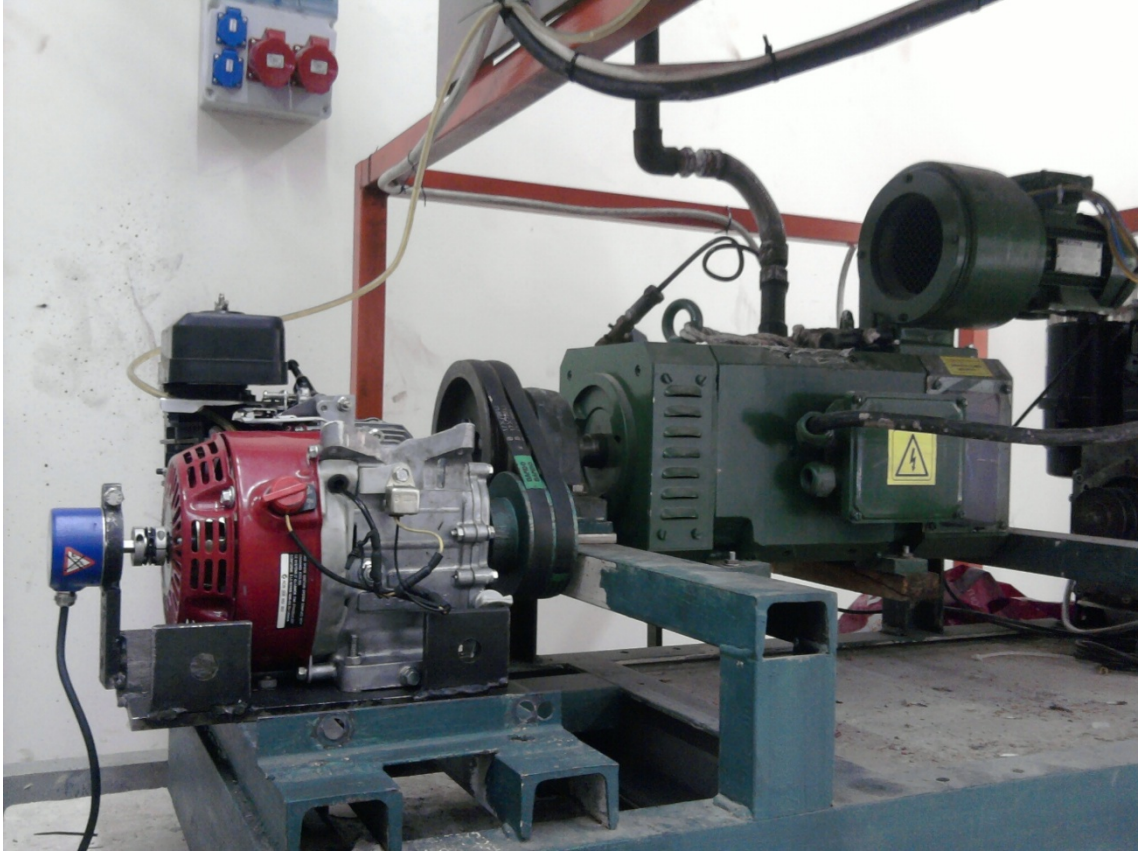
	Egzoz Supabı Açılma Avansı (Ü.Ö.N.Ö.)	Egzoz Supabı Kapanma Gecikmesi(Ü.Ö.N.S.)
1. test	210°	45°
2. Test	195°	25°
3. Test	185°	15°

DENEYSEL ÇALIŞMA**5.1 Deney düzeneği ve ekipmanları**

Deney düzeneği bünyesinde içten yanmalı bir benzinli motor, motor test düzeneği, emisyon analiz cihazı, enkoder, DC motor ve yük hücreleri bulunmaktadır. Deney setinin şematik Şekil 5.1'deki gibidir ve teknik özellikler maddeler halinde verilmiştir.



