

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BENZİNLİ MOTORUN HAVA GİRİŞİNE
YERLEŞTİRİLEN TÜRBÜLATÖRÜN YANMA VE
EMİSYON ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

Yavuz DEMİR

Tez Yöneticisi
Yrd. Doç. Dr. Cengiz ÖNER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2008

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BENZİNLİ MOTORUN HAVA GİRİŞİNE
YERLEŞTİRİLEN TÜRBÜLATÖRÜN YANMA VE
EMİSYON ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

Yavuz DEMİR

Yüksek Lisans Tezi
Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu Tez, tarihin de aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman:

Üye:

Üye:

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BENZİNLİ MOTORUN HAVA GİRİŞİNE YERLEŞTİRİLEN TÜRBÜLATÖRÜN YANMA VE EMİSYON ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Yavuz DEMİR

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı

2008, Sayfa :55+XI

Günümüz otomotiv sektöründe motor teknolojisi üzerindeki gelişmeler sadece motor hızını,gücünü ve performansını artırmak amacıyla yapılan çalışmalarla sınırlıdır. Bu tip yenilikler beraberinde bir çok sorunu da ortaya çıkarmaktadır. Motorlu taşıtların hepsi fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için gerekli olan enerjiyi büyük ölçüde petrolden almaktadır. Dünyada ki petrol rezervlerinin sınırlı olması ve günümüz motorların petrole bağımlı olarak çalışmasından dolayı motor teknolojisinde yakıt ekonomisi çok önem kazanmaktadır. Bu yüzden bütün motor üretici firmalar motordan en yüksek verimi alabilmek için araştırmaya ve gelişmeye büyük yatırımlar yapmaktadırlar.

Bu çalışmada hava girişine türbülator yerleştirilmiş benzinli motorun yanma ve performans üzerindeki etkisi deneyler yapılarak incelenmiştir. Yapılan deneylerde benzinli motor farklı yüklerde türbülatorlü ve türbülatorsüz çalıştırılarak özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının ölçümü yapılmıştır.

Sonuç olarak hava girişine eklenen türbülatorün düşük devirlerde yanmayı olumlu olarak etkileyerek emisyon değerlerini ve yakıt sarfiyatını düşürdüğü ancak yüksek devirlerde Yanmayı yüksek yük altında, ateşlemeyi geciktirmeden hızlandırmanın silindir içi basıncının çok daha yüksek olmasına yol açacağı yanmayı çok erken gerçekleştirdiği, Bunun sonucu olarak da vuruntu oluşturduğu görülmüştür.Ateşleme sistemi daha hızlı bir yanma için ayarlanmalıdır aksi halde bu sistemlerin yakıt ekonomisi üzerine etkileri kötüleştirici olabilir.

Ateşleme geciktirilmediği taktirde tam yükteki türbülans artışı motora zarar verebilir.

Anahatar Kelimeler: Benzinli Motor, Yanma,Emisyon, Türbülans

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

EXPERIMENTAL RESEARCH OF TURBULATOR THAT STATED AND ON AIR INLET OF PETROL DRIVEN ENGINE ON IGNITION EMISSION EFFECT

Yavuz DEMİR

University of Firat

The Institute Of Natural Sciences

Engine Training Main Scientific Branch

2008, Page :55+XI

Within the automotive sector today, engine technology developments are solely limited studies on increasing the engine speed, strength and performance. This kind of innovations reveals multiple problems. All motorized vehicles receive the energy mostly from petrol for functioning. Hitherto fuel economy of engine technology has gained importance due to being dependant to limited petrol reserves of the world. For this reason all engine manufacturing firms are making high investments on research and development to peak efficiency of engines. In this study, measuring performance and burning effects of petrol-driven engines that have tabulator in their air entrance have been investigated by experiments. With applied experiments specific fuel consumption and exhaust emissions are being measured by running the engines on different loads with and without a turbulator.

As a result, burning at low circulations, engines that have turbulator in their air entrance have positive effects to decrease the fuel consumption whereas on high circulations due to cylinder inner pressure incensement burning process begins too early in order not to delay firing to burn under high load and as a consequence generation of knocking is detected.

Firing system has to be adjusted to a faster burning process otherwise these systems may have negative effects on the fuel economical output.

As long as the firing is not delayed increasing turbulence at complete load may harm the engine.

Key Words: Petrol-driven engine, Burning, Emission, Turbulenc

İÇİNDEKİLER

ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
TEŞEKKÜR.....	VII
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	VIII
ÇİZELGELERİN (TABLOLARIN) LİSTESİ	IX
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	X
KISALTMALAR	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA YANMA OLAYI.....	4
2.1.Benzinli Motorlarda Yanma.....	4
2.2.Normal Yanma	4
2.2.1.Normal Yanmayı Etkileyen Etkenler.....	5
2.2.1.1.Devir sayısı, n	5
2.2.1.2.Hava fazlalık katsayısı, λ	6
2.2.1.3.Emme basıncı, P_e	6
2.2.1.4.Artık gazların miktarı, m_r	6
2.2.1.5.Sıkıştırma oranı, ε	6
2.2.1.6.Yanma odası şekli	7
3.TÜRBÜLANSLI YANMA VE GİRDAP OLUŞUMU	8
3.1.Türbülanslı yapı.....	10
3.2. Türbülanslı Yanmanın önemi ve Yanma Hızına Etki Eden Faktörler.....	12
3.2.1 Yanma İşleminde Girdap Etkisi.....	12
3.2.2 Motor Performansına Girdap Etkisi.....	13
3.2.3 Egzoz Emisyonlarına Girdap Etkisi.....	13
3.2.4.Supap Açıklığının Hız Profillerine Etkisi	13
3.2.5. Silindir Geometrisinin Hız Profillerine Etkisi	15
3.3. Girdap Oluşumu	15
3.3.1. Akış Alanında Girdap İletimi	15
3.3.2. Basitçe Girdap Üretim Şekilleri.....	15
3.3.3 Emme Supap Geometrisi.....	17
3.4 Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği ve Etkileri.....	18

3.4.1 Buji Ateşlemeli motorların egzoz gazları içindeki yanmamış hidrokarbon oranları	18
3.5 Yanmamış Hidrokarbon Oluşum Mekanizmaları	19
3.5.1 Yanmamış Hidrokarbonların Oluşumunu Etkileyen Faktörler	19
3.5.2 Silindir İçindeki Oyuk Hacimlerin Etkisi.....	20
3.5.3. Alevin Silindir Duvarında Sönmesi	21
3.5.4. Yanma Kalitesinin iyi Olmaması Durumu	22
3.5.5. Motor Yağının Absorbe Edilmesi ve Ortama Geri Salınması.....	22
3.5.6. Katalitik Konvertörler	23
3.6. Emisyon Oluşumu Kontrol Teknikleri	24
3.6.1 Emisyonların Yıllara Göre Değişimi	27
3.6.2 Emisyon kontrol yöntemleri	28
4. LİTARATÜR ARAŞTIRMASI	29
5. MATERYAL VE METOT	36
5.1 Deney Düzeneği ve Teknik Özellikler.....	36
5.1.1 Deney motorunun teknik özellikleri	36
5.1.2 Egzoz gazı ölçümü cihazı.....	37
5.1.3 Türbülator	38
5.1.4 Paralel Lamba düzeneği	39
5.1.5 Deneyde kullanılan yakıtlara ait özellikler.....	40
5.2. Metod	40
5.3 Özgül yakıt tüketimi	42
6. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME.....	44
6.1 Yakıt Tüketimi	44
6.2 Emisyon Değerleri	46
6.3 CO Emisyonları	48
6.4 CO ₂ Emisyonları.....	49
6.5 HC Emisyonları	50
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	51

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında bana bilgi ve tecrübesiyle destek veren ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç.Dr. Cengiz ÖNER 'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu tez çalışmamda deneylerin yapılmasında beni yalnız bırakmayan Bafra Anadolu Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi Motorlu Araçlar Teknolojisi Alanı öğretmeni Birol ER'e ve diğer Bölüm öğretmenleri arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin hazırlanmasında beni maddi ve manevi olarak destekleyen eşime teşekkürlerimi sunarım.

Yavuz DEMİR

Şubat,2008

Elazığ

ŞEKİLLERİN LİSTESİ	Sayfa
Sekil 3.1. Türbülanslı yanma hızı ile devir sayısındaki değişim	9
Sekil 3.2 Türbülanslı yanma sıkıştırma oranı arasındaki değişim	9
Sekil 3.3Türbülanslı yanma hızı ile volümetrik verim arasındaki değişim	9
Sekil 3.4 Türbülanslı yanma hızı ile eşitlik oranı arasındaki değişim	10
Şekil 3.1.1 Zayıf türbülanslı hareketin etkisi altında, alev cephesinin tahmini yapısı	10
Şekil 3.1.2 Kuvvetli türbülanslı hareketin etkisi altında, alev cephesinin tahmini yapısı	10
Şekil 3.1.3 Benzin ve alkolün laminar yanma hızları	11
Şekil 3.1.4 Laminer yanma hızının karışım sıcaklığı ile değişimi	11
Şekil 3.2.4 Emme sistemini oluşturan emme manifoldu , port/supap sistemi	
bileşenlerinin volimetrik verime etkisi	14
Şekil 3.2.5. Emme supabından geçen akış biçimleri	14
Şekil 3.3.2.1 Girdap üretimi için değişik giriş portları	16
Şekil 3.3.2.2 Benzinli ve dizel motorlarda kullanılan çeşitli supap tipleri	17
Şekil 3.3.3 Emme supap geometrisini belirleyen parametreler	17
Şekil 3.5.2 Piston ve segmanların şematik görüntüsü	21
Şekil 3.5.6 Bir katalitik konvertörün şematik gösterimi	24
Şekil 3.6.1 Emisyonların Yıllara Göre Değişimi	28
Şekil 4.1 Emme supabının simetrik olmayan durumları için akış yapıları	33
Şekil 5.1.1 Genpower Jeneratör	36
Şekil 5.1.2 OByDic 5000 Egzoz gaz analiz cihazı	37
Şekil 5.1.3 Sabit kanatçıklı türbülator	39
Şekil 5.1.4 Paralel Lamba düzeneği	40
Şekil 5.2.3 Türbülatorsüz(Motor yüksüz çalışırken emisyon değerleri)	41
Şekil 5.2.4 Türbülatorlü(Motor yüksüz çalışırken emisyon değerleri)	41
Şekil 5.2.5 Türbülatorsüz(Motor 3000 Watt yükte çalışırken emisyon değerleri)	42
Şekil 5.2.6 Türbülatorlü(Motor 3000 Watt yükte çalışırken emisyon değerleri)	42
Şekil 6.1 Motorun Türbülatorsüz ve Türbülatorlü Yakıt Tüketimi	45
Şekil 6.2.1 Yüksüz tam devirde çalışan motorun türbülatorlü ve türbülatorsüz	
ölçülen emisyon değerleri %(CO, CO2, O2)	46
Şekil 6.2.2 3000 Wattlık yükte yüklenen motorun türbülatorlü ve türbülatorsüz	
ölçülen emisyon değerleri %(CO, CO2, O2)	46
Şekil 6.2.3 Yüksüz tam devirde çalışan motorun türbülatorlü ve türbülatorsüz	
ölçülen emisyon değerleri HC(ppm)	47
Şekil 6.2.4 3000 Wattlık yükte yüklenen motorun türbülatorlü ve türbülatorsüz	
ölçülen emisyon değerleri HC(ppm)	47

ÇİZELGELERİN (TABLOLARIN) LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.4.1 Buji ateşlemeli motorların egzoz emisyonundaki yanmamış hidrokarbon oranlarının katalitik dönüştürücülere bağlı değişimi	19
Çizelge 3.5.2 Bir V-6 motoru için yanma odası içindeki oyuk hacimlerinin büyüklükleri	20
Çizelge 5.1.1 Deney motorunun teknik özellikleri	37
Çizelge 5.2.1 Türbülatorsüz motorun yakıt sarfıyatı	40
Çizelge 5.2.2 Türbülatorlü motorun yakıt sarfıyatı	41

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
B_e	Yakıt tüketim miktarı (kg/h)
b_e	Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
H_u	Alt ısı değeri (kJ/kg)
n	Motor devri (min^{-1})
P	Basınç (kPa)
T	Sıcaklık (C, K)
t	Zaman (s)
λ	Hava fazlalık katsayısı
m_x	Artık gazların miktarı

KISALTMALAR**NO_x****CO****HC****ÜÖN****KMA****HFK****C_xH_y****TSE****CO₂****H₂O****EGR****TWC****LDA****AB****ATM****CNG****LNG****LPG****ÖYT****AÇIKLAMA**

Azot Oksit

Karbon Monoksit

Hidro Karbon

Üst Ölü Nokta

Krank Mili Açısı

Hava Fazlalık Katsayısı

Yanmamış hidro karbon

Türk Standartları Enstitüsü

Karbondioksit

Su

Egzoz Gazı Resirkülasyonu

Üç Yollu Katalitik Konvertörler

LASER Doppler Ane Mometry

Avrupa Birliği

Atmosferik Basınç (kP)

Sıkıştırılmış Doğal Gaz

Sıvılaştırılmış Doğal Gaz

Sıvılaştırılmış Petrol Gazı

Özgül Yakıt Tüketimi

1. GİRİŞ

Günümüz otomotiv sektöründe motor teknolojisi üzerindeki gelişmeler sadece motor hızını, gücünü ve performansını artırmak amacıyla yapılan çalışmalarla sınırlıdır[1]. Bu tip çalışmalar beraberinde birçok sorunu da ortaya çıkarmaktadır. Motorlu taşıtların hepsi fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için gerekli olan enerjiyi büyük ölçüde petrolden almaktadır. Dünyada ki petrol rezervlerinin sınırlı olması ve günümüz motorların petrole bağımlı olarak çalışmasından dolayı motor teknolojisinde yakıt ekonomisi çok önem kazanmaktadır. Bu yüzden bütün motor üretici firmalar motordan en yüksek verimi alabilmek için araştırmaya ve gelişmeye büyük yatırımlar yapmaktadırlar. Bunun yanı sıra motordan dışarıya atılan zehirli egzoz gazları havanın kirlenmesine ve ekolojik dengenin bozulmasına sebep olmaktadır. Bu kirliliğin insan sağlığını ciddi boyutlarda etkilediğini göz önünde bulundursak motor üreticilerinin ne kadar ciddi sorunlarla karşı karşıya kaldığını görebiliriz.

Benzin motorlarında yakıt, emme zamanı sırasında emme havasına karıştırılmakta ve yakıt hava karışımından oluşan dolgu, pistonun yer değiştirmesi sırasında silindirlere oluşan alçak basınç nedeniyle emme manifoldundan silindirlere emilmektedir. Karışımın oluşturulmasında amaç, benzinin küçük damlacıklara ayrılarak hızlı bir şekilde buharlaştırılması ve hava ile homojen bir şekilde karıştırılmasıdır[2].

