

FIRAT ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MOTOR DEVRİ VE HAVA/YAKIT KARIŞIM ORANINA BAĞLI
OLARAK EGZOS GAZI BİLEŞİMİNİN, SICAKLIĞININ VE BASINCININ
DEĞİŞİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Makina Müh. Halit Lûtfi Yücel

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Makina Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi: Prof.Dr. Kâzım PIHTILI

ELAZIĞ

OCAK 1990

Okuduğum ve jüriye sunulmasını uygun gördüğüm bu tez, bir Yüksek Mühendislik (MS) tezinde bulunması gereken tüm nitelikleri taşımaktadır.

Prof.Dr. Kâzım PIHTILI

Tez Yöneticisi

Tez Jürisi:

.....
.....
.....
.....

.....
.....
.....
.....

Jüri Başkanı

Bu Tez, Yüksek Mühendislik (MS) Tezi Olarak Onaylanmıştır.

ÖZET

Bu çalışmada; farklı devir ve hava - yakıt oranlarının, egzoz gazı bileşenleri, egzoz gazı sıcaklığı ve egzoz gazı basıncı üzerine etkileri araştırılmıştır.

Deneylerde silindir hacmi 1.3 litre - 4 zamanlı benzinli motor kullanılarak, yüksüz durumda ve yükte deney yapılmıştır. Orsat cihazı kullanılarak egzoz gazı içindeki CO_2 , CO ve O_2 oranları bulunmuş, NOx miktarı, absorpsiyon metodu kullanılarak, kimyasal yolla hesaplanmıştır. Egzoz basıncı ve sıcaklığı ölçülmüş ve motor performansı, güç ve özgül yakıt sarfiyatı açısından incelenmiştir.

Deney sonuçları, devir ile egzoz sıcaklığının ve basıncının arttığını ve egzoz bileşenleri üzerinde esas önemli faktörün hava/yakıt oranı olduğunu göstermiştir. Hava-yakıt oranı devir arttıkça önce artmış sonra düşmüştür.

ABSTRACT

In this study, effects of different speed and air/fuel ratio on exhaust component, exhaust temperature and exhaust pressure were investigated.

Tests were conducted on 1.3 litre - four cylinder gasoline engine without load and load were tested. By using orsat apparatus, CO_2 , CO and O_2 levels in the exhaust gas were determined, NO_x levels were calculated by chemical way which is based on absorption method. Exhaust temperature and pressure were measured, and engine performance in terms of brake power output and specific fuel consumption were also investigated.

The experiments showed that the exhaust temperature and pressure are increasing with the increasing speed, and a major factor is the air fuel ratio on exhaust component. Firstly, air/fuel ratio increased with increasing speed, decreased with increasing speed after.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarımı çok yakından takip eden Danışman Hocam Makina Mühendisliği Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Kâzım PIHTILI ' ya saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Deney setinin kurulmasında ve deneylerimde emeği geçen başta motor teknisyenleri olmak üzere Makina Mühendisliği Bölümü atelye personeline, gaz analizi ünitesinin hazırlanmasında ve gaz analizinde yakın ilgi ve desteğini gördüğüm Sayın Yrd. Doç. Dr. Dursun Pehlivan ' a teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında ilgi ve desteklerini gördüğüm, hocalarıma ve başta Arş. Gör. Cengiz YILDIZ olmak üzere mesai arkadaşlarıma , ölçme aleti temininde kolaylık gösteren Kimya Mühendisliği Bölümü ve Fizik Bölümü ilgili elemanlarına teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
Özet	III
Abstract	IV
Teşekkür	V
İçindekiler	VI
Şekiller	IX
Tablolar	XII
Resimler	XIII
Semboller	XIV
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Yanma Olayı Ve Hava-Yakıt Karışım Oranı	3
2.2. Hava-Yakıt Oranının Motor Gücüne Ve Yakıt Sarfiyatına Etkisi	10
2.3. Hava- Yakıt Karışım Oranının Termik Verim Ve Ortalama Efektif Basınca Etkisi	11
3. EGZOS GAZI BİLEŞENLERİ	13
3.1. Egzos Gazı Emisyonları	13
3.2. Motorlarda Kirletici Bileşenlerin Kaynakları	14
3.3. Otto Motorlarında Egzos Emisyonu	15
3.4. Diesel Motorlarında Egzos Emisyonu	16
3.5. Motorlarda Zararlı Maddelerin Oluşumu	18
3.5.1. Karbonmonoksit Oluşumu	19
3.5.1.1. Benzinli Motorlarda Karbonmonoksit	19
3.5.1.2. Diesel Motorlarında Karbonmonoksit	21
3.5.2. Azot Oksitlerin Oluşumu	21
3.5.2.1. Otto Motorlarında Azot Oksitlerin Oluşumu	26

3.5.2.2. Diesel Motorlarında Azot Oksitlerin Oluşumu	26
3.5.3. Yanmamış Hidrokarbonlar	26
3.5.3.1. Benzinli Motorlarda Yanmamış Hidrokarbonlar	27
3.5.3.2. Diesel Motorlarında Yanmamış Hidrokarbonlar	28
3.5.4. Benzinli Ve Diesel Motorlarda Kükürtdioksit	28
3.5.5. Benzinli Motorlarda Kurşun	29
3.5.6. Diesel Motorlarında İs	30
3.6. Dizayn Ve Çeşitli Çalışma Şekillerinin Benzinli Motor Emisyonlarına Tesirleri	31
3.7. Otto Ve Diesel Motorların Egzos Emisyonlarının Diğer Sistemlerle Karşılaştırılması	38
3.8. Egzos Emisyonlarının Azaltılması İçin Alınabilecek Önlemler	39
3.8.1. Motorun Çalışma Şartlarını Etkileyen Önlemler	40
3.8.2. Motorda Alınan Önlemler	42
3.8.3. Egzos Gazlarını Atmosfere Vermeden Önce Alınan Önlemler	43
3.9. Hidrojenli Motorların Egzos Emisyonu	44
3.10. LPG Veya CNG Kullanımının Emisyonlara Etkisi	46
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	48
4.1. Deney Tesisatının Hazırlanması Ve Tanıtımı	48
4.2. Deney Motoru	50
4.3. Dinamometre (Su Freni) Özellikleri	51
4.3.1. Döndürme Momentinin Tespiti	51
4.3.2. Efektif Gücün Bulunması	53
4.3.3. Yakıt Sarfiyatının Tespiti	53
4.3.3.1. Özgül Yakıt Sarfiyatının Tespiti	53
4.3.4. Ortalama Efektif Basıncın Tespiti	54
4.4. Soğutma Suyu Debisinin Tespiti	55
4.5. Hava Debisinin Tespiti	56

4.6. Sıcaklıkların Ölçülmesi	58
4.7. Egzos Basıncının Ölçülmesi	60
4.8. Egzos Gazı Analizi Ünitesi	60
4.8.1. Absorban Çözeltiler	61
4.8.2. NOx 'lerin Tayini	62
4.8.3. Hidrojen Ve Metan Tayini	62
4.8.4. Kurşun Tayini	63
4.9. Yapılan Deneyler	66
4.9.1. Farklı Devirlerde Yapılan Deneyler	66
4.9.2. Sabit Devirde Yapılan Deneyler	66
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
YARARLANILAN KAYNAKLAR	82
EKLER	
Ek 1. Kuru atmosferik havanın kimyasal terkibi	84
Ek 2. Hava ve su buharı miktarları	85
Ek 3. Sıvı motor yakıtlarının özellikleri	86
Ek 4. Orsat cihazı	87
Ek 5. Deneylerde kullanılan orifis ölçüleri ve diyagram	89

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 2.1	Benzinli bir motorda motor gücünün ve yakıt sarfiyatının karışım oranına göre değişimi	10
Şekil 2.2	Diesel motorlarında motor gücü ve özgül yakıt sarfiyatının karışım oranına bağlı olarak değişimi	11
Şekil 2.3	Karışım oranının termik verime ve ortalama efektif basınca etkisi	12
Şekil 3.1	Otto motorlarında egzoz emisyonlarının ve ortalama efektif basıncın hava fazlalık katsayısına göre değişimi	17
Şekil 3.2	Düz yanma odalı bir diesel motorun egzoz emisyonlarının hava fazlalık katsayısına göre değişimi.	18
Şekil 3.3	Silindir içindeki emisyon kaynakları	18
Şekil 3.4	Otto motorunda genişleme periyodunda CO oluşumunun zamana göre değişimi ve denge sonuçlarıyla karşılaştırılması	20
Şekil 3.5	Otto motorunda egzostaki CO yüzdesine hava fazlalık katsayısının etkisi	20
Şekil 3.6	Egzostaki hidrokarbon emisyonları üzerine hava-yakıt karışım oranının etkisi	32
Şekil 3.7	Egzostaki hidrokarbon emisyonlarına ve hava/yakıt oranının tesiri	32
Şekil 3.8	Egzoz gazı hidrokarbon konsantrasyonu üzerine gücün etkisi	33
Şekil 3.9	Egzoz gazı kütleli emisyonları üzerine gücün tesiri	34
Şekil 3.10	Motor devrinin hidrokarbon emisyonu üzerine etkisi	34

Şekil 3.11 Süpap bindirmesinin etkisi	35
Şekil 3.12 H/Y ' nin NO konsantrasyonu üzerine etkisi	36
Şekil 3.13 NO emisyonu üzerine motor devrinin etkisi	36
Şekil 3.14 Soğutucu sıcaklığının NO emisyonu üzerine etkisi	37
Şekil 3.15 Emme havası içindeki nemin NO ve HC emisyonları üzerine etkisi	37
Şekil 3.16 Hidrojen yakıtlı Chevrolet V8 motorunda NOx emisyonları	45
Şekil 4.1 Deney setinin şematik görünüşü	49
Şekil 4.2 Motor-Dinamometre sistemi	52
Şekil 4.3 Yakıt ölçme kabı	54
Şekil 4.4 Hava debisi ölçme düzeneği	56
Şekil 4.5 Sıcaklık ölçme sistemi.	59
Şekil 4.6 Egzos basıncını ölçme düzeneği	60
Şekil 4.7 Hava yakıt oranının devir ile değişimi	69
Şekil 4.8 CO ₂ miktarının devir ile değişimi	69
Şekil 4.9 CO miktarının devir ile değişimi	70
Şekil 4.10 NOx miktarının devir ile değişimi	70
Şekil 4.11 O ₂ miktarının devir ile değişimi	71
Şekil 4.12 Manifold çıkışında ölçülen egzoz gazı sıcaklıkları	71
Şekil 4.13 Egzos borusu çıkışında ölçülen egzoz gazı sıcaklıkları	72
Şekil 4.14 Manifold çıkışında egzoz borusu civarında ölçülen sıcaklıklar	72
Şekil 4.15 Döndürme momenti ile devir arasındaki ilişki	73
Şekil 4.16 Efektif gücün devir ile değişimi	73
Şekil 4.17 Özgül yakıt sarfiyatının devir ile değişimi	74
Şekil 4.18 Egzos çıkış basıncının devir ile değişimi	74

Şekil 4.19 Egzos gazı bileşenlerinin H/Y oranı ile değişimi	75
Şekil 4.20 Egzos gazı bileşenlerinin H/Y oranı ile değişimi	75
Şekil 4.21 Soğutma suyu debisinin devirle değişimi	76

TABLÖLAR

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1 Taşıt motorlarında HC, CO, NOX, PM kaynaklarının yüzde dağılımları	15
Tablo 3.2 Türkiye'de oktan sayısı ve kurşun miktarları	29
Tablo 3.3 Çeşitli sistemler için egzoz gazı emisyonları	39
Tablo 3.4 LPG ve CNG kullanılması halinde emisyonlarda meydana gelen azalma	
Tablo 4.1 Normal benzinle boşta yapılan deney sonuçları	67
Tablo 4.2 Normal benzinle yükte yapılan deney sonuçları	67
Tablo 4.3 %50 karışımla yükte yapılan deney sonuçları	68
Tablo 4.4 Tam açık kelebek konumunda elde edilen sonuçlar (1500 d/d)	68
Tablo 4.5 3/4 kelebek konumunda elde edilen sonuçlar(1500 d/d)	68
Tablo 4.6 Soğutma suyu debisinin devirle değişimi	68

RESİMLER

	<u>Sayfa</u>
Resim.1 Orsat cihazı	63
Resim.2 Deney setinin genel görünüşü	64
Resim.3 Deney motoru ve dinamometre	64
Resim.4 Hava tankı, ventürimetre ve yakıt ölçme kabı.	65
Resim.5 Atomik absorpsiyon cihazı	65

SEMBOLLER

- c : Yakıt içindeki karbon miktarı, %
- h : Yakıt içindeki hidrojen miktarı, %
- o : Yakıt içindeki oksijen miktarı, %
- s : Yakıt içindeki kükürt miktarı, %
- n : Yakıt içindeki azot miktarı, %
- w : Yakıt içindeki kül miktarı, %
- a : Yakıt içindeki nem miktarı, %
- σ : 1 kg. yakıtın yanması için gerekli oksijen miktarının yakıt içinde bulunan karbonun tam yanması için gerekli miktarı, $\text{molO}_2/\text{molc}$
- O_2 : Tam yanma için gerekli oksijen miktarı, $\text{mol.O}_2/\text{kg}$, molO_2/kg
- H_{teorik} : Tam yanma için gerekli teorik hava miktarı, kg hava/kg ,
- λ : hava fazlalık katsayısı,
- H/Y : Hava yakıt oranı,
- CO : Karbonmonoksit emisyonu, %, ppm,
- CO_2 : Karbondioksit emisyonu, %, ppm,
- NO_x : Azot oksitler, %, ppm,
- PM : Partikül madde, %,
- HC : Yanmamış hidrokarbonlar, %, ppm,
- OS : Oktan sayısı,
- n : Motor devri, d/d
- M_d : Döndürme momenti, kpm,
- N_e : Efektif güç, kw, BG,
- be : Özgül yakıt sarfiyatı, gr/kwh,
- P : Fren yükü, kp,
- t : Zaman, sn,
- V_y : Yakıt hacmi, cm^3 ,

Y : Yakıt miktarı, kg,
 $\dot{V}$: Yakıt debisi, cm^3/sn ,
 γ_y : Yakıtın özgül ağırlığı, gr/cm^3 ,
 P_{me} : Efektif basınç, kp/cm^2 ,
 V_H : Silindir hacmi, lt,
 M_{su} : Soğutma suyu debisi, kg/s
 C : Debi katsayısı,
 g : Yerçekimi ivmesi, m/sn^2 ,
 A_2 : Dar kesit, m^2 ,
 Δh : Basınç farkı, mhg, mmss,
 ρ_s : Suyun yoğunluğu, kg/m^3 ,
 ρ_c : Cıvanın yoğunluğu, kg/m^3 ,
 ρ_h : Havanın yoğunluğu, kg/m^3 ,
 M_h : Hava debisi, kg/s ,
 Re : Reynolds sayısı,
 G : Teorik hava debisi, kg/s ,
 β : Çaplar oranı,
 η_v : Volümetrik verim,

BÖLÜM 1

1.Giriş .

Isı enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren içten yanmalı motorlar, günümüzde başta ulaşım olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Çalışma prensipleri ondokuzuncu yüzyılın ikinci yarısında ortaya atılmış ve günümüze kadar bir çok gelişmeler kaydetmiştir. Sistem için ihtiyaç duyulan ısı enerjisi, genellikle bir hidrokarbon yakıt bileşiğinin yanması sonucu elde edilmektedir. Ana bileşenleri karbon ve hidrojen olan yakıtın yanması için saf oksijenin temini zor olduğundan hava yakıcı eleman olarak kullanılır. Yanmanın iyi olması, ekonomik çalışma ve verim açısından önemlidir. İyi bir yanma için; konstrüksiyon olarak alınabilecek tedbirlerin yanında, yanma için gerekli hava miktarının da çok iyi ayarlanması gerekir. Tam yanma için, yakılan yakıtı tam yakabilecek oranda hava temin edilmelidir. Önceleri yalnızca güç ve verim açısından dikkate alınan hava miktarı, hava kirliliği probleminin gün geçtikçe artması üzerine daha fazla önem kazanmıştır.

Yanma yakıt ile oksijenin kimyasal reaksiyonu sonucu ısı,ışık ve yanma ürünü gazların meydana geldiği bir işlem olarak tanımlanabilir. Yanma ürünü gazlardan bazılarının insan ve çevre sağlığı açısından zararlı olmaları, kullanılan hava miktarına göre değişimleri, hava/yakıt oranını önemli bir parametre olarak karşımıza çıkarmıştır.

Hava/yakıt oranı; motorun gücünü, verimini ve yanma sonucu sıcaklığını etkilemekle beraber egzoz gazı bileşimini basıncını ve sıcaklığını da etkilemektedir. Egzos sistemi, motorun önemli bir kısmı olup, egzoz geri basıncının ve egzoz manifold şeklinin motorun verimine tesir ettiği tespit edilmiştir. Egzos gazı sıcaklığı ise kayıplar açısından önemlidir. Egzos gazı içerisindeki kirleticiler, insan ve çevre sağlığını

tehdit eder boyutlara ulaşmıştır.

Hava-yakıt oranının motor gücü ve verimi üzerine olan etkileri geniş bir şekilde araştırılmıştır ve konu ile ilgili çeşitli literatürlerde gerekli bilgileri bulmak mümkündür. Hava-yakıt oranının egzoz gazı bileşimine olan etkileri ise özellikle çevre kirliliği açısından önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Starkman " Combustion - Generated Air Pollution" (19), K. Wark ve C. Warner " Air Pollution - Its Origin And Control (14) adlı eserlerinde; egzoz kirleticilerinin çevreye etkisini, oluşumlarını, oranlarını ve azaltılma metodlarını incelemişlerdir. Prof. Dr. Oğuz Borat (1) ve Oktay Akçakoyunlu (6) egzoz emisyonlarının oluşumu, etkileri ve alınabilecek tedbirleri incelemiştir. D.J. Patterson "Emission from Combustion Engines and Their Control " (16) adlı eserinde karışımın hazırlanmasını , devir ve hava-yakıt oranının parametre alınmasıyla emisyonlar üzerine motorun konstrüktif özelliklerinin tesirini ve karışım kontrolü ile emisyonların azaltılmasını incelemiştir. Tübitak, Çevre vakfı ve Erdoğan Erkan tarafından "Egzoz kirliliğinin boyutları, standardizasyonun ve fenni muayenelerin gerekliliği" üzerinde durulmuştur (23). Mustafa Demirsoy " Egzoz Gazı Problemi " (5) başlıklı makalesinde , egzoz bileşenlerinin hava-yakıt oranı ile değişimini ve yol testlerini incelemiştir.

Bu çalışmada; hava/yakıt karışım oranına ve motor devrine bağlı olarak egzoz gazı bileşiminin, sıcaklığının ve basıncının değişimi kuramsal ve deneysel olarak araştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER**2.1.Yanma Olayı ve Hava/Yakıt Karışım Oranı.**

Yanma, kimyasal reaksiyonların ve fiziksel olayların bir arada , kısa sürede ve çok hızlı bir şekilde geliştiği bir olaydır. Genellikle yanma olayı, kimyasal reaksiyonlarla ilgilidir. Fiziksel olaylar kütle ve enerji iletimi ile ilgilidir. Isının taşınması , gazların akışı ve kimyasal bileşenlerin difüzyonu, yanma işleminin temel olayları olarak kabul edilir. Yanmanın başlaması, gelişmesi ve tamamlanması; kimyasal reaksiyon hızına ve alev bölgesinde kütlenin ve ısının çevreye geçiş şartlarına bağlıdır. Oksidasyon reaksiyonu önce yavaş, sonra hızlı bir şekilde gelişir. Bu arada sıvı yakıtın buharlaşması ve bu buharın hava ile karışması gerekmektedir. Hava-yakıt karışımı, silindir içerisinde homogen bir karışım gösteriyorsa, yani yakıt molekülleri oksijen molekülleri arasında düzgün dağılmış ise yanma kısa sürede maksimum hıza ulaşır. Heterojen karışımda ise hava ve yakıt buharlarının karşılıklı difüzyon hızı yanmanın oluşumunu etkiler. Burada kimyasal reaksiyon ikinci derecede önemlidir. Oksidasyon reaksiyonu, ara aktif ürünlere, kimyasal reaksiyonun oluşumuna, sıcaklığa, gaz karışımının basıncına ve birim hacimdeki reaktivitenin yoğunluğuna bağlıdır.

Yanma işleminin ideal bir şekilde gelişebilmesi için oksijen ve yakıt moleküllerinin birbirleriyle homojen bir şekilde karışmaları ve birbirleriyle iyi temas etmeleri gerekmektedir. Benzinli motorlarda karışım ya karbüratör ile veya yakıt püskürtme sistemi ile sağlanır. Karbüratör ile benzin ve havanın karıştırılması (karbürasyon), dar bir kesitten geçen havanın yakıtı emmesi suretiyle olur. Dar bir kesitten geçerken basıncın ani düşmesi sonucu sıvı yakıt, buharlaşarak hızla akan havanın içerisine dağılır. Diesel motorlarında karışım yakıtın yanma

odasına hava ile birlikte veya yalnız püskürtülmesi (enjeksiyon) ile olur. Diesel motorlarında yakıt püskürtme aynı zamanda yanmayı da başlatır. Benzinli motorlarda da yakıt püskürtme ile karışım hazırlanabilir. Benzinli motorlarda yakıt püskürtme, yanma odası dışına da (emme manifolduna veya emme süpabının önüne) yapılabilir.

İçten yanmalı motorlarda yanma işlemi farklı şekillerde oluşur. Yanma olayları genel olarak kendi kendine tutuşma, alevin yayılması ve difüzyon yanma şeklinde incelenir :

a) Kendi kendine tutuşma : Kendi kendine tutuşma olayı esas olarak diesel motorlarında meydana gelir. Sıkıştırma sonunda ısınmış hava içerisine püskürtülen sıvı yakıt damlacıkları, hava ile karışarak belirli bir basınç ve sıcaklıkta kendi kendine tutuşarak yanar. Benzinli motorlarda da buji kıvılcımı ile oluşan alevin yayılması esnasında, yanmamış hava-yakıt karışımının belirli bir basınç ve sıcaklığa ulaşmasıyla kendi kendine tutuşma olayı meydana gelir. Bu durum vurutuya sebep olur.

b) Alevin yayılması : Yanma bölgesine bitişik taze karışıma, ısı geçişi ile alev yayılması ile yanma gelişir.

c) Difüzyon yanma : Diesel motorlarında kendi kendine tutuşmadan sonraki yanma olayıdır. Bunun düzgün, hızlı ve tam bir yanma olabilmesi, hava-yakıt karışımına bağlıdır. Yanma odası içerisine yakıtın püskürtülmesi ile oluşan damlacıkların hava içerisine yayılması, heterojen karışım meydana getirir. Buradaki yanma olayı homojen karışımdakinden farklı oluşur. Yanma olayını hava ile yakıtın meydana getirdiği karışımın hızı tayin eder. Kimyasal reaksiyonlar karışım olayından daha hızlı meydana geldiği için bu tür yanma difüzyon yanma olarak tanımlanır.

Motordaki yanma olayına genel olarak, yakıtın oksijenle birleşmesi olarak bakabiliriz. Yakıtın yanması, yakıtın içindeki yanabilen elemanlar ile havanın oksijeni arasında çok hızlı oluşan kimyasal

reaksiyon sonucu olur. Yakıtın yanabilmesi için yakıt, tutuşma sıcaklığına kadar ısınır ve gerekli hava bulunursa bir buji ile ateşlenir veya kendi kendine tutuşarak yanar.

Motor yakıtları, genellikle karbon (C) ve hidrojenden (H₂) başka az miktarda oksijen (O₂), azot (N₂), kükürt (S), su ve külden oluşur.

1 kg. yakıtın içerisinde bulunan elemanların ağırlıkça değerleri ;
c kg. karbon,
h kg. hidrojen,
o kg. oksijen,
s kg. kükürt,
n kg. azot,
w kg. su,
a kg. kül
olduğuna göre;

$$c + h + o + s + n + w + a = 1$$

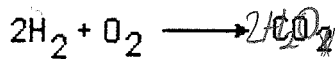
yazabiliriz. Genel olarak iyi bir yakıtta azot(n), su(w) ve kül(a) yoktur. Buna göre ;

$$c + h + o + s = 1$$

yazılabilir. Eğer yakıtın bileşiminde bulunan kükürt ve oksijen ihmal edilirse;

$$c + h = 1$$

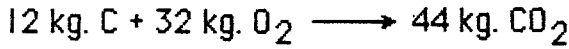
olur. Bu en ideal hidrokarbon yakıtın bileşimini verir. Bu takdirde sıvı yakıtın yanması tamamlanmış ise yanma;



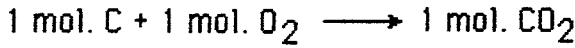
kimyasal denklemleri ile tanımlanır. Yakıt bileşiminde c, h, o ve s bulunduğu kabul edilirse, 1 kg. yakıtın tam yanması için gerekli oksijen

veya yanma denklemlerinden bulunur. c, h ve s için yanma denklemleri aşağıdaki şekildedir :

– Karbonun (C) 1 kg. ının tam yanması için gerekli oksijen (O₂) miktarı :



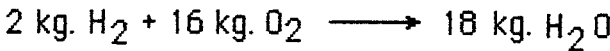
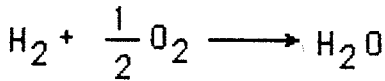
1 kg. karbonun tam yanması için $32/12 = 8/3$ kg. O₂ gerekir.



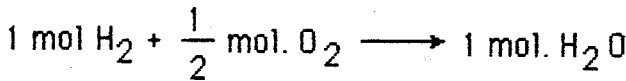
12 kg. karbonun tam yanması için 1 mol. oksijen (O₂) gerekir.

1 kg. karbonun tam yanması için $1/12$ mol. oksijen (O₂) gerekir.

– Hidrojenin 1 kg. ının tam yanması için gerekli oksijen (O₂) miktarı :



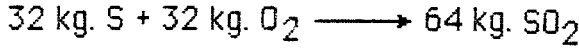
1 kg. hidrojenin tam yanması için 8 kg. oksijen (O₂) gerekir.



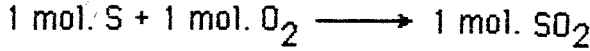
2 kg. hidrojenin tam yanması için $1/2$ mol O₂ gerekir.

1 kg. hidrojenin tam yanması için $1/4$ mol O₂ gerekir.

– Kükürtün 1 kg. ının tam yanması için gerekli oksijen (O₂) miktarı :



1 kg. kükürtün tam yanması için 1 kg. oksijen (O_2) gerekir.



32 kg. kükürtün tam yanması için 1 mol. oksijen (O_2) gerekir.

1 kg. kükürtün tam yanması için $1/32$ mol. oksijen (O_2) gerekir.

Buna göre c kg. karbon, h kg. hidrojen, s kg. kükürt, o kg. oksijen 'den oluşan 1kg.yakıtın tam yanması için gerekli O_2 'nin mol. cinsinden miktarı :

$$O_2 = \frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{s}{32} + \frac{o}{32} \quad \text{mol. } O_2 / \text{kg.y}$$

bulunur. Bunu;

$$O_2 = \frac{c}{12} \left\{ 1 + \frac{3}{c} \left(h - \frac{o-s}{8} \right) \right\} \quad \text{mol } O_2 / \text{kg.y}$$

şeklinde yazabiliriz.

1 kg. yakıtın yanması için gerekli O_2 miktarının, bu yakıt içinde bulunan karbonun tam yanması için gerekli miktarı " σ " olarak tanımlanmıştır.

$$\sigma = \frac{O_2}{c/12} = \left\{ 1 + \frac{3}{c} \left(h - \frac{o-s}{8} \right) \right\} \quad \text{mol. } O_2 / \text{mol. } \frac{c}{12}$$

Gerekli oksijen miktarı ;

$$O_2 = (c/12) \cdot \sigma \quad \text{mol. } O_2/\text{kg.y}$$

olur. Yakıtın tam yanması için gerekli O_2 miktarı kg. olarak,

$$O_2 = (8/3) \cdot c + 8h + s - o \quad \text{kg. } O_2/\text{kg.y}$$

şeklinde elde edilir.

$$O_2 = \frac{8}{3} c \left\{ 1 + \frac{3}{c} \left(h - \frac{o - s}{8} \right) \right\} \quad \text{kg. } O_2/\text{kg.y}$$

olur. Buradan 1 kg. yakıtın tam yanması için gerekli oksijen miktarı kg. cinsinden;

$$O_2 = (8/3) \cdot c \cdot \sigma \quad \text{kg. } O_2/\text{kg.y}$$

bulunur.

İçten yanmalı motorlarda, yanma işlemi için havanın oksijeninden faydalanılır. Bu nedenle 1 kg. yakıtın tam yanması için gerekli teorik hava miktarını bulalım. Havanın bileşiminde ;

kütlesel olarak: %23 O_2 , %77 N_2

hacimsel olarak: %21 O_2 , %79 N_2

vardır. Yakıtın 1 kg. ının tam yanması için gerekli teorik hava miktarı ;

$$H_{\text{teorik}} = O_2 / 0.21 = c \cdot \sigma / 2,52 \quad \text{mol. hava /kg.y}$$

veya

$$H_{\text{teorik}} = O_2 / 0,23 = 11,42 \cdot c \cdot \sigma \quad \text{kg. hava /kg.y}$$

olur.