Şekil 5.1 Deney şematik düzeneği



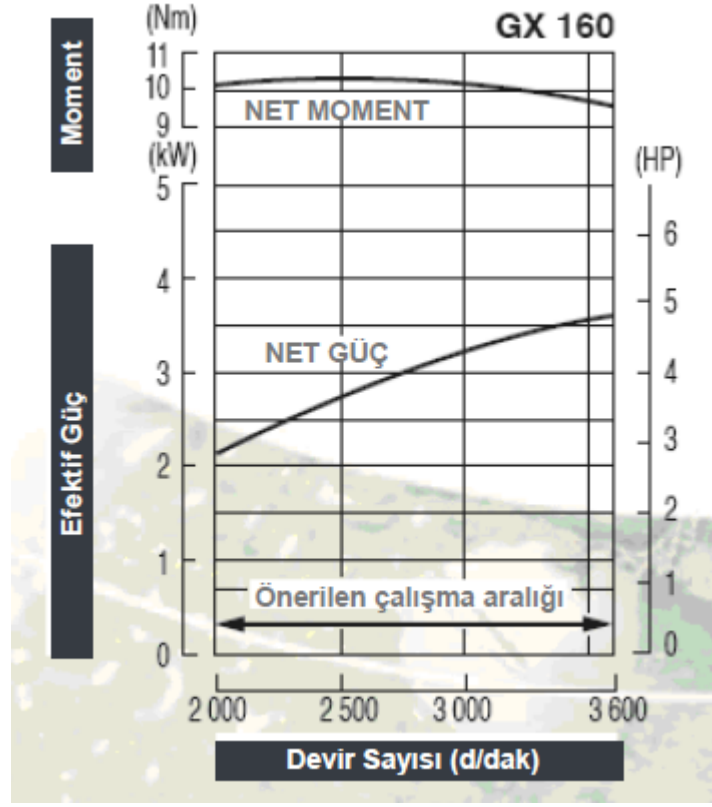
Şekil 5.2 Deney düzeneği resmi

5.1.1 Motor Teknik Özellikleri

Çizelge 5.1. Deney motorunun teknik özellikleri

Motor Tipi	4 zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı Honda GX 160 benzin motoru
Strok Uzunluğu	45 mm
Silindir Çapı	68 mm
Strok Hacmi	163 cm ³
Sıkıştırma Oranı	8.5:1
Maksimum Efektif Güç (Nominal Güç), n_N devri	3.6 kW, 3600d/dak
Maksimum Döndürme Momenti, n_M devri	10.3 Nm, 2500 d/dak
Önerilen Maksimum Devir Sayısı	3600 d/dak
Ateşleme Sistemi	Transistörlü
İlk Hareket Sistemi	Çekme telli (elektrikli ilk

	hareket donanımı seçenekli)
Motor Yağ Kapasitesi	0.6 lt
Dış Boyutları	312x363x346
Kütle	15 kg



Şekil 5.3 Honda GX 160 benzin motoru hız karakteristikleri



Şekil 5.4 Honda GX 160 Benzinli Motor

5.1.2 DC Motor ve Load cell

DC motor birinci bölgede çalıştırılarak Diesel motora marş verilir, yük dirençleri vasıtası ile ikinci bölgede çalıştırılarak dinamik yükleme elde edilir. DC motor bu sistemde dinamometre olarak görev yapmıştır. Bu sistemde motorun belli devir ve yük şartlarında yüklenmesi sağlanarak rotora karşı bir direnç oluşturulup motorun gücü ölçülmektedir. Dinamonun üzerinde bir kol mevcut olup ucunda yükü tespit etmemizi sağlayan 300 kg kapasiteli load cell bulunmaktadır. Statorun doğurduğu manyetik alanda dönen rotor statoru ve gövdeyi yatırır. Gövdenin dönmesine karşı koymak için gerekli ağırlık load cell vasıtasıyla kontrol panelindeki yük göstergesinden okunur. Dirençler yüklenerek rotor ile stator arasında oluşan manyetik alanın değişmesiyle motordan alınan yük, dolayısıyla moment ile tork arasında olan bağlantısı kurulur. DC motor Diesel motoruna kayış-kasnak sistemiyle bağlanmış olup, yük miktarı kontrol panelindeki kumanda kolu vasıtasıyla ayarlanmaktadır.