Emilen hava ile yakıtın karbüratörde karışımı esnasında her noktada homojenlik sağlanamaz. Emme manifoldun da yakıt, hava içinde optimum şartlarda atomize olmadığından her bir silindir başına eşit ölçüde yakıt gönderilemez ve performans düşer. Bu durum özellikle gaz kelebek açıklığının sınırlı olduğu düşük devirlerdeki çalışma şartlarında belirgin bir şekilde ortaya çıkar[2]. Bu eksiklik çok noktalı enjeksiyon sistemleri ile büyük ölçüde giderilmiştir.

Günümüz benzin motorlarında motor performansı üzerine yapılan çalışmalarda, emme manifoldu ve yanma odasındaki türbülansın artırılması ümit verici sonuçlar ortaya koymaktadır. Tannaka ve Katayamo deneysel çalışmalarında, emme supabı arkasına yakıtın püskürtülmesiyle sağlanan türbülansın % 15-20 oranında yakıt ekonomisi sağladığını belirtmişlerdir.

Hammamoto ve Tomita, aynı test motoru üzerinde farklı yanma odası tipleri kullanarak türbülans değişimini incelemişlerdir. Belli bir sınıra kadar türbülans artırımının motor performansını olumlu yönde etkilediğini, aşırı türbülans oluşumunda ise yakıtın hava içinde farklı noktalarda tekrar yoğunlaşarak homojenliğini kaybetmesiyle performansı olumsuz olarak etkilediğini belirtmişlerdir.

Karbüratörlü motorlarda homojen karışım sağlamak ve yakıtı daha iyi atomize etmek için emme manifoldundaki türbülansın artırılması gerekir.

İçten yanmalı motorlarda hava- yakıt karışımının hazırlanması tutuşması ve yanması,

motor performansı ve egzoz emisyonu üzerinde oldukça etkilidir. Yakıtın hava ile kısa sürede karışabilmesi ve birim hacimde yüksek enerji sağlayabilmesinin yanmada karışımın tutuşma özellikleri, laminar yanma hızının uygunluğu vb. özellikler önemlidir.

İyi ve kontrollü bir yanmanın ekonomiklik ve motor performansını artırması yanında getireceği önemli faydalardan birisi de egzoz gazları emisyonunun genelde daha düşük seviyede kalmasıdır. Motorlu taşıtların egzozlarından kaynaklanan kirleticilerin en önemlileri Azot Oksitler (NO_x), Karbon monoksit (CO), ve Hidrokarbonlar (HC) ile partiküllerdir. Çevre ve insan sağlığına zararlı olan bu kirleticiler motorun çalışma şartlarına bağlı olarak değişik davranışlar göstermektedir[3].

Motor silindiri içerisindeki gaz hareketi; dizel motorlarında hava yakıt karışımı ve yanma işlemini, buji ateşlemeli motorlarda yanma hızını kontrol eden önemli faktörlerden biridir. Ayrıca ısı transferi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Artık egzoz gazları ve taze dolgunun hareketi ve akışın türbülans karakteristiği, tutuşma ve yanma olayında önemlidir. Silindir içerisindeki ilk akım modeli emme işlemi ile kurulabilir ve sıkıştırma esnasındaki hareket değiştirilebilir.

Motorlardaki emme işlemi silindir içerisindeki akımın birçok görüntüsünü regüle eder ve düzenler, 4 zamanlı motorlarda giriş ya da emme supabı akım için minimum bölgedir ve supap açılma kesitinden geçişteki gaz hızı, emme işlemi sürecindeki en yüksek değerdedir. Gaz, silindir içersine konik bir püskürtme şeklinde akar ve dağılır. Bu kesitteki eksenel ve radyal hız, piston hızından yaklaşık 10 misli daha fazladır. Özellikle jikle benzeri karakterlere sahip akım, piston hareket ederken silindir duvarları ile etkileşerek silindirde büyük ölçüde rotasyon akım modelleri oluşturur. Bu akımların detayları, silindir kafası geometrisi, supap ve giriş borusundan önemli ölçüde etkileşir. Bu akımlar hem sıkıştırma işlemi hem de emme işlemi sırasında değişikliğe uğrar ve üç boyutlu türbülans hareketine kırırlar ve bozulurlar.

Bu türün yeniden sirkülasyon akımları, akımdaki küçük varyasyonlara karşı duyarlılık gösterirler böylece farklı devirlerde akım varyasyonları oluşur.

Türbülans akımlarda, karışım ve transfer oranı, moleküler yayılıma bağlı olarak oluşan oranlardan birkaç kat daha büyüktür. Türbülanslı difüzyon yada yayılım, akım sahası içerisindeki yerel dalgalanmaların sonucudur. Bu durum momentum, ısı ve yığın (kütle) transferinin artan oranlarına yol açar. Bu; sıkıştırma ateşleme (dizel) ve kıvılcım ateşleme operasyonları için gereklidir. Türbülans akımlar sürekli olarak hava içerisinde yakıtın dağılmasını sağlar. Yakıt huzmesi ve taneciklerde deformasyon oluşumları ile türbülansın kinetik enerjisi tüketilir, enerji verilmezse türbülans bozulur. Ana akımdaki kesiklik; türbülans hız dalgaları için enerjinin ortak bir kaynağıdır. Türbülans rasyonel olup yüksek girdap kuvveti ile karakterize edilir, nitelendirilir. Girdap kuvvetinin dalgalanmaları hız dalgalanmalarının üç boyutlu olması halinde devam eder.

Türbülanslı bir akımın karakteri onun çevresine bağlıdır. Motor silindirindeki akım; sınır katmanlar, yeniden sirkülasyona uğrayan bölgeler ve türbülanslı kesik katmanların komplike bir bileşimini gerektirir. Devirden devire önemli dalgalanmalar gösterebilir. Silindire dolgunun girişi sırasında her bir krank açısında giren havanın açısal momentumu, arta kalan giriş işlemleri boyunca azalmaktadır. Bunun sebebi duvarlarda meydana gelen sürtünme ve akışkan içerisindeki aşırı kayıplardır. $1/5$ 'ten $1/3$ 'e kadar olan silindir eksenine etrafındaki momentumun değeri sıkıştırma işlemi esnasında kaybolur. Yanma odası tarafından sağlanan basınçla anafor hızları artırılabilir. Dizel motorlarda anaforun oluşmasından önceki karışımdan daha hızlı karışım sağlamak için (bu karışım hava ve sıvı arasındaki karışımdır) hava anaforu kullanılır.

Türbülanslı gaz karışımları, alev hızını laminar akış haline kıyasla önemli ölçüde artırır. Laminar alev hızı 1-2 m/s mertebesinde iken türbülanslı alev hızı 15-50 m/s civarında olabilmektedir. Bu artış; türbülans olayında alev cephesinin şeklini girintili çıkıntılı şekilde bir görünüm vermesine bağlanmaktadır. Böylece alev cephesi yanmamış gaz temas yüzeyi laminar duruma göre çok daha fazla artacak, yanmamış gazlar ile yanmış gazlar arasındaki ısı değişimi ve difüzyon olayı daha yoğun hale gelecektir. Dolayısıyla her iki durumla ilgili tema alanları oranı arttıkça alev hızı da artacaktır. Özellikle benzin motorlarında alev cephesinin bütün karışıma sirayet etmesi süresini ifade eden yanma süresi yanma verimi bakımından son derece önemlidir.

İşte bu tezin temel amacı bir benzinli motorun emme manifoldu girişine bir türbülötör yerleştirip havasını türbülanslı akış halinde silindire girmesini sağlamaktır. Böylece kısa sürede daha homojen bir karışım sağlamak tutuşma gecikmesi periyodunu azaltmak ve yanma hızını arttırıp yanmayı iyileştirmektir.

2. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA YANMA OLAYI

Yanma fiziksel ve kimyasal etkileşimlerinden oluşan karmaşık bir olaydır. Yanmayı oluşturan fiziksel olaylar genellikle kütle ve enerji iletimi ile ilgilidir. Kimyasal reaksiyonlar ise yakıt ile oksidant arasındaki moleküler seviyedeki etkileşimlerdir[3].

Yanma olayı yakıtın buharlaşarak hava ile karışma koşullarına kimyasal reaksiyonların hızına ve yanma bölgesindeki ısı ve kütle iletim koşullarına bağlı olarak başlar, gelişir ve tamamlanır. Benzinli motorlarda buharlaşma ve karışma yanmadan önce ve genellikle silindir dışında emme kanalında sağlandığından, homojen bir karışımın sağlanması söz konusu dur. Burada yanmayı fiziksel olaylardan çok kimyasal olaylar etkilemektedir.

2.1.Benzinli Motorlarda Yanma

Benzin motorlarında normal yanma bir noktadan (bujiden) başlayıp çevreye doğru gelişmektedir. Ancak motorda yanma olayı bazı koşullar nedeniyle istenmeyen farklı şekillerde de oluşmaktadır. Bunlardan en önemlisi vuruntulu yanmadır. Ayrıca ender olarak, kendi kendine tutuşma ile başlayan normal yanma şekilleri de bulunmaktadır[3].

2.2.Normal Yanma

Benzin motorlarında hava ve yakıt karışımı, silindir dışında yakıt moleküllerinin hava molekülleri içerisinde düzgün dağıldığı, homojen bir karışım oluşturacak şekilde hazırlanmaktadır[3].

Yanma olayı genellikle üç faza bölünerek incelenebilir. Ancak fazlar çok belirgin bir şekilde birbirinden ayrılamazlar. Birinci faz bujide kıvılcım çıktığı nokta ile basıncın artmaya başladığı nokta arasındaki zamandır. Piston Üst Ölü Noktaya gelmeden önce buji elektrodları arasında çıkan kıvılcımın enerjisi nedeniyle, bu bölgedeki homojen karışım, belli bir tutuşma gecikmesi sonunda, ilk alev cephesi patlama şeklinde oluşmaktadır. Tutuşma gecikme süresi,

- buji kıvılcım enerjisine
- kıvılcım uygulanma süresine
- buji elektrodları arasındaki ısınan bölgenin hacmine (buji tırnak aralığına)
- karışım oranına(kimyasal reaksiyonların hızına)
- buji önündeki akış hızına (ilk ısınan bölgenin hızlı taşınım sonucu enerji seviyesinin düşmesine)bağlıdır. Bu fazda yanan karışım miktarı az olup toplam miktarın % 1 'i kadardır.

Ana faz ise tutuşma gecikmesi sonunda basıncın artmaya başlaması anında başlamakta ve ÜÖN dan sonra maksimum basınç oluşuncaya kadar devam etmektedir. Ana fazın süresi 25-30⁰ Krank Mili Açısı civarındadır. Tutuşma gecikmesi süresi sonunda basınç, sıcaklık ve karışım oranının belirlediği bir yanma hızı ile alev cephesi sürekli şekilde ilerler.

Motordaki yanma hızı, karışımın sıcaklığına ve basıncına, hava fazlalık katsayısına ve yanma odasındaki türbülans şiddetine bağlıdır.

Türbülanssız, homojen karışımındaki laminar yanma hızı 3 – 4 m/s iken, türbülans nedeniyle bu hız 3 – 15 misli kadar artmaktadır.

Yanma hızı bu fazda oldukça yüksek ve dolayısıyla yanan karışım miktarı fazladır. Yanma hızı yanma odasında en az 10 – 15 m/s civarında, yüksek dönme sayılı motorlarda ise 50 – 60 m/s kadar olmaktadır. Yanma hızı çeperlere yaklaştıkça soğuma nedeniyle azalmaktadır. Motor performansına, alev yolu ile basınç artışı arasındaki ilişki etki etmektedir. Bu ilişki motorda maksimum basıncın yaklaşık %80'inin yolun son %30'unda yükselmesi şeklindedir. Maksimum basınç ÜÖN'den 12 – 15 KMA sonra oluştuğu zaman en büyük verim elde edilmektedir.

Son faz ise maksimum basıncın oluşmasından sonra başlamakta ve genişleme sırasında yakıtın tümü yanıcaya kadar devam etmektedir. Gazların sıcaklığı ise maksimum basınçtan belli bir süre sonra maksimuma ulaşır.

Sonuç olarak normal yanma koşullarında yanma sırasında yakıtın toplam enerjisinin %70 – 75' i maksimum basınca ulaşıncaya kadar, % 85 – 90 kadar maksimum sıcaklığa ulaşıncaya kadar açığa çıkar. Kısmi yüklerde ise yanma hızının düşük olması nedeniyle maksimum basınç noktasına kadar toplam yakıt enerjisinin ancak % 50'si kullanılmış olur. Dolayısıyla yanma genişleme zamanı süresince devam eder, çok kötü koşullarda genişleme süresinin sonunda da yanma sona ermemiş olabilir. Bu durumda ise motorun verimi dolayısıyla gücü azalır.

2.2.1.Normal Yanmayı Etkileyen Etkenler

Motorun her türlü çalışma koşulunda maksimum verimin elde edilebilmesi için ateşleme noktasının uygun seçilmesi gerekir. Avansın seçimini belirleyen ana etkenler yanma hızı ve tutuşma gecikmesidir. Bunlara etki eden faktörlerde genelde sıcaklık, basınç, karışım oranı ve türbülans şiddetidir. Motorun çalışması sırasında sıcaklık, basınç, karışım oranı ve türbülans şiddetine etkili her faktör dolaylı olarak yanma hızına etki etmektedir[4].

2.2.1.1.Devir Sayısı, n

Motorun dönme sayısı arttıkça yanma olayı için gerekli süre azalır. Ancak dönme sayısının artışına bağlı olarak ortalama piston hızı arttığından yakıt-hava karışımındaki türbülans şiddeti hızla artar. Dolayısıyla dönme sayısı ile yanma hızı da artmaktadır. Ancak dönme sayısının artışı tutuşma gecikmesi süresine fazla etki etmemekte, bu nedenle tutuşma gecikmesi KMA olarak büyümektedir. Bu bakımdan ateşleme noktası artan dönme sayısı ile orantılı olarak ÜÖN'den önceye kaydırılırsa en yüksek verim elde edilir. Böylece ateşleme

avansı uygun şekilde değiştirilirse, dönme sayısı değişse de motor verimi hemen hemen aynı kalmaktadır.

2.2.1.2.Hava fazlalık Katsayısı, λ

Karışım oranını tanımlayan hava fazlalık katsayısı, yanma hızını, dolayısıyla açığa çıkan ısı miktarını, basıncın ve sıcaklığın değişimini etkiler. Hava fazlalık katsayısı 0.9-0.95 değerleri arasında bulunduğunda yanma hızı maksimumdur. Dönme sayısı arttıkça en büyük yanma hızının elde edildiği HFK, 0,8 değerine doğru kayar. Ancak 0,7 gibi bir HFK değerinin altına düşüldüğünde, şartlara bağlı olarak kolaylıkla tutuşma sınırının dışına çıkmaktadır. HFK'nın 0.8 – 0.9 gibi değerlerinde tutuşma gecikmesi süresi ve ana faz süresi kısalmakta ve basınç artma hızı büyümektedir. HFK 0.9 dan büyük ise tutuşma gecikmesi büyür, ana faz süresi ise çok az değişir, basınç artma hızı ve buna bağlı olarak maksimum basınç düşer.