Yanmaya katılan gerçek hava miktarının, teorik hava miktarına oranına hava fazlalık katsayısı denir.

$$\lambda = H_{\text{gerçek}} / H_{\text{teorik}}$$

Motorun yük durumuna, karışım, yanma ve işletme şartlarına bağlı olarak, gerçek hava miktarı yakıtın tam yanması için gerekli teorik hava miktarından büyük, küçük veya eşit olabilir.

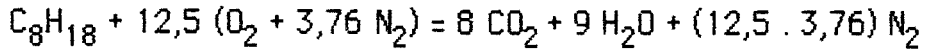
$\lambda = 1$ ise stokiyometrik karışım,

$\lambda < 1$ ise zengin karışım,

$\lambda > 1$ ise fakir karışım ,

denir.

Yakıtın tam yanabilmesi için gerekli teorik hava, yakıta ait yanma denklemi kullanılarak ta bulunabilir. Örneğin; C_nH_{2n+2} türünde bir hidrokarbon bileşimi olan C_8H_{18} 'in (izo oktan) yanmasını gözönüne alarak bu yakıtın tam yanması için gerekli teorik hava miktarını bulalım:



Gerekli teorik hava (H);

$$H = 12,5 (32 + 3,76 \cdot 28) = 1716$$

Bir mol yakıt (Y);

$$Y = (8 \cdot 12) + (18 \cdot 1) = 114$$

olduğuna göre;

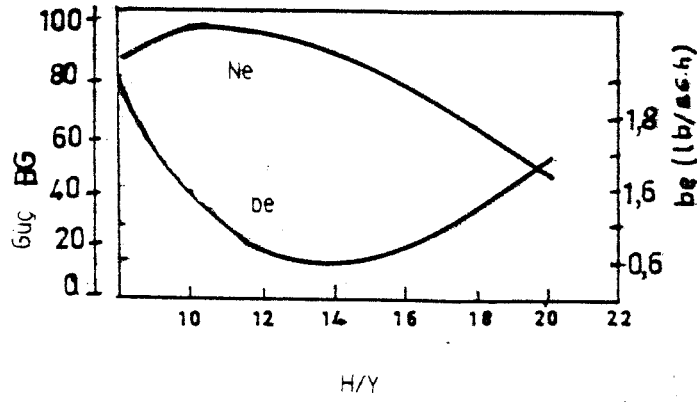
$$H / Y = 1716 / 114 = 15 \text{ (Kütlesel oran)}$$

bulunur.Yani 1 kg. izo oktanın (C_8H_{18}) 1 kg'ının tam yanması için 15 kg. teorik havaya ihtiyaç olduğu görülür.

Kuru havaya ait özellikler (1) ve bazı sıvı motor yakıtlarının özellikleri ile tam yanmaları için gerekli hava-yakıt oranları (2) ekler kısmında verilmiştir. (Son yıllarda hidrojenin ve doğal gazın da motorlarda yakıt olarak kullanılması için yapılan çalışmalar yoğunluk kazanmıştır.Bu çalışmalar neticesinde doğal gaz ve özellikle de hidrojen alternatif motor yakıtı olarak düşünülmektedir.)

2.2. Hava - yakıt oranının motor gücüne ve yakıt sarfiyatına etkisi.

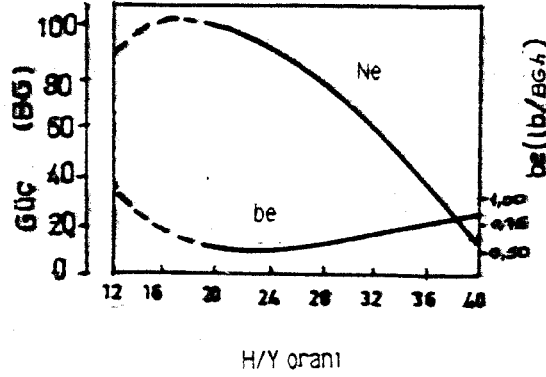
Tam gazda ve sabit hızda çalışan benzinli bir motorda yalnız karışım oranını (hava/yakıt) değiştirmekle motor gücünün ve yakıt sarfiyatının nasıl değiştiği şekil 2.1 'de görülmektedir.



Şekil 2.1 _ Benzinli bir motorda motor gücünün ve yakıt sarfiyatının karışım oranına göre değişimi.(Sabit hız ve tam gaz.)

Şekilden görüleceği üzere; 12.5/1 karışım oranında en büyük güç elde edilmiştir. 16/1 karışım oranında ise özgül yakıt sarfiyatı en aza inmektedir. Görüldüğü gibi en yüksek gücü veren karışım oranı ile en ekonomik çalışmayı sağlayan karışım oranları birbirinden farklıdır (2)(3). Bu durumu bir diesel motorunda da görebiliriz. (Şekil 2.2). Görüldüğü gibi fakir karışım bölgesinden zengin karışım bölgesine doğru gidildikçe motor gücü artmakta, özgül yakıt sarfiyatı azalmaktadır. Güç 16/1 oranına kadar artmaya devam ederken özgül yakıt sarfiyatı da hızla artmaya başlamaktadır. Karışımı 16/1 oranından daha fazla zenginleştirmenin bir yararı olmadığı tam tersine bir yandan güç azalırken diğer yandan da özgül yakıt sarfiyatının hızla arttığı görülmektedir (4). Bu nedenle benzinli motorlar $\lambda < 1$ şartlarında,

diesel motorlar $\lambda > 1$ şartlarında çalışırlar. Diesel motorlarında $\lambda > 1$ şartlarında çalışıldığında en az miktarda is oluşur.



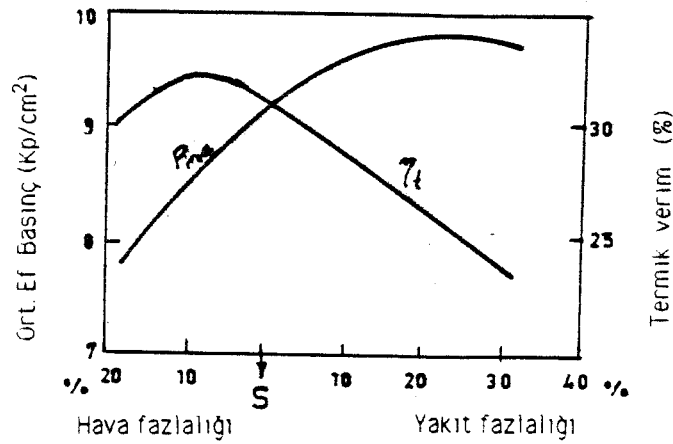
Şekil 2.2 _ Diesel motorlarında motor gücü ve özgül yakıt sarfiyatının karışım oranına bağlı olarak değişimi.

Diesel motorların karbon ve hidrojen ihtiva eden yakıtın yanmasında önce hidrojenin büyük bir kısmı yanar. Karbonun bir kısmı ise karbondioksit'e dönüşür. Şayet oksijen yeterli değilse karbonun diğer kısmı is halinde ayrılır. Motorlarda yanma odasında is teşekkülü motor için zararlıdır. Pistonda segman yuvalarına girerek segmanların çalışmasını zorlaştırır ve motorun normal çalışmamasına neden olur. Bundan dolayı diesel motorlarında $\lambda < 1$ olması imkansızdır. Motorun $\lambda > 1$ bölgesinde çalıştırılması lazımdır. Benzinli motorlarda ise yakıt buharlaşmış ve yanma odasının her tarafına dağılmış haldedir. Yanma sonunda CO_2 , CO , H_2O , H_2 ve CH_4 teşekkül edebilir. Fakat genel olarak is teşekkül etmez.

2.3_ Hava - Yakıt Karışım Oranının Termik Verim ve Ortalama Efektif Basınca Etkisi.

Şekil 2.3 ' de görüldüğü gibi % 20 yakıt fazlalığında ortalama efektif basınç, % 10 hava fazlalığında ise termik verim en fazladır.

Karışım fakirleştikçe hava miktarı yakıta göre artacağından yanma sonucu sıcaklığı azalacak neticede egzoz gazları ile çevreye kaçan enerjide daha az olduğundan termik verim artacaktır. Ancak $\lambda > 1.1$ hava fazlalık değerlerinde yanma süresi uzayacağından çevrimin ihtiyaç duyduğu ısı enerjisi sisteme istenilen süre içerisinde verilemediğinden termik verim yeniden azalmaya başlar. Yanmanın gecikmesini önlemek için avans artırılabilir, fakat avansın fazla artırılması avans vuruntusu eğilimini artırır. Karışım 12/1 - 13/1 oranına doğru indikçe yanma hızı artacağından enerji Ü.Ö.N. civarında çevrime verilebilir ve ortalama efektif basıncın, dolayısı ile de motor gücünün artmasını sağlar. Ancak çok zengin karışımlar yanma hızının azalmasına sebep olacağından ortalama efektif basınç azalmaya başlar (3)(5).



Şekil 2.3_ Karışım oranının termik verime ve ortalama efektif basınca etkisi.

BÖLÜM 3

3. EGZOS GAZI BİLEŞENLERİ

3.1_ Egzos Gazı Emisyonları.

Motorların çevreye bıraktığı egzos gazı yanma sonu ürünler ve emme havası içindeki oksijen ve azottan oluşur. Azot ve oksijenin insan ve çevre sağlığı üzerine zararlı bir etkisinin olmaması nedeniyle genellikle ekzos gazı içindeki kirletici bileşenlerin cinsleri ve miktarları önemlidir. Ancak yanma fazlası oksijen ve yanmaya iştirak etmeyen azotta diğer bileşenlerle birlikte ekzos edilir. Bir kaynağın çıkış şartlarında havaya atılan katı , sıvı ve gaz kirleticilerin tamamı emisyon olarak adlandırılır. Egzos çıkışındaki kirleticilere de genel olarak egzos emisyonları denir. Motorlarda yanma sonundaki arzu edilmeyen egzos emisyonları şöyle sıralanabilir:

- _ Karbon monoksit (CO) ,
- _ Yanmamış hidrokarbonlar (CH) ,
- _ Azot oksitler (NO_x : NO , NO₂) ,
- _ Kükürt oksitler ve kükürt bileşikleri (SO₂ , SO₃ , H₂S , H₂SO₄) ,
- _ Kısmen okside olmuş hidrokarbonlar (Aldehitler , ketonlar vs.)
- _ Metalik yakıt ve yağ artıkları ,
- _ İs. (Karbon yanında hidrojen , oksijen ve bazı aromatik hidrokarbonlardan oluşur.)(1)(5)(6)(7).

İs , diesel motor egzosunda muhtelif renklerde gözlenir :

1. Yanmanın tamamlanmamış olmasından doğan karbon zerrecelerini ihtiva eden siyah is ,
2. Yanmamış yakıt dumanından oluşan beyaz is ,
3. Yanmamış yağlama yağının yanması sonucu oluşan mavi is .

Egzos emisyonları alanındaki araştırmalar bir süre sadece benzin motorlarına yönelmiştir.

Benzin motorları normal olarak yakıt bakımından zengin bir karışımla çalıştıklarından ($\lambda < 1$) arzu edilmeyen miktarda karbonmonoksit ve yanmamış hidrokarbon emisyonları verirler. Diesel motorları ise hava fazlalığında çalışırlar. ($\lambda > 1$). Dolayısı ile karbonmonoksit ve yanmamış hidrokarbon emisyonları düşüktür. İlk yapılan standartlarda diesel motorları için yalnızca is oluşumu zararlı görülmüştür. Giderek egzoz gazlarından istenen kalite önemli ölçüde artmıştır. Karbonmonoksit ve yanmamış hidrokarbon emisyonları ile azot oksidin de atmosfer kirlenmesine katıldığı ve smog oluşumuna yol açtığı saptanmıştır. Smog, azot oksitlerin ve hidrokarbonların kuvvetli güneş ışıması etkisi altında reaksiyona girmesi sonucu oluşur(1)(5)(6)(7).

3.2 _ Motorlarda Kirletici Bileşenlerin Kaynakları.

Motorların çevre atmosferine bıraktığı kirletici bileşenler dört ana kısımdan meydana gelmektedir :

1_ Egzos borusu : Yanma sonucu doğan ürünlerde mevcut zararlı bileşenlerdir. Kirletici bileşenlerin % 65 - 85 'ini kapsamaktadır.

2_ Karter havalandırması : Segman ile silindir arasından sızan gazlardan ve karterdeki yağ buharlarının atmosfere atılmasından doğmaktadır. Kirletici bileşenlerin % 20 ' si kadardır.

3_ Yakıt deposu havalandırması : Özellikle sıcak havalarda yakıtın kolay buharlaşan bileşenlerinin atmosfere yayılmasıdır. Kirletici bileşenlerin % 5 ' i kadardır.

4_ Karbüratör : Sıcak havalarda bilhassa durup kalkma şeklindeki işletme şartlarında karbüratörden olan buharlaşma ve kaçak kayıplardır. Kirletici bileşenlerin % 5 - 10 'unu teşkil etmektedir(1)(7).

Karter havalandırma borusu motorun emmesine bir boru ile kolayca bağlanabilmektedir. Benzer şekilde yakıt deposu, basınç regülatörü ihtiva eden bir boru sistemi ile emme borusuna veya absorban

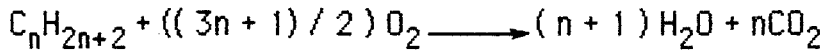
bir hazneye gönderilerek yakıt buharlarının atmosfere verilmesi engellenebilmektedir. KARBÜRATÖR kaçakları için bağlantı bölümlerindeki sızdırmazlık özellikleri iyileştirilmelidir ve ayrıca yakıtın kolayca buharlaşabilmesi için egzoz manifoldundan ısıtılmasına dikkat edilmelidir. Yukarıdaki açıklamalar ve Tablo 3.1 kirleticiler yönünden en önemli kaynağın egzoz olduğunu göstermektedir. Egzoz gazlarının analizi egzoz gazı kirleticilerinin miktarını göstermekle beraber yanma kalitesi hakkında da fikir verebilir.

KAYNAK	HC	CO	NO _x	PM (%)
Egzoz	62	100	100	90
Karter havalandırması	20	—	—	10
Yakıt deposu havalandırması	9	—	—	—
KARBÜRATÖR	9	—	—	—

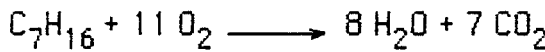
Tablo 3.1 – Taşıt motorlarında HC , CO , NO_x , PM kaynaklarının % dağılımları. (PM : Partikül madde)

3.3 – Otto Motorlarında Egzoz Emisyonu.

Otto motorlarında teorik tam yanma şöyledir :



Örnek olarak heptanın (C₇H₁₆) yanması verilirse ;



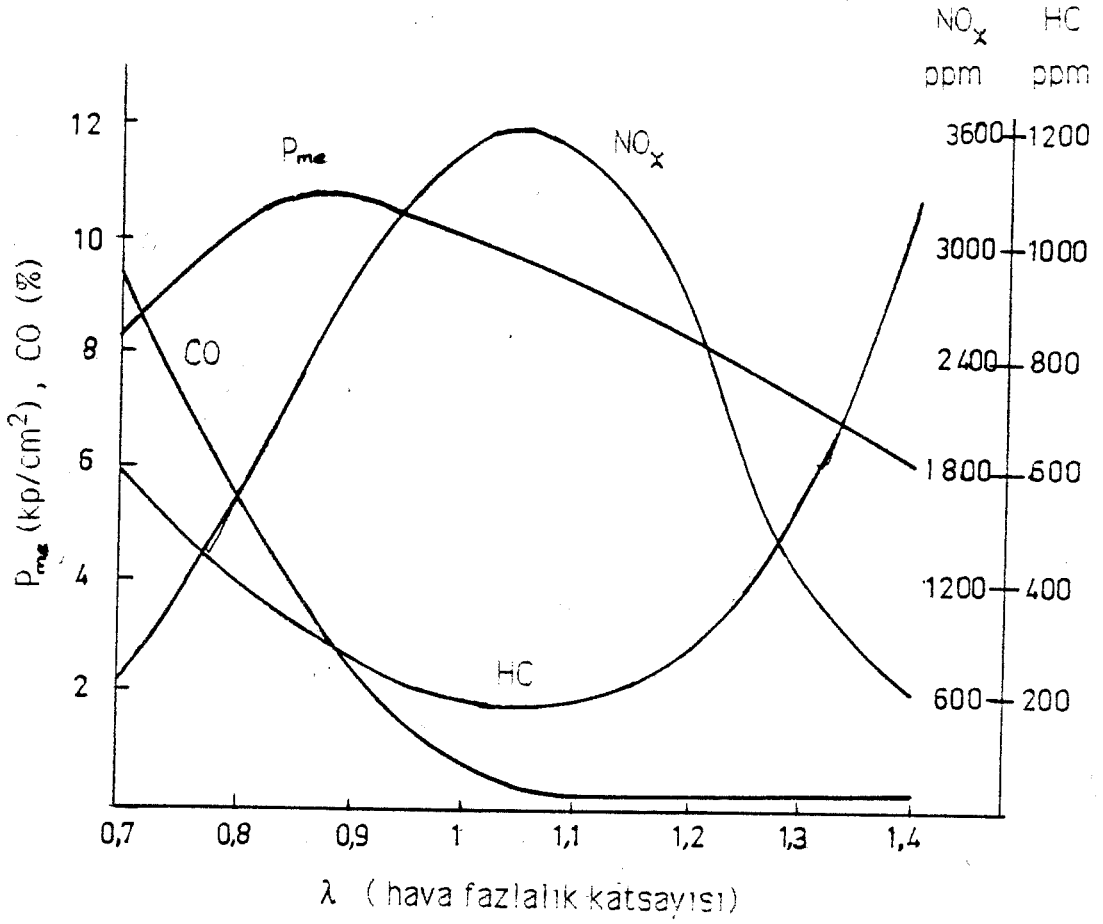
Kimyasal denklemlerden görüldüğü üzere teorik olarak meydana gelen gazlar tam yanmanın neticesi olarak CO₂ ve su buharı ihtiva etmektedir.

Pratikte ise bu teorik ideal tam yanma durumu maalesef yanmanın birçok faktöre bağlı olması neticesi meydana gelmemektedir. Eğer motor gücünü yükseltmek için zengin karışım ile çalıştırılırsa , karbonlu hidrojenlerin bütün molekülleri yanarak CO₂ meydana getirmezler. Böylece bir kısmı

oksitlenmiş CO meydana gelir. Eksik hava ile yanma aynı zamanda bütün karbonlu hidrojenlerin tam oksitlenmeyerek H_2O meydana gelmesine müsaade etmektedir. Yanma odası içinde yanma esnasında havasızlık nedeniyle benzin motorlarında CO , CO_2 , H_2O ve H_2 konsantrasyonları meydana gelmektedir. Ayrıca yanma odasının soğuk cidarı ($100 - 300^{\circ}C$) ile temas halinde olan karışımı , benzinin yanma noktası altında olan bu sıcaklıklarda kısmi olarak oksitlenmekte ve çeşitli yapılarda CH parçaları meydana gelmekte , kimyasal reaksiyon yavaşlamakta ve hatta durmaktadır. Yanma sınırları içindeki reaksiyona katılmayan azot oksitlenerek NO_2 ' yi oluşturmaktadır. Buradaki NO_2 yüzde olarak az olmasına rağmen duman durumunun meydana gelmesine büyük etkindir. Karışımın artan hava miktarı ile egzoz gazlarındaki CO miktarı ve CH ' nin belirli bir sınıra düştüğü gözlenir. Fakat hızın yüksek olduğu benzin motorlarında emme ile yanma arasındaki kısa zaman için tam ve homojen bir hava - benzin karışımı meydana gelmez. Böyle bir durumda fakir karışımın teşkili nedeniyle yanma sıcaklığı artmakta ve arzu edilmeyen maksimum NO değerine ulaşılmaktadır. Şekil 3.1 ' de görüldüğü gibi $\lambda=1.05$ halinde NO bir maksimuma erişmektedir. Hava fazlalık katsayısının fazla büyümesi ve yanma şartlarının kötüleşmesi sebebiyle egzoz gazlarındaki CH miktarı artacaktır. Burada dikkate değer şey artan hava miktarı ile ortalama efektif basınç (P_{me}) değerinin yani motor gücünün azalmasıdır (5)(2).

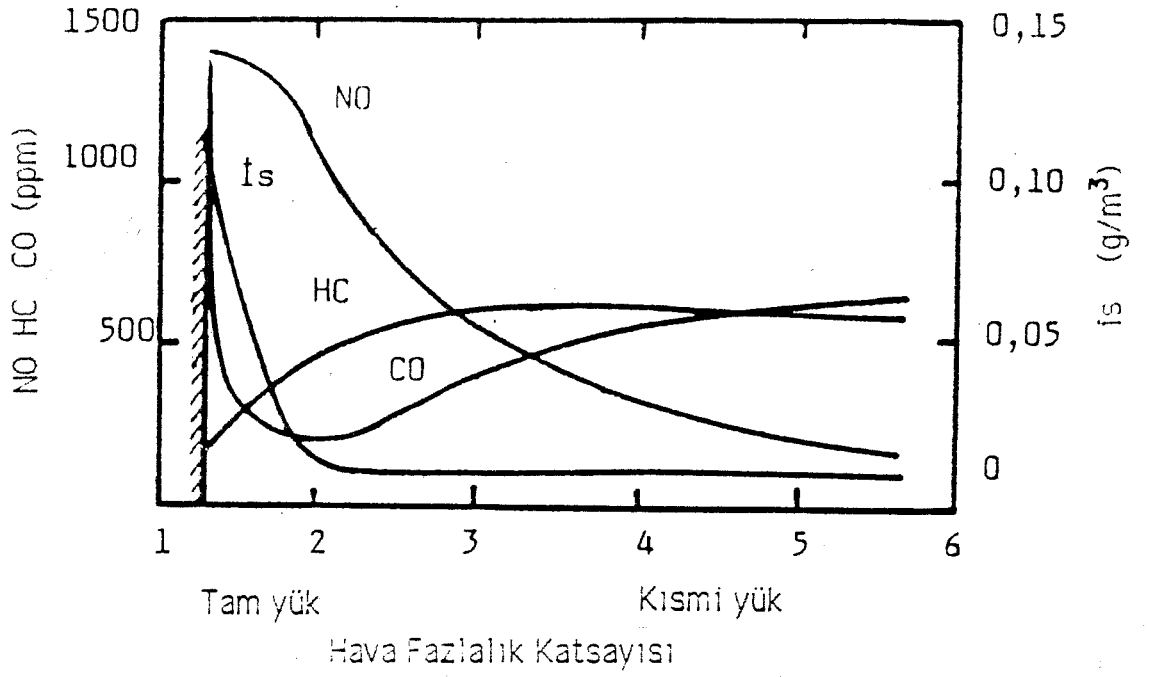
3.4 _ Diesel Motorlarında Egzos Emisyonu.

Diesel motorlarında CO , CH , NOX , ve is önemli kirletici bileşenlerdir. Şekil 3.2 ' de düz yanma odalı (direkt püskürtmeli) bir diesel motorun bileşen konsantrasyonu - hava fazlalık katsayısı eğrisi verilmiştir.



Şekil 3.1 – Otto motorlarında egzoz emisyonlarının ve ortalama efektif basıncın hava fazlalık katsayısına göre değişimi.

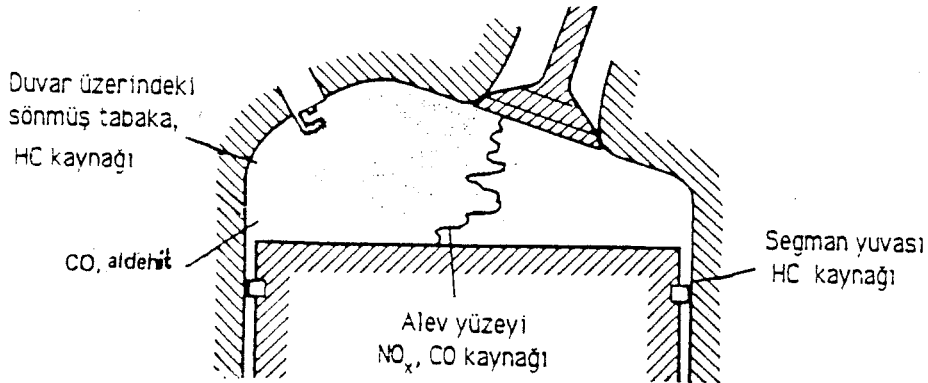
NO_x maksimumu daha düşüktür ve hava fazlalık katsayısının büyük değerlerine ötelenmiştir. NO_x 'deki NO₂ ölçülecek mertebelere çıkmıştır. İs sınırına yaklaşıldıkça CO artmaktadır. Ancak CO mertebesi çok düşüktür. CH konsantrasyonu fakir bölgede hava fazlalık katsayısına pek bağlı değildir. Tam yükteki hava fazlalık katsayısına yaklaşıncı azalmaktadır. Ciderların soğutma etkisi azalmakta , egzoz sistemi çok sıcak olmaktadır. İs konsantrasyonu hava fazlalık katsayısının ikiden büyük olması ($\lambda > 2$) durumunda çok azalmaktadır.



Şekil 3.2 _ Düz yanma odalı bir diesel motorun egzoz emisyonlarının hava fazlalık katsayısına göre değişimi(1).

3.5 _ Motorlarda Zararlı Maddelerin Oluşumu .

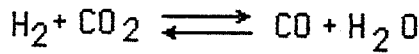
Daha öncede belirtildiği gibi zararlı maddeler motorun muhtelif kısımlarında ortaya çıkarlar. Burada yalnızca yanma ile ortaya çıkan zararlı maddeler üzerinde durulacaktır. Şekil 3.3 ' de silindir içinde emisyonların olduğu bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 3.3 _ Silindir içindeki emisyon kaynakları.(8)

3.5.1 – Karbonmonoksit Oluşumu.

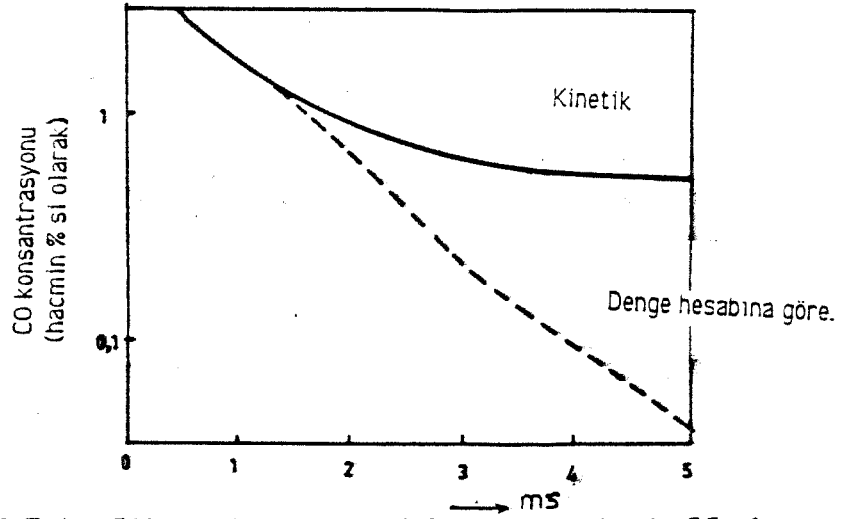
Egzos gazı içindeki CO eksik yanma sonucu oluşmaktadır. Yanma sırasında CO açığa çıkmasının sebebi normal olarak eksik hava ile yanma veya yalnızca silindir içindeki lokal hava noksanlıklarıdır. CO konsantrasyonu teorik olarak su gazı denge reaksiyonuna dayanarak hesaplanır :



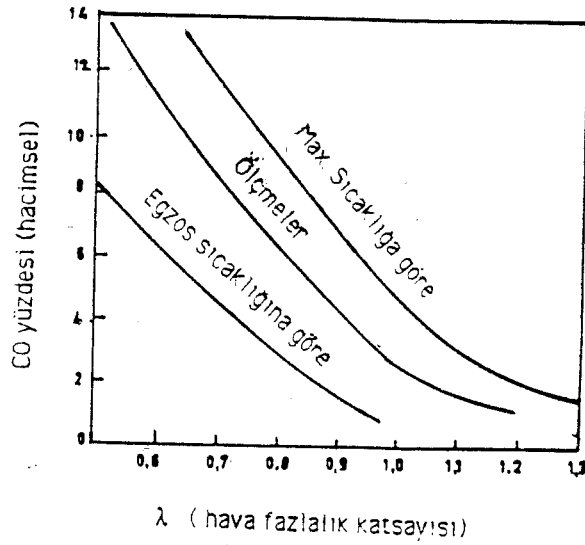
Silindirde Ü.Ö.N. dan sonra maksimum CO değerine ulaşılmaktadır. Bunun bir miktarı genişleme -iş- stroku esnasında , homojen su gazı reaksiyonuna göre su buharı ile indirgenmektedir. En yüksek yanma sıcaklıklarında (tam yükte 2000 - 2500 K) fakir bir karışımda yani hava fazlalığında dahi önemli ölçüde CO oluşur. Fakat yanma gazları silindiri terketmeden önce egzos gazlarının sıcaklığı yaklaşık 700 - 900 K ' e kadar düşer. Bu da CO ' in CO₂ ' e dönüşmesini kolaylaştırır. Böylece su gazı reaksiyonu ters cereyan etmiş olur.