DC motora gelen dinamik yüklerin değerinin belirlenmesi amacıyla load cell kullanılır. Esas olarak çalışma prensibi, içinde bulunan "Strain Gauge" isimli elemanın üzerindeki yük sebebi ile şekil değiştirmesidir. Bu şekil değiştirme üzerinden sürekli akım geçirilen Strain Gauge elemanın boyut değiştirmesinden dolayı direncinin de değişmesiyle

oluşan voltaj farklarından yararlanılarak üzerine uygulanan yük ölçülebilir. Bu elemandan gelen sinyal milivolt mertebesinde. Aşağıdaki resimde DC motor ve üzerine kuvvet kolu ile bağlanmış Pulse Elektronik marka T-3C model 300 kg kapasiteli S tipi yük hücresi(load cell) görülmektedir.



Şekil 5.5 DC motor ve Load cell

5.1.3 PLC

PLC'nin görevi:

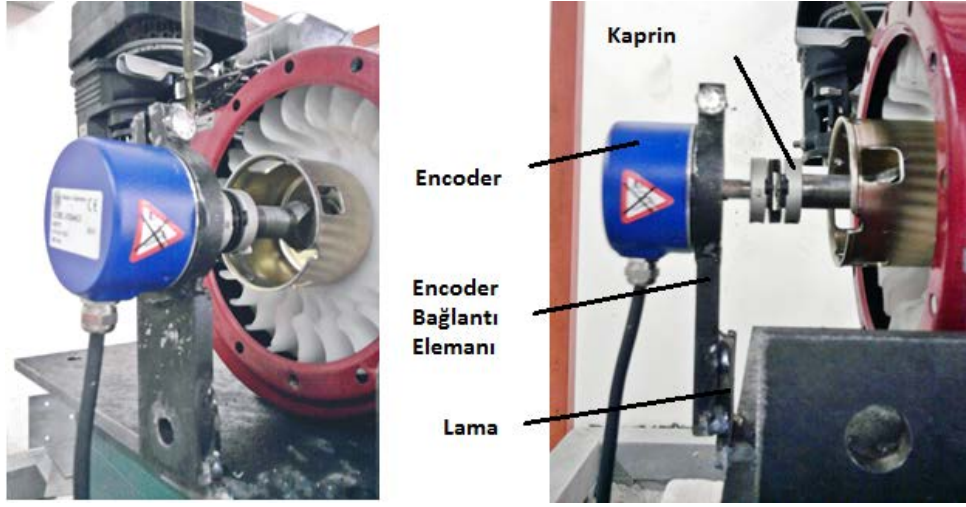
S7-200 ekranına motor devrinin yansıtılması için kullanılmıştır.



Şekil 5.6 S7-200 PLC modülleri ve ekranı

5.1.4 Enkoder

Pistonun konumunun ve hızının belirlenebilmesi için devir başına 360 darbe üreten bir artımsal kodlayıcı(enkoder) kullanılır. Piston üst ölü noktada (ÜON) iken kodlayıcı sıfır konum sinyali üretir. Konum bilgisinin sayısal türevi motor hız bilgisini oluşturur. Düzenekte Opkon marka PRI 50 LTP model 360 pulse değerine sahip enkoder kullanılmıştır.



Şekil 5.7 Encoder, encoder taşıyıcısı, encoder kaprini ve bağlantı elemanı

5.1.5 Yakıt Sarfiyatı Ölçümü

Yakıt deposundan bir valfe bağlı hortum vasıtasıyla göstergeye yakıt dolduruldu. Bu gösterge 16 cm³ yakıt değerine kadar dolmaktadır. Daha sonra yakıt bu göstergeye doldurulduktan sonra motor çalıştırıldı ve 8 cm³'lük değeri motorun çeşitli yüklerde ve devirlerde ne kadar sürede tükettiği kronometre vasıtasıyla belirlendi. Tüketilen yakıt hacmi ve süresi bilindiğinden saatlik ve özgül yakıt tüketimi değerleri hesaplandı.