Fakir karışımlarda ($\lambda = 1.1- 1.2$) ise, tutuşabilme sınırına yaklaşılmış olduğundan motorun yapısına bağlı olarak ateşleme ve yanma, çevrimden çevrime değişiklik gösterir. Karışım fakirleştikçe ateşlemenin sağlanamadığı çevrimlerin sayısı giderek artar.

2.2.1.3.Emme Basıncı, P_e

Silindire emilen yakıt hava karışımının basıncı artarsa, alev cephesinin ilerleme hızı azalmakta ancak sıkıştırma sonu sıcaklığı da arttığından alev hızı da artmakta ve sonuçta yanma hızı artmaktadır. Dolayısıyla yanma olayı için geçen süre azalmaktadır.

Benzin motorları, kısmi yüklerde gaz keleşbeği kısık olarak çalıştığında, emme basıncı düştüğünden, yanma hızı da azalır. Bunu karşılamak için kısmi yüklerde ateşleme avansının artırılması gerekir.

2.2.1.4.Artık Gazların Miktarı, m_r

Silindir içerisinde kalan artık gaz miktarı artıkça, diğer bir değişle egzoz gazlarının basıncının emme basıncına oranı (P_r/P_e) arttıkça, silindirdeki kullanılabilir oksijen miktarı azaldığı için yanmış gazların sıcaklığı azalmakta, dolayısıyla yanma hızı da azalmaktadır. Motor yükü azaldıkça (Gaz keleşbeği kapandıkça) emme sonu basıncının düşmesinin dışında, artık gaz miktarı da arttığından yanma hızı daha azalmaktadır.

2.2.1.5.Sıkıştırma Oranı, ϵ

Sıkıştırma oranı artarsa ateşleme anındaki karışımın basıncı, sıcaklığı artar, artık gazların miktarı ise azalır. Dolayısıyla karışımın ateşlenebilmesi için daha uygun koşullar oluşur. Sonuçta yanma olayının başlangıç fazının süresi azalır, ana fazdaki yanma hızı artar,

buna karşın yanma odasının hacim/yüzey oranı azalacağından cidarlara yakın bölgelerdeki karışım miktarı artış gösterir ve son fazın süresi de artar.

2.2.1.6.Yanma Odası Şekli

Yanma odasındaki türbülans şiddeti, emme kanalının ve yanma odasının şekline bağı olarak değışmektedir. Yanma odası uygun biçimde şekillendirilerek türbülans şiddeti arttırılabilir. Buna bağı olarak yanma hızı da artar. Yanma odasının şekli, küresel veya küresele yakın ise toplam alev yolu kısa olacağından yanmanın tamamlanması için gerekli KMA aralığı daha küçük, basınç artış hızı daha yüksektir[5].

Yanma odasına yerleştirilen bujilerin konumu ve sayısı da toplam yanma süresini etkilemektedir. Buji yanma odasının ortalarına konulmaya çalışılmalıdır. Ayrıca buji sayısı arttıkça da ortalama yanma hızı artmaktadır.

Ancak sayılan bu etkenlere ve özellikle sıkıştırma oranına bağı olarak, yanma hızının ve basınç artış oranının yüksek değırlere ulaşması verim yönünden her zaman en iyi durumu sağlamamaktadır.

3.TÜRBÜLANS LI YANMA VE GİRDAP OLUŞUMU

Benzinli motorlarda yanma esnasında ,alev oluşması ve yayılması çok çabuk olur. Durgun bir karışım içinde alevin yayılması laminardır. Laminar durumda alev düzgün bir yüzeye nispeten ve zayıf reaksiyon cephesine sahip olmaktadır. Alevin hızı ve yanmamış karışıma doğru reaksiyon cephesinin hızı, karışımın termodinamiksel ve kimyasal özellikleri tarafından tayin edilmektedir. Türbülans olduğu zaman alevin cephesi düzgün değildir ve reaksiyon kuşağı laminar durumdan daha kalındır[6].

Bochler and Taylor (1937) , benzinli motorlarda yanma hızını, motor hızının bir fonksiyonu olarak ölçtüler. Araştırmalarında gördüler ki , yanma hızı motor hızının yaklaşık lineer bir fonksiyonudur.

Türbülans nedeni ile yanma hızındaki büyümeyi açıklamakta kullanılan yöntemlerden birincisi türbülanslı girdapların etkisini, laminar alev cephesi kalınlığının etkisinden daha az etkili kabul etmektedir. Bu girdapların alev cephesi boyunca yerel ısı ve kütle transferini artırdığı kabul edilmektedir.

Damkohler(1947), bu yaklaşımdan ortaya çıkardığı karakteristik ifadede; alevin ilerisinde yanmamış gazlardaki özelliklere dayandırmıştır.

Sokolik ve Semenov (1967), yaptıkları çalışmalarda, türbülans ölçütlerini tespit etmişlerdir. Çalışan bir motorda sıcak tel termo anemometresi ile gerçekleştirdikleri ölçümler sonucu, silindir içersindeki türbülanslı hareketin emme supabı kapatıldığında türbülanslı hareketin hemen hemen yok olduğunu tespit etmişlerdir.

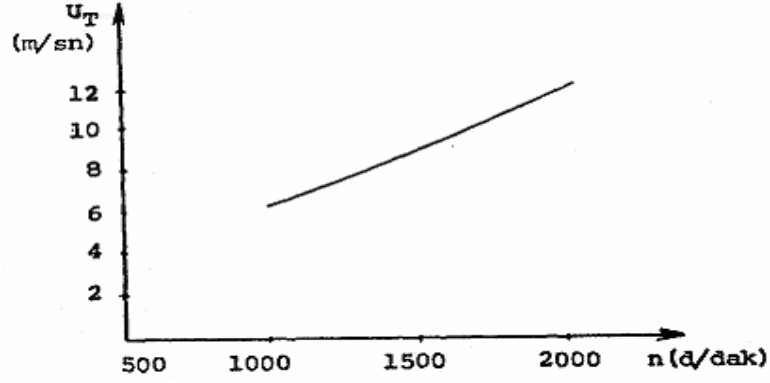
Türbülans nedeni ile alev hızındaki büyümeyi açıklamakta kullanılan ikinci yöntem genellikle daha önemli olarak kabul edilmektedir. Bu yönteme göre, girdapları yersel aktif hızı üzerinde etkisi olmadığı kabul edilmekte fakat alev cephesinin distorsiyona uğraması onun alanını genişletmektedir.

Matsuoka (1971), örtülü emme supabı tarafından üretilen yanma hızındaki değişmelerin yanmanın ilk safha gelişimini etkilemediğini fakat motor hızının artmasıyla bu değişimlerin yanmanın ilk safha gelişimini etkilediği sonucuna varmıştır.

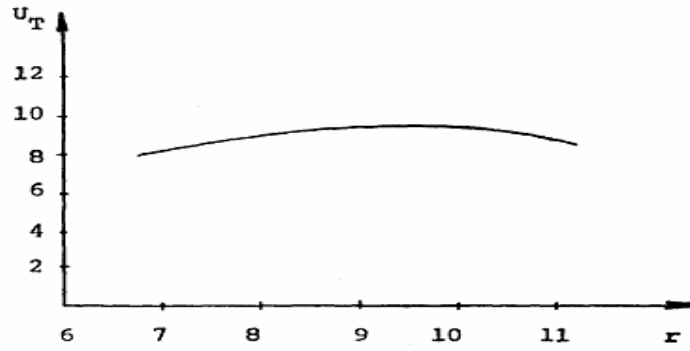
Patterson (1973), örtülü emme subabının yanma hızını arttırdığını ve motor gücündeki çevrimsel salınımların azaldığını bulmuştur. Deneylerin sonucunda örtülü supabın türbülans meydana getirdiğini tespit etmiştir.

Lancaster ve Krieger (1976), yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda, türbülanslı yanma hızı ile motor devir sayısı arasında lineer bir ilişki tespit etmişlerdir (Şekil 3.1). Onların CFR deney motorunda yaptıkları çalışmaların sonuçları, Şekil 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4'de görülmektedir. Şekil 3.2' de sıkıştırma oranının türbülanslı yanma hızı ile arttığı görülmektedir. Şekil 3.3'de türbülanslı yanma hızının maksimum olduğu değerlerde volümetrik verim %50 ila %75 arasındadır.

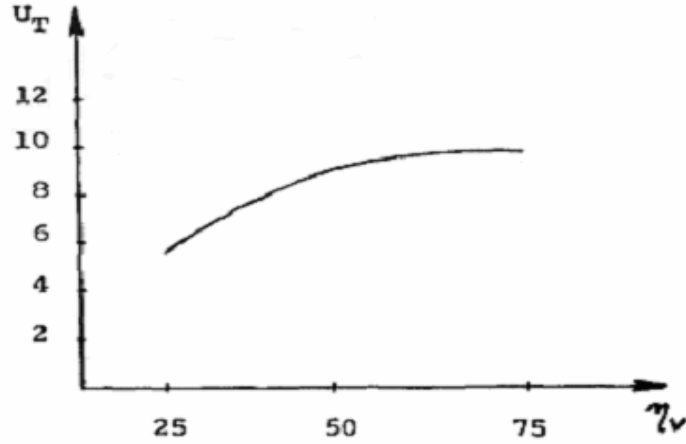
Şekil 3.4'de 1 kg yakıt için sarfedilen minimum hava ağırlığının, maksimum hava ağırlığına oranı olarak tanımlanan eşitlik oranı 0,8 ile 1,0 arasında iken türbülanslı yanma hızı maksimum değerini almaktadır.



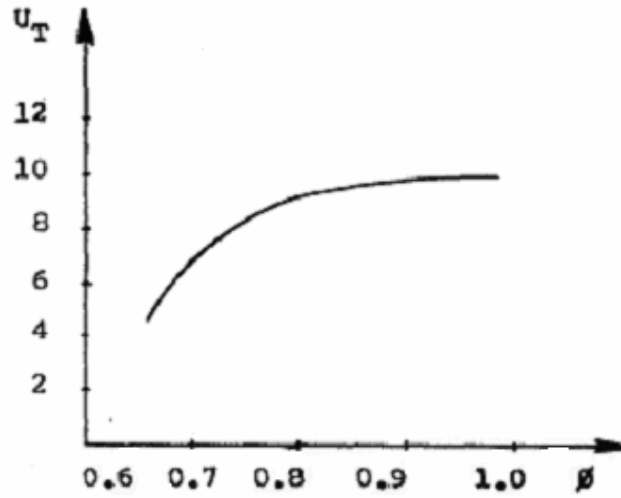
Sekil 3.1 Türbülanslı yanma hızı ile devir sayısındaki değişim [6]



Sekil 3.2 Türbülanslı yanma sıkıştırma oranı arasındaki değişim [6].



Sekil 3.3 Türbülanslı yanma hızı ile volümetrik verim arasındaki değişim [6].



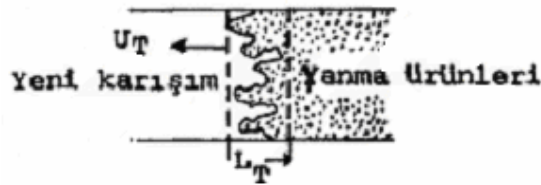
Şekil 3.4 Türbülanslı yanma hızı ile eşitlik oranı arasındaki değişim [6].

3.1. Türbülanslı Yapı

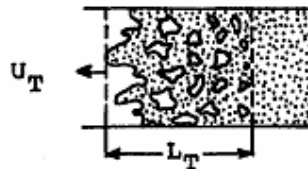
Türbülans, viskoz akışkanın akış ortalama hızına etki eden hız bileşenlerinin düzensizce değişmesi olarak tanımlanmaktadır.

Benzinli motorlarda, yanma başlangıcındaki alev hızı laminar formdadır. Daha sonra alev ilerlemesi türbülanslı olmaktadır. Türbülanslı yanma hızı, 5 ila 10 m/s arasındadır.

Alev ilerlemesi yavaş ve karışım akışı laminar ise alev yüzeyi basit bir eğri şeklindedir[7]. Şayet, karışım çok hızlı akıyorsa alev yüzeyi girintili çıkıntılı ve düzensiz bir formdadır. Birinci durumda laminar alev, ikinci durumda ise türbülanslı alev oluşmaktadır. Şekil 3.1.1 ve 3.1.2 'de türbülanslı hareketin etkisi altında türbülanslı alev cephesinin çarpılma ve bozulmasının tahmini yapısı görülmektedir.



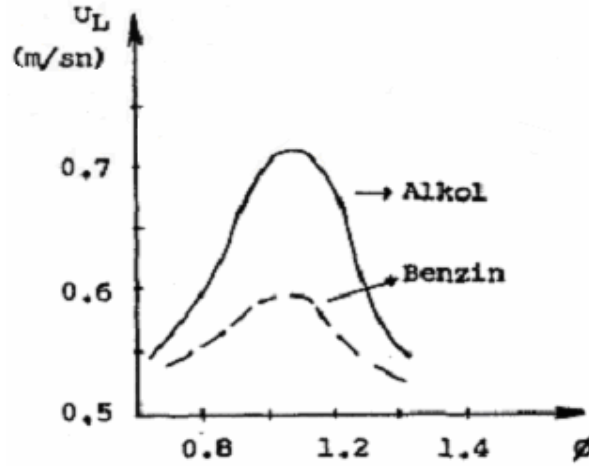
Şekil 3.1.1 Zayıf türbülanslı hareketin etkisi altında, alev cephesinin tahmini yapısı [7]



Şekil 3.1.2 Kuvvetli türbülanslı hareketin etkisi altında, alev cephesinin tahmini yapısı [7]

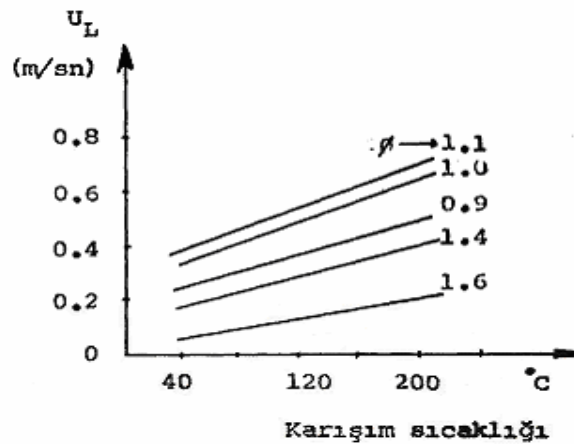
Benzinli motorlarda silindir içersindeki karışım, girdaplar ve gazların düzensiz hızları nedeni ile yeterli derecede türbülanslıdır [7]. Alevin yanma odasında ilerlemesi iki nedenden dolayı olmaktadır. Bunlardan birincisinde ısı, kondüksiyon ve radyasyon yoluyla alev yüzeyinin yüksek kısmından, düşük sıcaklıktaki yanmamış karışıma doğru transfer olmaktadır. Böylece, alev ilerlemektedir. İkincisinde aktif elementler, reaksiyon bölgesinde meydana gelmekte ve yanmamış karışıma doğru yayılarak kimyasal reaksiyona neden olmaktadır.

Ayrıca, alevin ilerlemesi yakıtın çeşidine göre değişiklik göstermektedir. Şekil 3.1.3'de görüldüğü gibi alkollerin laminar yanma hızları, benzinin laminar yanma hızından daha büyüktür [8].