3.5.1.1 – Benzinli Motorlarda Karbonmonoksit (CO).

Egzos çıkışında CO konsantrasyonu 1600 - 2000 K sıcaklıklarındaki termokimyasal denge terkiibindedir. Motor hızı arttıkça bu süper denge konsantrasyonunu veren donma sıcaklığı da artmaktadır. Su gazı dengesine göre hesaplanan CO oranı gerçek değerlere göre düşüktür. Yakıt fazlalığında çok önemli miktarda CO oluşur. Bu aynı zamanda enerjiden kayıp demektir. Hava fazlalığının CO emisyonu üzerindeki toplam etkisi Şekil 3.5 ' de gösterilmiştir.

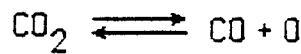


Şekil 3.4 _ Otto motorunda genişleme periyodunda CO oluşumunun zamana göre değişimi ve denge sonuçlarıyla karşılaştırılması.(9)



Şekil 3.5 _ Otto motorunda egzostaki CO yüzdesine hava fazlalık katsayısının etkisi.(6)

Hava fazlalık katsayısı yaklaşık olarak bir civarında ($\lambda=1$) iken CO teşekkülü daha ziyade CO_2 'nin ısı parçalanmasıyla gerçekleşmektedir :



Bu reaksiyona ait durma sıcaklığı 1650 - 1950 K değerindedir.

İşletme şartlarına bağlı olarak silindirden çıkan CO ekzos borusunda okside olarak azalabilir. Bazen egzoz borusunda CH₄ 'nin eksik oksidasyonu ile CO 'nun arttığı görülmektedir.

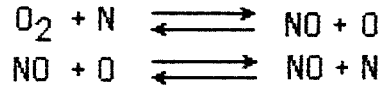
3.5.1.2 – Diesel Motorlarında Karbonmonoksit .

Yanma esnasında kısmi olarak çok zengin karışım bölgeleri mevcuttur. Ortalama hava fazlalık katsayısı daima birden büyük olduğundan CO 'in oksidasyonu mümkündür. Genişleme strokunda CO 'in teşekkül zamanı ve bunun oksidasyonunun gerçekleşebilmesi hava fazlalık katsayısının büyüklüğüne bağlıdır. İS sınırına çok yaklaşılan tam yük hallerinde 1000 - 7000 ppm mertebelerinde olan CO emisyonu $\lambda=2$ 'den sonra 100 - 200 ppm mertebesine düşmektedir.

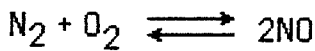
3.5.2 – Azot Oksitlerin (NO_x) Oluşumu.

Azot oksitlerin kaynakları yanma olayları ve yanma dışı olaylar olarak iki kategoriye ayrılır. Azot oksitler hemen hemen bütün fosil yakıtların yanmasında meydana geldiği için bunlar NO_x emisyonlarının başlıca tabii kaynağını oluştururlar. Alevlenme sıcaklıklarında atmosferin azot ve oksijeni NO oluşturmak üzere birleşirler. Yanma gazları sıcaklığı düştükçe yüksek sıcaklıklarda oluşan NO termodinamik olarak dengesiz hale gelir. Bununla beraber düşük sıcaklıklarda NO 'nun parçalanma hızı çok yavaştır. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda oluşan NO sabit kalır. Sonuç olarak düşük sıcaklıklarda üretilen NO 'nun küçük bir kısmı yanma gazlarındaki oksijenin fazla olması durumunda NO₂ 'ye oksitlenebilir. Bununla beraber bu reaksiyonun hızı azalan sıcaklıkla artar. Bu hız NO yoğunluğunun karesine bağlıdır ki yanma gazları hava ile karıştıkça hızda azalır. Dolayısı ile yanma olaylarındaki NO_x emisyonlarının % 95 veya fazlası NO , arta kalanı NO₂ 'dir. Azot oksit(NO)

oksijen (O_2) ve azotun (N_2) yüksek sıcaklıklarda dissosiasyona uğramasıyla oluşur.Burada ;



reaksiyonları rol oynar. Bu reaksiyonlar yanma sıcaklığına ve oksijen konsantrasyonuna (hava oranına) göre dengeye ulaşırlar. Araştırmalar motordaki yanma süresinin NO oluşumunun kimyasal dengeye ulaşması için çok kısa olduğunu göstermektedir. Böyle bir denge söz konusu olsa bile , NO genişleme zamanında sıcaklık düştüğünde yeniden N_2 ve O_2 ' ye parçalanır. Fakat bu parçalanma NO oluşumu reaksiyonuna göre daha yavaş meydana gelir. Dolayısıyla yanma zamanında oluşmuş olan NO adeta «donar » ve genişleme zamanında da hemen hemen aynen muhafaza edilir. Sonuçta ; ekzostan ekzos sıcaklığındaki dengeye uyan NO konsantrasyonundan daha fazlası çıkar. N_2 ve O_2 ' den NO ' nun oluşumu birkaç adımdan ibaret bir yol takip ettiği halde bütün reaksiyon ;

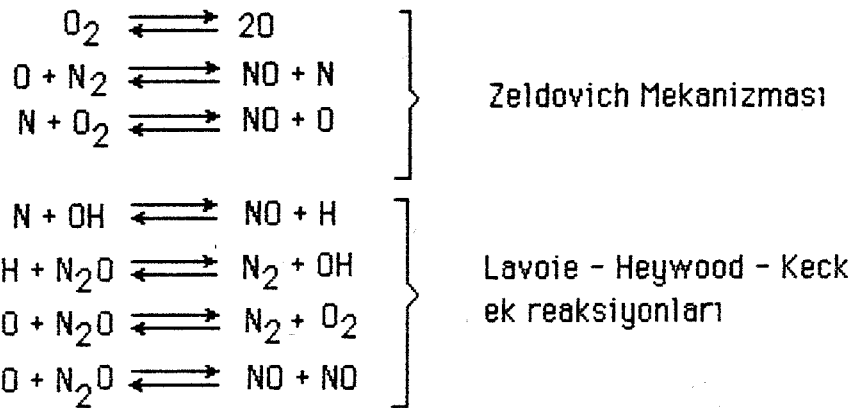


şeklinde yazılabilir (10). Bu reaksiyon için denge sabiti ;

$$K_e = \frac{NO^2}{N_2 \cdot O_2} = 21,9 \cdot e^{-43,200/R.T}$$

şeklinde yazılır. $R = 1,987 \text{ cal.gr.mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$, NO , NO_2 ve O_2 mol kesirleridir. Bu bağıntıyı kullanırken $N_2 = 0,781$, $O_2 = 0,209$ ' luk bileşime sahip havanın bulunduğu bir karışımda , sıcaklığın fonksiyonu olarak dengedeki NO ' nun mol kesrini hesaplayabiliriz.

Denge halindeki NO ' nun mol kesri sıcaklığa çok fazla bağıllık gösterir. 1946 ' da Zeldovich yüksek sıcaklıktaki havadan NO meydana gelmesini bir zincir reaksiyonu ile ifade etmiştir. Buna Zeldovich mekanizması denir. NO ' nun teşekkülü Zeldovich zincir reaksiyonu ile Lavoie - Heywood - Keck ' in OH ve diğer reaksiyon ilaveleriyle ortaya koydukları mekanizmaya göre cereyan etmektedir (1) (11) :



Bu reaksiyonların oluşumu çok yavaştır. Yeterli zaman olmadığından alev cephesinde doğan NO çok azdır. Hatta yanmış gazlarda bu reaksiyonlar devam etmesine rağmen dengeye ulaşamazlar. NO ' nun genel reaksiyon hızı ;

$$d(NO) / dt = k(T) \cdot (N_2) \cdot (O_2)$$

şeklindedir. NO ' nun oluşumundaki reaksiyon enerjisinin büyüklüğü (135000 cal.) reaksiyon sıcaklığının çok fazla olduğunu gösterir. Bu yüzden alev sıcaklıklarındaki ufak azalma oluşan NO miktarında önemli azalmalara yol açabilir. Yakıtın atmosferik N_2 ve O_2 ' den NO oluşumunda bir rolü olmamasına rağmen yakıt yanarken oluşan OH ve H gibi belli serbest elemanlar rol oynayabilir. NO teşekkülünü etkileyen faktörler şöyle sıralanabilir :

- 1_ 1800 K ' nin üzerinde kalma süresi ,
- 2_ Yeterli O_2 bulunan bölgelerdeki maksimum sıcaklık ,
- 3_ Mevcut O_2 ve N_2 miktarı .

İçten yanmalı bir motorda yanma hem basınç hemde krank mili açısının bir fonksiyonudur. Hava - yakıt karışımı belirli bir zamanda yanar. Sıkıştırma periyodunun sonu ile genişleme periyodunun başlaması esnasında hava - yakıt karışımının farklı elemanları farklı basınç ve sıcaklıklarda yanarlar. Biz , silindiri bir uçta kıvılcım tutuşmasının bulunduğu uzun bir tüp olarak kabul edebiliriz. İhmal edilebilir hacimdeki yanma bölgesi tüpe yayılır. Böylece her zaman silindirdeki gazda yanmış ve yanmamış bir kısım mevcuttur. NO oluşumunun analizi iki kısımdan meydana gelir. İlk olarak yükteki gazın her elemanının krank mili açısına göre sıcaklık , basınç değişimi yakıtın yanmasının termodinamiğine bağlı olarak hesaplanır. İkinci aşamada NO oluşumu için reaksiyon hızı denklemleri çözülür. Silindir içerisinde oluşan alev cephesi düzgün olmayan bir formla ilerler. Yanmış karışım bölgesi artan yanma sıcaklığı dolayısıyla genişler ve yanmamış bölgeyi sıkıştırır. Böylece NO oluşumu için sıcaklık şartları değişir. Pratik olarak silindir içindeki her zerrecik NO oluşumu bakımından değişik şartlarla karşı karşıyadır. Özellikle diesel motorlarında karışım teşkili ve yanma için uygulanan yöntemler nedeniyle (hava sirkülasyonu vs.) alev cephesinin ilerlemesi yeterli ölçüde araştırılamamaktadır. Sonuç olarak NO oluşumunun önceden hesabı ancak karışık modellerle ve bilgisayarla yapılan hesaplar yardımıyla mümkün olabilmektedir.

Farklı karışım teşkili yöntemlerine rağmen hem Ottn hemde Diesel motorlarında NO oluşumu için şu kalitatif özellikler bulunmaktadır :

_ NO , büyük ölçüde çevrimin yüksek sıcaklık bölgesinde oluşmaktadır. Tutuşmanın öne alınması, yüksek yanma hızı , fazla

sıkıştırma, fazla aşırı doldurma ve yüksek motor sıcaklıkları gibi maksimum sıcaklığı yükselten bütün teknik girişimler NO emisyonunun artmasına yol açmaktadır.

– Yüksek oksijen konsantrasyonları NO oluşumunu kolaylaştırmaktadır.

İçten yanmalı motorlarda NO oluşumu ile ilgili deneysel çalışma sonuçları şöyle özetlenebilir.

NO oluşumu yüksek sıcaklıklarla desteklendiğinden dolayı açıktır ki NO nisbeten soğuk oda çeperleri yakınındaki bir su soğutma bölgesine zıt olarak ilk önce hacimli (genişlemiş - yanmış) gazların bulunduğu bölgede oluşur. Oluşan NO miktarı aracın çalışma şartlarına büyük ölçüde bağlıdır. Gerek maksimum çevrim sıcaklığı gerekse oksijen konsantrasyonu seviyesi hava fazlalık katsayısına bağlıdır. Düşük hava / yakıt oranlarında hem mevcut O_2 hemde alev sıcaklıkları düşüktür ki bu düşük NO oluşumu sonucunu doğurur. Stokiyometrik karışımda nisbeten en yüksek yanma sıcaklıkları elde edildiğinden en büyük NO konsantrasyonu değerlerine varılır. Hava fazlalık katsayısının birden büyük değerlerinde oksijen konsantrasyonu fazla olmakla beraber sıcaklıklar (alev sıcaklığı) düşüktür. Dolayısı ile NO emisyonu gene azalır. Yüksek basınçta da NO_x emisyonu artmaktadır. Hava - yakıt oranı , ateşleme avansı , motor hızı ve yanma odası tipi gibi çeşitli parametrelerin fonksiyoner olduğu ölçmeler de bazı araştırmacılar tarafından yapılmıştır. Deneysel bilgiler gösteriyor ki NO seviyeleri ekzos şartlarındaki denge miktarından daha yakın olarak zayıf çevrim sıcaklığı ve basıncına uyan denge miktarında bulunmuştur (11) (12).

3.5.2.1 – Otto Motorlarında Azot Oksitlerin (NO_x) Oluşumu.

Bir Otto motorunda sıkıştırma sonunda ve genişleme strokundaki sıcaklığa uyan NO denge konsantrasyonu ile NO kinetik konsantrasyonu arasında önemli fark vardır. Yanma süresinin başlarında gerçek NO çok azdır ve denge konsantrasyonunun çok altındadır. Ü.Ö.N. ' dan sonra henüz NO teşekkülü yükselmeye devam etmektedir. Ancak bu yükselme hemen kaybolmakta ve sıcaklık 2100 K ' nin altına düştükten sonra konsantrasyon sabit kalmaktadır. Çünkü NO reaksiyonları bu sıcaklığın altında durmaktadır.

3.5.2.2 – Diesel Motorlarında Azot Oksitlerin (NO_x) Oluşumu.

Diesel motorlarında heterojen hava - yakıt dağılımı NO emisyonunu etkileyen faktörlerin artmasına, kontrolün zorlaşmasına yol açmaktadır. Kontrol için daha önce belirtilen üç faktörden en az bir tanesini değiştirmek gerekir. Diesel motorlarında alev bölgesindeki sıcaklıklar diğer bölgelere göre çok daha yüksektir. Ancak burada oksijen konsantrasyonu düştüğünden NO oluşumu henüz hızlı değildir. Alev bölgesinden uzaklaştıkça O_2 konsantrasyonu ile beraber NO emisyonu da hızlanır. Alevden daha da uzak bölgelerde sıcaklık seviyesinin düşmesiyle NO miktarı yeniden azalır (6).

3.5.3 – Yanmamış Hidrokarbonlar (HC).

Hidrokarbonların yanmasında alev cephesinin arkasında ölçülebilir CH konsantrasyonu görülmemektedir. Motorlardaki CH emisyonu daha fazla tam yanma olmayan bölgelerden gelmektedir. Yakıt, özellikle yanma odasının cidarlarında aşağıdaki nedenlerden dolayı tam olarak yanamaz :

– Alev , hava - yakıt karışımının kuvvetli soğuması yani ısı

vermesi dolayısıyla cidarlarda söner.

— Alev , hava - yakıt karışımının homojen olmayan dağılımı veya reaksiyonlara cidarlarda engel olunması dolayısıyla söner. CH ' nin genel reaksiyon hızı ;

$$d(CH) / dt = k(T) \cdot (O_2) \cdot (CH)$$

olarak verilebilir (1). Fakir karışımlarda O_2 ' nin etkisi azdır ve hız sabiti içinde mütalaa edilebilir. Ancak zengin karışımlarda O_2 önem kazanmaktadır. Sıcaklığın etkisini cidarlarda kalan CH ' lerden görmek mümkündür. Bu CH ' ler genişleme ve ekzos stroklarında yanmaya devam etmektedirler. Benzin ve diesel motorlarının egzoz borularındaki sıcaklık ve oksijen konsantrasyonunun yeterli olduğu hallerde CH ' ler oksidasyonlarını devam ettirmektedirler (13).

3.5.3.1 — Benzinli motorlarda Yanmamış Hidrokarbonlar.

Benzinli motorlarda bilhassa cidara yakın kısımlarda alev sönmektedir. Egzosunda C_4H_{10} olarak 200 ppm bulunan bir motorun cidarına 0,1 mm. mesafe içerisinde 400 - 600 ppm CH konsantrasyonları ölçülmüştür (1). Otto motorlarında yapılan incelemeler stokiyometrik yanmada cidar etkilerinin daha düşük olduğunu göstermektedir. Genişleme zamanında yanmamış hidrokarbonların da reaksiyona girmesi , özellikle hava fazlalığında egzostaki CH konsantrasyonunu düşürmektedir. Minimum CH emisyonu , stokiyometrik hava fazlalık katsayısının bir miktar üstündeki değerler için elde edilmektedir. Bu değerler esasen motorun ekonomik çalıştığı hava fazlalığı bölgesidir. Hava fazlalığının daha yüksek değerleri CH emisyonu bakımından en kötü çalışma bölgesidir. Diesel motorları normal olarak bu bölgede çalışmaktadır.

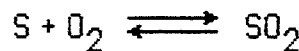
3.5.3.2 _ Diesel Motorlarda Yanmamış Hidrokarbonlar.

Diesel motorlarında CH emisyonu iki nedenle meydana gelmektedir :

- 1- Yakıtın soğuk bölgelerle veya cidarla temas halinde olması.
- 2- Yanma için yeterli hava temin edilememesi. Yeterli hava temin edilememesi halinde, CH emisyonunun ortaya çıkması, lokal sıcaklıkların da yüksek olmaması ile mümkündür. Şayet yüksek sıcaklık varsa is oluşur. Yakıt yeteri kadar parçalanmamışsa , silindirde hava hareketi eksikse ve sıcaklıklar da düşükse CH oluşumu artar. Yanma odasının soğuk bölgelerinde soğuma etkisi dolayısıyla alev baskı altında tutulur. Bu sırada bazı reaksiyonlar devam edemez ve reaksiyon mekanizması durur. Böylece CH oluşumu için gerekli şartlar ortaya çıkar. Motorun yanma odası konstrüksiyonuna göre yüzey-hacim oranı arttıkça CH emisyonunun artması beklenir (14).

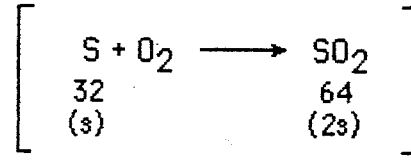
3.5.4 _ Benzinli ve Diesel Motorlarda Kükürtdioksit (SO₂).

Yakıt içerisindeki kükürtün yanmasıyla aşağıdaki denklem gereğince;



kükürt dioksit (SO₂) oluşur. Ekzosta ve atmosferde oksijenle temas etmesi ile kısmen SO₃ ' e dönüşme olmaktadır. Birim zamanda yakılan yakıt m_y (kg.y/s) , yakıttaki kükürtün kütleli kesri s (kg/kg.y) ise birim zamanda çıkan SO₂ ;

$$m_{SO_2} = 2 m_y \cdot s$$



Benzinde kütleli olarak % 0.5 ' in altında kükürt vardır (1). Gemi veya sabit tesislerde kullanılan yakıtların kükürt muhtevası daha fazladır. Kükürtü az yakıtlar kullanılarak SO₂ ' nin elimine edilmesi mümkündür.

3.5.5 – Benzinli Motorlarda Kurşun (Pb).

Benzinli motorlarda vuruntuya karşı mukavemet sağlamak için yakıt içerisine kurşun tetra etil [Pb (C₂H₅)₄] karıştırılır. Bu nedenle çevreye kurşunlu bileşikler atılır. Ağır metallerden sayılan kurşun ve kurşun oksitler canlılar için zararlıdır. Ayrıca kurşun oksidin yanma odasındaki ergime sıcaklığını düşürmek için klor ve bromlu bileşiklerde katkı maddesi olarak kullanılır. Böylece egzozdan klor ve bromlu kurşunun anorganik bileşikleri atmosfere atılır. Bu katkı maddeleri halen bazı ülkelerde kullanılan egzoz reaktörlerindeki yüzeylerin örtülmesine sebep olduğu için hiç istenmemektedir. Bu sebeplerden dolayı kurşun tetra etil miktarları artık sınırlanmaya başlanmıştır. Tablo 3.2 'de benzin çeşidine göre kurşun miktarları belirtilmiştir :

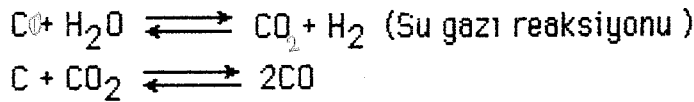
<u>Benzin</u>	<u>Oktan Sayısı (OS)</u>		<u>Kurşun Miktarı</u> (grPb/lt)
	<u>Araştırma OS , Motor OS</u>		
Süper	Min. 95	83 - 93	0.26 - 0.74
Normal	Min. 85	76 - 82	0 - 0.26

Tablo 3.2 – Türkiye ' de oktan sayısı ve kurşun miktarları(1).

(15) no'lu kaynakta süper benzinde max. 0.40 gr/lt, normal benzinde max. 0.15 gr/lt kurşun olabileceği belirtilmiştir.

3.5.6 _ Diesel Motorlarında İs.

İs oluşumu , özellikle Diesel motorlarında önemlidir. Diesel motorlarında benzinli motorlara göre hem yakıtın cinsinden hemde karışım şeklinden isin doğmasına yol açan etkenler fazladır. İs oluşumuna neden olan reaksiyonlar diesel motoru yanmasında değişik görüşlerle açıklanmaktadır. İs oluşumuna oksijence fakir ortamdaki yakıt moleküllerinin ısı parçalanması (termik kraking) şeklinde bakılabilir. Hidrojenleri ayrılabilen karbonca zengin büyük moleküller birleşmektedirler. (polimerizasyon). Bu birleşmeler fazlalaştıkça is zerrecikleri ortaya çıkmaktadır. (aglomerizasyon). Sıvı yakıt , alev üzerine püskürtüldüğünde veya alev soğuk bir bölgeye rastladığında is ortaya çıkmaktadır. Sıvı yakıt , yüksek sıcaklıklara erişmiş ortamda hazırlanırsa yani buharlaşır ve çevresindeki havayla karışmak zorunda kalırsa gene is olmaktadır. Bu sıradaki parçalanma işlemi heterojen reaksiyonların ürünüdür. Burada aşağıdaki reaksiyonlar rol oynamaktadır :



İs oluşumunun mekanizmasına ait yeni teoriler dehidrasyon ve polimerizasyon olaylarına dayanmaktadır. İs zerrecikleri hava ile yeterli bir zaman ve sıcaklık içinde temasa geçebilirlerse yanabilmektedirler. Ancak hava fazlalık katsayısı bir civarında ($\lambda = 1$) ve tam yüklerde diesel motorları şartlarında teşekkül eden isin önemli kısmı egzosla çıkmaktadır.

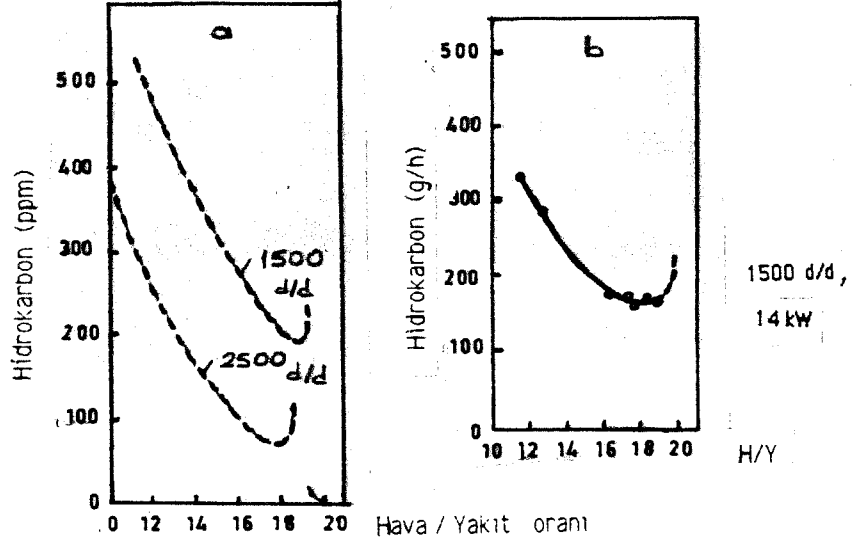
3.6_ Dizayn ve Çeşitli Çalışma Şekillerinin Benzinli Motor Emisyonlarına Tesirleri.

Hidrokarbonlar, karbonmonoksit, ve azot oksitler motor dizaynı ve çalışma parametreleri ile azaltılabilir. Genellikle tek bir dizayn değişikliği veya çalışma parametresinin tesiri ile emisyonlar tamamen kontrol edilemez. Minimum egzoz emisyonları için motor konstrüktörlerinin dizaynda kontroluna sahip oldukları emisyonu tesir eden faktörler şunlardır :

- _ Hava/yakıt oranı,
- _ Yük veya güç,
- _ Devir,
- _ Ateşleme zamanı,
- _ Yanma odası dizaynı,
- _ Kompresyon oranı,
- _ Sıcaklık,
- _ Strok,
- _ H / D oranı,
- _ Hacim oranı,
- _ Ekzos geri basıncı,
- _ Süpap bindirmesi.

Değişik çalışma şartları ve motor dizaynlarının ekzos emisyonlarına tesirleri konusunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır (16). Hava-yakıt karışım oranının ve hava-yakıt karışım oranı parametre alınarak diğer çalışma şartları ve dizayn şekillerinin egzoz emisyonlarına tesirleri de incelenmiştir. 352 CID V-8 motorunda ekzostaki hidrokarbon emisyonuna hava-yakıt oranının tesiri şekil 3.6 ' de görülmektedir. Emisyonlar hem konsantrasyon hem de kütleli olarak verilmiştir. Şekil 3.6.a ' daki datalar orta ve ağır yük şartları içindir. Şekil 3.6.b sabit yük ve fakir karışımlar içindir. Her iki durumda da hidrokarbon emisyonları

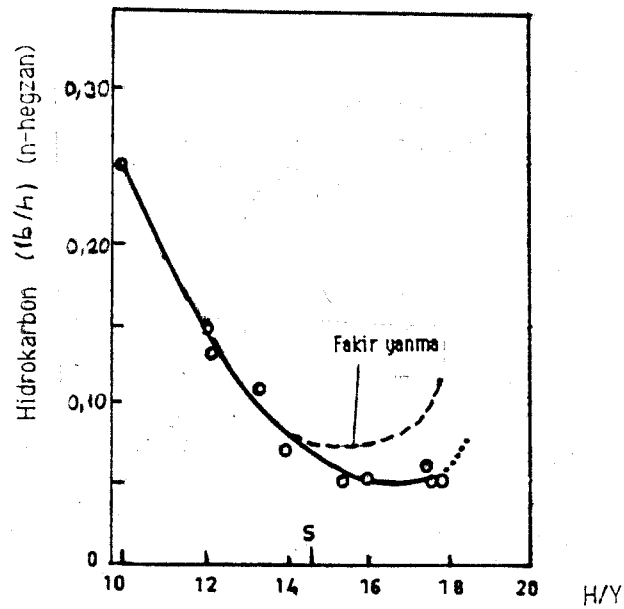
karışım fakirleştikçe azalmaktadır. 15/1 - 16,5/1 arasında taşıt karbüratörü için limit gösterilmiştir. Daha fakir karışımlar taşıt için uygun değildir.



Şekil 3.6 - Egzostaki hidrokarbon emisyonları üzerine

hava-yakıt karışım oranının etkisi. (C-352 Yakıt püskürtmeli)

Dinamometre testleri 17/1 oranına kadar hidrokarbon emisyonlarının azaldığını, 18/1 oranından sonra emisyonların arttığını göstermiştir. Çünkü bu durumda alevin yayılışı düzgün değildir. (Şekil 3.7).

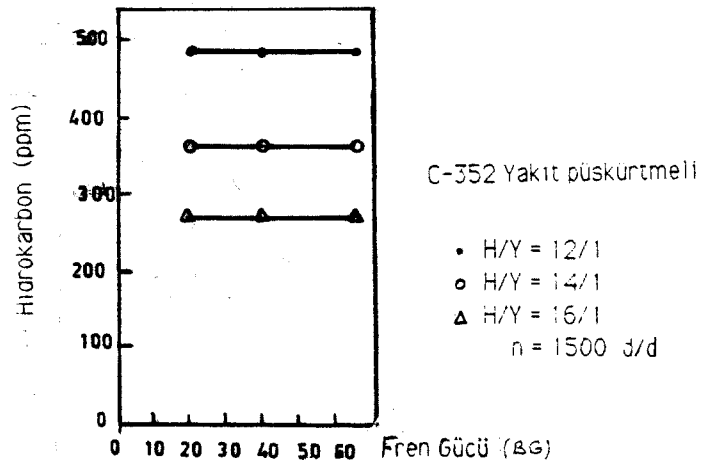


Şekil 3.7 - Egzostaki hidrokarbon emisyonlarına hava/yakıt

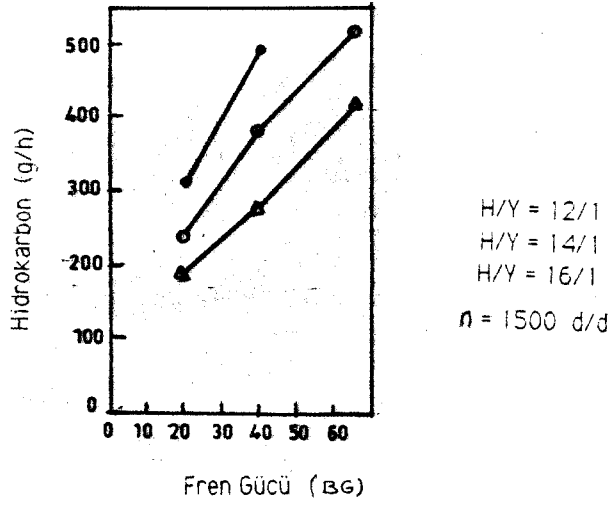
oranının tesiri.