5.1.6 Emisyon ölçümü

Şekil 5.8'de gösterilen gaz emisyonlarını ölçmek için kullanılan egzoz gazı analiz cihazı, AVL DICOM 4000 marka garaj tipi gaz analiz cihazı olarak geçmektedir. Gaz analiz cihazı CO, HC, CO₂ gazlarını kızıl ötesi yöntemle, NO_x gazlarını ise elektrokimyasal yöntemle ölçebilmektedir, ölçüm hassasiyetine ait teknik değerleri Çizelge 5.2'de listelenmiştir.

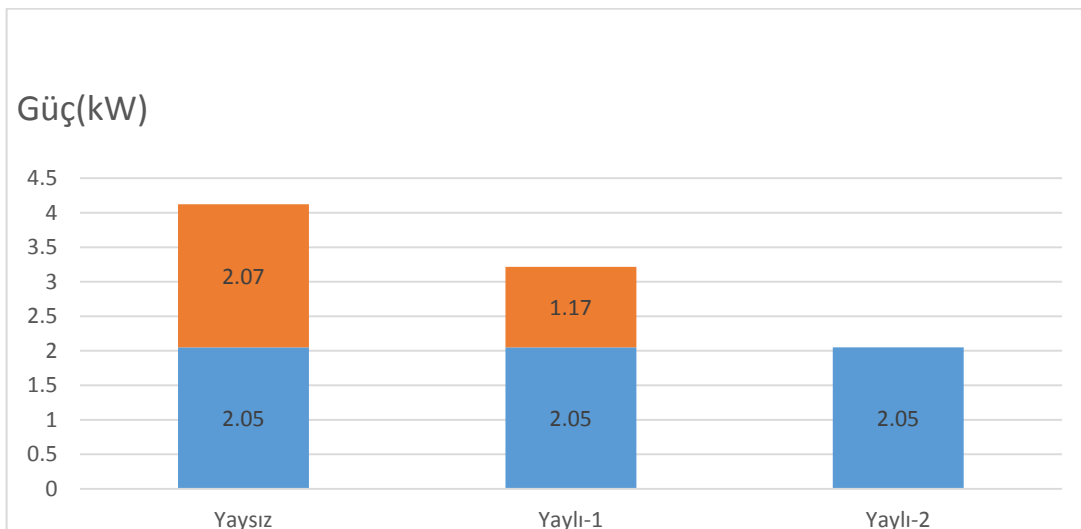


Şekil 5.8 AVL DICOM 4000 gaz analiz cihazı

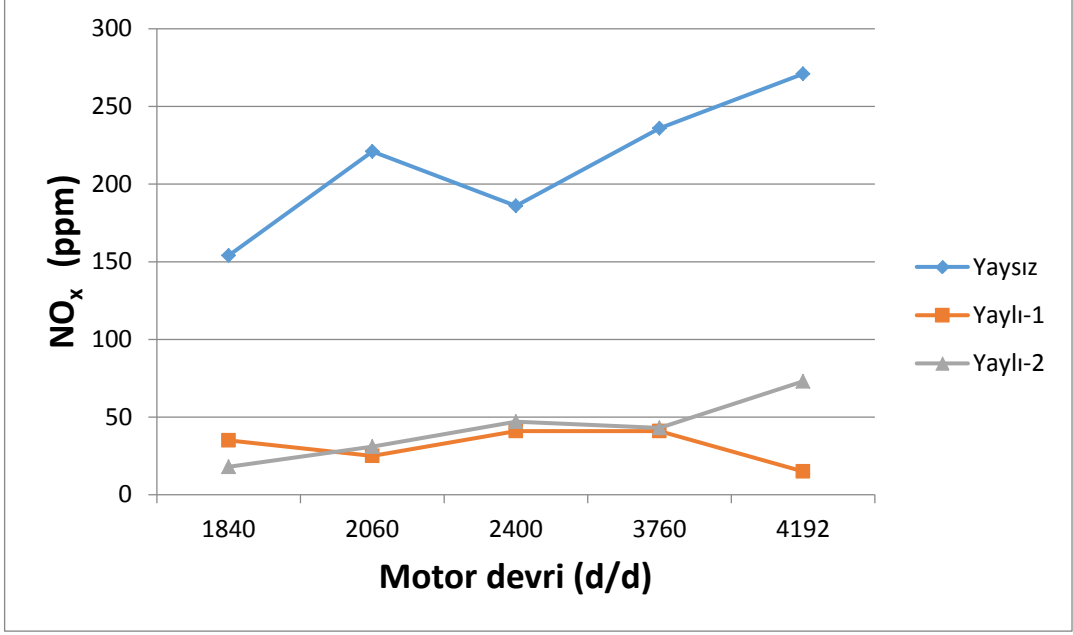
Çizelge 5.2 AVL DICOM 4000 gaz analiz cihazına ait teknik değerler