Şekil 3.1.3 Benzin ve alkolün laminar yanma hızları [8].

Karışım sıcaklığı arttıkça alev hızı artmaktadır. Şekil 3.1.4 de görüldüğü gibi laminar yanma hızı karışım sıcaklığı ile lineer değişmektedir.



Şekil 3.1.4 Laminer yanma hızının karışım sıcaklığı ile değişimi [8].

3.2. Türbülanslı Yanmanın Önemi ve Yanma Hızına Etki Eden Faktörler

Bilindiği gibi benzinli motorlarda yanma. üç safhadan meydana gelmektedir. Bu safhalar alev çekirdeği oluşumu, türbülanslı yanma ve yanma sonrası olmaktadır. Yakıt ve hava karışımının yanmasında, türbülansın iyi ve kötü etkileri mevcuttur. Türbülans bir taraftan yakıt ve hava karışımının ısı kayıp etmesini kolaylaştırmakta, diğer yandan alev cephesinin ilerlemesini çok hızlandırmaktadır. Benzinli motorlarda, ısı verimi artırmak için sıkıştırma oranını artırmak gerekmektedir. Sıkıştırma oranının artırılmasını ise vuruuntu sınırlamaktadır. Benzinli motorlarda yakıtın kalitesini belirleyen özellik oktan sayısının karşılığında, belirli bir değere kadar sıkıştırma yapılabilir. Yüksek bir verim için sıkıştırma oranı, 13 ile 16 arasında olmalıdır. Halbuki bu değer uygulamada ancak 7 ila 8 arasındadır[9].

Verim artışında istenilen değere ulaşabilmek için vuruuntu imkanını azaltacak türbülanslı yanma iyi bir model olmaktadır, Aynı zamanda oktan sayısı ve yanma hızı benzine göre daha yüksek olan alkollerin, benzine karıştırılması yanma modeline olumlu etki yapmaktadır, Böylece sıkıştırma oranı ve ısı verimi daha yüksek, özgül yakıt tüketimi daha ekonomik olan motor karakteristik değerlerine ulaşmak mümkün olmaktadır[10].

3.2.1 Yanma İşleminde Girdap Etkisi

Motor silindiri İçerisinde oluşturulan girdap ve türbülans, yanma karakteristiklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Prensipde yanma işleminde girdap etkisi uzun bir süreden beri bilinmekte olup, pratikte iyi bir yanma işlemi için girdap oluşturmak ve emme portları vasıtasıyla üretilen girdap yardımıyla silindir kafalarını dizayn etmek oldukça zordur. Bir çok farklı girdap ölçer geliştirilmiş olup, bir yanma sistemi için girdabın doğru miktarını tayin etmek mümkün görünmemektedir. Sadece girdabın şiddeti önemli olmayıp, yanmayı etkileyen hava-yakıt karışım miktarı da önem arz etmektedir.

Dizel motorlarda hava ve pülverize olmuş yakıt arasında bağlı bir hareket mevcut olup, benzinli motorlarda ise hava ve yakıt silindire karışmış olarak girmektedir. Bu yüzden dizel motorlarda girdap, benzinli motorlara nazaran daha etkindir. Benzinli motorlarda yanma durumunda girdap etkisi, daha iyi bir karışımın yanında alev ilerlemesi ve alev hızının artmasının bir sonucu olduğu gözlenmiştir. Böylece, hızlı yanma işlemi gerçekleşmektedir. Silindirde türbülans derecesine bağlı olarak alev hareketi karışabilmekte ve yanma işlemini hızlandıran girdabın düzensiz bir hal almasına da yol açabilmektedir.

3.2.2 Motor Performansına Girdap Etkisi

İçten yanmalı motorun emme supabından geçen akışın davranışı, motor performansına özellikle volümetrik verime etkisinden dolayı önem kazanmaktadır.

Yanma işleminde girdap etkisi günümüzde şüphe götürmeyecek bir düzeydedir. Bu ise, motor performans karakteristiklerini etkilemektedir. Girdap mukavemetinin artırılması durumunda basınç arttırılmakta ve dolayısıyla yanma zamanı kısaltılmaktadır. Bu da motor performansını arttırmaktadır[11]. Külbütör supaplı motorlarda yapılan deneyler, girdap mukavemetinin belirli bir değerine yani etkinin yön değiştirdiği duruma kadar, girdap mukavemetini yükselterek daha iyi bir performans elde edilebileceğini göstermektedir[9].

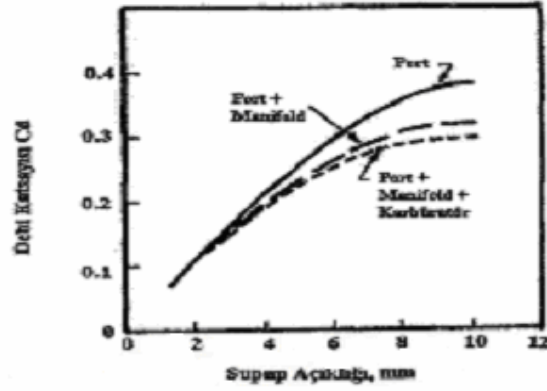
3.2.3 Egzoz Emisyonlarına Girdap Etkisi

Son yıllarda egzoz emisyonları da yakıt ekonomisi çalışmaları gibi ilgi odağı haline gelmiştir. Hidro-karbonların oluşumunda girdap iki zıt etkiye sahiptir. Birinci etki, girdabın silindir duvarlarının soğumasını arttırdığı yönündedir. Bu ise, hava-yakıt karışımını soğutulmuş duvarlara doğru sıkıştıran hidro-karbonların miktarıyla ilgilidir. Sonuçta, silindir duvarında reaksiyonun düşmesine ve daha fazla yanmamış hidro-karbon emisyonuna neden olmaktadır, ikinci etki ise, girdap yardımıyla oluşturulan yükleme hareketinden dolayıdır. Silindir boşluklarında bırakılan herhangi bir hidro-karbon yanma bölgesine gönderilecek ve böylece daha az yanmamış hidro-karbon oluşacaktır. Net etki ise, girdap mukavemetine ve yüksek girdap mukavemetlerinde artan yanma sıcaklığına bağlıdır [11]. Bu nedenle, düşük veya yüksek egzoz gaz re-sirkülasyon karışım oranı şartları altında çevrimden çevrime olan yanma değişikliklerini azaltmak ve nitrik-oksit emisyonlarının kontrol edilmesinde girdap ve türbülansın yararlanılmaktadır.

3.2.4. Supap Açıklığının Hız Profillerine Etkisi

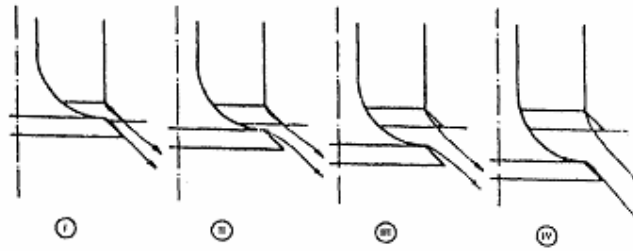
Emme durumunda oluşturulan hız profilleri, supap açıklığı ile önemli ölçüde etkilenmektedir. Silindir eksenine yakın düşük supap açıklıklarındaki yüksek hız bölgeleri, hız profili büyüklüğündeki azalmanın ve genişliğindeki dağılmanın başladığı yüksek supap açıklıklarına göre daha belirgin bir hal almaktadır.

Emme sistemini oluşturan emme manifoldu, port/supap sistemi bileşenlerinin volümetrik verime etkisi supap açıklığına bağlı olarak Şekil 3.2.4'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2.4 Emme sistemini oluşturan emme manifoldu , port/supap sistemi bileşenlerinin volimetrik verime etkisi [15].

Emme supabından geçen akış, supap açıklığının dört değişik şekilde değerlendirilmektedir[12]. Bu durumlar şekil 3.2.5'te gösterilmektedir. Düşük supap açıklıklarındaki akış, supap geçiş duvarlarına bağlı olarak aynı kalmakta ve bu durumda debi katsayısı yüksek bir değere sahip olmaktadır (I.durum). Biraz daha yüksek supap açıklıklarında, akış supap kafasından dağılmakta ve debi katsayısı azalmaktadır (II durum). Supap yüksekliğinin biraz daha artırılması durumunda, akış hem supap oturumundan hem de supap kafasından dağılma göstermekte ve supap oturma geometrisi ile daha az etkilenen bir serbest jet şeklini almaktadır (III. durum). Hatta çok daha yüksek supap açıklıklarında, ilave akış dağılımı oluşmadığından debi katsayısı daha iyi bir hal almakta ve yüzey sürtünmesi ile belirlenen bir asimptot değerini almaktadır (IV. durum). Akış dağılımı, supap kafasında ve oturumunda keskin köşeler yuvarlatılmak suretiyle azaltılmaktadır [13].



Şekil 3.2.5 Emme supabından geçen akış biçimleri [13].

Hız analizleri, akış açısının önemli ölçüde supap açıklığı ile değiştiğini göstermiştir. Akış doğrultusu hakkındaki bu bilgi, silindir akış hesaplamaları bakımından oldukça önemlidir.

Silindir akış hesaplamalarında uygun sınır şartları sağlamak için hız ölçümlerinin birkaç supap açıklığında yapılması gerektiği Tabaczynski tarafından yapılan deneylerle gösterilmiştir.

3.2.5. Silindir Geometrisinin Hız Profillerine Etkisi

Silindir geometrisinin etkisi, Khalighi ve ark. tarafından detaylı olarak araştırılmıştır. Hız ölçümleri, iki farklı silindir çapı kullanılarak supap çıkışında ölçülmüştür. Merkezleri aynı olan 105 ve 95 mm çaplı iki silindir kullanılmış olup, akış oranı ve supap açıklığı her iki durumda da sırasıyla 2.60 kg/dk ve 10 mm'de tutulmuştur. 10, 20, 35° lik açılarda bu hız profilleri büyük çaplı silindir için maksimum hızın supap yüzeyinde oluştuğunu, küçük çaplı silindirde ise bu maksimum hızın silindir kafasına doğru yer değiştirdiğini göstermiştir. Her iki durumda da supap oturma yüzeyinde bir akış dağılımının meydana geldiği gözlenmiştir. Silindir kafası civarındaki hız akımının büyük çaplı silindire nazaran küçük silindirde basıncı daha fazla azalttığı gözlenmiştir. Bu sonuçlardan, silindir geometrisinin de emme kanalı ve supabında oluşturulan hız profillerini etkilediği anlaşılmaktadır.

3.3. Girdap Oluşumu

3.3.1. Akış Alanında Girdap İletimi

Katı cidar yakınındaki akışkan parçacıkları kaymama koşulundan dolayı değişik vizkoz gerilme alanının etkisinde kalmaktadır. Bu gerilme alanı akışkan parçacığının üzerinde bir tork oluşturmaktadır. Sonuçta da parçacık kendi eksenini etrafında belirli bir açısal hıza erişmektedir. Bu açısal hızın iki katı da girdap'ı oluşturmaktadır. Duvar yakınında dönen parçalara sürtünen diğer akışkan parçacıkları da girdap etkisi kazanmaktadır.

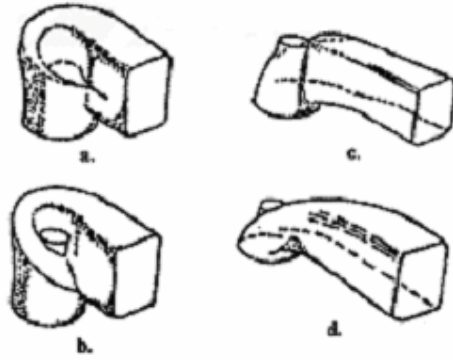
Girdap yayılması ise kendi eksenini etrafında dönen akışkan parçacıklarının oluşumuna bağlıdır ki bu parçacıklar akışı cidarlardan, duvarlardan kaynaklanmaktadır. Vizkoz etkinin altında akış içinde yayılan girdaplılık, bir katı cidar olmadığı müddetçe kaybolmadan akış içinde kalmaktadır. Girdaplılık alanı, ısı etkileri ve taşınım etkileri ile akış alanı içinde yayılmaktadır.

3.3.2. Basitçe Girdap Üretim Şekilleri

- (a) Silindire taze dolgu alışı emme durumu esnasında yönlendirmek.
- (b) Sıkıştırma stroku süresince ayrı bir girdap odasına teğetsel bir geçiş yardımıyla silindir içerisindekileri sıkıştırmak.
- (c) Yanma odasında özel girdap işlemlerine alevi yönlendirmek için kısmi yanmadan dolayı ilk durumdaki basınç artımını kullanmak.

Böylece silindirde üç tip girdap üretilmektedir. Bunlar emme, sıkıştırma ve yanma girdabıdır.

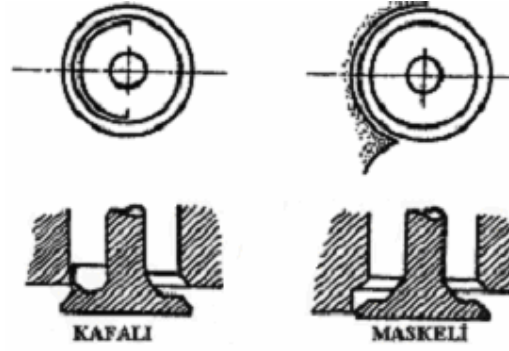
Emme supabıyla ilgili çalışmalar göz önünde tutulacağından emme durumundaki girdabın oluşumu önem kazanmaktadır. Emme girdabını oluşturmak için dizayn edilen emme port dizaynı motor performansını belirlemede daha etkili parametrelerden birisi olarak bilinmesine rağmen, farklı port tipleri ile üretilen silindirdeki akış yapıları hakkında çok az bir bilgi mevcuttur. Emme girdabı, supap çevresinde eşit olmayan yükleme dağılımına neden olan port geometrisine veya emme supabında değişiklikler yapılarak genellikle emme portu içerisinde üretilebilmektedir. Emme durumundaki akış, silindir eksenini etrafında bir açısal momentuma sahip olduğundan üniform olmayan hareketin oluşum şekli, emme supabının çevresindeki hız dağılımını artırarak elde edilebilmektedir. Diğer bir girdap üretim şekli ise akışın, silindir duvarlarına doğru, silindire teğetsel olarak geçişi şekliyle olmaktadır. Şekil 3.3.2.1'de dört tip emme portu gösterilmektedir. Şekil 3.3.2.1'de gösterilen yönlendirilmiş port ve saptırıcı duvar portu bu sonuçları elde edebilme yöntemleridir. Yönlendirilmiş port, akışı supap açıklığına doğru istenilen teğetsel yönde getirmektedir. Yönlendirilmiş port geçişi düzdür. Saptırıcı duvar portu, teğetsel yönde supap açıklığının dış çevresi boyunca, tercih edilecek şekilde akışı arttırmak için portun iç yan duvarı kullanmaktadır. Bu yönsel etkiyi elde etmek için sadece bir duvar kullanıldığından port alanları daha az sınırlı kalmaktadır. Supabın tüm açık alanından yararlanıldığından, aynı girdap düzeylerinde daha yüksek bir debi katsayısı elde edilmektedir.