18/1 hava-yakıt karışım oranından sonra emisyonlar almaya başlamıştır. Daha fakir karışımlarda konvansiyonel motorlarda tekleme başlar. Kesikli çizgiler zayıf kurbasyonda oluşabilir. Sabit devir ve H/Y oranlarında hidrokarbon konsantrasyonları artan yük ile değişmemektedir (Şekil 3.8).

Burada ; hidrokarbonlardaki artmanın çeşitli faktörlerden kaynaklandığını, ancak bir başka oluşumun hidrokarbonları azalmaya yöneltmek dengelediğini söyleyebiliriz. Hidrokarbonların azalması artan yük ile egzoz sıcaklığının artması ve alev tabakasının incelmesindendir. Yüksek egzoz gazı sıcaklıklarında egzoz sonrası reaksiyonlar artar. Alev tabakası incelidikçe basınç yükselir. Ortalama silindir basıncı yük ile lineer artar. Friedman' a göre hidrokarbon konsantrasyonu yük ile lineer olarak azalır. Deneysel sonuçlar hidrokarbon konsantrasyonu üzerinde yükün tesirinin olmadığını, alev tabakasının incelmesi ve egzoz sıcaklığının artması ile egzoz residence zamanının azalmasının yeterli olduğunu göstermiştir. Yük arttığı zaman kütleli hidrokarbon emisyonlarının arttığı görülür Artan güç ve yakıt sarfiyatı neticesinde bir saatte çıkan hidrokarbon miktarları da değişmektedir. (Şekil 3.9)

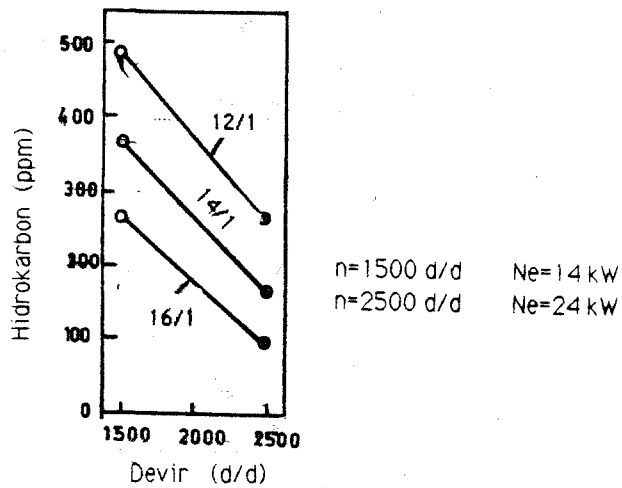


Şekil 3.8 _ Egzoz gazı hidrokarbon konsantrasyonu üzerine gücün etkisi. (1500 d/d)



Şekil 3.9 _ Egzos gazı kütleli emisyonları üzerine gücün tesiri. (1500 d/d)

Yüksek devirde hidrokarbon emisyonu azalır. (Şekil 3.10). Öncelikle artan devir ile silindir içindeki türbülans artar. Bu yanma işlemleri için çok önemlidir. Egzos kanalı yakınındaki türbülans egzos sonrası oksidasyonu mümkün kılar.

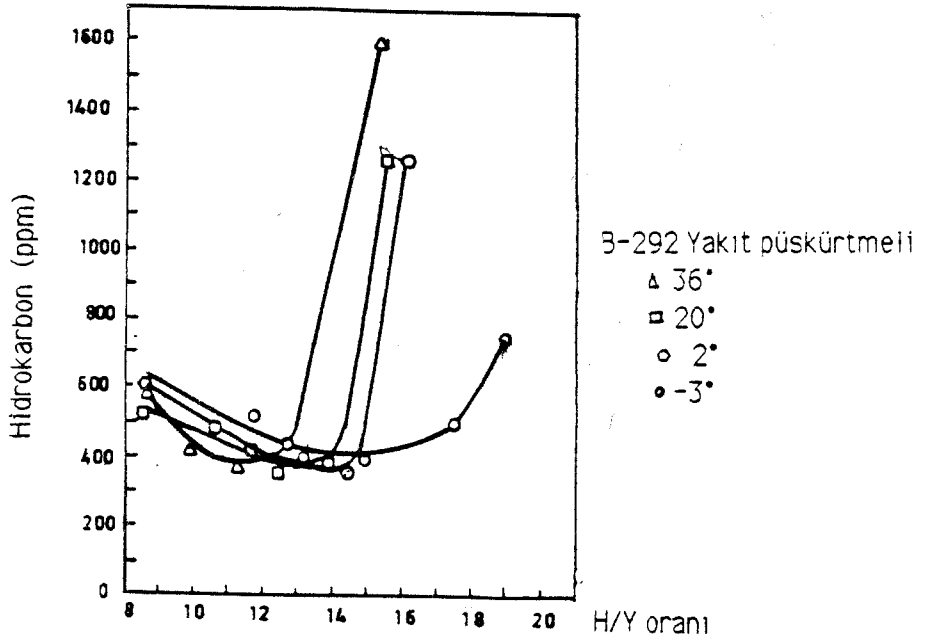


Şekil 3.10 _ Motor devrinin hidrokarbon emisyonu üzerine etkisi. (H/Y = 12/1 ; 14/1 ; 16/1)

Devrin karbonmonksit konsantrasyonuna tesiri yoktur. Çünkü

egzosda karbonmonoksit oksidasyonu, normal egzoz sıcaklıklarında kinetik olarak en üst sınırındadır. Devrin artması hidrokarbon emisyonunun azalması için bir sebeptir. Bununla beraber hacimsel debinin artırılmasının gerekliliği yüksek devri gerektirir. Taşıtta optimum n/v oranı sağlanmalıdır. Bu performans, ekonomi ve emisyon bakımından önemlidir. Minimum motor gürültüsü ve ekonomi için n/v oranı düşük olmalıdır.

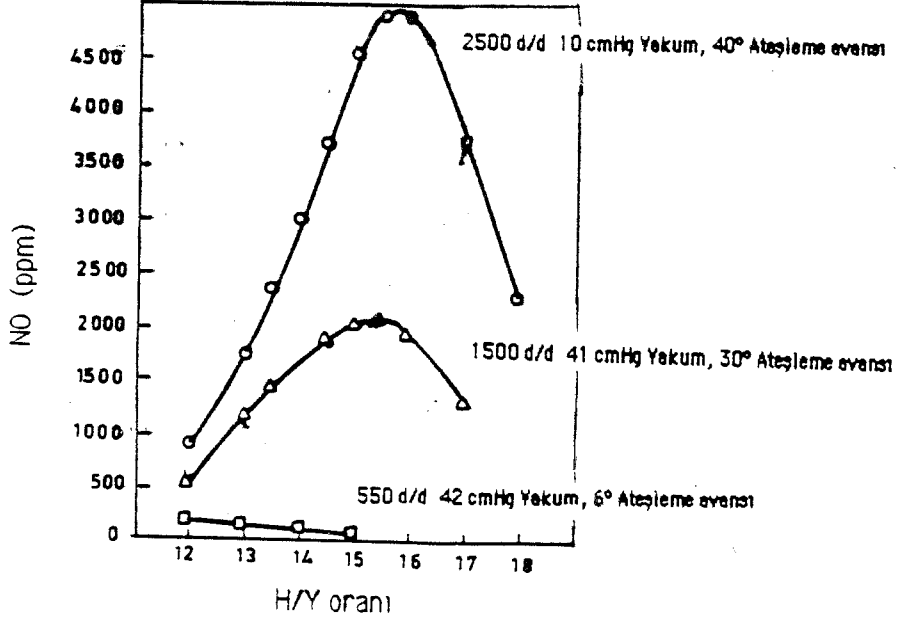
Genel olarak minimum hidrokarbon emisyonları minimum süpap bindirmesi ile elde edilebilir. Süpap bindirmesi düşük ise güç düşer. Bununla beraber fakir çalışma şartları elde edilebiliyorsa ekonomi yükselebilir. Sabit karışımda süpap bindirmesinin karbonmonoksit üzerine etkisi yoktur. Kelebek açılarak şarj artırılırsa hidrokarbonlar ve karbonmonoksit artacaktır.



Şekil 3.11 – Süpap bindirmesinin tesiri.

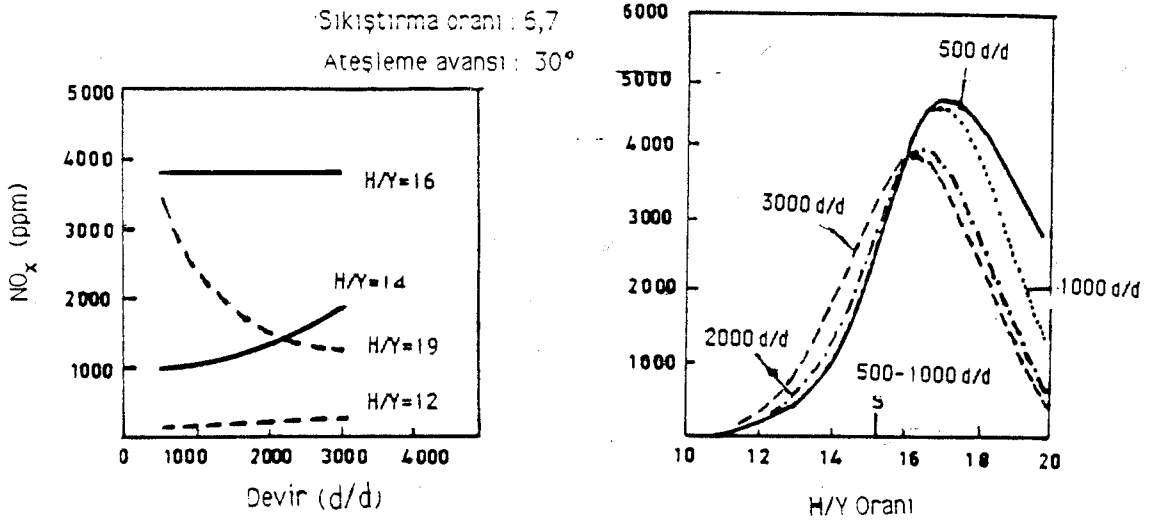
Hava/yakıt oranının NO_x konsantrasyonu üzerine tesiri şekil 3.12 'de V-8 motorunda görülmektedir. Üç eğri, farklı yüklerde ve sıcaklıklarda elde edilmiştir. Çok zengin karışımlarla, düşük yanma sıcaklığı ve düşük oksijen konsantrasyonlarında NO düşer. 15/1 'den

fakir karışımlarda artan oksijen konsantrasyonundan dolayı düşük yanma sıcaklıklarındaki ve düşük karışım oranlarındakine göre NO artar. Ancak NO konsantrasyonu zengin karışımlarda olduğu gibi çok fakir karışımlarda da düşüktür.

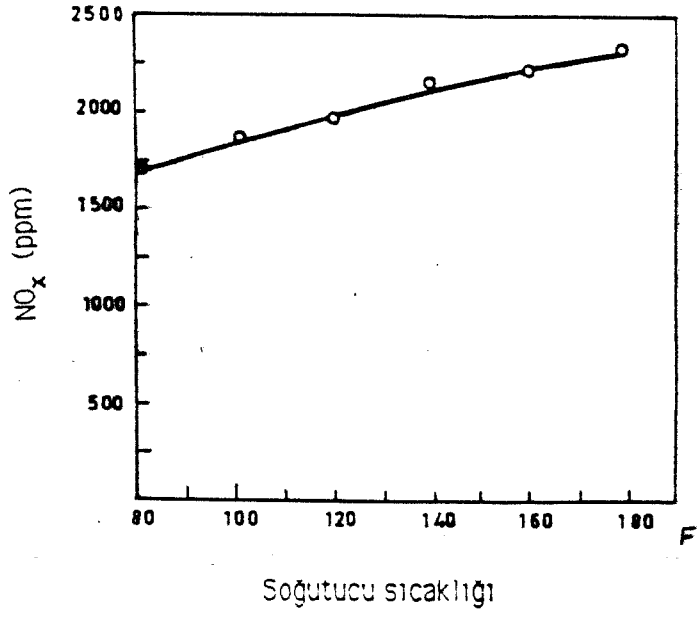


Şekil 3.12 – H/Y 'nin NO konsantrasyonu üzerine etkisi.

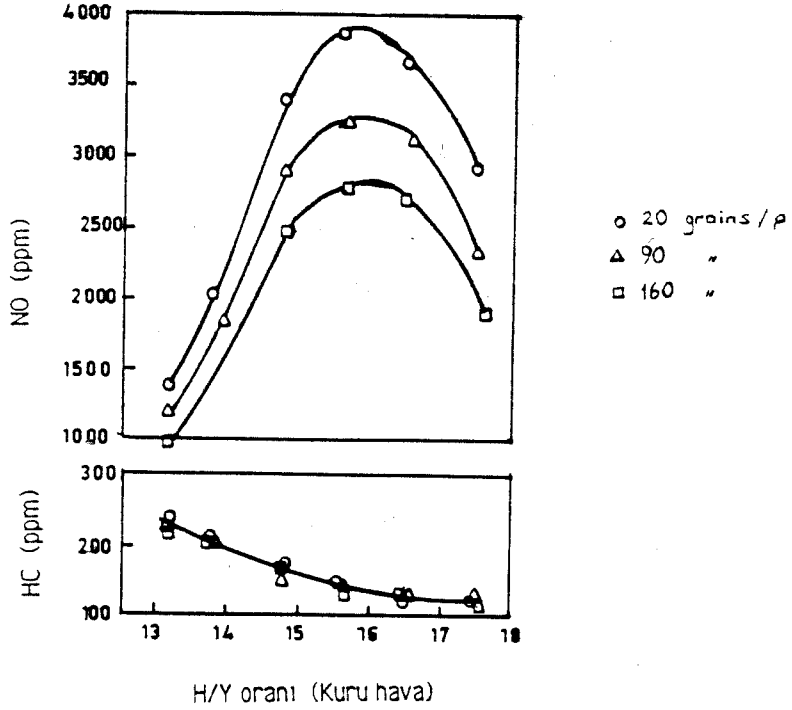
H/Y parametre alınarak; motor devri, soğutucu sıcaklığı ve emme havası içindeki nemin tesirleri de aşağıdaki şekillerde görülmektedir.



Şekil 3.13 NO emisyonu üzerine motor devrinin etkisi



Şekil 3.14 Soğutucu sıcaklığının NO emisyonu üzerine etkisi



Şekil 3.15 Emme havası içindeki nemin NO ve HC emisyonları üzerine etkisi

3.7_ Otto ve Diesel Motorlarının Egzos Emisyonları ve Diğer Sistemlerle Karşılaştırılması.

Otto motorları oksijenin yeterli olmaması dolayısıyla CO ve CH emisyonları bakımından büyük bir dezavantaja sahiptirler. Buna karşılık Diesel motorlarında hava fazlalığı gereklidir. Çünkü yakıtın yanma odasında dağılışı hiçbir zaman homojen olmaz. Dolayısıyla ıssız yanmayı garantilemek bakımından daima bir miktar rezerv havanın bulunması gerekir. Bu karakteri dolayısıyla Diesel motoru da oksit oluşumu bakımından dezavantaja sahiptir.

Kısmi yüklerde Diesel motorunun azot oksit emisyonu daha da artmaktadır. Yani kısmi yüklerde daha az yakıt püskürtülür, buna karşılık oksijen miktarı değişmez. Zira silindir, daima aynı miktar hava ile doldurulur. Dolayısıyla kısmi yükteki hava oranı daha da yükselir. Bunun sonucu olarak NOx emisyonu artacak, CO ve CH emisyonları düşecektir. Otto motoru ise karışım ayarlı olduğundan, karbüratördeki klape yardımıyla daha az hava-yakıt karışımı gönderilecek fakat hava fazlalık katsayısı daima sabit tutulacaktır. Böylece Otto motorunda egzos emisyonları prensip olarak kısmi yüklerde de aynı olacaktır.

Ön yanma odalı ve M-motorlarında yanma kademeli olarak gerçekleştirildiğinden (ön yanma odasında zengin karışımla, ana yanma odasında fakir karışımla yanma dolayısıyla) emisyonlar düşüktür(17).

Gaz motorunda çevrim sıcaklıkları düşük olduğundan, Stirling motorunda da yanma silindir dışında stasyoner olarak cereyan ettiğinden egzos emisyonları oldukça düşüktür. Aşağıdaki tabloda muhtelif sistemler için egzos gazı emisyonları karşılaştırılmıştır :

Egzos Emisyonları	Diesel Motorları				Gaz motoru	Stirling motoru
	Direkt püskürtme	Ön yanma odalı	M-Yanma metodu	Müsaade edilen sınır değerler		
				1973	1975	
NOx	6 - 8	< 4	3 - 4	12.5	4	1.5 - 2
CH	1 - 1.5	0.5	1.5	3	1	0.5 - 1
CO	1.5 - 3	0.5 - 1	0.5	7.5	5	0.5 - 1

Gaz türbini	Metanol ile çalışan motor	Hidrojen ile çalışan motor	Otto motorları			
			Konvensiyonel	İki kademeli yanma	Emme kanalına yakıt püskürtme	Ön odaya yakıt püskürtme
2 - 3	2.5 - 3	0.2	5 - 8	3	4 - 6	3.5 - 4
1 - 2	1	0	10 - 15	2.5 - 3	7 - 9	3
1 - 1.5	2	0	60 - 80	10 - 15	3 - 3.5	1 - 1.5

Tablo . 3.3_ Çeşitli sistemler için egzoz gazı emisyonları.

3.8. Egzos Emisyonlarının Azaltılması için Alınabilecek Önlemler.

Egzos emisyonlarının azaltılmasına ait imkanlar esas olarak üç grupta toplanabilir :

– Motorun çalışma şartlarını etkileyen önlemler : Bunlar motorda kullanılan yakıt ve emme havasıyla ilgili önlemlerdir. Emme havasının soğutulması, emme havasına su püskürtme, egzoz gazlarının kısmen tekrar emme kanalına sevki, yakıtı ilaveler yapmak, emme havasına ilave yakıt maddelerinin karıştırılması.

– Bizzat motorda alınan önlemler : Püskürtme karakteristiği, hava-yakıt oranı, sıkıştırma oranı ve yanma metodu üzerine alınabilecek önlemler.

– Egzozu atmosfere vermeden önce alınan önlemler : Egzos reaktörleri gibi.

Alınacak tedbirlerin etkin ve uzun vadeli olması için yukarıdaki önlemlerin birlikte ele alınması gerekir. Aksi halde, örneğin yalnızca motor konstrüksiyonuna ilişkin önlemler, her geçen gün artan taşıt sayısı ile etkisiz hale gelecektir.

3.8.1_ Motorun Çalışma Şartlarını Etkileyen Önlemler.

a) Emme Havaşı Sıcaklığı: Emme havası sıcaklığı arttıkça çevrimin sıcaklığı yükseldiğinden NOx emisyonu da artar. (Yaklaşık 6 - 8 ppm/°C). Bu nedenle özellikle aşırı doldurmalı motorlarda emme havası soğutulur. Emme havasının soğutulması, çevrimin termik verimini de artırdığından diesel motorları için etkin bir önlemdir(6).

b) Emme Havaşına Su Püskürtme: Emme havasının nem yüzdesi arttığında alev sıcaklığının düştüğü ve alev hızının arttığı bilinmektedir. Düşük alev sıcaklığı sonucu daha az NO oluşur. Yakıt miktarı kadar su emme havasına püskürtüldüğünde NOx emisyonu yaklaşık olarak %50 civarında düşmektedir. Su püskürtülmesi, is oluşumu ve CO emisyonu üzerinde olumlu fakat HC emisyonu üzerinde olumsuz etki yapar. Suyun yakıtla birlikte emülsiyon halinde püskürtülmesi isi azaltır. Bu durumda CO emisyonu sabit kalır, NO ve HC emisyonu artar. Çünkü bu durumda fiziksel olaylar hızlanmakta ,yanma hızı artmakta ve sıcaklıklar yükselmektedir(14) (18).

c) Emme Havaşına Egzos Gazı Karıştırılması.(Exhaust Gaz Resirculation = EGR): Bu yöntemle NOx emisyonu önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Motora yeniden sevk edilmiş atık gazlardan CO₂, N₂, ve H₂O nisbeten daha büyük özgül ısıya sahip olduklarından reaksiyon gazlarının sıcaklığını düşürürler ve adeta ısı düşürücü rolünü oynarlar. Sıcaklık düşmesi yanında oksijenin ortamda dağılması dolayısıyla da NO

oluşumu azalır(14). Burada oksijen konsantrasyonunun azalmasının CO ve is yüzdesini artırabileceğini de unutmamak gerekir.İs oluşumunu önlemek için karışımın bir miktar zenginleştirilmesi gerekmektedir. Bu da CO ve HC emisyonlarının ve yakıt sarfiyatının artmasına yol açmaktadır. Motor gücünde de bir miktar azalma olduğundan, emme havasına egzosu karıştıran tertibata itinalı kumanda edilmelidir.

Emme ve egzos süaplarının aynı anda açık kaldığı sürenin uzatılması da egzos gazlarının emme havasına karıştırılmasına benzer sonuçlar vermektedir.

d) Kademeli Dolgu: Bu yöntemde, prensip olarak buji etrafında kolay yanabilir bir karışım oluşturulur ve silindirin diğer kısmı saf havayla doldurulur. Bu şekilde otto motoru, kısıklı yüklerde dahi giren dolguyu kısmaya ihtiyaç kalmadan çalışabilmektedir. Hava fazlalığı yüksek değerlere ulaşabildiğinden CO emisyonu hızla düşmektedir. Buna karşılık HC ve NO_x emisyonları az etkilenmektedir. Bu yöntemde güçlük daha fazla bir devir sayısı bölgesinde kademeli çalışmanın gerçekleştirilmesi bakımından ortaya çıkmaktadır. Kademeli dolgu yöntemiyle otto motorundan diesel motorundaki kadar yüksek verim elde edilebilmektedir(6) (14).

e) Yakıtı Yapılan İlaveler: Yakıtlara katılan maddelerden kükürtdioksit ve kurşun üzerinde sınırlama yapılmaktadır. Diesel motorlarında baryum ihtiva eden yakıtlar is oluşumunu azaltmaktadır. Bu sırada NO_x ve CO emisyonları sabit kalır, HC emisyonu biraz artar. Etilen gibi katkı maddeleri zehirli etkileri ve pahalı oluşları dolayısıyla tercih edilmezler. İzo amil alkol (C₅H₁₁-OH) ve nitrometan (CH₃NO₂) gibi maddeler NO_x oluşumuna engel olmakta fakat CO emisyonnu artırmaktadırlar. Diesel motorlarında emme havasına metan, propan gibi

ilave maddelerin katılması ile emisyonlar bir miktar düşürülebilmektedir. Fakat her iyi sonuç alındığını söylemek güçtür(6).

3.8.2_ Motorda Alınan Önlemler.

a) Püskürtme Sistemi Karakteristiği: Püskürtme sistemi diesel motorlardan kaynaklanan bütün egzoz emisyonları üzerinde önemli bir rol oynar. İlk peryottan sonraki püskürtme NO emisyonunu azaltır fakat is oluşumunu kolaylaştırır. Enjektör iğnesi ve püskürtme delikleri arasında kalan hacim, HC emisyonu yönünden önemli bir karakteristiktir. Emisyonlar üzerinde en önemli parametrelerden biri de püskürtme başlangıcıdır. Püskürtme geciktikçe NO_x emisyonu ve is oluşumu önce artar, sonra düşer. Oldukça geç püskürtme başlangıcı NO_x ve is oluşumunu azaltır. Bu sırada HC emisyonu düşerken CO emisyonu artar.

b) Silindirdeki Hava Sirkülasyonu: Silindirdeki hava sirkülasyonu, püskürtme sistemiyle uyumlu olmak ve belirli sınırlar dahilinde kalmak üzere isi azaltır fakat NO_x emisyonunu biraz artırır.

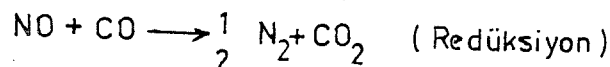
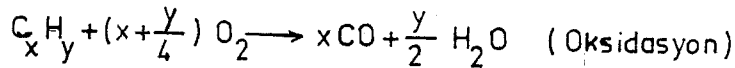
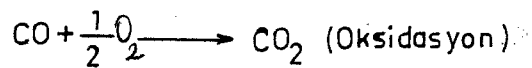
c) Sıkıştırma Oranı: Sıkıştırma oranı, sıkıştırma sonu sıcaklığını değiştirerek özellikle NO_x emisyonunu etkiler. Beyaz is ve HC emisyonu düşük sıkıştırma oranının sonucudur(19).

d) Yanma Metodu: Diesel motor emisyonları, yanma metoduna göre önemli ölçüde değişmektedir. Endirekt püskürtmeli diesel motorları yani ön yanma odalı motorlar, direkt püskürtmeli motorlara göre daha iyi durumdadırlar. Yakıt ön yanma odasına püskürtülür ve burada yanma başlarsa hava fazlalık katsayısı oldukça düşüktür. Ön yanma odasındaki sıcaklıklar yeter derecede yüksek olmasına karşın oksijen

konsantrasyonunun düşük olması dolayısıyla NO miktarı artmaktadır. Ön yanma odasında basıncın artmasıyla yanma gazları genişleyerek ana yanma odasına geçerler. Burada yanmanın devam etmesine yetecek kadar oksijen mevcuttur. Sıcaklıklar burada nisbeten düşüktür. Yanma gazlarının hızla soğuması NO oluşturan reaksiyonları bastırır. Bu sırada CO oksidasyonu kesilmez. Bütün ön yanma odalı motorlar konvansiyonel motora göre daima daha düşük emisyonu verirler(17).

3.8.3- Egzos Gazlarını Atmosfere vermeden önce alınan önlemler.

Egzos gazlarını atmosfere vermeden önce alınan önlemlerin amacı CO, CO ve NO_x gazlarını zararsız olan N₂, CO₂ ve H₂O ' ya dönüştürmektir. Bu işlem aşağıdaki reaksiyonlara göre cereyan eder :

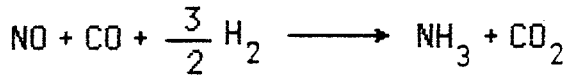


bu reaksiyonların kısa bir süre içerisinde meydana gelebilmesi için yeteri kadar bir sıcaklık ve bir katalizatörün mevcut olması gerekir. Bunlar sırasıyla termik veya katalitik art yanma adını alırlar. Bunun için kullanılan reaktörlerde termik veya katalitik reaktör veya katalizör olarak adlandırılır. Termik reaktörlerde yalnızca okside olabilen egzos bileşenleri (HC, CO) işleme tabi tutulurlar.

NO oluşumunun başka bir önlemle azaltılmış olması gerekir. Termik reaktörler, çok yüksek sıcaklıklarda (700-1000°C) çalıştıklarından, tutuşmayan ve sıcaklığa karşı dayanıklı malzemeden yapılmalıları gerekir.

Termik reaktörle büyük bir enerji miktarı ısıya dönüştürülmekte ve egzozla ısı kaybı artmaktadır. Yani bir yandan egzoz gazlarını temizlerken diğer yandan motorun ekonomikliğini azaltmaktadır.

Katalitik reaktörlerde hem oksidasyon hem de kimyasal redüksiyon yapılabilir. Böylece katalitik reaktörler, hem termik reaktörün görevini yapabilmekte hem de redüksiyon katalizörü olarak azot oksidi dönüştürmektedir. Bir redüksiyon katalizatörüne oksidasyon katalizatörü eklenirse , katalitik çift yataklı reaktör elde edilir. Bu reaktörle bütün zararlı maddelerin azaltılması mümkün olabilmektedir. Reaksiyonlar sırasında aşağıdaki kimyasal denklem gereğince ;



amonyak açığa çıkabilir. Fakat bu amonyak, oksidasyon yatağında okside olarak azot okside dönüşür.