AVL DICOM 4000	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO	0-10%hacim	0.01 % hacim
CO ₂	0-20%hacim	0.1 %hacim
HC	0-20000 ppm hacim	1 ppm
NO _x	0-5000 ppm hacim	1 ppm
O ₂	0-20%hacim	0.01%hacim
Λ	9999	0.001
Motor Hızı	250-9960 rpm	10 rpm

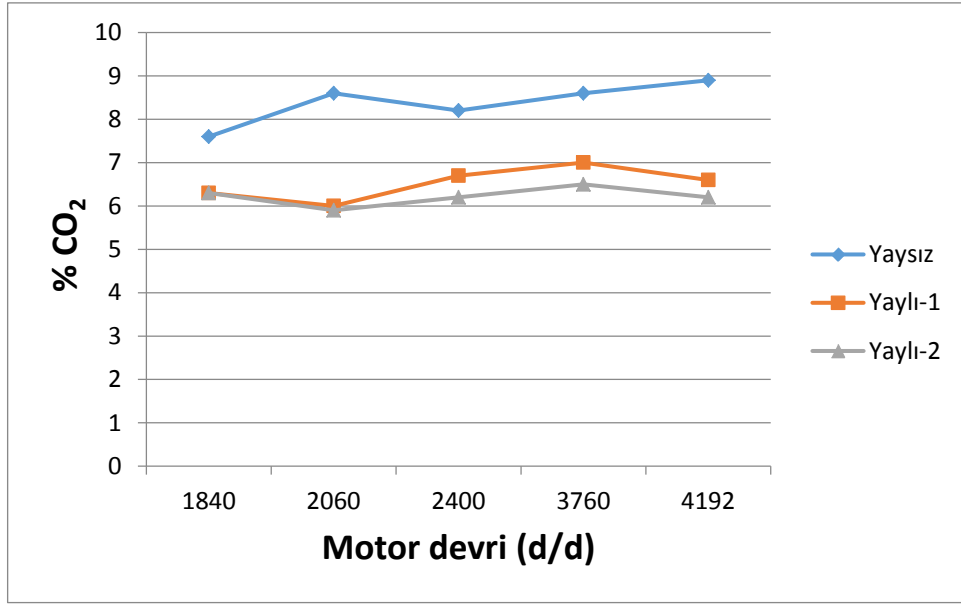
5.2 Deney Sonuçları



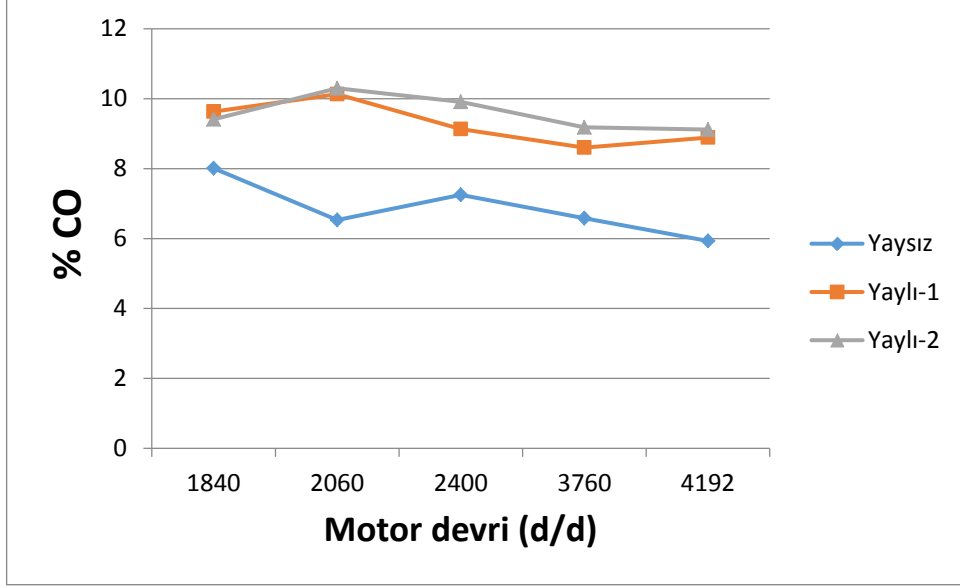