Şekil 3.3.2.1 Girdap üretimi için değişik giriş portları

- a) Saptırıcı duvar portu b) Yönlendirilmiş port
c) Sığ helisel meyilli port d) Dik helisel meyilli port.

Dizel motorlarda ise maskeli supaplar emme girdabını oluşturmak için kullanılmaktadır. Benzinli motorlarda bu girdaplar üretilemez. Şekil 3.3.2.2'te motorlarda kullanılan supap tipleri gösterilmektedir. Üretim maliyetinin fazla olmasının yanında ağırlık ve simetrik olmayan supap ile supap kafası bozulmalarına neden olunma ihtimali ve maskenin optimum bir pozisyonda tutulması zorluklarından dolayı pozitif açısal yerleşimin bazı şekillerine ihtiyaç duyulmaktadır. Emme girdabı, supabın düşey açısı ve supap oturma açısıyla da etkilenebilmektedir.



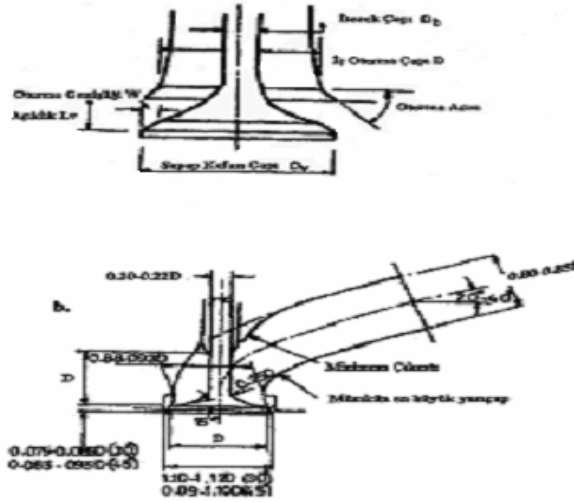
Şekil 3.3.2.2 Benzinli ve dizel motorlarda kullanılan çeşitli supap tipleri.

Aydın ve Yaşar, 1995 Değişik tipteki emme supaplarıyla ve piston kafesi geometrisiyle oluşturulan girdabın yanmaya, dolayısıyla motor performansına etkisini sıkıştırma oranı değiştirilebilir Ricardo E6/T tipi bir deney motoru kullanılarak araştırılmıştır.

Yanma olmadan silindir içerisindeki hızlar, Ricardo motoru bir elektrik motor ile çevrilerek ölçülmüştür. Yapılan hız ölçümlerinde kafalı emme supabı olan motorlarda standart supaba göre gerek ortalama hızda gerekse türbülansa % 50 - % 100 arasında daha büyük değerler ölçülmüş, sıkıştırma oranının bu ölçümlere bir etkisinin olmadığı gösterilmiştir.

3.3.3 Emme Supap Geometrisi

Şekil 3.3.3'de tipik bir emme supabı ve portu, supap iç oturma açısına bağlı olarak gösterilmektedir. Emme portu genellikle dairesel veya dairesele yakın bir şekildedir. Kesit alanı ise arzu edilen gücü elde edecek düzeyden daha büyük olmamalıdır.



Silindir içerisindeki hava-akım karakteristiklerinin yanmaya etkisinin yanında egzoz emisyonlarına da büyük etkisi vardır. Öncelikle egzoz emisyonlarının neden olduğu kirliliğin etkilerinin geniş bir yelpaze de değerlendirilmesi gerekmektedir

3.4 Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği ve Etkileri

Tarım toplumundan sanayi toplumuna geçilen yıllardan sonra hızla artan sanayileşme hareketleri gelişen toplum yapısı ve buna bağlı olarak oluşan yeni ihtiyaçlar teknolojik, sosyo-ekonomik v.b. bir takım problemleri de beraberinde getirmiştir. Bu problemlerden birisi de hava kirliliğidir. Çağın gereği olarak artan enerji ve çeşitlenen temel ihtiyaç maddelerinin tüketimi, kirliliğin boyutlarını daha da arttırmaktadır. Gelişmiş ölkeler bu kirliliğin önlenmesi için uzun yıllar önce çalışmalara başlayıp, bazı standartları hazırlamış olmalarına rağmen yeni gelişmekte olan ölkeler çevre bilincine yeni kavuşmaları ve gelişmenin getirdiği bazı yaptırımlar nedeni ile bir geçiş dönemi yaşamaktadırlar.

Çevre kirliliğinin en önemli parametrelerinden birisi canlıların içerisinde yaşadığı ortamı kaplayan hava kirliliğidir. Hava kirliliği, insanlar, bitkiler, hayvanlar ve maddeler özerinde zarar verebilen kum, toz, uçan kül, kurum, is, duman gaz, buhar gibi bileşenlerin miktar, karakteristik ve süre olarak çevre atmosferindeki mevcudiyeti olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde taşıtlar, güç santralleri, sanayi tesisleri, konutlar gibi hareketli ve hareketsiz kaynaklar, gaz ve partiköl halindeki kirleticiler şeklinde, doğrudan doğruya veya dolaylı olarak havayı kirletmektedirler[14].

Hava kirliliği, ilk bakışta çevresel boyut yönünden önem taşısa da motorlarda silindir içerisindeki yanmamış hidrokarbonların, oyuk hacimlerin, silindir duvarı pürüzlölüğünün ve motor yağının egzoz emisyonlarına teknik etkileri, sosyal, ekonomik boyutları da beraberinde taşımaktadır. Bu boyutlar, ölkeleri kendi yapılarına uygun teknik ve yasal düzenlemelere zorlamanın yanında toplumları da yeni bir yaşam biçimine zorlamaktadır.

3.4.1 Buji Ateşlemeli Motorların Egzoz Gazları İçindeki Yanmamış Hidrokarbon Oranları

Artan nüfus, yaşam düzeyi ve sanayileşme hareketleri ile motorlu taşıt kullanımı da artmakta ve dolayısıyla egzoz emisyonlarından kaynaklanan kirlilik son yıllardaki en önemli problemlerden birini oluşturmaktadır.

Hidrokarbonlar, daha doğru deyiimiyle organik emisyonlar hidrokarbon yakıtların eksik yanmasının sonucu oluşmaktadır. Egzoz gazları içerisindeki yanmamış hidrokarbon (C_xH_y) seviyeleri toplam hidrokarbon seviyeleri ile belirlenmekte ve milyonda partiköl oranı ile ifade edilmektedir. Toplam hidrokarbon emisyonu yanma veriminin bir ölçüsü olmasına rağmen, kirlilik emisyonunun tam bir göstergesi değildir. Egzoz gazları çok sayıda hidrokarbon bileşikleri içermektedir. Buji ateşlemeli motorların egzoz emisyonlarının içerdiği hidrokarbon

cinslerinin katalitik dönüştürücü kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlardaki oranları Çizelge 3.4.1 de gösterilmektedir.

Toplam HC içindeki Yüzdesi (%)				
	Parafinler	Olefinler	Asetilen	Aromatikler
Katalizörsüz	33	27	S	32
Katalizörlü	57	15	2	26

Çizelge 3.4.1 Buji ateşlemeli motorların egzoz emisyonundaki yanmamış hidrokarbon oranlarının katalitik dönüştürücülere bağlı değişimi

Buji ateşlemeli bir motorun egzoz gazları içindeki yanmamış hidrokarbon oranları, normal çalışma şartlarında 1000 ile 3000 ppm. arasındadır. Bu, motora giren yakıt miktarının % 1 ile % 2.5'u kadardır. HC emisyonu yakıt-hava miktarının stokiometrik oranını aşır zenginleştirilmekle hızlı bir şekilde artmaktadır. Yanma kalitesinin düşmesiyle, yani fakir karışıma karşı gelen yakıt-hava miktarında da HC emisyonu artmaktadır. Bunun nedeni eksik yanma veya motorun çalışması esnasında meydana gelen tutuşmanın olmaması durumudur.

3.5. Yanmamış Hidrokarbon Oluşum Mekanizmaları

3.5.1 Yanmamış Hidrokarbonların Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Buji ateşlemeli ve karbüratörlü motorlarda HC emisyonuna neden olan başlıca dört faktör vardır. [15]

- 1- Yanma odası içindeki küçük oyuklara giren karışımın alevin sönmesi nedeniyle yanma işlemine girememesi.
- 2- Alevin yanma odası duvarına temas ederek sönmesiyle, duvar cidarında yanmamış yakıt-hava karışımının kalması.
- 3- Motorun çalışması esnasında bazı çevrimlerde yanmanın eksik olması veya karışımının tutuşamaması.
- 4- Emme ve sıkıştırma sırasında yakıtın silindir duvarındaki yağ tabakası tarafından emilmesi, genişleme ve egzoz sırasında bu yağlı yakıtın egzozla katışması.

Karışımın hiç tutuşmaması hali dışında, yukarıda belirtilen durumlarda silindir duvarına yakın kısımlarda yanmamış hidrokarbonlar silindir içinde eşit şekilde dağıtılamamaktadır.

Egzoz içindeki yanmamış hidrokarbon konsantrasyonu değişiminin tespiti için çeşitli deneyler yapılmıştır[13]. Bu çalışmalardan birinde egzoz supabı çıkışına bir örnekleme supabı yerleştirilerek gaz konsantrasyonu tespit edilmiştir[13]. Deneyisel neticelerden, HC konsantrasyonunun egzoz işlemi anında sabit kalmadığını, egzoz supabının açıldığı ve egzoz

işleminin sonuna yaklaşıldığı sıralardaki yüksek HC konsantrasyonunun meydana geldiğini, egzoz supabının açılmasından sonra görülen yüksek HC konsantrasyonunun, üst ölü noktaya yaklaşan pistonun silindir duvarına yakın yüksek HC konsantrasyonun karışımı egzoz supabına itmesinin bir sonucu olduğu gösterilmiştir.

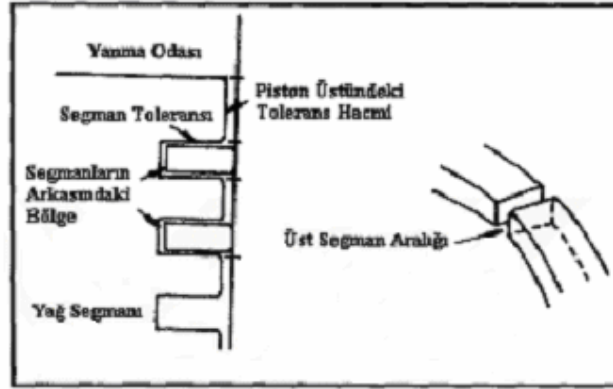
3.5.2 Silindir İçindeki Oyuk Hacimlerin Etkisi

Segmanlarla, yanma odası duvarı arasında kalan küçük hacimlere alev ilerlemesi mümkün olmadığı için bu boşlukların yanmamış HC teşekkülüne büyük katkısı olmaktadır. Bu hacimlerin en genişleri piston, piston segman ve silindir duvarı arasında kalan kısımlardır. Bujuinin vida boşlukları, buji elektrotunun etrafındaki hacim, supapların etrafındaki oturma yüzeyi boşlukları da bu hacimlerle aynı etkiyi yapmaktadır. Çizelge 3.5.2'de bu hacimlerin boyutları ve önemi bir V-6 motoru için verilmektedir

	Cm ³	%
Silindir Başına Strok Hacmi	632	
Silindir Başına Sıkıştırma Hacmi	89	100
İlk Segman Üstündeki Hacim	0.93	1.05
İlk Segman Arkasındaki Hacim	0.47	0.52
İlk Segmanlar Arasındaki Hacim	0.68	0.77
İkinci Segman Arasındaki Hacim	0.47	0.52
Toplam Segman Boşluğu Hacmi	2.55	2.9
Buji Vida Boşlukları	0.25	0.28
Silindir Kapağı Conta Boşlukları	0.3	0.34
Toplam Oyuk Hacmi	3.1	3.5

Çizelge 3.5.2 Bir V-6 motoru için yanma odası içindeki oyuk hacimlerinin büyüklükleri.

Bu oyuk hacimlerin, motorun çalışması esnasındaki önemi şu şekilde açıklanmaktadır. Sıkıştırma esnasında yükselen silindir basıncı yanmamış karışımı bu hacimlere girmeye zorlamaktadır. Bu hacimler küçük olduğundan yüzey/hacim oranı büyük olup, içeri giren gazın sıcaklığı ısı transferi yoluyla duvar sıcaklığı mertebesine düşmektedir. Yanma esnasında basınç yükseldikçe yanmamış karışım bu hacimlere girmeye devam etmektedir. Alev bu hacimlere geldiğinde içerdeki soğuk gazları tamamen yakacak şekilde ilerleyememekte ve sönmektedir. Silindir basıncı düşmeye başlayınca da bu yanmamış karışım, bulunduğu hacimlerden yanma odasına geri dönerek HC emisyonuna karışmaktadır. Bu hacimlerin en önemlisi olan Piston, piston segmanı ve silindir duvarı arasında kalan hacim Şekil 3.5.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.5.2 Piston ve segmanların şematik görüntüsü

Sıkıştırma ve yanma esnasında karışım bu hacimlere dolmaktadır. Yaklaşık olarak ÜÖN'dan 15^0 sonra silindir basıncı düşmeye başlayınca da tekrar bu hacimlerden dışarı yanma odasına geri dönmektedir. Bu olayın önemli sonucu, silindir içerisindeki karışımın kütlelerinin %5-10'unun maksimum silindir basıncının olduğu sırada bu hacimlere dolması ve yanma işlemine girmemesidir. Bu gaz karışımının büyük bir kısmı genişleme esnasında geri dönmekte ve bujinin konumuna bağlı olarak, %50'den fazla yanmamış yakıt-hava karışımı içerebilmektedir. Bu olayın yanmamış HC emisyonuna olan katkısının açık olduğu görülmektedir.

Piston, piston segmanı ve silindir duvarı arasındaki boşlukların değiştirilmesinin HC emisyonunu nasıl etkileyeceği detaylı olarak incelenmiştir[14]. Wentworth çalışmalarında boşluk hacimlerin segmanlarla doldurularak ortadan kaldırılmasının HC emisyonuna olan etkilerinin tamamen ortadan kaldırıldığını göstermiştir. Haskell ve Legate, tek silindirli bir motor kullanarak piston üstü boşluk mesafesinin HC emisyonuna etkisini incelemişlerdir. Pistonun alt boşluğunun artması durumunda HC emisyonunun arttığı, mesafenin 0-18 mm değerine ulaştığı anda HC emisyonunun sıfır boşluk değerine düştüğü ve bu noktadan sonra da sabit kaldığı gösterilmiştir. Bunun nedeninin, bu boşluk değerinden sonra alevin sönmeden boşluk hacmi içinde ilerleyip karışımı yakabilmesi şeklinde açıklanmıştır.

3.5.3. Alevin Silindir Duvarında Sönmesi

Silindir duvarına yakın bir tabaka içinde alevin söndüğü gösterilmiştir.[40] Alevin silindir duvarına değdiği anda alev bölgesinin çekilen fotoğrafları duvara bitişik, içinde yanma olmayan ince bir bölgenin varlığını göstermiştir. Bu bölgenin kalınlığı 0.05 ile 0.4 mm arasında değişmektedir. Aşırı yükte kalınlık daha az olmaktadır.