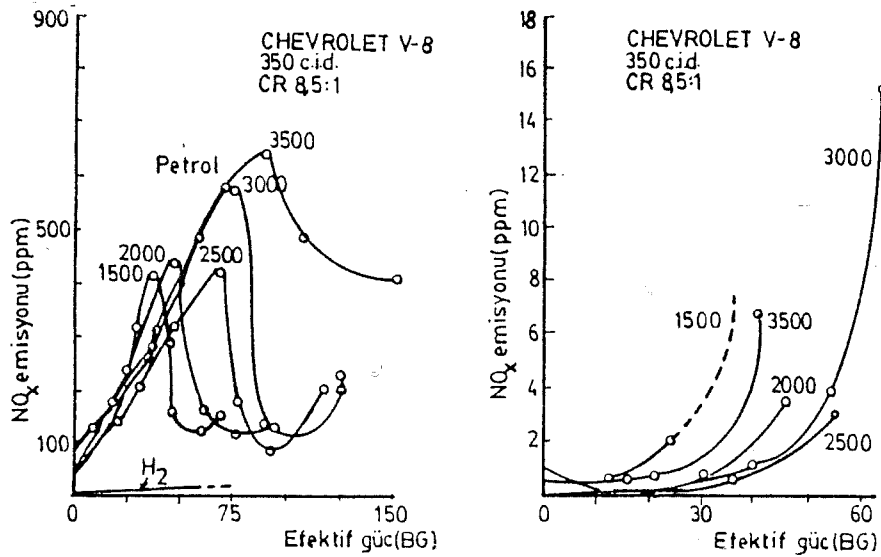


Bu sekonder azot oksit oluşumu daha çok serbest kalan hidrojen miktarına, katalizatör tipine ve sıcaklığa bağlıdır. Katalizatör olarak yüksek aktiviteleri dolayısıyla kullanılan pahalı metaller, kurşunun etkisiyle zamanla bozulduklarından, uzun süre kullanılabilmesi için kurşunsuz yakıt kullanılması gerekir(6) (20) (21).

3.9. Hidrojenli Motorların Egzos Emisyonu.

Hidrojenin yakıt olarak motorlarda kullanılması halinde teorik olarak CO, CO₂ ve yanmamış hidrokarbon emisyonları yoktur. Ayrıca is ve kurum içeren maddeler bulunmamaktadır. Bununla beraber, yağlı tip

konvensiyonel motorlarda yağlama yağının yanması sonucu karbon içeren egzoz emisyonları az da olsa mevcuttur. Egzoz gazları, yağlama yağında oluşan emisyonlar dışında, azot, artık oksijen, yanmamış hidrojen, azot oksitler ve su buharı içermektedir. Bunların içerisinde çevre sağlığı açısından en önemlisi azot oksitlerdir. Değişik hidrojen motorlarında değişik oranlarda NO_x değerleri görülmektedir. Aşağıda Chevrolet V8 motorunda benzin ve hidrojen yakıtları için NO_x emisyonları gösterilmiştir(22).



Şekil 3.13 – Hidrojen yakıtlı Chevrolet V8 motorunda NO_x emisyonları.

Motorlarda hidrojen kullanılması halinde egzoz emisyonlarının daha iyi olduğu görülmektedir. Yapılan deneylerde şu sonuçlar elde edilmiştir :

a) Büyük güçlerde ve stokiyometrik karışım oranı civarlarında NO_x emisyonları, hidrojen motorlarında çok olabilmektedir. Buna karşılık direkt püskürtmeli motorlarda, yüksek güçlerde ve stokiyometrik karışım oranı civarında NO_x emisyonlarının kabul edilecek kadar düşük seviyede olması mümkündür.

b) Hidrojen motorlarında NO_x üretimi, eşdeğer karışım oranının 0.8 civarında maksimum olabilmektedir.

c) NO_x emisyonları, egzoz resirkülasyonu ve karışıma su püskürtülmesi gibi seyreltme teknikleri ile belli miktarlarda düşürülür.

d) NO_x emisyonları, eşdeğer karışım oranının 0.4 - 0.5 veya daha düşük olması halinde ^{0,4} gr/mil değerinin altına inmektedir.

e) Hidrojen-oksijen motorlarında NO_x emisyonları görülmez.

Direkt püskürtmeli hidrojen motorlarında güç, benzinli motorlara göre %20 daha az olmaktadır. Bunun nedeni, hidrojen-hava karışımının hacimsel enerji içeriğinin, benzin-hava karışımına göre daha az olmasıdır. Bu olaya genellikle bütün gaz yakıtlı motorlarda rastlamak mümkündür. Ancak, yoğunluğun az olması nedeniyle bu durum hidrojen için, çok daha önemli olabilmektedir. Güçte meydana gelen azalma, aşırı doldurma yapılarak veya silindire direkt yakıt püskürtülmesi ile dengelenebilmektedir. Ancak, egzoz gazı resirkülasyonu ve fakir karışım kullanılması halinde de hidrojen motorlarında güç azalması olur.

Bütün içten yanmalı motorlar için elde edilen en yüksek indike verim Oehmichen tarafından hidrojen ile çalışan motorlarda ulaşılan %53.5' lik verimdir. Bu motordan başka diğer hidrojen motorlarında da elde edilen verim, benzinli motorlara göre daha yüksektir. Bu durum, yalnızca hidrojene ait bir özellik olan çok fakir karışım kullanılabilmesinin sonucunda elde edilen bir avantajdır.

3.10. LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) veya CNG (Doğal Gaz) Kullanımının Emisyonlar Üzerine Etkisi.

İçten yanmalı motorlarda LPG veya CNG kullanılması halinde egzoz emisyonlarında aşağıda belirtilen oranlarda azalma olduğu kaydedilmiştir(23) (24).

Kirlenici Emisyonlar (g/ml)			Emisyonlarda benzine göre azalma (%)			
YAKIT CİNSİ	HC	CO	NOx	HC	CO	NOx
Benzin	4,8	60,0	4,8	-	-	-
LPG	2,1	14,2	2,9	55	75	40
CNG	1,7	5,1	1,4	65	90	70

Tablo.3.4 _ LPG ve CNG kullanılması halinde emisyonlarda meydana gelen azalma.

BÖLÜM 4

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deney Tesisatının Hazırlanması ve Tanıtımı.

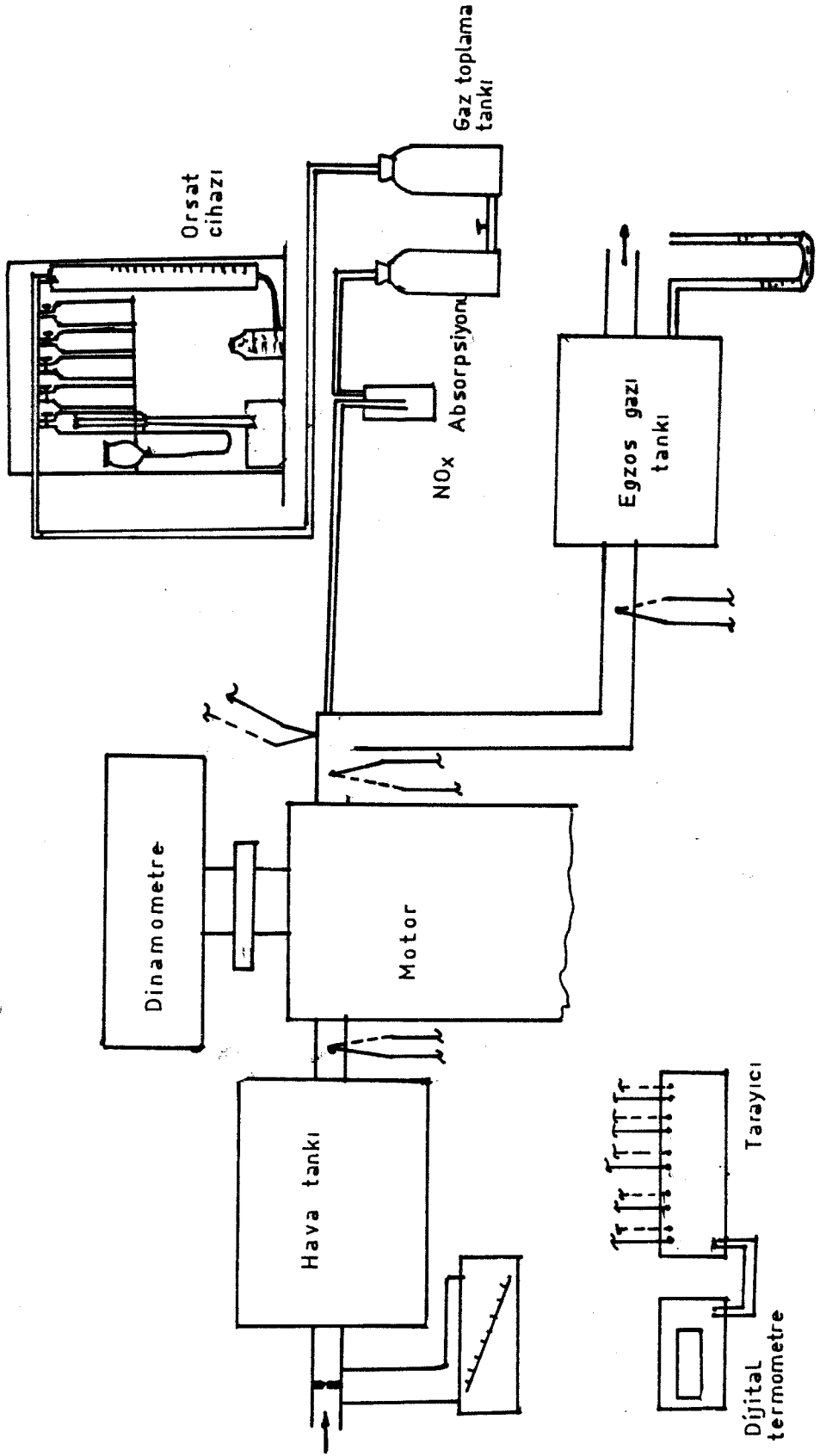
Bu çalışmaya temel teşkil eden konuda yapılan kuramsal analizden elde edilen verilerin, pratik çalışma şartları ile uyum içinde olup olmadığını görebilmek, etkin parametreleri tespit edebilmek için çok amaçlı bir deney setine ihtiyaç duyulmuştur. Belli bir hazırlık ve çalışma süresi sonunda sonunda Şekil 4.1 'de verilen deney seti hazırlanmıştır. Deney setinin en önemli kısmı, Makina Mühendisliği Bölümü motor laboratuvarında bulunan Motor-Dinamometre cihazıdır. Diğer esas ve yardımcı üniteler motor-dinamometre çevresine yerleştirilmiştir.

Deney seti dört esas üniteden oluşmuştur :

- 1- Motor-Dinamometre Ünitesi,
- 2- Egzos gazı bileşenlerini tespit ünitesi (orsat cihazı),
- 3- Hava tankı ünitesi,
- 4- Egzos basıncı ünitesi.

Deney setini oluşturan dört ünitenin herbirinde deneysel çalışmanın başarı ile yürütülmesine yardımcı olacak çeşitli ölçü aletleri ve sistemler bulunmaktadır. Deneysel çalışmalar için ihtiyaç duyulan alet, cihaz ve diğer teçhizatlar F.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Kimya Mühendisliği Bölümü ve Fizik Bölümünün imkanları kullanılarak temin edilmiştir.

Geliştirilen deney setinde bulunan cihaz ve teçhizat yardımıyla motor devrine ve yüke bağlı olarak ; hava/yakıt oranı, motor gücü ve döndürme momenti, özgül yakıt sarfiyatı,soğutma suyu debisi, egzos gazı bileşenlerinin oranları, egzos gazı basıncı gibi çok sayıda parametrenin ölçülmesi ve tespit edilmesi mümkün olmuştur.



Şekil 4.1 Deney setinin şematik görünüşü

Motor-dinamometre sistemi , motor devrine ve yüke bağlı olarak motor gücü ve döndürme momentini ölçmeye yarar. Hava miktarını lme nitesi, bir tank ve orifis ile manometreden meydana gelmiştir. Yakıt sarfiyatını gösteren ölçü kabı yardımıyla yakıt debisi bulunabilir. Hava ve yakıt miktarlarının bilinmesi hava - yakıt (H/Y) oranının bulunmasını sağlar. Çeşitli noktalardaki sıcaklıkları ölçmeye yarayan sıcaklık lme sistemi, ısılı çiftlerden ve çok kanallı bir tarayıcıdan oluşmuştur. Ekzos gazı analizi nitesi, numune alma ve orsal gaz analizi cihazından oluşmuştur. nite kimyasal zeltiiler yardımıyla ekzos gazı bileşenlerinin miktarlarını bulmamızı sağlar. Soğutma suyu debisi ventürimetre, egzoz basıncı pitot tüpü ve bağlı u-manometresi ile ölçülmektedir. Bunların herbirinin tanıtımı ve dizaynı ilerideki kısımlarda verilmiştir.

4.2 _ Deney Motoru.

Deneylerde dört zamanlı, sıra tip, benzinli anadol motoru kullanılmıştır. Motora ait özellikler aşağıda belirtilmiştir :

Marka : Anadol.

Tip : 4 zamanlı, sıra tip.

Max. Tork : 8,7 kpm (3000 d/d).

G : 54 BG.

Devir : 5500 d/d.

Silindir sayısı : 4

Silindir hacmi : 1,298 lt.

Soğutma şekli : Su ile.

Yağlama şekli : Pompalı.

Ateşleme sırası : 1 - 3 - 4 - 2

4.3 – Dinamometre (Su freni) Özellikleri.

Motor; Quick, Borghi-Saveri marka su freni ile yüklenerek efektif güç, moment ve özgül yakıt sarfiyatı bulunmuştur. Efektif gücün tespit edilmesinde iki yol takip edilir :

1) Motorun iş mili karşı kuvvetle yüklenir. Bu işlem yükleme, tatbik edilen kuvvet yük ve yükleme için kullanılan aletde bir nevi fren olarak tanımlanır. Çalışma esnasında motorun iş miline tatbik edilen karşı kuvvet değiştirilerek her defasında başka bir devir sayısına gelmesi temin edilebilir ve devir sayısına bağlı olarak efektif güç hesaplanır. Yükleme sürtünme ile, su ile veya elektriki olarak yapılabilir.

2) Motor ile iş makinası arasındaki mil parçasının burulmasından faydalanılarak efektif güç ölçülür.

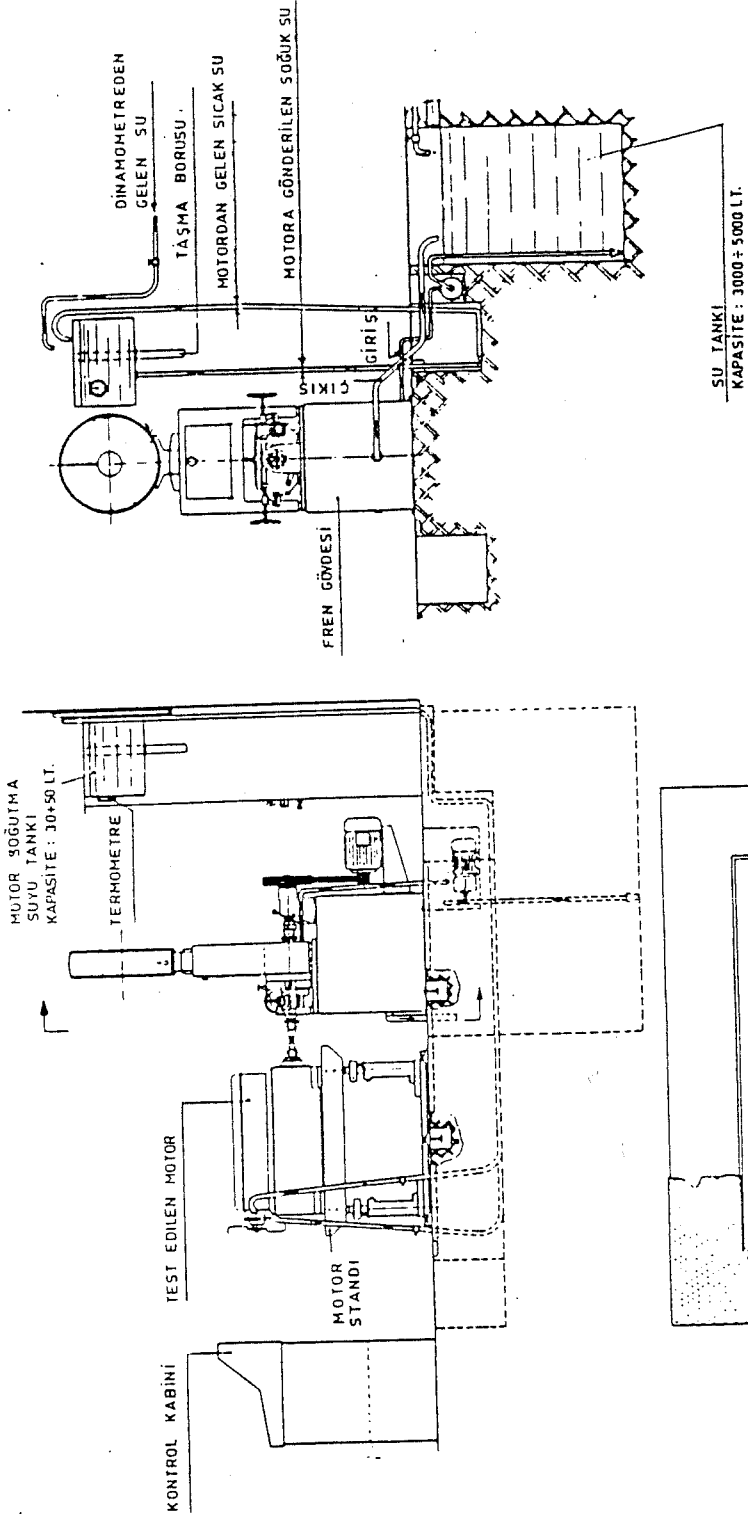
Deneylerde kullanılan dinamometre su frenidir. Su freni, bir muhafaza içerisinde bulunan kanatlı bir diskten ibarettir. Su ile disk arasındaki sürtünme sebebiyle dönme esnasında çark , suyu sürüklemeye çalışır. Böylece, eğer gövde sarkaçvari yataklanmışsa yani dönebilecek şekilde yataklanmışsa, çarktan suya iletilen momentin değerini hesaplamak mümkün olur. Bunun için gövdeye bir moment kolu tespit edilir ve bu kol bir teraziye basar. Terazide okunan değer yardımıyla gerekli hesaplar yapılır. Deneylerde kullanılan motor - dinamometre (su freni) sistemi şekil 4.2 'de görülmektedir.

4.3.1 – Döndürme Momentinin Tespiti.

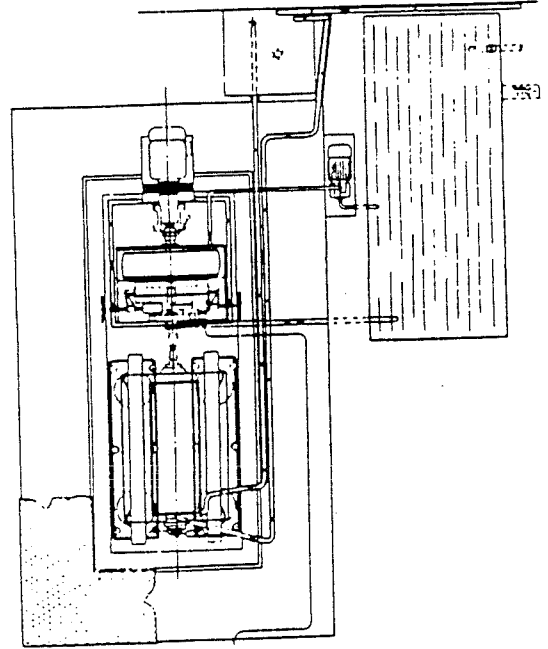
Su freninin sarkaçvari gövdesi üzerine bağlı moment kolu kendisine uygulanan momente tekabül eden kuvveti teraziye tatbik eder. Moment kolu uzunluğu L (m) , terazide okunan kuvvet P (kp) ise motorun döndürme momenti (M_d) ;

$$M_d = P \cdot L \quad \text{..... (kpm)}$$

dir.



SEKİL. MOTOR TEST STANDI (DİNAMOMETRE-SU FRENİ SİSTEMİ)



Şekil 4.2 Motor-Dinamometre sistemi

Deney setinde moment kolu uzunluğu $L = 0,716$ m. olduğuna göre ;

$$M_d = 0,716 \cdot P \dots\dots\dots (kpm)$$

olur.

4.3.2 _ Efektif Gücün Bulunması.

n (d/d) devri ile dönerek N (kw) gücünü aktaran bir mildeki döndürme momentinin değeri ;

$$M_d = (716,20/1,36) \cdot (N / n) \dots\dots\dots (kpm)$$

ifadesiyle verilmektedir. O halde motor efektif gücü N_e ;

$$N_e = M_d \cdot n / 716,20 \cdot 1,36 \dots\dots\dots (kw)$$

yazılabilir. Moment ifadesi yerine konursa ;

$$N_e = P \cdot n / 1000 \cdot 1,36 \dots\dots\dots (kw)$$

olur.

4.3.3 _ Yakıt Sarfiyatının Tespiti.

Motorun yakıt sarfiyatı, motor-dinamometre üzerinde bulunan farklı hacimdeki üç adet cam balondan meydana gelen yakıt ölçme kabı yardımıyla ölçülmektedir. (Şekil 4.3).

Cam balonların hacmi belli olduğu için bir kronometre yardımıyla yakıtın motora gitmesi için geçen zaman ölçülüp debi bulunur :

$$V = \dot{V} = V_y (cm^3) / t (sn) \dots\dots\dots (cm^3/sn)$$

4.3.3.1 _ Özgül Yakıt Sarfiyatının Bulunması.

Motorlarda harcanan yakıt miktarı birim güç başına gram olarak saatte harcanan yakıt miktarı ile ifade edilir. Böylece motorların ekonomikliği hakkında bir kıyas yapabilmek mümkün olur. Özgül yakıt sarfiyatı be :

$$be = \dot{V}_y \cdot \gamma_y \cdot 3600 / t \cdot N_e \dots\dots\dots (gr/kwh)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Burada ;

V_y : Harcanan yakıt miktarı. (cm^3)

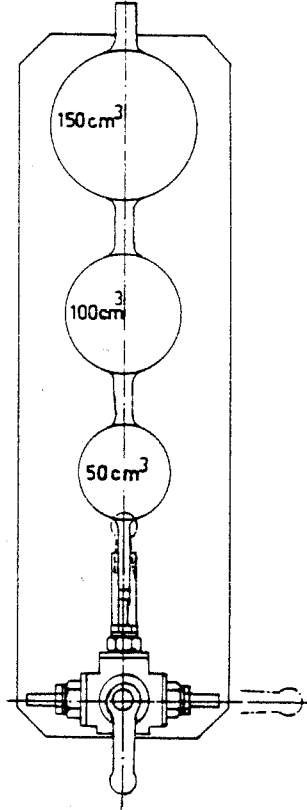
N_e : Motorun efektif gücü. (kw)

t : V_y hacmindeki yakıtın harcanma zamanı. (sn)

γ_y : Yakıtın özgül ağırlığı. (gr/cm^3)

Normal benzin için $\gamma_y = 0,735 \text{ gr}/\text{cm}^3$

Süper benzin için $\gamma_y = 0,77 \text{ gr}/\text{cm}^3$



Şekil 4.3 _ Yakıt ölçme kabı.

4.3.4 _ Ortalama Efektif Basıncın Tespiti.

Dört zamanlı tek tesirli bir motorda efektif basınç ifadesi şöyledir:

$$P_{me} = 900. N_e / V_H . n \dots\dots\dots (\text{kp}/\text{cm}^2)$$

N_e : Motorun efektif gücü. (BG)

n : Motor devri. (d/d)

V_H : Toplam silindir hacmi. (lt)

$$N_e = P . n / 1000$$

ifadesi yerine yazılırsa ;

$$P_{me} = 900 . P / V_H$$

olur. $900/V_H$ ifadesine K denirse $P_{me} = K.P$ şeklini alır. Yani P_{me} , P terazi kuvvetinin bir sabitle çarpımına eşittir. Döndürme momentinin $M_d = 0,716.P$ olduğu dikkate alınırsa her ikisinin de aynı karakterde olduğu görülür. Bu nedenle karakteristik eğriler verilirken $N_e=f(n)$, $M_d=f(n)$, $b_e=f(n)$ eğrileri verilir. Ancak ortalama basınçların bilinmesi bakımından $P_{me}=f(n)$ eğrileri kullanılır.

4.4 _ Soğutma Suyu Debisinin Tespiti.

Soğutma suyu debisi bir ventürimetre yardımıyla tespit edilmiştir. Daraltılmış kesit alanı A_2 , debi katsayısı C olan bir ventürimetreye bağlı civalı manometrenin kolları arasındaki seviye farkı Δh ise kütleli debi M_{su} aşağıdaki ifade ile verilmektedir :

$$M_{su} = \rho_s . C . A_2 . \sqrt{2 . g . (\Delta h / \rho_s) . (\rho_c - \rho_s) } (Kg/s)$$

C : Debi katsayısı.

g : Yerçekimi ivmesi. (m/sn²)

A_2 : Dar kesit. (m²)

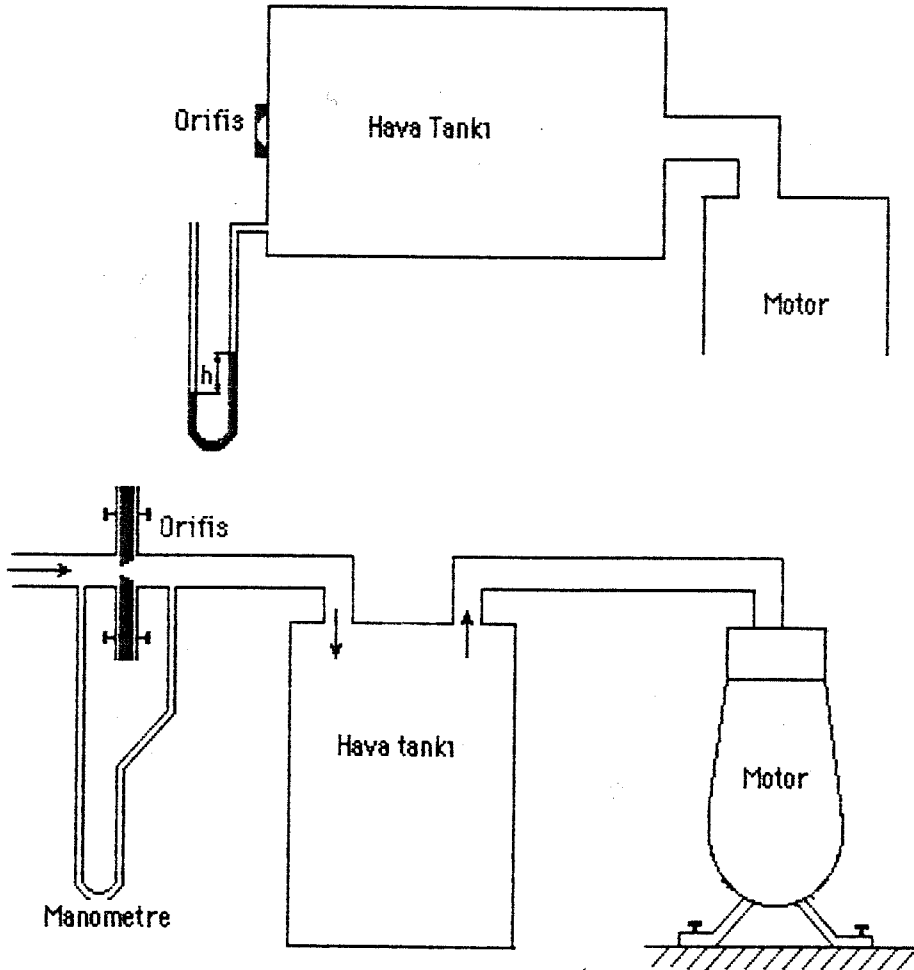
Δh : Manometre kolları arasındaki basınç farkı. (mHg)

ρ_s : Suyun yoğunluğu. (kg/m^3)

ρ_c : Cıvanın yoğunluğu. (kg/m^3)

4.5 _ Hava Debisinin Tespiti.

Motora emilen taze hava debisinin tespitinde, debi ölçmelerinde yaygın bir metod olan akışkanın bir lüleden geçirilerek, lülede meydana gelen basınç farkını ölçmek ve gerekli formüllerle debiyi hesaplamak yoluna gidilmiştir. Ancak motora havanın emilmesi sürekli-kararlı olmayıp titreşimli bir akış olayı olduğu için sisteme titreşimleri söndürmek için bir hava deposu konulmuştur. Bu tür ölçmeye ait iki tip düzenek aşağıda gösterilmiştir :



Şekil 4.4. _ Hava debisi ölçme düzeneği(8)(25).

Motor tarafından emilen hava debisi $M_h (H)$;

$$M_h = \rho_h \cdot C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h / \rho_h} \dots\dots (Kg/s)$$

formülü ile hesaplanır (26) (27) (28) .Burada ;

C : Debi kayıp katsayısı.

A : Orifis kesit alanı. (m^2)

Δh : Orifis önünde ve arkasında oluşan basınç farkı. (mss)

(Manometre kolları arasındaki seviye farkı.)