Şekil 5.9 Farklı egzoz supabı kapanma açıları için 4000 d/dak'da güç değişimleri



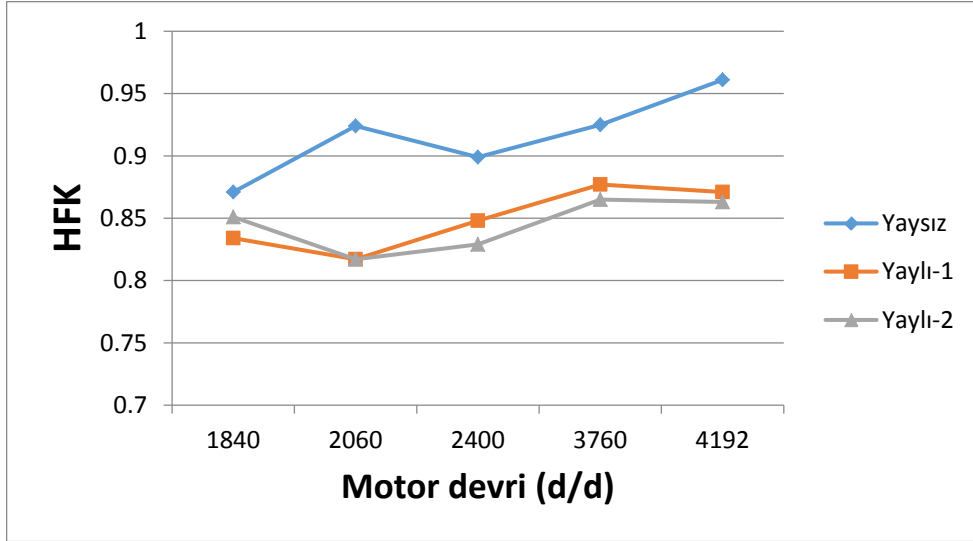
Şekil 5.10 Farklı egzoz supabı kapanma açıları için NO_x emisyonlarının değişimi



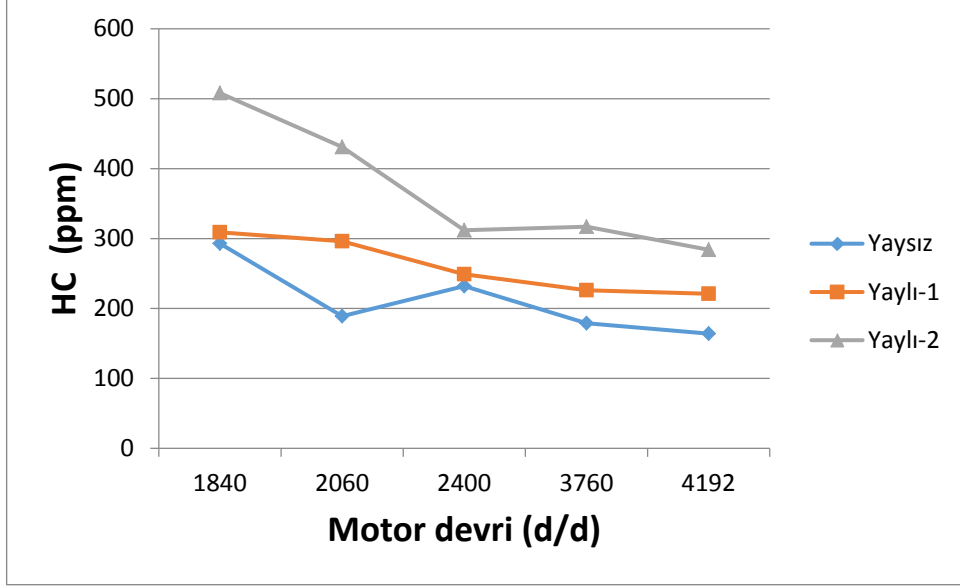
Şekil 5.11 Farklı egzoz supabı kapanma açıları için CO₂ emisyonlarının değişimi