Soğuk yanma odası duvarları ısıyı soğutmakta ve alev içindeki aktif elemanların reaksiyonunu engellemektedir. Alev bu şekilde söndüğü zaman ön bölgesinde yanmamış karışım tabakası bırakmaktadır. Alevin duvarda sönmesi olayını, alevin içindeki reaksiyonların sonucu açığa çıkan ısı miktarının duvarlara verilen ısı miktarına olan oranını belirlemektedir. Silindir duvarlarının pürüzlülüğünün egzoz HC emisyonuna etkisi de gösterilmiştir[14]. Yapılan deneylerde, toplam yanma odası yüzeyinin %32'sinin işlenerek parlatıldığında, ortalama egzoz HC konsantrasyonunun %14 azaldığı gösterilmiştir.

3.5.4. Yanma Kalitesinin iyi Olmaması Durumu

Alevin, yanma odasını boydan boya geçmeden, yanmamış karışım kütlesi içinde sönmesi bazı motor işletme şartlarında önemli bir HC emisyonu oluşum nedenidir. Genişleme esnasında alevin önündeki karışımın sıcaklığı düşmektedir. Bu, yanma hızının düşmesine neden olmaktadır. Basıncın ve sıcaklığın çok hızlı düşmesi alevin sönmesine ve çok yüksek HC konsantrasyonlarına sebep olabilmektedir. Bu olay en çok rölantide ve düşük yükte meydana gelmektedir. Yakıt-hava oranı, egzoz gazı sirkülasyonu ve ateşleme zamanı alevin sönmesini önleyecek şekilde ayarlanırsa bile motorun çalışma sırasında bazı çevrimlerde bu değişkenleri kontrol eden sistemlerin farklı dinamik karakterleri dolayısıyla, alevin sönmesi olayı meydana gelebilmektedir.

3.5.5. Motor Yağının Absorbe Edilmesi ve Ortama Geri Salınması

Yakıt içindeki ve yanma odası duvarlarındaki motor yağının egzoz hidrokarbon miktarını arttırdığı bilinmektedir[41]. Egzoz hidrokarbon konsantrasyonunun düzensiz olarak yükseldiği deneylerde, motor çalışma şartlarının düzgün olmasına rağmen piston üstündeki yağın yüksek HC emisyonuna neden olduğu gösterilmiştir[14]. Yakıtta motor yağı katılmasıyla, HC emisyonunun katılan yağla orantılı olarak arttığı gözlenmiştir. % 5 yağ içeren yakıtta çalışan motorun egzoz HC seviyeleri, 10 dakikalık bir süre içinde temiz bir motora göre 2-3 katına çıkabilmektedir[39]. Yanma odası duvarındaki yağ tabakasının gaz halindeki yakıtı emmesi ve daha sonradan ortama emisyonu bu olayların sebebi olarak açıklanmaktadır .

Absorbe etme ve emisyon mekanizması şu şekilde çalışmaktadır; Emme ve sıkıştırma zamanları sırasında silindir içindeki yakıt buharı konsantrasyonu emme borularındaki yakıt konsantrasyonuna yakındır. Böylece, yaklaşık olarak bir krank mili devrinde, silindir duvarlarındaki yağ tabakası yakıt buharını emecektir. Sıkıştırma işleminin sonlarına doğru yakıt buharı basıncı arttığından yakıtın emilmesi devam edecektir. Yanma sırasında silindir içerisindeki yakıt buharı konsantrasyonu sifıra yakın olduğu için absorbe edilen yakıt buharı, yağ tabakasından silindir içindeki yanma ürünlerine geçecektir. Genişleme ve egzoz zamanları esnasında da ortama yakıt buharının salınması devam edecektir. Bu yakıt buharının bir kısmı

silindir içindeki yüksek sıcaklıktaki yanma ürünleriyle karışacak ve okside olacaktır. Buna rağmen, sınır tabaka içinde kalan veya çevrimin sonuna doğru ortama salınıp, soğuk gazlarla karışan yakıt buharı oksidasyonuna uğramayacak ve yanmamış HC emisyonuna eklenecektir.

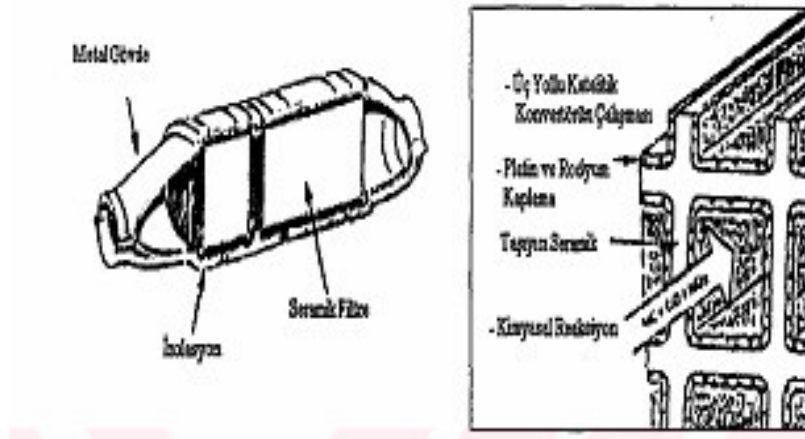
Günümüzde otomobil tasarımcıları pek çok faktörü göz önüne almak durumundadır. Bu faktörlerden biri de egzoz emisyonudur. Tasarım aşamasında Emisyonun oluşum mekanizmalarını bilmek ve tasarımı ona göre yapmak, pek çok kriteri sağlaması gereken motorun optimum performansı vermesinde önemli rol oynayacaktır. Egzoz emisyonunu oluşturan bileşiklerden olan yanmamış hidrokarbonların oluşum mekanizmalarının günümüzde tamamen anlaşılmamış olmasına rağmen yeterli bilgiler sunulmuştur. HC emisyonuna neden olan kimyasal reaksiyonların kinetiğinin tam olarak bilinmemesi de emisyon miktarının önceden tahmin edilmesini güçleştirmektedir. Bu emisyonların minimuma indirilmesini sağlayan sistem katalitik konvertörlerdir.

3.5.6. Katalitik Konvertörler

Bugün motorlu taşıt sanayinde tüm HC, CO ve NO_x emisyonlarını kontrol edebilecek bir emisyon kontrol teknolojisinin öngördüğü tasarım değişiklikleri, yardımcı üniteler ve ilave donanımlar taşıtların marka ve modellerine göre çeşitli olmakla beraber, özellikle egzoz emisyon kontrolü için, gerek ekonomiklik ve gerekse reaksiyon hızının çok daha yüksek olması nedenleriyle, kullanımı yaygınlık kazanan tek sistem katalitik konvertörlerdir[16].

Dünyada ilk düzenlemeler 1968 yılında Kaliforniya' da ve ilk uygulamalar ise 1972 yılında Avrupa'da ECE R.15.00 ve EEC 70/220 ile başlamıştır. EEC R.15.05 ve sonraki düzenlemelerde verilen sınır değerleri ancak katalitik konvertör kullanmak suretiyle sağlanabilmektedir. 1984 tarihli TS 4236 ve 1986 tarihli TS 5648 sayılı Türk Standartları, ECE R. 15.04 regülasyonu ile aynı hükümleri taşımaktadır. Ülkemizde iller bazında mahalli çevre kurulu kararları yayınlanmış (TSE 4236, R.Gazete Sayı 21817, 21889,1994) ve taşıtlardaki egzoz gazı emisyonu kontrolü zorunlu hale getirilmiştir.

Katalitik konvertör sistemi bir katalizör gibi kimyasal reaksiyonu hızlandırmakta, katalizör işlevini rodyum, palladyum ve platin gibi soy metallerle kaplanmış seramik filtre görmektedir. Şekil 3.5.6'da bir katalitik konvertör yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.5.6 Bir katalitik konvertörün şematik gösterimi

Ülkemizde otomobil egzoz gazları kirliliğinin kontrolü için seramik katalitik konvertörlerin kullanımının, 1995 yılından itibaren 2000 cc. silindir hacimli otomobillere uygulanması zorunlu hale getirilmiştir. Katalitik konvertörlerde reaksiyonun tam gerçekleşebilmesi için çok büyük yüzey alanlara ihtiyaç bulunmaktadır. Bu nedenle konvertör kesitindeki kanalların mümkün olduğu kadar dar ve sık dolayısıyla daha büyük yüzey alanları sağlaması gerekmektedir. Bu ise motorun egzozundaki karşı basıncı arttıracaktır. Dolayısıyla dizaynda bir optimizasyona gidilmesini zorunlu hale germektedir.

1975'te, Amerika'da seramik konvertör teknolojisi, çevre koruma kurumu tarafından yayınlanan çevre koruma standartlarını karşılamak amacıyla tanıtılmıştır[16]. Gözenek yapılı seramik konvertörler ve tanecik yapılı konvertörler karbon monoksit ve hidrokarbonların oksidasyonu için çevre koruma kurumunun gereksinimlerini karşılamıştır.

Bugün ABD'de, Avrupa'da, Avustralya'da ve Asya da yekpare seramik yapılı, üç yollu katalitikler kullanılmaktadır

Hidrokarbonlar, karbon monoksit ve nitrojen oksitlerin aynı katalizör Üzerinde aynı zamanda uzaklaştırılması üç yollu katalizörlerle mümkün olmaktadır. Hidrokarbonlar ve karbon monoksit, nitrik oksitlerin nitrojene indirgendiği durumda CO_2 ve H_2O 'ya oksitlenmektedir. Bir katalizör üzerinde bu üç kirliliğin aynı anda dönüşümü, bu katalizörün üç yollu katalizör olarak adlandırılmasına sebep teşkil etmiştir.

3.6. Emisyon Oluşumu Kontrol Teknikleri

Hava kirlenmesi, insan, bitki, hayvan ve madde üzerine zarar verebilen veya rahat yaşama biçimi ve maddeyi aşırı derecede etkileyen kum, toz, uçan kül, kurum, is duman, buğu, tütsü,

sis, pus, buhar, gaz veya koku gibi birleşenlerin miktar, karakteristik ve süre olarak çevre atmosferinde bulunmasıdır. Hava kirliliği; genel olarak kalitesiz yakıt kullanan konutlardan, çeşitli sanayi tesislerinden ve motorlu taşıtlardan kaynaklanmaktadır. Her bir kaynağın hava kirliliğine etkileri farklı boyutlardadır. Hava kirlenmesinde motorlu taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarının önemli bir payı bulunmaktadır. Özellikle sanayileşmiş bölgelerdeki hava kirliliğinin yaklaşık %60-70'nin motorlu taşıtlardan kaynaklandığı tahmin edilmektedir

Motorlu taşıtlar; egzoz emisyonu, yakıt-yag buharı, kurşun bileşikleri, asbest ve lastik tozları, aşınma paslanma ve korozyon sonucu oluşan gaz, sıvı ve katı atıklarla çevreyi kirlenmektedir. Bu kirleticilerin en etkin, zararlı ve yoğun olanları egzoz gazında bulunan karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC), NO_x ve partikül maddelerdir. Bunlardan NO_x ile partikül miktarı daha çok dizel motorlu taşıtlardan kaynaklanmaktadır. Motorlu taşıt kirleticisi emisyonlarının büyük bir bölümü yanma sonucu oluşmaktadır. Emisyonların kontrolünde çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlar yanma öncesi alınan önlemler, yanma sırasında alınan önlemler ve yanma sonrası alınan önlemler olarak sınıflandırılabilir. Yanma öncesi alınan önlemler, yakıt kalitesinin iyileştirilmesi, alternatif yakıt kullanımı gibi yöntemlerdir. İçten yanmalı motorlarda, kirleticisi emisyonları azaltmak amacıyla LPG, alkoller, CNG (sıkıştırılmış doğal gaz), LNG (sıvılaştırılmış doğal gaz) ve hidrojen gibi alternatif yakıtlar kullanılmaktadır. Yanma sırasında alınan önlemler çoğunlukla yapısal nitelikteki önlemlerdir. Benzin motorlarında motor tasarımına ilişkin çeşitli parametrelerin değişimi egzoz gazları içerisindeki HC, CO ve NO_x miktarlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu parametreler; yanma odası şekli, yanma odası yüzey/hacim oranı, sıkıştırma oranı, emme kanalının şekli, supap zamanlaması ve ateşleme sisteminin yapısıdır. Yanma sonrasında alınan önlemler ise; katalitik konvertörler, partikül filtreleri, termik reaktörler gibi art işlem yapan sistemlerdir. Karbüratörlü motorlarda egzoz gazı emisyonları seviyesi büyük ölçüde motor ayarları ve bakımına bağlı olduğundan, en ufak bir ayar bozukluğu durumunda zaten zorlukla sağlanabilen emisyon sınırı dışına çıkmaktadır. Hava/yakıt oranı, ateşleme avansı, buji tırnak aralığı ve motor sıcaklığı gibi bazı işletme parametrelerinin normal değerlerinin dışında olmaları, kirleticisi emisyonların ve yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Bazı işletme ve yapısal parametrelerin egzoz emisyonlarına etkisi ve alternatif temiz yakıtlar konusunda birçok deneysel araştırmalar yapılmıştır. Matsumoto ve ark. yapmış oldukları çalışmada 1.6 litre 4 zamanlı Toyota motorunda 8/1, 9/1, 10/1 sıkıştırma oranlarının değişiminin yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. En düşük HC emisyonunun 8/1 sıkıştırma oranlı çalışmada elde edildiği tespit edilmiştir. Çelik kendi geliştirdiği değişken sıkıştırma oranlı motorda yapmış olduğu araştırmada sıkıştırma oranının egzoz emisyonlarını ne oranda etkilediğini araştırmıştır. Artan sıkıştırma oranı ile CO emisyonlarında yaklaşık %20 azalma gözlenmiştir. Sıkıştırma oranının artması HC emisyonlarını olumsuz yönde etkilemiştir. Yüksek

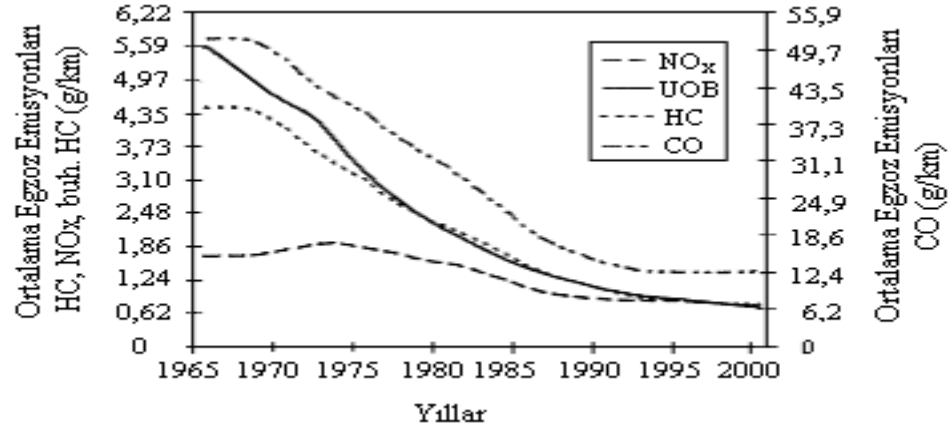
sıkıştırma oranlarında yüzey/hacim oranının artmasıyla birlikte HC emisyonları da artmaktadır. Minimum sıkıştırma oranı ile maksimum sıkıştırma oranı arasında HC emisyonları, %50 motor yükünde %38, %80 motor yükünde %59 artmıştır. Arslan ve ark. 1600cc motor hacmine sahip TOFAŞ motoru ile yapmış olduğu çalışmada motor ayar ve bakımının egzoz emisyonlarını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Motorun tüm ayarları katalog değerlerine uygun olarak yapılmış ve rölanti çalışmasında emisyon değerleri kaydedilmiştir. İkinci aşamada diğer ayarlar sabit kalmak şartı ile avans ayarı, supap ayarı bozulmuş, motor sıcaklığı normalden aşağı düşürülmüş, kirli filtre ve eski buji kullanılarak emisyonlar tekrar ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları, her bir ayar bozukluğu ve eski parça kullanımının HC ve CO emisyonlarını artırdığını göstermiştir. Salman, S., Altıparmak, tek silindirli 4 zamanlı, buji ile ateşlemeli bir motorda hava fazlalık katsayısının egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. HFK=1,1- 1,2 durumunda HC ve CO emisyonlarının en düşük seviyeye indiği, HFK'nın 1'den küçük değerlerinde CO ve HC emisyonlarının arttığı tespit edilmiştir. Benzinli bir motor; motor hızı, yük ve hava fazlalık katsayısı sabit tutularak sadece ateşleme avansı değiştirilmiş ve emisyonlar ölçülmüştür. Ateşleme avansının gereğinden fazla artırılmasının HC emisyonlarını artırdığı belirlenmiştir. Chrysler firmasının yapmış olduğu bir çalışmada iki ayrı motorda soğutma suyunun sıcaklığının HC emisyonuna etkisi ölçülmüş, soğutma suyu sıcaklığı arttıkça HC emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir.