ρ_h : Havanın yoğunluğu. (kg/m^3)

Formüldeki C katsayısının tespiti önemlidir. Literatürde C katsayısının tespiti için çeşitli yöntemler verilmekte ise de ekli diyagram yardımıyla bulunmuştur. Akım katsayısı a biliniyorsa; kayıp katsayısı C , çaplar oranı da dikkate alınarak :

$$C = a / \sqrt{1 - \beta^4 (P_2/P_1)^{2/k}}$$

formülü ile bulunabilir. (Çaplar oranı : $\beta = d/D$)

Kayıp katsayısı C ; diyagramlarda, çaplar oranı ve Reynolds sayısına bağlı bulunduğu için, Reynolds sayısının bilinmesi lâzımdır. Reynolds sayısı yaklaşık olarak ;

$$Re = 4 \cdot G / \pi \cdot \mu \cdot \beta \cdot D$$

formülü ile bulunabilir (26). Buradaki G teorik hava debisidir. Silindir

hacmi ve devri bilindiğine teorik debi (G) aşağıdaki formülle hesaplanır :

$$G = \rho \cdot n \cdot Z \cdot V_h \cdot \eta_v \dots\dots\dots(kg/sn)$$

Z : Silindir sayısı.

n : Motor devri. (d/d)

ρ : Havanın yoğunluğu. (kg/m³)

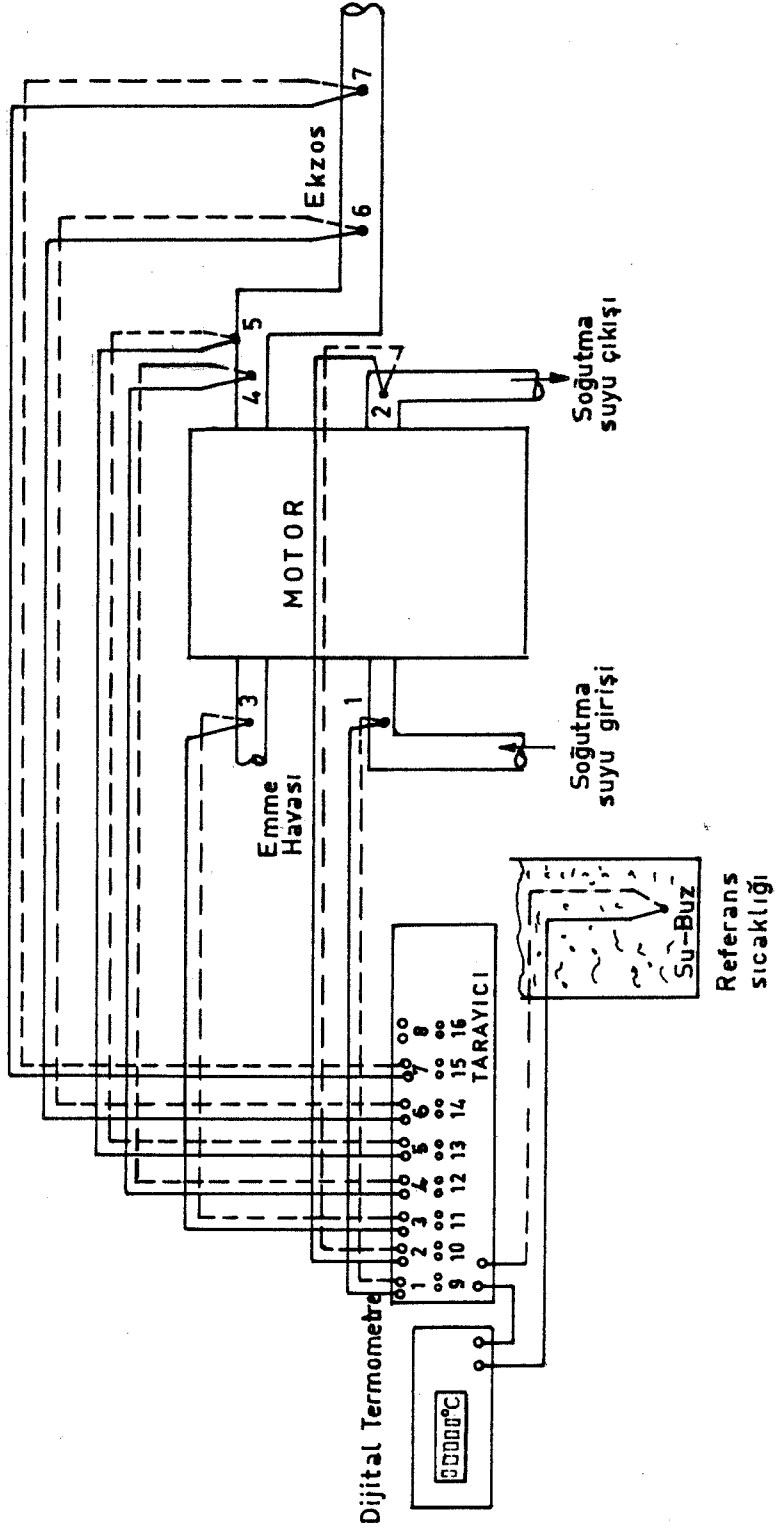
η_v : Volümetrik verim.

V_h : Strok hacmi. (m³)

Hava debisi ölçme düzeneğinin en önemli kısmı lüledir. Bu tip ölçmelerde değişik tipte lüleler kullanılmakla beraber, genel olarak orifis diye adlandırılan dairesel kesitli keskin kenarlı lüleler kullanılmaktadır. Orifise ait bilgiler, deneylerde kullanılan orifis ölçüleri ekler kısmında verilmiştir (29).

4.6 – Sıcaklıkların Ölçülmesi.

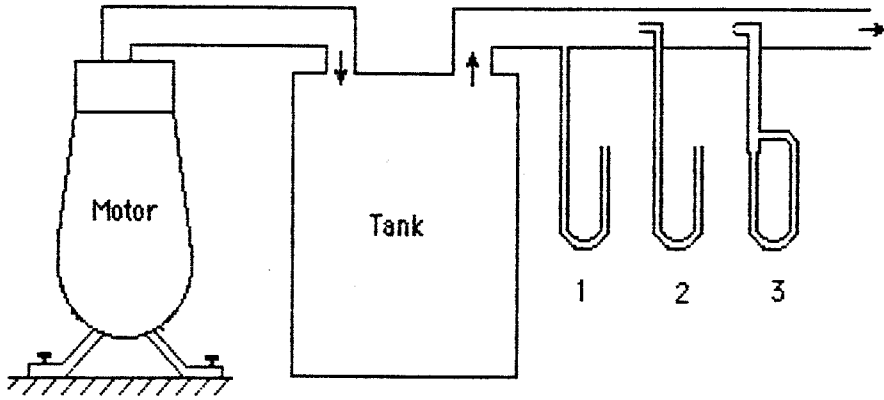
Deney tesisatının çeşitli noktalarında (emme manifoldunda, egzoz manifoldu cidarında ve içerisinde, egzoz borusu içerisinde) sıcaklık tespiti için Şekil 4.5 ' de verilen ölçme sistemi kullanılmıştır. Sistem 20 kanallı bir tarayıcı, gösterge ve ısı çiftlerinden oluşmuştur. Isı çiftlerinin birleştirilmiş ucu, yapıştırma veya vidalama yolu ile sıcaklığı ölçülecek noktaya, diğer uçları tarayıcıya bağlıdır. Sıcaklığı ölçülecek noktadaki ısı çiftin bağlı olduğu kanal seçildiği zaman, dijital göstergeden sıcaklık direkt okunmaktadır.



Şekil 4.5 Sıcaklık ölçme sistemi.

4.7 – Egzos Basıncının Ölçülmesi.

Egzos gazları egzos süpürbini geçtikten hemen sonra basınçları ani olarak düşer. Ancak bu basınç atmosfer basıncını yenecek değerdedir. Egzos basıncını ölçmek ve nasıl değiştiğini tayin etmek için aşağıdaki şekilde ölçme yapılmıştır. Pitot tüpü ile ölçme yapılması, fark basıncının (dinamik basınç) da okunmasını sağlar. Emme havası kısmında belirtildiği gibi egzosta da bir süreklilik yoktur. Bunun için bir tank kullanılarak ölçme yapılması uygundur.



Şekil 4.6. – Egzos basıncını ölçme düzeneği.

- 1) U-tipi manometre ile.
- 2) Pitot borusu ve U-tipi manometre ile.
- 3) Pitot statik tüp ve U-tipi manometre ile.

4.8 – Egzos Gazı Analizi Ünitesi.

Çalışma konumuzun esasını teşkil eden ikinci ünedir. Farklı motor devirlerinde, egzos gazı bileşenlerinin değişimi incelenerek, yanma kalitesi ve çevre kirliliği gibi parametrelerin değişim durumları tespit edilmiştir. Yanma ürünlerinin tespiti için çeşitli analiz usulleri ve

çok gelişmiş analiz cihazları bulunmaktadır. Bu çalışmada Orsat cihazı kullanılmıştır. Orsat cihazı ile analiz yapılması absorpsiyon esasına dayandığı için bu kısımda kısaca bu teknikten ve analiz aletinden bahsedilmiştir.

Absorpsiyon esasına dayanan gaz analizinin prensibi; numuneden ölçülü bir hacmin, numuneyi oluşturan gazlardan birinin belirli şartlar altında fiziksel veya kimyasal olarak tamamen absorbe edileceği, diğerlerinin ise hiçbir değişmeye uğramıyacağı bir ortamdan geçirilmesi ve azalan hacmin ölçülmesidir. Uygun bir absorplayıcı madde bulunamayan gazların analizi için ya bu gaz yakılır ve yanma ürünü olan H_2O ve CO_2 ' ye dayanan bir ölçme yapılır yada gaz yanıcı değilse numunedeki bütün gazlar absorplanarak ayrıldıktan sonra bu gaz toplam miktarın farkı olarak hesaplanır. Analizlerde bu esasa dayanan " Orsat cihazı " kullanılmıştır. Gaz örneği alma ve Orsat cihazı şekilde görülmektedir. Cihazın çalışması hakkında bilgi ekler kısmında verilmiştir.

4.8.1 — Absorban Çözeltiler.

Analizlerde kullanılan çözeltiler aşağıda belirtilmiştir :

CO_2 ayırıcı : % 33 ' lük $NaOH$ çözeltisi.

CO ayırıcı : 12 gr. bakır-1-klorür (Cu_2Cl_2) + 15 gr. amonyum klorür (NH_4Cl) + 22 Be' derişiklikte amonyak (20 cm^3) + 100 ml'ye tamamlayacak kadar saf su.

O_2 ayırıcı : 50 gr. potasyum hidroksit (KOH) + 5 gr. pirogallolun 100 ml. saf sudaki eriyiği.

Etilenik hidrokarbürlerin ayırıcı : Doymuş bromlu su. (% 3' lük.) (30).

4.8.2 – NO_x ' lerin Tayini.

NO_x ' leri doğrudan tespit etmek mümkün olmadığı için titrasyonla tayin edilmiştir. Bunun için egzoz gazı, gaz toplama kabından önce içinde 100 ml. %3'lük hidrojen peroksit çözeltisi (3 ml. H_2O_2 + 97 ml. saf su) bulunan absorpsiyon şişesinden geçirilir. Gazın küçük kabarcıklar halinde yavaşça geçmesi sağlanır. Bu çözelti, 50 ml. kalıncaya kadar kaynatılıp içerisine birkaç damla fenolftalein damlatılır. Bunun üzerine musluklu bir büretten 0,02 normal sodyum hidroksit damlatılır. Renk tamamen dönüşünce, harcanan NaOH miktarına bakılır. v (ml) 0,02 normal NaOH harcanmışsa ;

$$\text{NO}_x = 0,02 \cdot v \cdot (22,4/10) \cdot (293/273)$$

formülü ile hesaplanır.

4.8.3 – Hidrojen (H_2) ve Metan (CH_4) tayini.

Hidrojen ve metanı tayin etmek ancak yakmak suretiyle mümkündür. Bunun için orsat cihazının bir yakma ünitesi vardır. Burada içerisinde direnç bulunan musluklu bir fanus ve bağlı cam balon vardır. Diğer bileşenlerin tayininden sonra gaz yakma ünitesine alınır. Yakma fanusu içerisindeki tuzlu su, gaz doldukça cam balona geçer. Direnç teline akım verilerek gaz yakılır. Yakmadan sonra meydana gelen hacim azalması (x) okunur ve gaz CO_2 ayırıcından geçirilerek, yeniden hacim azalması (y) okunur. Yakmaya gönderilmeden önce gazın 40 ml. çizgisine kadar boşaltılıp, yerine 0 çizgisine kadar hava alınması gerekir.

y değeri metan miktarını verir. ($y = \text{CH}_4$)

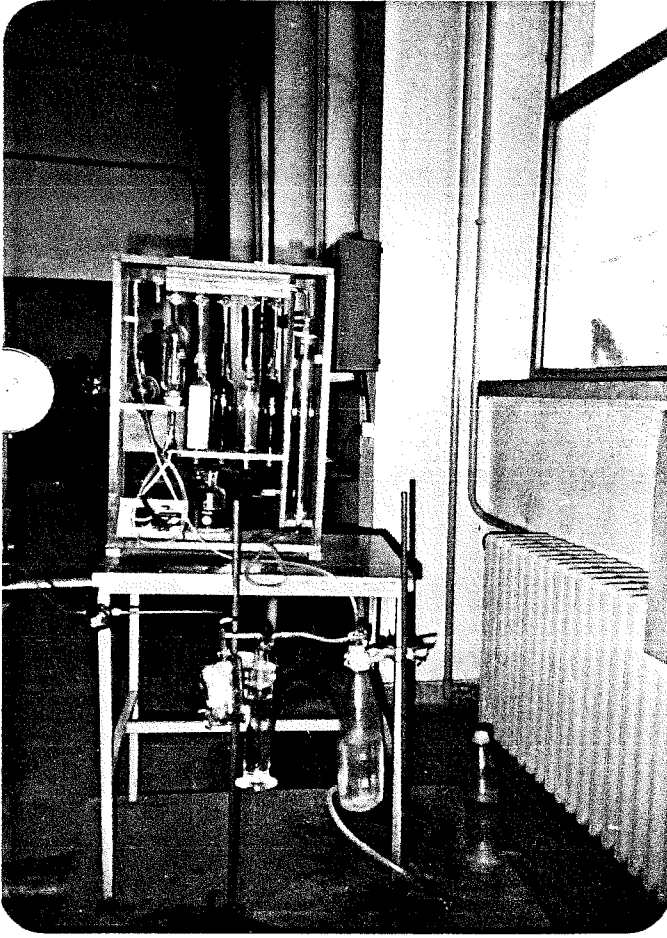
$$\text{H}_2 = (x - 2y) \cdot 2/3$$

formülde H_2 miktarını verir.

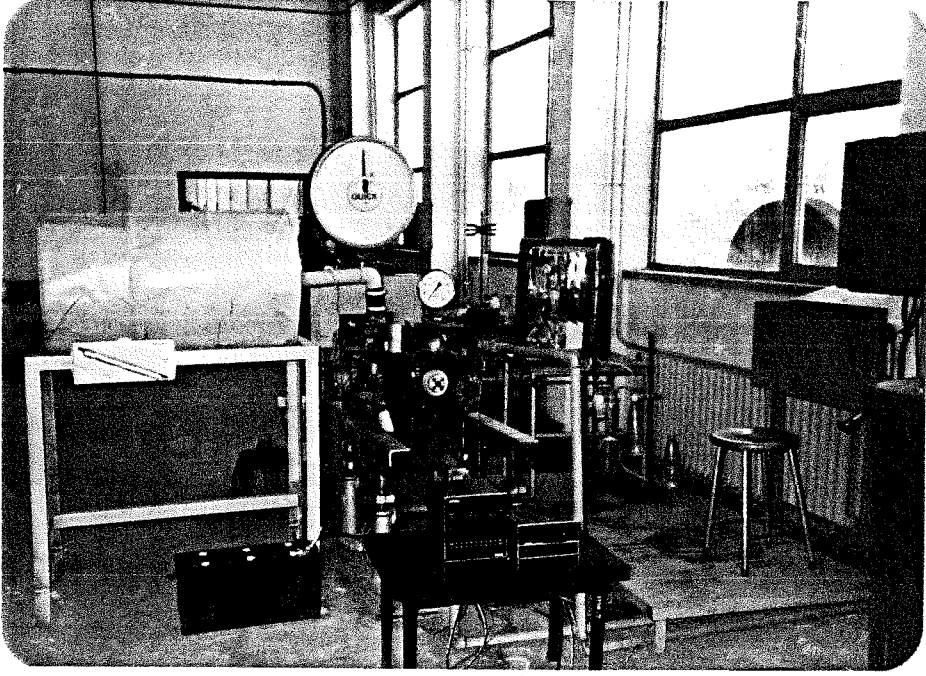
4.8.4 – Kurşun Tayini.

Egzos gazı içerisinde bulunabilecek kurşun miktarının tayini için, atomik absorpsiyon cihazı kullanılmıştır. Egzos gazı içerisindeki kurşun, hidrojen peroksit çözeltisinde kalacağı için titrasyondan sonra kalan numune cihazda incelenmiştir.

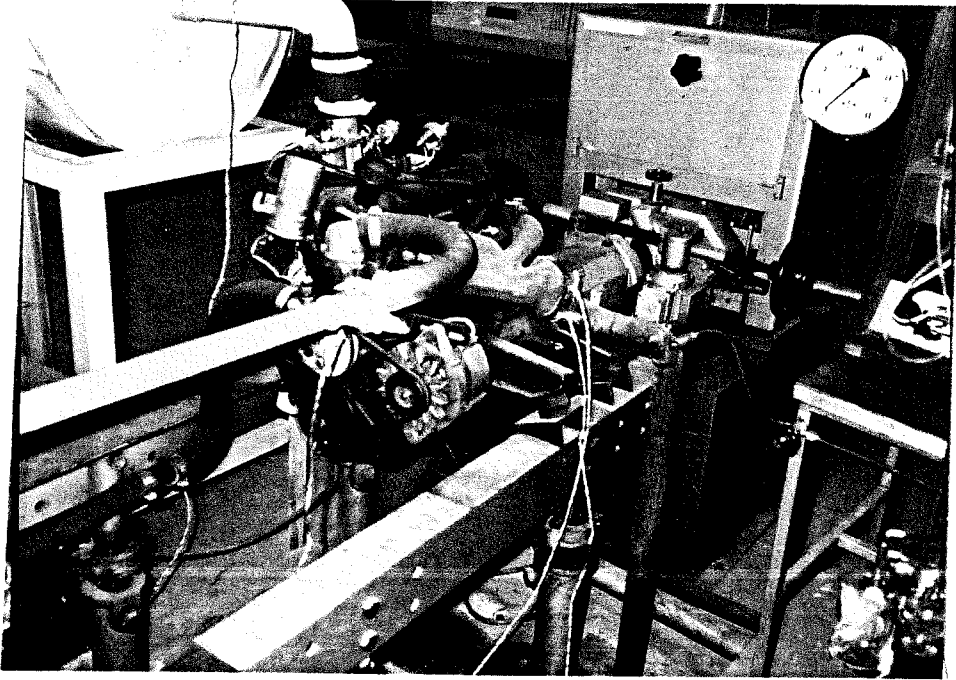
Deney tesisatı ile ilgili resimler aşağıdadır:



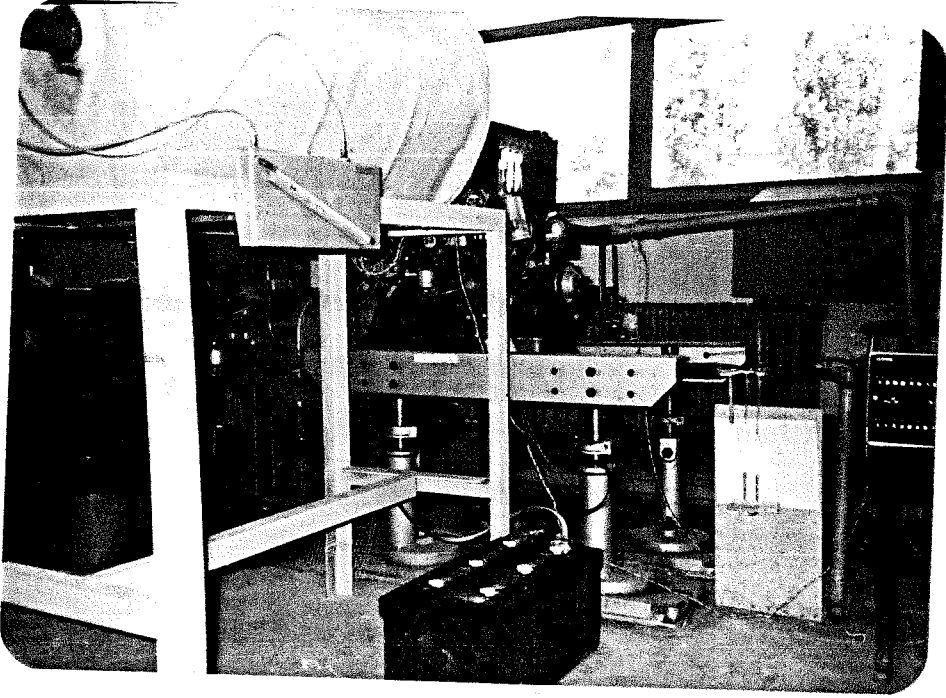
Resim 1. Orsat cihazı



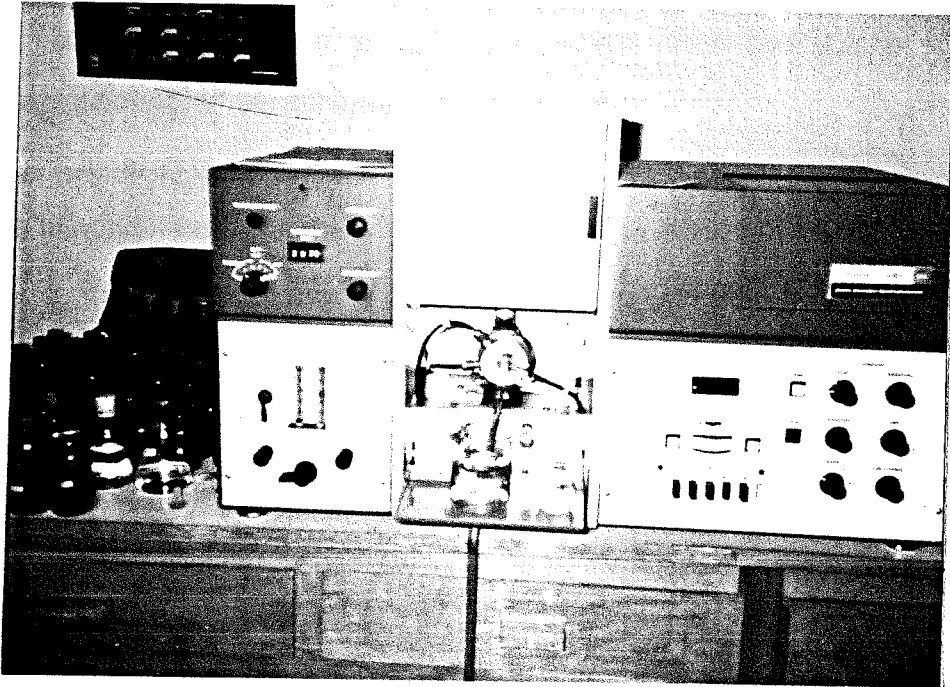
Resim.2 Deney setinin genel görünüşü



Resim.3 Deney motoru ve dinamometre



Resim.4 Hava tankı, ventürimetre ve yakıt ölçme kabı.



Resim.5 Atomik absorpsiyon cihazı

4.9. Yapılan Deneyler.

Hava - yakıt karışım oranına ve motor devrine bağlı olarak egzoz gazı bileşiminin, basıncının ve sıcaklığının değişimini tespit etmek amacıyla yaptığımız deneyler iki grupta toplanmıştır :

- 1) Farklı devirlerde yapılan deneyler
- 2) Sabit devirde yapılan deneyler

4.9.1. Farklı devirlerde yapılan deneyler.

Bu deneylerde uygulanan çalışma şekilleri şunlardır :

a) Normal benzinle boşa çalışma hali: Dinamometre ile yükleme yapılmadan, gaz kelebeği ile devir sayısı değiştirilerek deneyler sürdürülmüştür.

b) Normal benzinle yükte çalışma hali: Motor tam gaz durumuna getirildikten sonra, dinamometre ile yükleme yapılarak deneyler sürdürülmüştür.

c) %50 normal benzin + %50 süper benzin kullanılarak yükte çalışma hali: Motor tam gaz durumuna getirildikten sonra, dinamometre ile yükleme yapılarak deneyler sürdürülmüştür.

Uygulanan bu yöntemler ile, normal benzin kullanılarak motorun boşa ve yükte çalışma durumlarının mukayese edilmesi ve yükte çalışma halinde normal benzine %50 oranında süper benzin karıştırılması durumunda egzoz bileşenlerinin ve motor karakteristiklerinin mukayese edilmesi amaçlanmıştır.

4.9.2. Sabit Devirde Yapılan Deneyler.

Motorun gaz kelebeğine ve dinamometre fren yüküne kumanda edilerek sabit devirde (1500 d/d ' da), egzoz gazı bileşenleri tespit edilmiştir. Deneylerde normal benzin kullanılmıştır. Sabit devirde , hava kelebeğinin tam açık konumu için ve 3/4 açık konumu için deney yapılmıştır.

Yapılan deneylerde elde edilen veriler aşağıda tablo ve grafik ler halinde verilmiştir.

n (d/d)	H/Y	CO2(%)	CO(%)	NOx(%)	O2(%)
2000	12.93	6.2	7.2	3.9	0.4
2500	13.89	8	5	6.6	0.6
3000	14.4	9	3.6	7.2	0.8
3500	13.9	8.2	5.2	6.7	0.6
4000	13.4	7.6	6.6	5.3	0.4

n (d/d)	T(K)Eg.Man.Çık.	T(K)Egzos Çık.	T(K) Cidar	P(bar)
2000	560	466	506	0.9735
2500	617	492	533	0.9740
3000	656	529	570	0.9765
3500	700	573	620	0.9783
4000	750	620	650	0.99

Tablo 4.1 Normal benzinle boşta yapılan deney sonuçları

n (d/d)	H/Y	CO2(%)	CO(%)	NOx(%)	O2(%)	Md (Kpm)
2000	12.3	5.4	12	4	0.2	6.086
2500	12.87	5.8	10.9	6.8	0.4	6.51
3000	13.46	6.8	10.2	7.6	0.5	6.65
3500	13.39	6.4	10.4	7.2	0.4	6.03
4000	13.04	6.2	11	5.4	0.39	5.87

n (d/d)	Ne (Kw)	be (gr /kwh)	T(K)Eg.Man.Çık.	T(K)Egzos Çık.	T(K) Cidar	P (bar)
2000	12.5	444	706	583	626	0.974
2500	16.75	480	750	623	663	0.979
3000	20.51	420	768	666	684	0.983
3500	22.90	447	773	686	699	0.99
4000	24.11	474	798	709	703	1.00

Tablo 4.2 Normal benzinle yükte yapılan deney sonuçları

n (d/d)	H/Y	CO2 (%)	CO (%)	NOx (%)	O2 (%)	Md (kpm)
2000	12.66	5.6	10	4.2	0.4	6.7
2500	13.4	6	8.4	7.4	0.6	7.16
3000	13.69	7	8	7.8	0.7	7.30
3500	13.55	6.6	8.2	7.6	0.6	6.94
4000	13.1	6.4	9.9	5.8	0.4	6.44
n (d/d)	Ne (KW)	Be (gr/kwh)	T(K)Eg.Man.Çık.	T(K) Egzos Çık.	T(K) Cidar	P (bar)
2000	13.32	423	712	594	645	0.9742
2500	18.38	392	764	640	680	0.9793
3000	22.5	380	779	673	686	0.9832
3500	24.96	385	791	696	700	0.991
4000	26.47	432	809	712	715	1.003

Tablo 4.3 %50 karışımla yükte yapılan deney sonuçları

H/Y	CO2 (%)	CO (%)	NOX (%)	O2 (%)
15.1	7.8	0.8	7	3
13.0	6.6	4	6.4	1.2
12.3	6.2	4.6	5.2	0.8
11.2	5.4	7.2	4.2	0

Tablo 4.4 Tam açık kelebek konumunda elde edilen sonuçlar (1500 d/d)

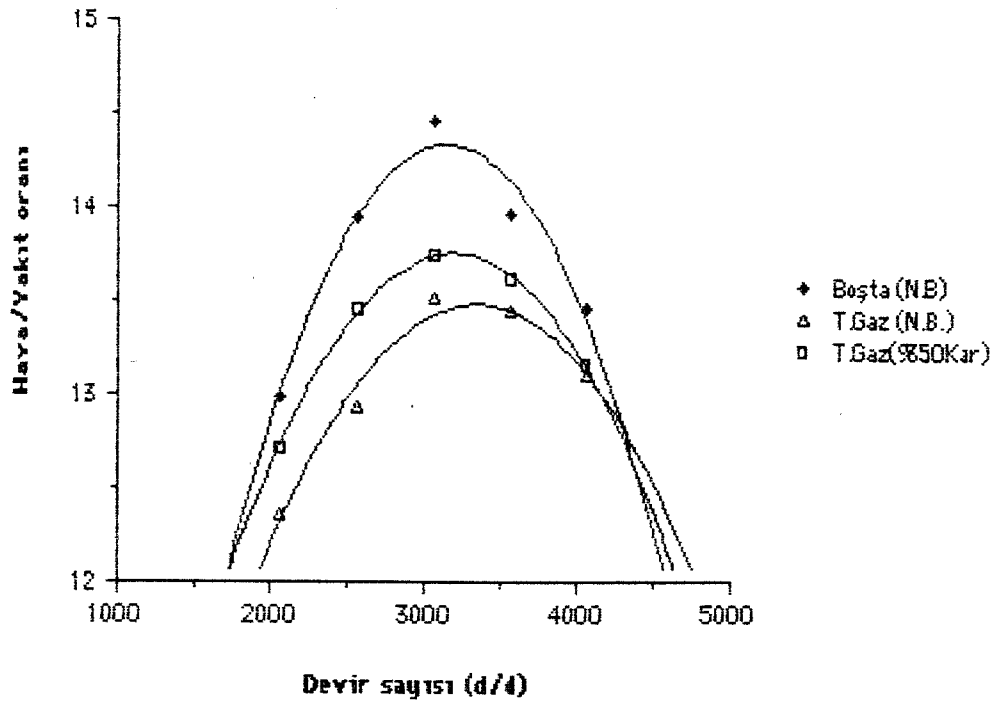
H/Y	CO2(%)	O2(%)	CO(%)	NOX(%)
13.31	8	0.8	6.4	5.62
12.11	6	0.4	8.6	4.9
10.9	5.4	0	9	4.3
10.1	4.8	0	9.8	3