Şekil 5.12 Farklı egzoz supabı kapanma açıları için CO emisyonlarının değişimi



Şekil 5.13 Farklı egzoz supabı kapanma açıları için hava fazlalık katsayısının değişimi



Şekil 5.14 Farklı egzoz supabı kapanma açıları için HC emisyonlarının değışimi

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Deney sonuçlarının yorumlanması

Yapılan çalışmalar farklı egzoz supabı açılma-kapanma açılarına bağlı olarak çeşitli motor parametreleri ve emisyonlar ölçülmüş ve grafikler halinde verilmiştir. Ölçümler 1840, 2060, 2400, 3760, 4192 d/d'da yapılmıştır.

Şekil 5.9'da yaysız, yaylı 1 ve yaylı 2 olarak yapılan test sonuçlarına göre güç değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde motorda güç düşüşü olduğu gözlenmektedir.

Şekil 5.10'da farklı egzoz supabı açılma-kapanma açılarına bağlı olarak değişen, azot oksit emisyonlarının değişimi görülmektedir. Egzoz kapanma açıları değiştirilerek silindir içinde kalması sağlanan egzoz gazları, silindir içindeki oksijen konsantrasyonunu düşürerek azot oksit emisyonlarını azaltmaktadır. Ayrıca yanma hızının düşmesi maksimum ısının açığa çıktığı noktayı geciktirdiğinden maksimum silindir sıcaklığı düşmekte ve buda azot oksit emisyonlarını azaltmaktadır.

Şekil 5.11'de ve 5.12'de farklı egzoz supabı açılma-kapanma açılarına bağlı olarak değişen karbondioksit ve karbonmonoksit emisyonlarının değişimi görülmektedir. Daha erken kapanan egzoz supabı ile birlikte silindir içinde daha fazla egzoz gazı tutulmuştur ve bununla birlikte CO emisyonlarda artış olmuştur. Temel olarak CO oluşumu hava fazlalık katsayısının (HFK) kuvvetli bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Sıcaklık düştükçe CO'nun CO₂ şekline oksidasyonu söz konusudur. Karbondioksit emisyonlarındaki artışın bir sebebi de silindire içinde tutulan egzoz gazlarının içerisindeki karbondioksittir.

Şekil 5.14'te EGR oranına bağlı olarak hidrokarbon emisyonlarındaki değişim görülmektedir. HC emisyonlarında ciddi artış olmuştur. Bunun sebebi egzozda yanmamış halde bulunan gazların daha erken kapanan egzoz supabı ile silindir içinde tutulması ve yüksek devirlerde olmasına rağmen yanma hızının artması ve daha iyi homojen karışım olup yanmanın kötüleşmesiyle emisyonlarda düşme görülmektedir.