Buji ateşlemeli motorlarda hidrokarbon ve diğer kirlenici emisyonları azaltma çabaları, kanuni zorlamalardan ötürü otomobil şirketlerinin ve üniversitelerin bilimsel araştırmalarının önemli bir araştırma konusu olmuştur. Hızlı ilerlemeler kaydedilerek emisyon seviyelerinde ciddi azalmalar sağlanmıştır. Bunun için yapılan birçok çalışmada HC emisyonlarına oluşum teşkil eden mekanizmalar belirlenmiştir. Bu mekanizmaların karmaşık fiziğini anlayıp geliştirmede ise iki yaklaşım kullanılmıştır. Birincisi deneysel çalışmalar, ikincisi bilgisayar modellemeleridir. Eğer deneysel çalışmalar diğerlerinin etkisi ortadan kaldırılmak şartıyla tek bir fiziki olay üzerinde gerçekleştirilebilmişse oldukça faydalı olmaktadır. Birçok kabuller sonucunda elde edilen denklemlerden oluşan bilgisayar modelleri ise ilginç sonuçlara ve gelecekteki araştırmalara öncülük etmektedirler. Hidrokarbonlar veya daha uygun ifadeyle organik emisyonlar yakıtın ya eksik yanması ya da direkt dışarı atılması sonucunda oluşan ürünlerdir. Bu ürünlerin yaklaşık yarısını oksijenle hiç reaksiyona girmeyen çığ yakıt, diğer yarısını ise yakıtın oksijenle kısmi reaksiyonu sonucu oluşan bileşenler oluşturur. Bunlar etan, propan, metan, formaldehid, benzen, izobütan, toluen, ve 1.3 bütan gibi ürünlerdir. Bunların birçoğu insan sağlığına zararlı etkilere sahiptir. Silindir içine alınan yakıtın bir kısmı alevin normal yayılma süreci esnasında hidrokarbon oluşum kaynakları tarafından saklanırlar. Yani yanma olayına iştirak etmezler. Bu yanmamış hidrokarbonların bir kısmı sonraki yanma işleminde silindir içinde oksitlenirler. Oksitlenmeyip silindir içinde kalan hidrokarbonların bir

kısmı silindiri terk ederler. Silindiri terk edemeyenler ise artık gazlarla birlikte silindir içinde kalarak bir sonraki taze karışım (yakıt+hava) ile karışırlar ve o çevrimin yanma olayına ve hidrokarbon emisyon işlemlerine katılırlar. Silindir terk edebilenlerin bir kısmı egzoz port ve manifoldunda oksitlenirler. Oksitlenmeyenler egzoz manifoldundan sonra ölçülen emisyonlar olup "motor çıkış hidrokarbon emisyonları" olarak isimlendirilirler. Motoru terkeden hidrokarbonlar daha sonra katalitik konvertöre girerler. Emisyon kontrol sisteminin son derece önemli bir elemanı olan katalitik konvertör, motor çıkış hidrokarbon emisyonlarının yaklaşık %90'nını veya daha fazlasını zararsız bileşenler dönüştürür. Normal yanma işlemi sonucu açığa çıkan yanmamış hidrokarbonların sıcak silindir gazları ile karışım oranı, karışımın yanması sonucu oluşan gaz sıcaklığı ve yapısı ve bunu takip eden sıcaklık-zaman ve kompozisyon-zaman ilişkisi karışımın seyrini belirleyerek silindir içi oksidasyon miktarını tayin eder. Egzoz port ve manifoldundaki oksidasyon ise gazın kompozisyonuna, sıcaklığına ve hidrokarbonun oluşan ortamda tutulma zamanına bağlıdır. Hidrokarbonlar yanma odası içinde zamanla değişen üniform olmayan bir dağılıma sahiptirler. Daha çok yanma odası cidarlarına yakın toplanırlar. Yukarıda izah edilen bu mekanizmalar ayrıca büyük bir performans kaybına da sebep olurlar. Yanma olayına katılmayarak motordan üretilecek olan işi azalttıklarından dolayı yanma verimini düşürürler ve genelde tahmin dilenden daha büyük bir öneme sahiptirler.

3.6.1 Emisyonların Yıllara Göre Değişimi

Uzun yıllar ihmal edilen emisyon kontrolü nedeniyle özellikle sanayileşmiş birçok ülkede hava kirliliğinin kontrol altına alınmaması sonucu, çevre sorunlarının yanı sıra insan sağlığının da olumsuz etkilendiği anlaşılmıştır. Bu sebeple birçok ülkede hava kirliliğini azaltıcı tedbirler yürürlüğe konulmuş, hava kirliliğinin azalmasını sağlayacak yakıtların kullanımı teşvik edilmiş ve özellikle motorlu taşıtların yaydıkları emisyon seviyeleri çeşitli zamanlarda yapılan düzenlemelerle daha düşük seviyelere çekilmiştir. Bu uygulamaları yürürlüğe koyan ülkelerin başında Amerika Birleşik Devletleri gelmektedir. Birleşik Devletlerde kullanılan hafif hizmet tipi taşıtlar için, emisyonların değişimi her bir taşıt için kat edilen km başına gram olarak Şekil 3.6.1'de verilmiştir. Grafikte egzoz emisyonlarından HC, NO_x ve CO emisyonları ile buharlaşma sonucu oluşan HC emisyonlarının (Uçucu Organik Bileşikler) değişimi yer almaktadır. Emisyon kontrollerinin ilk olarak uygulanmaya başladığı 1960'lı yılların sonlarından 2000 yılına kadar emisyonlarda önemli miktarda azalma sağlanmıştır. Günümüz taşıtlarından kaynaklanan HC ve CO emisyonları yirmi beş yıl öncesindeki taşıtların yaklaşık beşte biri, NO_x emisyonları ise; yaklaşık üçte biri kadardır



Şekil 3.6.1 Emisyonların Yıllara Göre Değişimi

3.6.2 Emisyon Kontrol Yöntemleri

Motorlu taşıtlarda egzoz emisyonlarının azaltılmasına yönelik olarak alınan önlemler üç kısımda toplanabilir:

1. Motor öncesinde alınan önlemler; yakıt bileşiminin iyileştirilmesi, alternatif yakıt kullanımı
2. Motorda alınan önlemler; motorda yapısal olarak alınan önlemler
3. Motorun çalışması sırasında alınan önlemler (Motor çalışma yönetimi)
4. Motor sonrasında alınan önlemler; egzoz gazındaki emisyonların artırılmasına yönelik alınan önlemler
5. Motor sonrasında hava kirliliğini azaltmaya yönelik önlem olarak kullanılan teknikler; egzoz gazı resirkülasyonu (EGR), termal reaktörler, oksidasyon katizörleri, üç yollu katalitik konvertörler (TWC) ve dizel motorlarında partikül tutuculardır. Bunlar arasında ise günümüzde ilgileri üzerine toplayan üç yollu katalitik konvertörlerdir.

4. LİTARATÜR ARAŞTIRMASI

İçten yanmalı motorların silindiri içerisindeki akış karakteristiklerinin belirlenmesine bir çok deneysel yöntem ve teorik bilgiler ışık tutmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar, hem deneysel hem de bilgisayar destekli olarak son günlerde hızlı bir gelişim göstermiştir. Günümüzde birkaç yıl öncesine göre hayal edilemeyecek bir hassasiyetle silindir içi akış parametreleri belirlenebilmektedir. Kızgın tel anemometresi ve optik metotlarla yapılan hız dağılımı ve türbülans ölçüm teknikleri, motor geometrisi ve işletme şartlarının değişken olması nedeniyle hala sınırlı olarak kullanılmaktadır. Bilgisayar destekli akışkanlar dinamiği analizleri ile üç boyutlu hesaplamalarının yapılması, sonlu elemanlar metodu kullanılarak ve her bir eleman üzerinde çözüm yapılarak problemin gerçek çözümüne istenildiği kadar yaklaşım sağlanabilmektedir. Bütün bu gelişmelere rağmen pratikte silindir içerisindeki akış karakteristiklerinin zamana ve işletme şartlarına bağlı olarak değişmesi, silindir içerisinde istenilen akış karakteristiğinin oluşturulmasını mümkün kılmamaktadır[15].

Silindir içerisindeki akış karakteristikleri, yanma işleminin kontrolünde en önemli faktör olup, homojen karışimli benzinli motorlarda alev ilerleme oranını düzenlemektedir. Dizel motorlarda ise hava-yakıt karışımını ve yanma oranını kontrol etmekte ve gazlardan silindir duvarlarına olan ısı transfer oranlarını düzenlemektedir. Düşük seviyelerdeki türbülans oluşumu alev ilerleme oranını dolayısıyla yanma zamanını geciktirmektedir. Aşırı yüksek türbülans düzeyleri ise alev çekirdeğinin sönmesi ve silindir duvarlarına olan ısı transferinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, silindir içerisindeki akışkan hareketleri, yanmayı dolayısıyla da motor çıkış gücünü doğrudan etkilemektedir.

Hem egzoz emisyon kontrolünü hem de yakıt tüketimini iyileştirmek ve hızlı bir yanma elde etmek için yüksek türbülansa ihtiyaç duyulmaktadır. Meydana gelen bu hızlı yanmayı oluşturmak için uygun yöntemlerden bir tanesi, emme işlemi süresince bir girdap akımı oluşturmaktır. Silindir içerisinde oluşturulan girdabın küçük olması yanmanın daha kararlı bir yapıya sahip olduğunu göstermekte ve yanma süresince yüksek türbülans oluşturan çevrimden hemen sonra dağılma göstermektedir. Bu da daha yüksek türbülans, hızlı alev önü yayılması hem de daha yüksek alev yüzey alanına neden olmaktadır. Şu da bir gerçektir ki, çok hızlı bir yanmaya ihtiyaç duyulmadığı durumda aşırı akışkan hareketi ve türbülans, gereğinden fazla oluşan ısı transferi, performans ve verim kayıplarıyla sonuçlandığından dolayı arzu edilmemektedir.

Daha yüksek verimli benzinli motorların geliştirilmesi, sadece mevcut petrol rezervlerinin tutumlu şekilde kullanılması için değil, bunun yanında daha iyi emisyon değerlerinin elde edilmesi sonucu tüm çevrenin korunması yönünde oldukça önemlidir. Bir benzinli motorun yanma karakteristiklerini ve termal verimini doğrudan etkileyen etken, motor silindirisinin içine giren karışımın hızıdır.

Silindir içerisindeki hız alanlarının araştırılması, bu yüzyılın başından beri sürdürülmektedir. Clerk'in motorda türbülans yapısı üzerindeki ilk çalışmasında İçten yanmalı motorlarda, yanma odası şeklini ve emme sistemi geometrisini değiştirerek, türbülanslı akış alanlarını, egzoz emisyonlarını, harcanan yakıt miktarını, fakir karışımla çalışma limitini değiştirmek mümkün olmaktadır[17]. Bu çalışmada incelenmiş olan türbülanslı akış alanlarının, benzin ve dizel motorlarında başlıca görevi, ilk olarak yanma için hava-yakıt karışımını sağlamak ve ikinci olarak ise büyük ve küçük ölçekli karışım içinde yanmayı kontrol etmektir [18]. Alışılmış benzinli motorlarda hava-yakıt karışımının hazırlanması, piston hareketi sonucu oluşan emme ile gerçekleşmekle ve türbülans yanmadan önce iki fazı karıştırmak için gerekli olmaktadır [18]. Bunun yanında, türbülansın motorda ısı transferine doğrudan etkisi olmaktadır [19].

Yanma odasına karışım türbülanslı olarak girmektedir. Bu bölgede, ileri radyal ve eksenel hızlar pistonun ortalama hızından on kere daha büyüktür[19]. Supap oturma yüzeyi ile supap kenarında emme sonucu üretilen jet ayrılmaktadır. Bu jetin ayrılması sonucu büyük hız gradyenleriyle türbülansı üreten kayma gerilmeleri oluşturulur. Akışkan jetinin ayrılması ile, supap kafası altında ve silindir cidarı ile motor kapağı arasındaki bölgede de girdap bölgeleri oluşmaktadır. Cidarlara emme jetinin birbirine tesiri silindir hacminde büyük ölçekli döngülü akışı oluşturmaktadır[19]. Türbülanslı akışlarda, transfer ve karışım miktarları, moleküler difüzyon sonucu oluşan miktardan birkaç kere daha büyüktür[20]. Akış alanında yerel salınımlar dan oluşan türbülanslı difüzyon. momentum, ısı ve kütle transferi miktarlarını artırmaya neden olmakta [20], bunun sonucu olarakda, benzin ile dizel motorlarını iyi işletmek için gerekli olmaktadır. Akışla oluşan viskoz kayma gerilmeleri akışta deformasyon işini oluşturur. Türbülans kinetik enerjisinin harcanması sonucu akışkanın iç enerjisi artmaktadır. Türbülans üretimi için enerji gereklidir; eğer akışa enerji verilmezse türbülans azalmaktadır. Türbülans hız salınımları için enerji kaynağı organize akışta oluşan kaynaktır.