Tablo 4.5 3/4 kelebek konumunda elde edilen sonuçlar(1500 d/d)

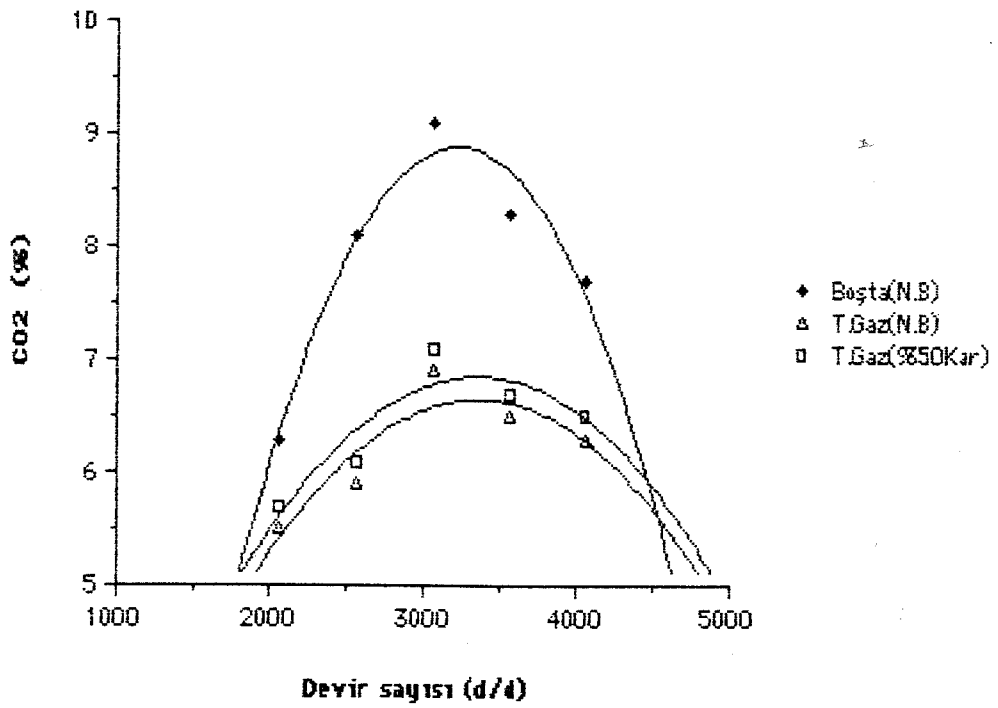
n (d/d) Su debisi(kg/s)

2000	0.171
2500	0.222
3000	0.244
3500	0.282
4000	0.31

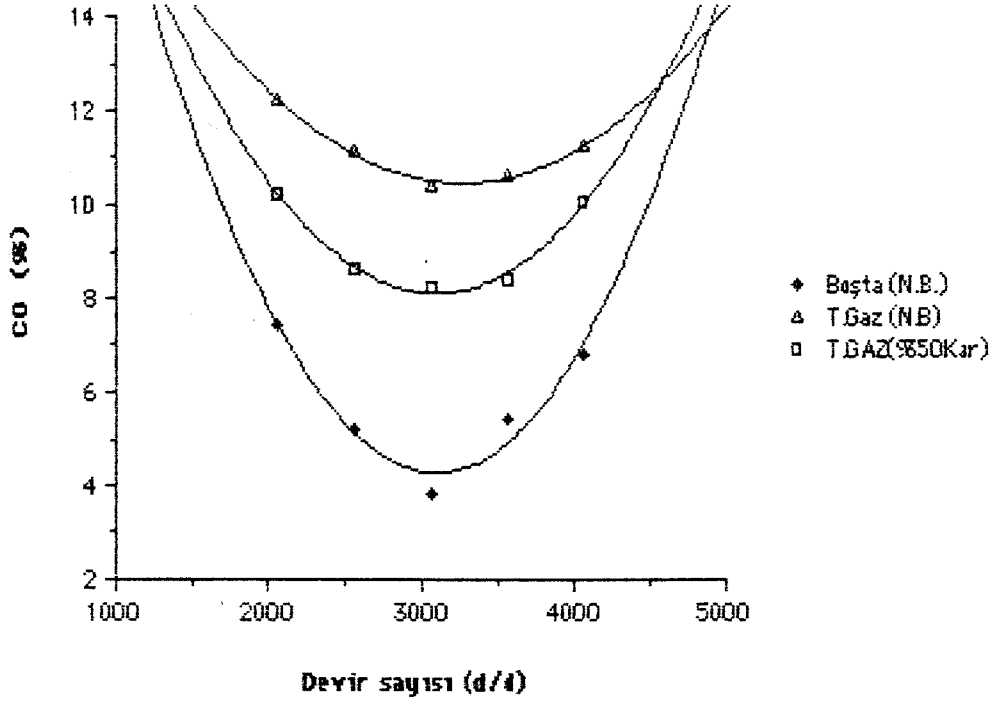
Tablo 4.6 Soğutma suyu debisinin devirle değişimi



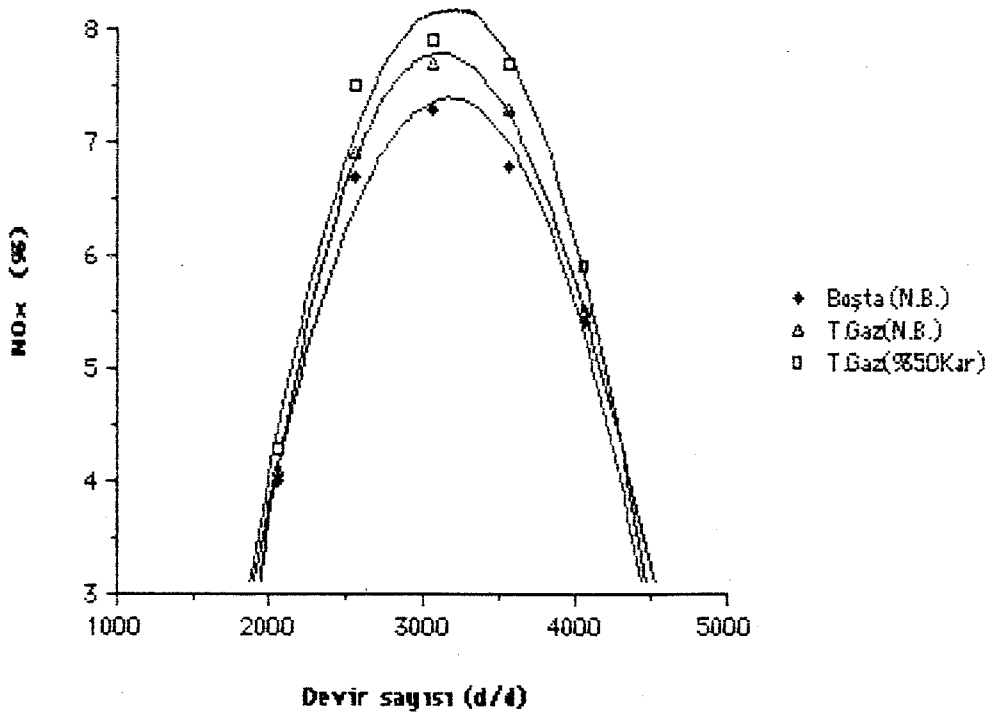
Şekil 4.7 . Hava - yakıt oranının devir ile değişimi.



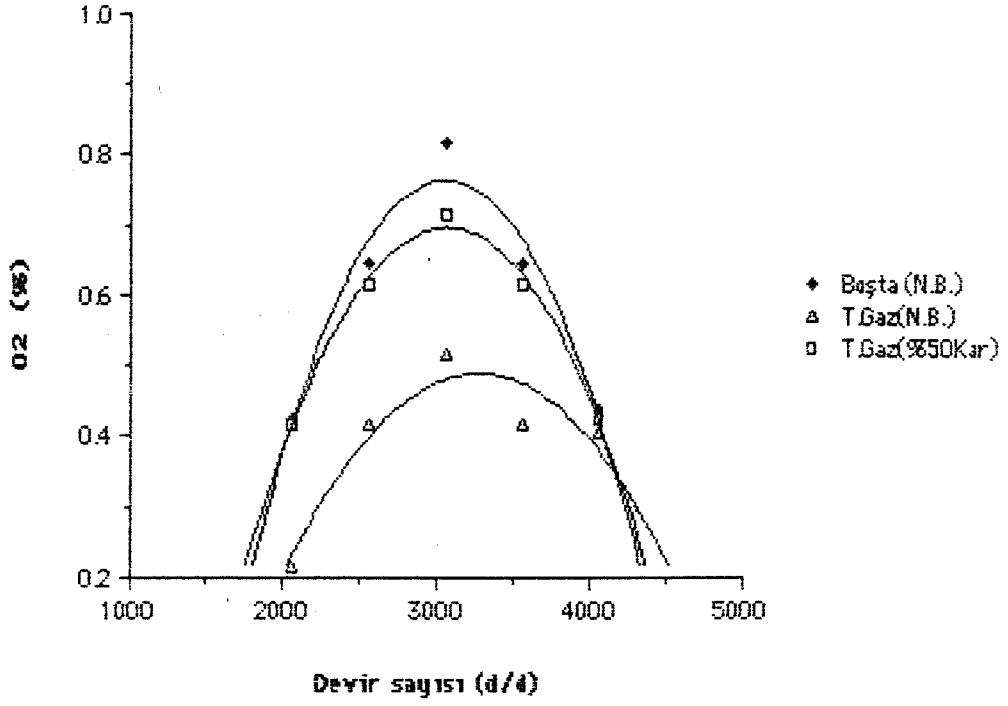
Şekil 4.8 . CO₂ miktarının devir ile değişimi.



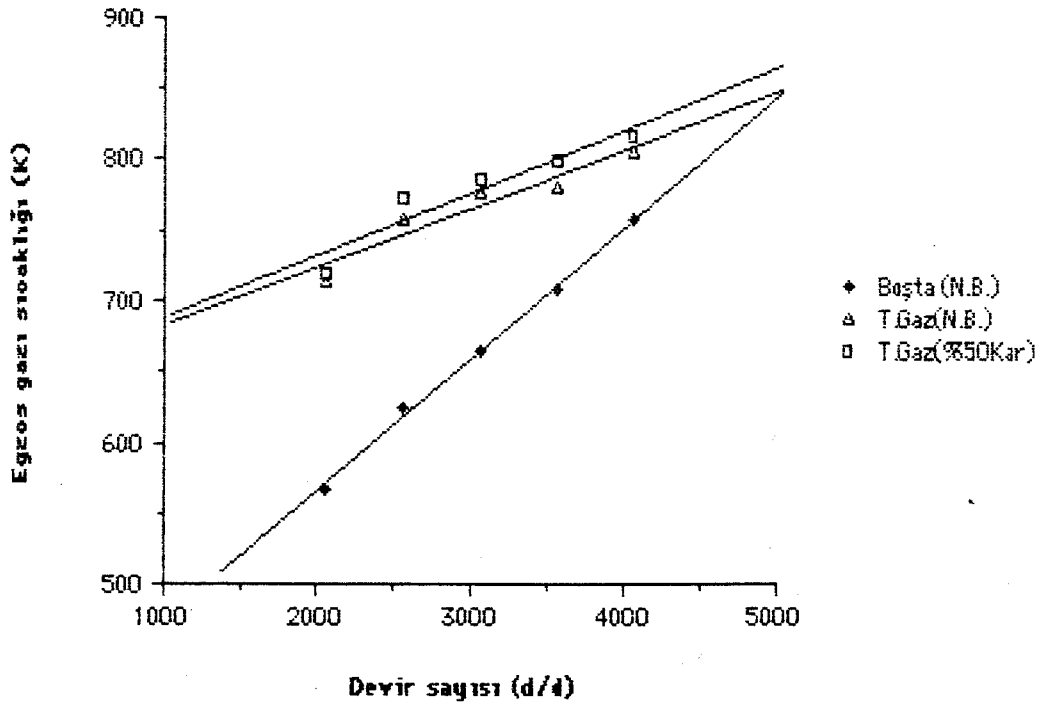
Şekil 4.9 . CO miktarının devir sayısı ile değişimi.



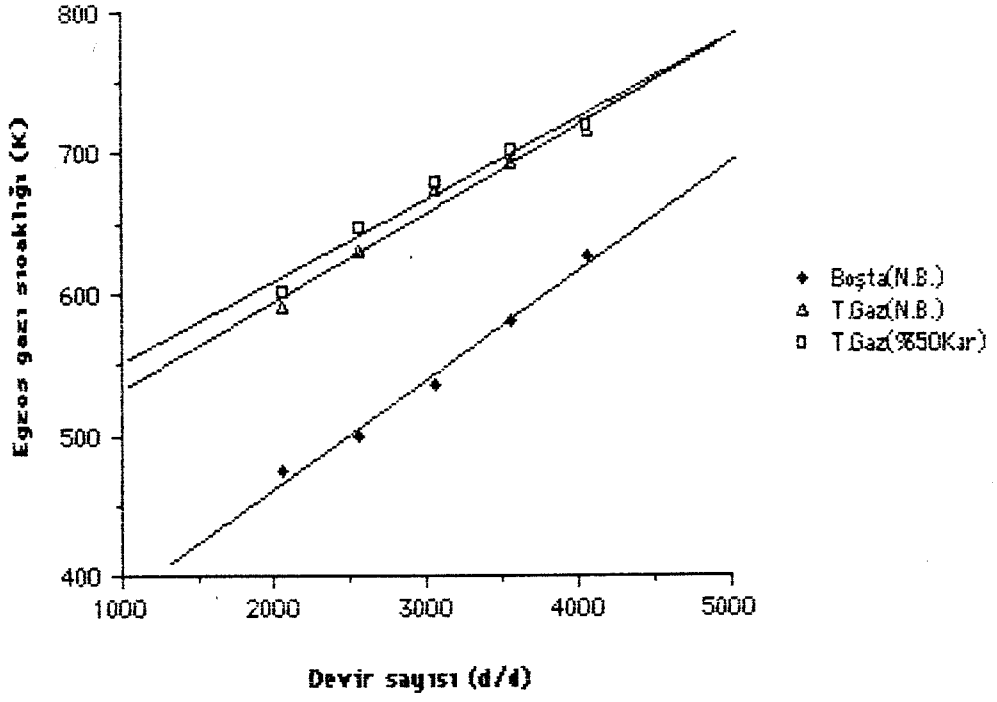
Şekil 4.10. NO_x miktarının devir ile değişimi.



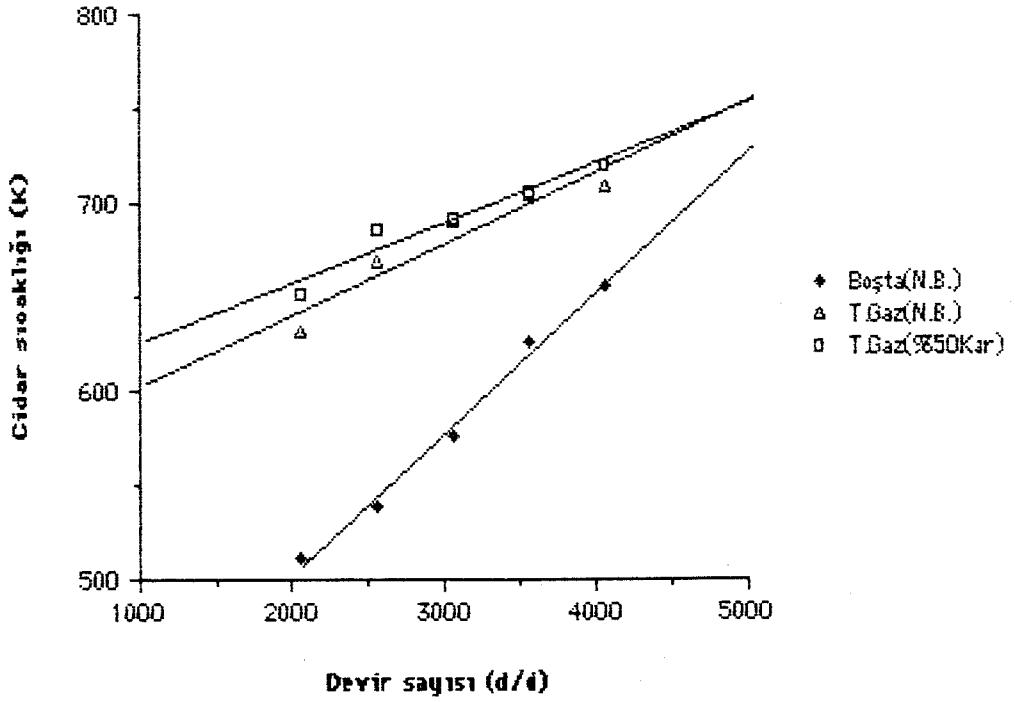
Şekil 4.11. O_2 miktarının devir ile değişimi.



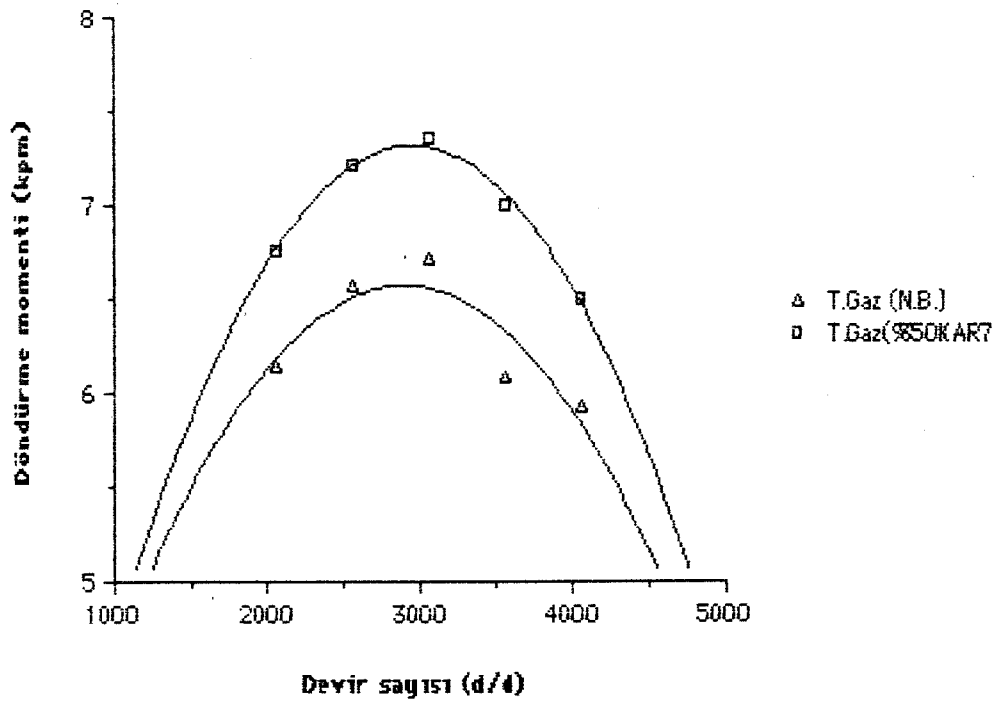
Şekil 4.12. Manifold çıkışında ölçülen egzoz gazı sıcaklıkları.



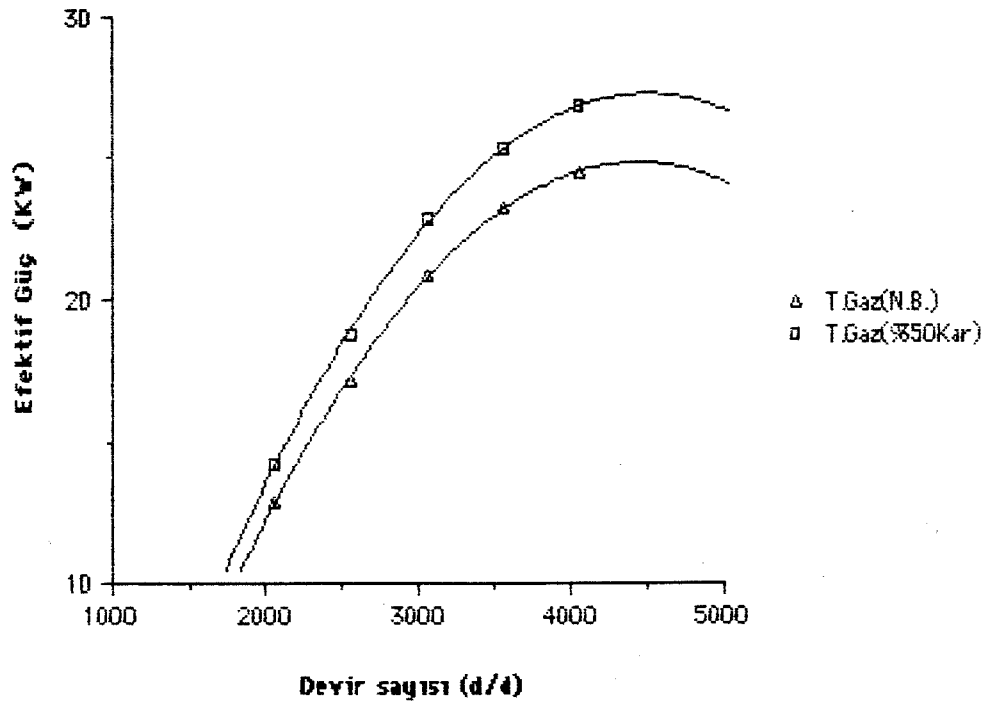
Şekil 4.13. Egzos borusu çıkışında ölçülen egzoz gazı sıcaklıkları



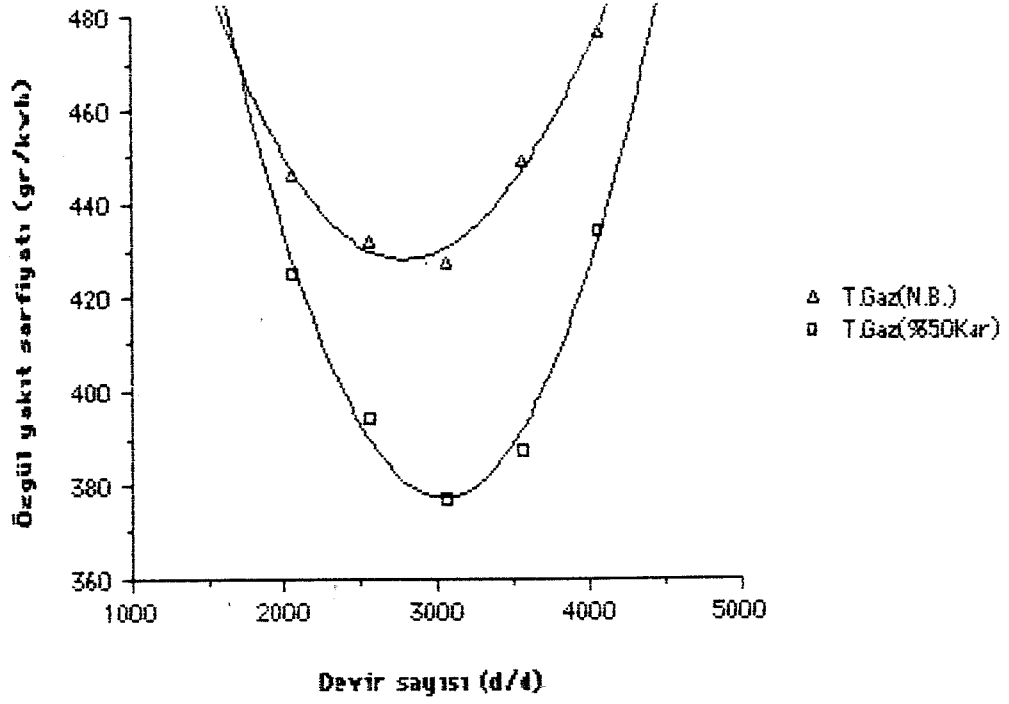
Şekil 4.14. Manifold çıkışında egzoz borusu cidarında ölçülen sıcaklıklar



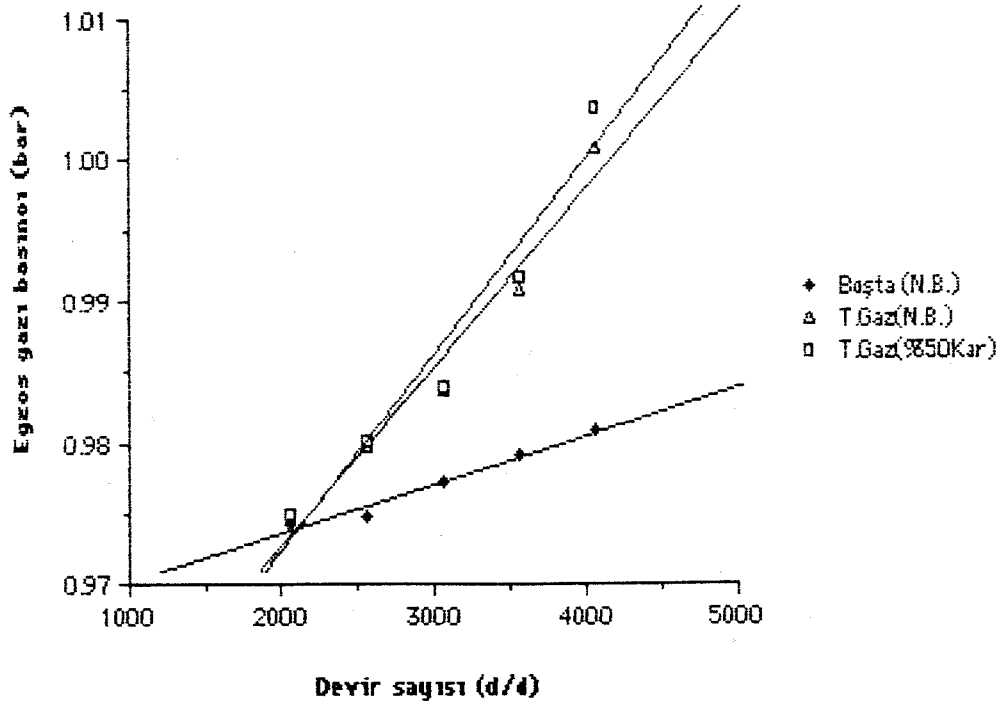
Şekil 4.15. Döndürme momenti ile devir arasındaki ilişki.



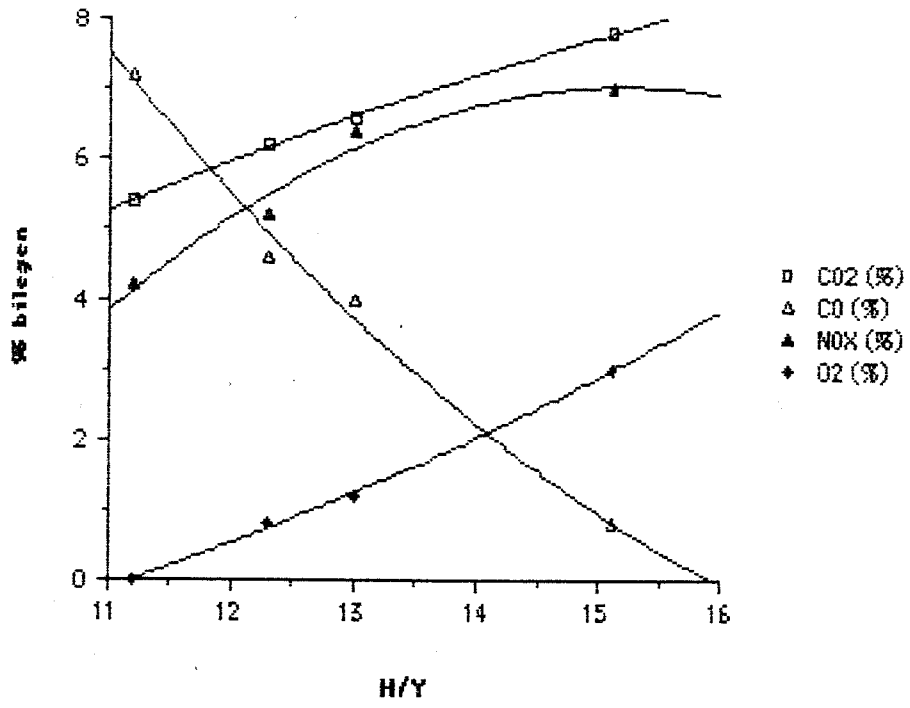
Şekil 4.16 . Efektif gücün devir ile değişimi.