6.2 Öneriler

Yapılan deneyler sonucunda dahili egzoz gazı resirkülasyonu uygulaması ile NO_x emisyonları dışında diğer parametrelerde kötüleşme olduğu görülmüştür. Bu daha yüksek oranlarda yapıldığında motor performansını daha da kötüleştirdiği için tavsiye edilmemektedir. Diğer parametreleri fazla kötüleştirmeden daha yüksek iç EGR oranlarına çıkabilmek için bazı ek tedbirlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Dahili egzoz gazı resirkülasyonunun diğer parametreleri kötüleştirmesinin önemli etkilerinden birisi hava fazlalık katsayısını azaltmasıdır. Bu durumun önlenmesi için silindire daha fazla hava alınmasını sağlayacak sistemlerden (aşırı doldurma) yararlanılabilir. Silindir içinde egzoz gazlarının tutulmasıyla oluşan karışımın yanma hızı düşmektedir. Bu durumda silindir içine gönderilen yakıtın bir kısmı gereken süre içerisinde yanamayacağından yakıt tüketimi kötüleşmektedir.

Egzoz gazlarının içerisindeki küçük partiküller motordaki aşınmayı artıracaktır. Ayrıca dahili egzoz gazı resirkülasyonu yapılan motorlarda daha yüksek kaliteli motor yağlarının kullanılması da aşınmayı azaltacaktır.

Maksimum güç ve tork aralığında NO_x emisyonlarında önemli miktarda artış göstermektedir. Dahili egzoz gazı resirkülasyonu sistemi bu devir aralığında çalışmalı, rölanti ve tam yüklerde sistemin devre dışı kalması sağlanmalıdır.

Diğer emisyon azaltma yöntemleri ile birlikte kullanılarak hem NO_x emisyonları hem de diğer parametreler optimize edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ergeneman, M. ve Arslan, H., (1998). Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler, Birsen Yayınevi, İstanbul 4-8.
- [2] Çakıroğlu, M., (1996). “Motorlu Taşıt Trafiğinde Egzoz Emisyonları”, Ulusal Ulaşım Sempozyumu, İstanbul 565-573.
- [3] Işıksoluğu, M. A.,(1997) “Diesel Motorlu Taşıtların Egzoz Gazındaki Duman Koyuluğu ve Ölçümde Karşılaşılan Sorunlar”, Mühendis ve Makine Dergisi, 22-25, 38.
- [4] Kaytakoğlu, S., Var, F., ve Öcal, S. E., (1995). “Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Kirlilik ve Giderilme Yöntemleri”, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü 3. Ulusal Sempozyumu, Ankara, 143-155.
- [5] Schafer, F., and Basshuysen, R.V., (1995). “Reduced Emissions and Fuel Consumption in Automobile Engines, Springer-Verlag Press, Germany, 6.
- [6] Sandalcı, T., “ Taşıt ve Çevre Ders Notları ” İstanbul, 2012.
- [7] Andrews, G., (1995) “NOx Formation and Control” The eleventh Annual Short Course on Diesel Particulates and NOx Emissions, University of Leeds, England,.
- [8] Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Egzoz Sistemi, http://data.obitet.net/obitet/egzoz_sistemi/erg.htm, 05.Aralık.2013
- [9] Demirtaş, V., ve Bayrakçeken, H., (2010). “Değişken Supap Zamanlamalı Sistemlerin İncelenmesi” Electronic Journal of Vehicle Technologies (EJVT) 40-56.
- [10] Maekawa, K., and Ohsawa, N., (1989). “Development of a Valve timing Control System” , SAE Paper No: 890680, 1297-1280,.
- [11] (1995). Honda Servis Eğitim Notları, Honda Eğitim Yayınları, İstanbul, 4-47,.
- [12] Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Supap Sistemi, http://data.obitet.net/obitet/egzoz_sistemi/erg.htm, 05 Aralık 2013

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Tayfun ONAR
Doğum Tarihi ve Yeri :20.04.1989-İSTANBUL
Yabancı Dili :İNGİLİZCE
E-posta :tayfunsondu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Süleyman Demirel Üniversitesi	2011
Lise	Samiha Ayverdi Anadolu Fen Bilimleri Lisesi		2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013-2014	Linde Opsan A.Ş.	Kalite ve Proses Sorumlusu
2012-2013	Opsan A.Ş.	Proje Mühendisi
2012-2013	En Petrol Ltd. Şti.	Saha Mühendisi