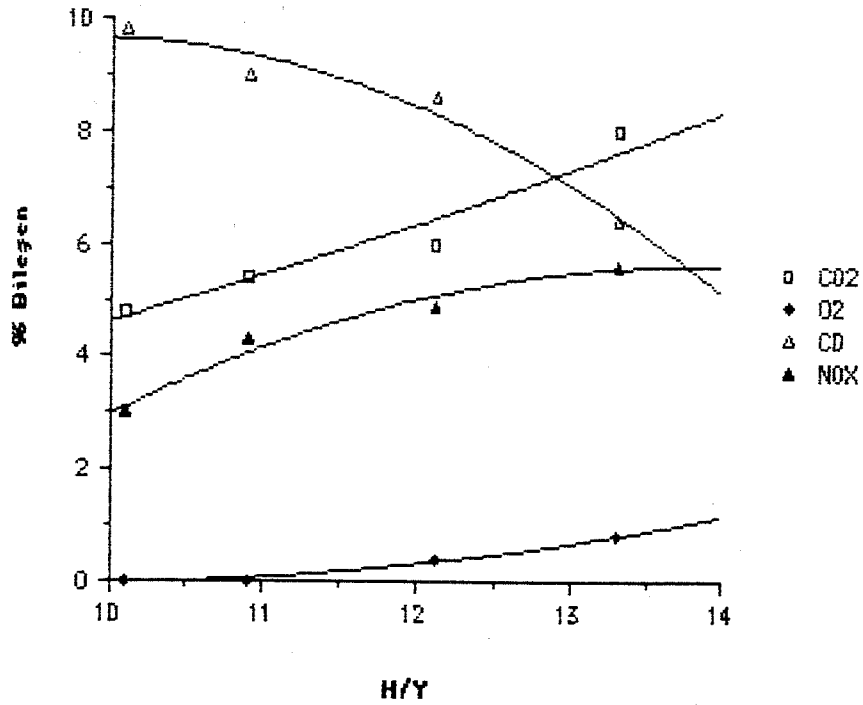
Şekil 4.17 . Özgöl yakıt sarfiyatının devir ile değişimi.



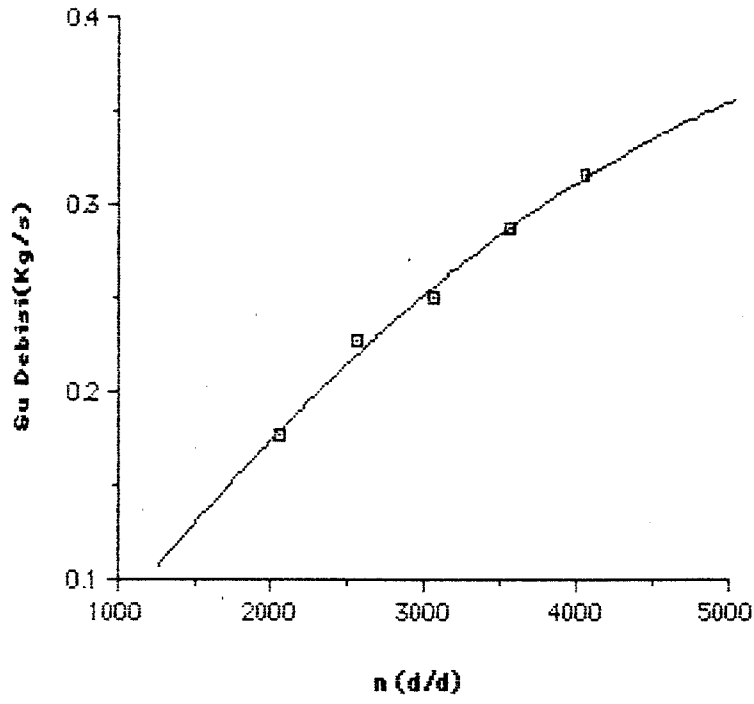
Şekil 4.18 . Egzos çıkış basıncının devir ile değişimi.



Şekil 4.19 . Egzos gazı bileşenlerinin H/Y oranı ile değişimi.
(Kelebek tam açık konumda.)



Şekil 4.20. Egzos gazı bileşenlerinin H/Y oranı ile değişimi (3/4 konumu)



Şekil 4.21. Soğutma suyu debisinin devirle değişimi.

BÖLÜM 5

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı devirlerde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar şöyle sıralanabilir :

1) H/Y oranı 3000 d/d ' ya kadar artmakta, 3000 d/d ' dan sonra düşmektedir (Şekil 4.7). Benzinli motorlar, düşük devirlerde zengin karışımda çalışır, devir arttıkça karışım stokiyometrik orana yaklaşır. Ancak bu orandan sonra güç artışı sağlamak için karışım yeniden zenginleşir. Devir sayısı daha da artırılırsa, bir maksimumdan geçtikten sonra güç düşmeye başlar. Çünkü bu durumda kayıplarda artar. Deneylerimizde karbüratörün çalışma aralığı dahilinde H/Y oranı belirtilen şekilde değişmiş, yalnız maksimum H/Y oranı stokiyometrik oranda elde edilememiştir.

2) CO₂ yüzdesi 3000 d/d' da en fazla olmuştur. Çünkü bu durumda H/Y oranıda en fazladır. Tam yanmanın olabilmesi için yeterli oksijenin olması gerektiği önceki izahlarımızda belirtilmişti. Karbonla reaksiyona giren oksijen miktarı 3000 d/d ' da en fazla olduğu için CO₂ ' de bu devirde en fazla olmuş, bunun altında ve üstündeki devirlerde azalmıştır (Şekil 4.8)

3) CO yüzdesi 3000 d/d' ya kadar azalmış, sonra tekrar artmıştır. Çünkü H/Y oranı 3000 d/d ' da en fazla olmakta diğer devirlerde düşmektedir. (Şekil 4.9)

4) NO_x 'ler, 3000 d/d 'da , oksijen fazlalığından dolayı en yüksek değerdedir (Şekil 4.10).

5) Oksijen yüzdesi, 3000 d/d 'da en fazla olup altında ve üstündeki devirlerde düşmektedir. (Şekil 4.11). Genel olarak zengin karışımda oksijen görülmemesine rağmen, elde edilen %1 ' lik oksijen

miktarının, orsat cihazı boru bağlantılarında kalması mümkün olan havadan ileri geldiği düşünülebilir.

6) Motorun boşta çalışması durumunda CO_2 miktarı, H/Y oranının büyük olması dolayısıyla yükte çalışmaya nazaran daha fazladır. Aynı nedenden dolayı %50 normal benzin + % 50 süper benzin karışımı kullanılması durumunda da CO_2 miktarında küçük bir artış olmuştur (Şekil 4.8)

7) Boşta çalışma halinde, yüklü çalışmaya göre daha az CO oluşmuştur. %50 'lik karışımda da normal benzin kullanımına göre daha az CO oluşmuştur (Şekil 4.9)

8) %50 'lik normal benzin+süper benzin karışımı kullanımında normal benzine göre daha fazla NO_x oluşmuştur (Şekil 4.10). H/Y oranlarına bakacak olursak bunun normal olduğu görülür. Ancak, normal benzinle boşta çalışma halinde , yaklaşık olarak yükte çalışma durumundaki kadar NO_x miktarı elde edilmiştir. Halbuki, boşta çalışmada H/Y oranları daha fazladır. Yükte çalışmada yanma sıcaklıklarının daha yüksek olması bunu neden gösterilebilir.

9) Boşta çalışmada yüklü çalışmaya göre ve % 50 karışım ile yüklü çalışmada, normal benzinle yüklü çalışmaya göre daha fazla O_2 elde edilmiştir (Şekil 4.11). Bunun nedeni, söz konusu çalışma şartlarında hava-yakıt oranındaki artışlardır.

10) Egzos gazı sıcaklığının devir ile arttığı görülmüştür. Yükte çalışma durumunda, boşta çalışmaya göre ; %50' lik karışım kullanılmasında da normal benzine göre daha yüksek egzos gazı sıcaklıkları elde edilmiştir (Şekil 4.12-4.13). Egzos gazı sıcaklığı, manifold çıkışında ve egzos borusu çıkışında ölçülmüştür. Manifold çıkışında cidar sıcaklığı da ölçülmüştür (Şekil 4.14).

11) % 50 normal benzin +% 50 süper benzin karışımı kullanılması durumunda Şekil 4.15 ,16 ve 17 ' de görüldüğü gibi döndürme momenti ve efektif güçte küçük de olsa bir artış , özgül yakıt sarfiyatında ise azalma olmuştur.

12) Yapılan deneylerden motor devrine bağlı olarak egzoz gazı basıncını arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.18). (2) no ' lu kaynakta egzoz basıncının 1,05 - 1,1 bar arasında olabileceği belirtilmiştir. Deneyler sırasında basınçtaki değişim miktarı, referans alınan 0,97 bar çevre basıncına ilave olarak, 35 mmss-303 mmss arasında ölçülmüştür. Tespit edilen egzoz gazı basıncının düşük kaldığı görülmüştür. Elde edilen değerler, egzoz gazı basıncının devir ile değişimi açısından bir fikir vermekle beraber, kesin değeri yansıtmadığı düşünülebilir.

Sabit devirde yapılan deneylerden şu sonuçlar elde edilmiştir:

Tam gazda yapılan deneylerde olduğu gibi güç yükleme yapıldıkça artmaktadır. Çünkü gaz keleşeği ile devir artırılırken, artan güç, yükleme yapılarak alınır. Güç artışı devam ederken özgül yakıt sarfiyatı da düşer. Egzoz sıcaklığı ve basıncıda gaz verildikçe ve yükleme yapıldıkça artmaktadır. Yaptığımız deneylerde elde edilen H/Y oranı ile egzoz gazı bileşiminin değişimi Şekil 4.19 ve 4.20'de görülmektedir. Egzoz gazı bileşenlerinin değişimi literatürde verilen karaktere uygundur. H/Y oranları 3/4 keleşek konumunda tam açık keleşek konumuna göre daha düşüktür. Aynı H/Y oranlarına tekabül eden bileşen yüzdelerindeki küçük farklılıkların karışımın fiziksel özelliklerinden ve okuma hatalarından ileri geldiği düşünülmektedir.

Yapılan deneylerde, HC emisyonları orsat cihazı ile tesbit edilememiştir. Hidrojen ve metan görülmemiştir. Egzoz gazı içerisinde bulunabilecek kurşun miktarını tespit etmek için atomik absorpsiyon

cihazı kullanılmış, fakat kurşun miktarı okunamamıştır. Bunda H_2O_2 çözeltisi içerisindeki çökelmelerin etkili olduğu düşünülmektedir. Benzin, patlama tehlikesinden dolayı cihazda analiz edilememiş, TÜPRAŞ' dan bir litre benzinde bulunabilecek kurşun miktarları alınmıştır. Buna göre ; normal benzinde 0,15 gr/lt , süper benzinde 0,40 gr/lt kurşun bulunabilir. Bu kurşun egzoz gazları ile atılacaktır.

Deneylerde soğutma suyu debisi ile giriş ve çıkış sıcaklıkları da ölçülmüştür. Sirkülasyon pompası, hareketini krank milinden aldığı için soğutma suyu debisi , devir arttıkça artmaktadır(Şekil 4.21). Soğutma suyu sıcaklığının cidar sıcaklığını ve egzoz bileşenlerini değiştireceği düşünülmektedir.

% 50 normal benzin + % 50 süper benzin kullanılması halinde güç artışı olmuştur. Güçteki bu artışın yanında motor yataklarına gelen gaz kuvvetlerinin de artacağı düşünülmektedir. Egzoz gazı içerisindeki kurşun miktarının da fazla olma ihtimali vardır.

Sonuç olarak ; günümüzde kullanılan enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan ve yanma ile sağlanmaktadır. Yanmanın tam olması bir çok faktöre bağlı olmakla birlikte daha çok hava miktarı ile ilgili olduğundan ; tam yanma için gerekli hava miktarı ele alınmış ,teorik olarak H/Y oranının motor gücü , termik verimi , özgül yakıt sarfiyatı ve ortalama efektif basınca olan etkileri araştırılmıştır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirliliğin, önemli bir kısmı egzoz gazları ile olduğundan ,teorik olarak ; egzoz gazı bileşenlerinin oluşumları ve egzoz gazlarının bileşimine H/Y oranının ve devrin tesiri , çeşitli faktörler de dikkate alınarak araştırılmıştır. Son günlerde gündemde olan alternatif yakıtların (hidrojen ve doğal gaz) ve egzoz katalizörlerinin egzoz bileşimine etkisine kısaca izah edilmiştir.

Hazırlanan deney seti yardımıyla, motor devrine ve H/Y oranına bağlı olarak egzoz gazı bileşiminin, basıncının ve sıcaklığının değişiminin yanında bazı motor karakteristikleri de tespit edilmiştir. Ölçmelerin itinalı bir şekilde yapılmasına çalışılmış ancak, imkanların kısıtlı olması nedeniyle örneğin; egzoz gazı içindeki yanmamış hırdokarbonları tespit etme imkanı elde edilememiştir. Azot oksitleri tespit edebilmek için kullanılan formül, normal şartlar altında çalışma durumuna göre yazılmıştır. Deney şartlarındaki küçük değişimler dikkate alınmamıştır.

Öneriler:

Egzoz gazlarını analiz etmek için modern cihazların kullanılması çok kısa zamanda ve çok sayıda analiz yapma imkanı verecektir. Bu cihazların kullanılması ile HC emisyonları da tespit edilebilecektir. Egzoz gazlarını etkileyen tüm parametreleri tespit etmek için, gerekli deney şartlarını ve ölçme aletlerini temin etmek ve bu parametreleri incelemek , ileride yapılacak çalışmalar açısından faydalı olacaktır.

Egzoz katalizörlerinin kullanılması, kurşunsuz benzin kullanılması ve araç test istasyonlarının kurulması gibi bazı teknik önlemlerin alınması zaruri görünmektedir. Çünkü, sadece H/Y oranını değiştirmekle egzoz gazlarının etkisi yok edilemediği gibi , maksimum gücün sağlanması için uygulanan çalışma şartları (örneğin benzinli motorlarda zengin karışımda çalışılması) egzoz kirliliği problemini meydana getirmektedir. Hiç birşey yapılamıyorsa bile, araç sahiplerinin hava filtrelerinin tıkalı olmamasına, yakıt sistemlerinin ve ateşleme sistemlerinin bakımlı olmasına dikkat etmeleri gerekmektedir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. BORAT, O., Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği, Segem, Yayın No. 107, 1983.
2. SAĞGÖNÜL ,Behçet., Pistonlu Motorlar, İ.T.Ü., 1981.
3. MALEEV, V. L., Internal Combustion Engines, Mc Graw Hill Book Company.
4. JUDGE, A., High Speed Diesel Engines, D. Van Nostrand Company Inc., New York.
5. DEMİRSOY, M., Egzos Gazları Problemi, Mühendis ve Makina, Sayı 187, Eylül 1972.
6. AKÇAKOYUNLU, O., İçten Yanmalı Motorlar, İ.T.Ü.
7. ALLSUP, J.R., and ECCLESTON, D.B., Ethanol/ Gasoline Blends As Automotive Fuel, Department of Energy U.S.A.
8. STONE, R. Introduction to Internal Combustion Engines , Mac Millan Publishers Ltd., 1985.
9. MYERS, P.S., UYEHARA, O.A., and NEWHALL, H.K., The ABCs of Engine Exhaust Emission, SAE Transaction, 720197, 1971.
10. EYZAT, P., and GUİBET, J.C., A New Look at Nitrogen Oxides Formation in Internal Combustion Engines, SAE Transaction, 680124.
11. SAPRE, A.R., and QUARTER, A.A., Conversion of Fuel Nitrogen to NO in Automotive Engines, SEA Transaction , 831675.
12. NIKİ , H., WARNİK, A., and LORD, R., An Ozone-NO Chemiluminescence Method for NO Analysis in Piston and Turbine Engines, SAE 710072, 1971.
13. DANİEL, W.A., Why Engine Variables Effect Exhaust Hydrocarbon Emission , SAE transaction , 700108 , 1970.
14. WARK, K., and Warner ,C.F., Air Pollution Its Origin and Control, Harper-Row , Publishers, 1981.

15. TÜPRAŞ , Ürün Özellikleri, 1988.
16. PATTERSON, D. J., and HANEİN N. A., Emissions from Combustion Engines and Their Control, Ann Arbor Science Publishers inc.
17. TORPEY, P. M., WHITEHEAD, M. J., and WRIGHT, M. J., Experiments in the Control of Diesel Emissions, Proc. Inst. Mech. Engrs., Air Pollution Control in Transport Engines, C124/71,1971.
18. WILLARD, H. H., MERRIT, L. L., and DEAN, J. A., Instrumental Methods of Analysis, Newyork, 1968.
19. STARKMAN,E.S., Combustion-Generated Air Pollution, Plenum Press, 1971.
20. LASSEN, H. G., Gas Chromotography and Photochemical Reaktivty Factors Applied to Automobile Hydcarbon Emissions, Ford Motor Company Product Research Office, Paper 67.20.
21. BULUT, A., Karayolları Vakfı Bülteni, Eylül, 1989.
22. MATHUR, H., and KHAJURIA, P. R., Performance and Emission Characteristics of Hydrogen Fueled Spark Ignition Engine, Int., J., Hydrogen Energy, 1984.
23. ERKAN, E., Hava Kirliliğinde Ulaşımın Rolü ve Önlemler, Çevre Sempozyumu, 1985.
24. VIALLE Autogas Systems, Vialle B.V.PO.BOX.150,Netherlands.
25. Motor Laboratuarı Deney Notları, İTÜ.
26. ÖZ, İ. H., Kuvvet Makinalarında Ölçü Tekniği, İTÜ, 1982.
27. CAN, A., Drifis ile Debi Ölçümü, Mühendis ve Makina , Sayı 328, 1987.
28. MILLER, R.W., Flow Measurement Engineering Handbook, Mc Graw-Hill Book Company.
29. CİVAOĞLU, İ., Yanma Kimyası, İstanbul, 1963.

EKLER

BİLEŞEN	HACİMSEL %	ppmv = cm^3/m^3 (*)
N_2	78.084 + 0.004	780900
O_2	20.946 + 0.002	209400
Ar	0.934 + 0.001	9300
CO_2	0.033 + 0.001	315
Ne	0.0018	18
He	0.00052	5.2
CH_4	0.00012	1.2
Kr	0.00005	0.5
H_2	0.00005	0.5
X	0.000008	0.08
NO_2	0.000002	0.02
O_3	0.000001- 0.000004	0.01-0.04

Ek .1_ Kuru atmosferik havanın kimyasal terkibi.

(*) _ ppm (parts per million = milyonda kısım) : Bu birim hacimsel hal için v veya indissiz, kütleli hal için ise m indisi ile gösterilir. Hacimsel halde 1 m^3 havadaki cm^3 bileşen miktarını göstermektedir. Mol ağırlığı $M_i(\text{kg}/\text{kmol})$ olan bir bileşenin m^3 havadaki mikrogram miktarı için;

$$di (\text{Mg}/\text{m}^3) = Ci (\text{ppm})_v \cdot M_i (\text{kg}/\text{kmol}) \cdot 10^3 / V (\text{m}^3/\text{kmol})$$

kullanılabilir. Normal şartlarda (0°C , 760 mmHg) 1kmol gazın hacmi $V_0 = 22,4 (\text{m}^3/\text{kmol})$ dır. Farklı basınç ve sıcaklıktaki V hacmi ; $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ hal denkleminde bulunabilir.

SICAKLIK	HAVA YOĞUNLUĞU		DOYMUŞ HAYADAKİ SU BUHARI	
T (C)	Kuru	Doymuş	(gsu/kg)	(gsu/m ³)
- 10	1,342	1,341	1,60	2,3
0	1,293	1,290	3,78	4,9
10	1,248	1,242	7,36	9,4
20	1,205	1,195	14,7	17,2
30	1,165	1,146	27,2	30,1
40	1,128	1,097	48,8	50,8
50	1,093	1,043	86,2	82,3
60	1,060	0,981	152	129,3
70	1,029	0,909	276	196,6
80	1,000	0,823	545	290,7
90	0,973	0,718	1400	418,8
100	0,947	0,589	—	589,5

Ek 2 — Hava ve su buharı miktarları.

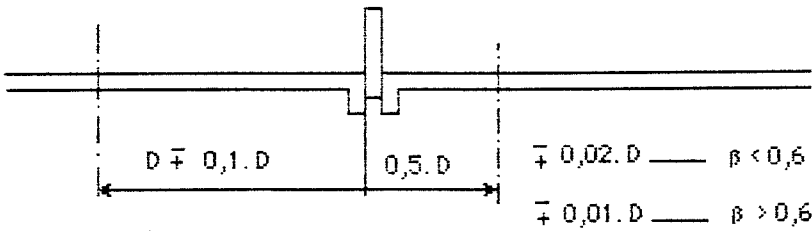
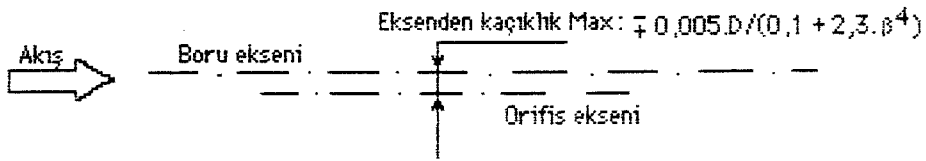
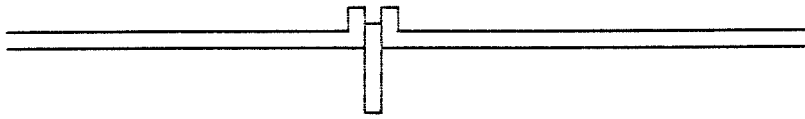
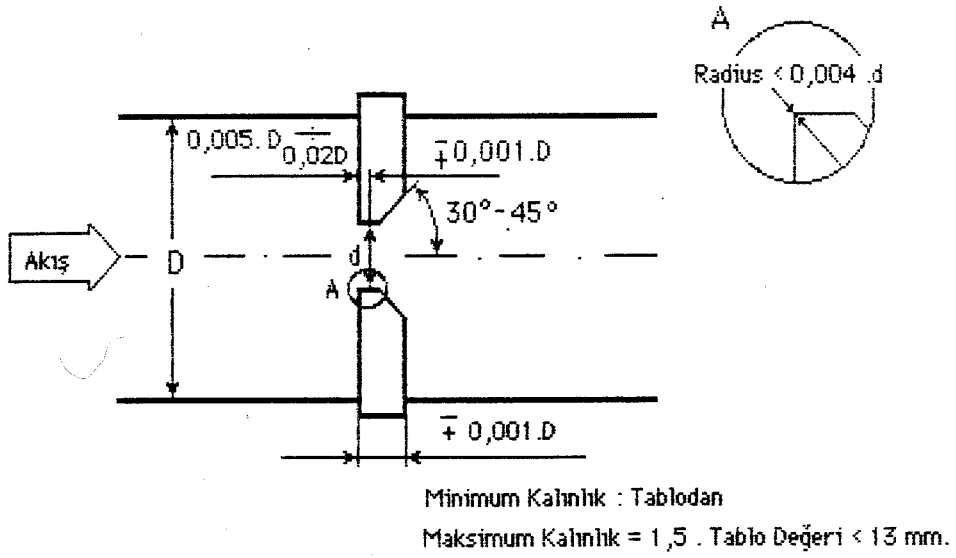
SIVI MOTOR YAKITLARI	Yoğunluk (15°C'de) (Kg/dm ³)	Alt ısıt değer	Miktar		Oktan sayısı	Cetan sayısı	Buhar - laşma ısısı	Hava-Yakıt karışımı λ = 1		
			C	H ₂				Kg hava Kg yakıt	Hava sarfiyatı	Alt ısıt değeri
Pentan (C ₅ H ₁₂)	0,63	12,61 (10850)	83	17	62	30	0,09 (84)	15,4	0,77 (663)	
Hexan (C ₆ H ₁₄)	0,66	12,40 (10670)	84	16	25	45	0,09 (79)	15,2	0,76 (659)	
Saf Benzol (C ₆ H ₆)	0,88	11,16 (9600)	92	8	100	10	0,11 (95)	13,3	0,78 (675)	
Benzin	0,73	12,09 (10400)	85,5	14,5	93	20	0,09 (80)	14,9	0,75 (650)	
Süper Benzin	0,77	11,74 (10100)	86,5	13,5	99	20	0,09 (80)	14,7	0,75 (650)	
Diesel Yakıtı	0,83	11,86 (10200)	86	13	30	45	0,32 (280)	14,7	0,75 (650)	
Etanol (C ₂ H ₅ OH)	0,79	7,44 (6400)	52	13	100	10	0,25 (220)	9,0	0,75 (650)	
Metanol (CH ₃ OH)	0,79	5,46 (4700)	38	12	100	10	0,33 (284)	6,4	0,74 (636)	

EK 3 – Sıvı motor yakıtlarının özellikleri.

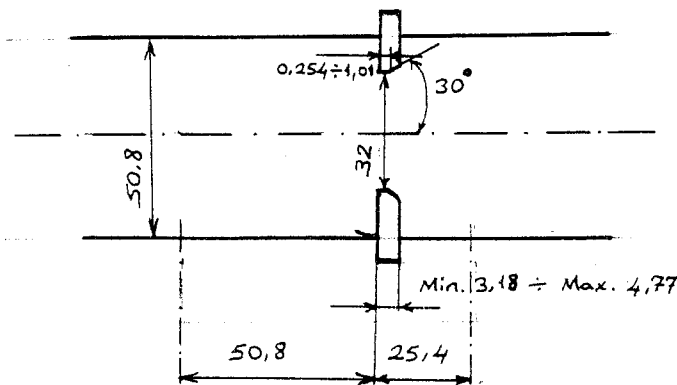
Ek 4 - Orsat Cihazı

Orsat cihazı, bir zarf içerisinde yerleştirilmiş ve 0 - 100 ml. taksimatlı olan gaz büreti ve buna cam muslukla bağlı bir seri absorpsiyon pipetinden meydana gelmiştir. Bürete alttan bağlı olan bir seviye şişesi vardır ve tuzlu su ile doludur. Bu şişenin aşağı yukarı hareketi ile gaz numunesi pipetlere aktarılıp, tekrar geri alınabilir. Gazın sıcaklığı zarf ile sabit tutulur. Absorban pipetlerin içleri kapiler borularla doldurularak temas yüzeyleri büyütülmüştür. Bunlara analizi yapılacak gazı en iyi absorplayacak çözelti konur. Absorban pipetler ve büret musluklu bir cam boru ile birbirlerine bağlanmıştır. Analize başlanmadan önce pipetlerin muslukları kapatılır. Üç yollu musluk çevreye açık tutulup, seviye kabı kaldırılarak bûretin üstündeki çizgiye kadar doldurulur. Bu durumda üç yollu musluk kapatılır. Pipetin musluğu açıldıktan sonra seviye şişesi aşağı indirilerek, pipet içerisine absorpsiyon çözeltisi çekilir. Pipetin musluğu kapatılarak diğerleri içinde aynı işlem tekrarlanır. Bağlantı boruları içerisindeki hava atıldıktan sonra cihaz, analize hazır hale gelir. Büretin üst çizgisine kadar dolu olan suyun seviye şişesi aşağı indirilerek şişeye dolması sağlanır. Bu arada üç yollu musluk gaz toplama kabındaki gazın bürete geçmesini sağlayacak pozisyonda tutulduğu takdirde suyun yerine gaz dolacaktır. 100 ml. gaz alındıktan sonra musluk kapatılarak gaz hapsedilir. Absorpsiyon pipetlerinden birinin musluğu açılarak, seviye şişesinde yukarı kaldırılmak suretiyle, gazın pipete geçmesi sağlanır. Şişe, birkaç kez aşağı yukarı kaldırılarak absorplanabilecek gazın , tamamen absorplanması sağlanır. Gaz, bürete geri alındıktan sonra, pipetin musluğu kapatılır ve seviye şişesindeki su ile bûretteki su seviyesi aynı hizaya getirilerek hacim azalması okunur. Değişmenin olmadığından emin olduktan sonra diğer pipetlerde aynı işlem tekrarlanır ve hacim azalmaları kaydedilir. Geriye kalan gaz ,

absorplanmayan gazdır. Buraya kadar ki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere gazın bir kaptan cihaza gönderilmesi gerekmektedir. Bunun içinde gazın bir kapta toplanması sağlanmalıdır. Fotoğrafta görüldüğü gibi egzoz gazı numunesi, egzoz borusuna bağlı bir borudan vananın açılması ile alınmaktadır. Alınan gaz birbirlerine musluklu bir boru ile bağlanan iki kaptan birine dolarken, diğeri daha aşağı seviyede tutulur. Böylece aradaki musluk açıkken su, aşağıdaki kaba dolarken gaz da diğer kapta toplanır. Kabin girişinde üç yollu bir musluk kullanıldığı için gazın alınması, kapta hapsedilmesi ve orsat cihazına gönderilmesi sağlanabilir.



(Tablo değerleri 28 nolu kaynaktan alınmıştır.)



Ek 5 – Deneylerde kullanılan orifis ölçüleri