Benzinli motorlarda, yanmayı etkileyen en önemli faktörlerden biri türbülans olmaktadır [21]. Benzinli bir motorda yanmanın türbülanslı hız alanları değişik işletme şartlarında incelenmiştir. Çalışmalar yanmasız şartlarda sıcak tel anemometresi ile ve LDA (LASER Doppler Ane Mometry) ile yapılmıştır[6-22]. Ancak. birkaç çalışmada yanmalı şartlarda gerçekleştirilmiştir [22-23].

İçten yanmalı motorlarda pistonun hareketi sonucu yanma odası içerisinde oluşturulan akışın zamana göre değişimi karmaşık olduğundan, hız alanlarında değişikliğin meydana gelmesi, hız alanlarını incelemeyi zorlaştırmaktadır. Pistonun hareketi sonucu oluşan organize hareketin türbülansla ayrıklaştırılması. küçük ölçekli salınımlara bağımlı alev ilerleme hızı sebebiyle önemlidir.

Bu ayrıklaştırmanın gerçekleştirilmesinde bir çok yöntemler kullanılmaktadır.

Bunlar, faz ortalaması, düşük-geçiş, hızlı geçiş filtreleri, eğri uydurma gibi yöntemlerdir. Motorlarda her çevrimden diğer bir çevrime organize hareketle değişim olmaktadır. Faz ortalaması yöntemi çevrimler arası organize hareketteki değişimleri ihmal etmekle ve böylece bu değişimler, türbülansın tahminini etkilemektedir.

Silindir içerisindeki hız alanlarının araştırılması bu yüzyılın başından beri sürdürülmektedir. 1924'lerde Clerk'in , Ricardo'nun ve 1934'te Alcock'un [7] yaptığı bu ilk çalışmalar yanma veriminin iyileştirilmesi yönünde olmuş ve silindir içi hareketlerin önemi anlaşılmaya başlanmıştır[25,28,29].

Son yıllarda da silindir içi hareketleri üzerinde birçok çalışmalar yapılmış ve bunlar aşağıda özetlenmiştir, fakat, silindir içi hareketin karmaşık olması ve birçok parametrenin bu hareketi ikilemesi sebebiyle hız alanlarının incelenmesi güç olmakta ve değişik yöntemler uygulanmaktadır.

Witze, faz ortalama yöntemini kullanmış ve türbülans şiddetinin, sıkıştırma zamanında organize hıza benzer şekilde arttığını bulmuştur. Sıkıştırma zamanının birçoğunda türbülanstaki artışın organize akışkan hareketi ve sıkıştırma etkileri olduğunu yorumlamıştır[30].

Semenov sıcak tel anemometresi kullanarak yanmasız motorda türbülansı ölçmüş türbülansı üreten hız gradyenlerinin emme zamanında oluştuğunu tespit etmiştir[31]. Ayrıca emme zamanı esnasında üç boyutlu hız gradyenleri yanma odası içindeki konumla büyük miktarda değişmektedir. 360 °KMA'da emme jet hızı ve türbülans şiddeti, ilk olarak motor hızıyla ve ikinci olarak ise kelebek konumu ve sıkıştırma oranları sebebiyle değiştirilmektedir. Semenov'un diğer iki önemli sonucu ise sıkıştırma zamanı sonu ile iş zamanı başlangıcında türbülans şiddeti zamana bağlı olarak nispeten sabit ve türbülansın yanma odası içerisindeki farklı noktalarda değişmediğidir. Winsor ve Pallerson 13 kHz alımdaki frekanslarda motor silindiri içerisindeki türbülansın olduğunu gözlemiştir[32]. Lancaster faz ortalama yöntemini kullanarak, yaptığı çalışma sonucunda sıkıştırma sonu türbülansın izotropik olduğunu emme sonucu oluşturulan jet akışa bağlı olduğu ve sıkıştırma zamanı sonu türbülans şiddetinin emilen hacimsel debinin fonksiyonu olduğunu bulmuştur [6]. Sıkıştırma zamanı sonu türbülans ölçeğinin hacimsel debinin fonksiyonu olduğu ve böylece türbülans şiddetinden bağımsız olduğu bulunmuştur. Ayrıca, türbülans enerji spektrumu 360 °KMA'dan önce, perdeli supap için incelenmiş ve -5/3 ile -2 eğimli doğruya uygun olduğu görülmüştür. Sıkıştırma zamanı sonundaki türbülans enerji dağılımı motor devir sayısı hariç, motorun diğer çalışma şartlarında değişmemektedir. Fakat motor devir sayısı arttırıldığında türbülans enerjisi yüksek frekanslara değiştirilmektedir. Bu değişimi birkaç faktör etkilemektedir. Bunların birincisi, emme zamanı esnasında, artırılan jet hızı daha büyük hız gradyenlerini üretmektedir, ikincisi, yüksek hızlarda türbülans gecikmesi için daha az zaman vardır. Üçüncü olarak ise, daha büyük motor hızlarında, organize hızdaki artış sabit büyüklüklere neden olmaktadır. Lancaster ve ark. başka

çalışmasında benzinli motorlarda türbülansın yanmaya etkisi araştırılmış tamamen geliştirilmiş türbülanslı alev için alev hız oranı, türbülans şiddetinin lineer fonksiyonu olduğu tespit edilmiştir[6].

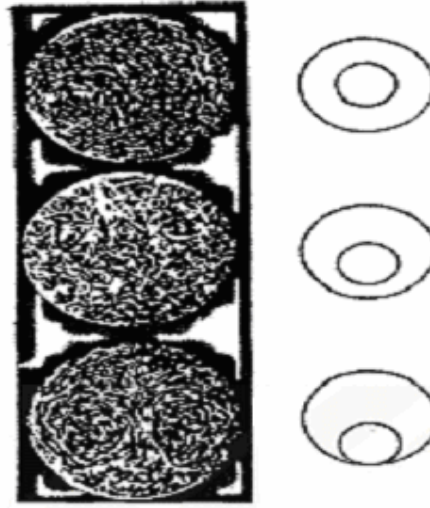
Liou ve Santaviceca'nın çalışmasında çevrim çözümlü veri analizi ve faz ortalama yöntemleri kullanılarak iki zamanlı bir motorun ÜÖN yakınında türbülansın nispeten homojen ve teğetsel hız ile veya teğetsel hız olmadığı durumda türbülans şiddetinin azaldığı bulunmuştur. Belirli devir sayısı için türbülans şiddetinin büyüklüğü teğetsel hız ile % 25-50 daha büyük olduğu belirlenmiştir. Türbülans enerjisi teğetsel hızın olduğu ve olmadığı durumda artırılan devir sayısı ile daha yüksek frekanslara değiştirildiği tespit edilmiştir. Ayrıca sabit devirde daha yüksek frekanslarda, teğetsel hızın olduğu durumda teğetsel hızın olmadığı durumdakinden çok enerji olduğu bulunmuştur[33].

Silindir içerisindeki hava akım karakteristiklerinin yanmaya ve egzoz emisyonlarına olan etkileri üzerine yapılan deneysel çalışmalar günümüzde hız kazanmıştır. Silindir içerisindeki akışlar konusunda da ülkemizde bilgisayarla akışkanlar dinamiği paket programları kullanılarak modeller yapılmaktadır. Silindir içi akış karakteristiklerinin belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Ekchian ve ark. silindirin düşey kesitindeki akış yapısını, silindir merkezi ile merkezleri aynı olacak şekilde yerleştirilmiş emme portlu basitleştirilmiş bir model kullanarak incelemişlerdir[34]. Silindirdeki karışımın emme girdabını oluşturmak için su kullanılmış ve esas akış yapısını elde etmek için girdap dikkatle incelenmiştir. Bu akış yapısının hava ile olan uygunluğundan emin olmak için emme port biçimleri ve yanma arasındaki ilişki de açıklanmıştır. İlk olarak silindirden geçen sabit bir akışın piston kullanılmadan ki durumu gözlenmiş ve sonuç olarak silindirde bir çift girdabın olduğu görülmüştür. Emme portunun silindir merkezi dışında olmasından dolayı iki girdabın olduğu kabul edilmiş ve basitleştirilmiş bir model oluşturularak bunun doğruluğu ispat edilmiştir. Şekil 2.1'de değişik supap pozisyonları için akış yapılan gösterilmektedir.

Benzer bir düzenekte hava kullanılarak silindir içerisindeki girdap oluşumu Hirotsu ve ark. tarafından gözlenmiş, oluşturulan iki girdabın mukavemeti ve değişimi silindir içerisinde ölçülmüştür[35]. Böylece üniform akışta, silindir içerisindeki değişiklikler ve iki girdabın akış yapısı açıklanmıştır. Bu işlemler, farklı biçimlerde dizayn edilmiş emme portları ve değişik supap açıklıkları göz önünde tutularak yapılmıştır. Hava-yakıt karışımını iyileştirmek ve emme strokunun ilk ve daha sonraki durumlarında akış-hız dağılımını dengelemek için hızlı bir girdabın arzu edildiği sonucuna varılmıştır. Oluşan iki girdabın bir taneye göre tercih edilebileceği düşünülmektedir. İyi bir yanma işlemi için iki girdaba sahip olunması gerektiği ve emme strokunun sonraki evrelerinde birbiri içerisinde kaybolmasının ideal bir karışım

oluşumunu sağlayacağı, ayrıca bir tek girdap oluşumunun yanma işleminin uzamasına neden olduğu Hirotomi ve ark. tarafından gösterilmiştir [35].



Şekil 4.1 Emme supabının simetrik olmayan durumları için akış yapıları[34]

Willis ve ark. silindir içerisine gönderilen hava-yakıt karışımı yerine su kullanarak girdap oluşumunu sağlamış ve kafalı supap kullanılarak her silindirin bir kesitindeki akış yapısını gözlemlemişlerdir[36].

White ve ark . tarafından emme supabı etrafındaki akış alanı basit bir pitot probu kullanılarak ölçülmüş olup, elde edilen sonuçlardan, probun ucuz ve akış değişikliklerini analiz etmede uygulanabilir bir yol olduğu, supap ve port optimizasyonuna imkan sağladığı gösterilmiştir[38].

Kang ve ark. dört supaplı ağır taşıt bir dizel motorda silindire girişteki akış yapısı, değişik port geometrileri kullanılarak incelenmiştir[39]. Deneysel neticeler aynı port biçimleri kullanılarak teorik sonuçlarla karşılaştırılmış olup, ölçülen girdap düzeylerinin teorik neticelerle de uyum içerisinde olduğu gösterilmiştir.

İçten yanmalı bir motorda, emme supabının çıkış düzleminde hızın üç bileşeni Khalighi ve ark. tarafından ölçülmüştür[40]. Bu hızlar, kararlı akış durumunda kızgın tel anemometresi kullanılarak ölçülmüş olup, akış oranının etkisi, supap açıklığı, silindir çapı ve emme supabı etrafındaki hız dağılımında ve giriş düzenlemelerinde bir değerlendirme yapılmıştır. Kararlı bir akış oranında, supap çevresindeki akış yapısının silindir kafasına olan mesafeye bağlı olduğu bulunmuş ve silindir kafasına olan yakın mesafede ise akışın düzensiz bir hal aldığı gösterilmiştir. Bununla birlikte, silindir kafasından olan mesafe arttıkça akış yapısının daha düzenli bir şekil aldığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, hız profillerinin supap eksenine,

silindir kafasına olan mesafeye, supap açıklığına ve supap geometrisine bağlı olduğu gösterilmiştir.[40]

Düz ve çanaklı pistonlarda emme supabının simetrik ve simetrik olmayan durumlarında, sıkıştırma oranı 7.7:1 ve dakikadaki devir sayısı 800 olan bir motor silindiri içerisinde üç bileşeni Lazer Doppler Anemometre'si kullanılarak ölçülmüş olup, silindire girişin ilk devrelerinde emme supabından geçen akışın, piston geometrisi ve pistonun silindir kapağına olan mesafesi ile doğrudan ilişkili olduğu gösterilmiştir [41,42].

Düşük hızlı motorların silindir modellerinde, çeşitli emme portu ve supabı ile emme kanalı ve supabında oluşturulan akış ve emme supabının kapanmasından sonraki akışın gelişimi, deneysel ve teorik olarak detaylı bir şekilde incelenmiştir [43,44]. Çeşitli piston geometrisi ve motor hızları için bu araştırmaların çoğu, helisel supap portlarıyla oluşturulan hız dağılımı ve girdapta yoğunlaştırılmıştır. Dakikada 2400 devire kadar türbülans yoğunluğunun, bazı motor geometrileri için doğrusallıktan sapan ortalama hızın aksine, motor hızıyla doğrusal olduğu bulunmuştur[43].

Brandstatter ve ark. hem dizel hem de benzinli motorlarda yaygın olarak kullanılan helisel bir port yardımıyla emme kanalı ve supabında üretilen akışı, teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir [45]. Bir dizel motorda, helisel port yardımıyla üretilen akış, sabit şartlar altında 900 d/d'da ve 8:1 sıkıştırma oranında Lazer Doppler Anemometresi kullanılarak incelenmiştir [41]. Supap çıkışındaki akış yapısının, supap çevresindeki eksenel hız dağılımıyla üniform olmadığı ve daha çok supap açıklığına bağlı olduğu bulunmuştur.

Benzinli motorlarda emme supabının yanmaya, girdaba ve egzoz emisyonlarına olan etkisi Stone ve ark. tarafından incelenmiştir[46]. Benzinli motorlarda hızlı bir yanma işleminin eksenel ve silindir eksenine normal bir düzlemde, bir eksen etrafında dönen girdabın oluşturulması ile sağlandığı gösterilmiştir. EGR'nin (Egzoz Gaz Resirkülasyon) kısmi yükte veya nitrojen oksitlerin (NOx) kontrolünde kullanıldığı ve bu durumda hızlı yanma sistemlerinin egzoz gaz resirkülasyonunun bir sonucu olduğu gösterilmiştir.

Eksenel girdap genellikle dizel motorlarda görülmektedir. Fakat benzinli motorlarda da etkilidir. Silindir eksenine normal bir düzlemde, bir eksen etrafında dönme ile oluşturulan girdap, genellikle iki adet emme supabının bulunduğu yanma odalarında görülmektedir. İki supap kullanımı geniş akış alanı sağlamaktadır. Sonuçta yüksek hızlarda bile yüksek volümetrik verim elde edilmektedir. Emme işlemi süresince bu girdap silindir içerisinde üretilmektedir. Sıkıştırma süresince hacimdeki azalma, öncelikle girdap oranındaki artışa momentum korunumundan dolayı neden olmaktadır. Sonuçta, hacimdeki daha fazla azalma, türbülansı dağıtacak girdaba neden olmaktadır. Bu ise, daha sonra yakılacak fakir hava-yakıt karışımlarına olanak tanımakta ve bu nedenle de ekonomik yakıt kullanımı ve düşük emisyon elde edilmektedir [47].

Kyriakides ve ark. tarafından aksel girdap ve silindir aksine normal bir düzlemde, bir aks etrafında dönen girdabın karşılaştırılması yapılmış olup, oluşturulan girdabın disk biçimindeki bir yanma odasında yüksek türbülans oluşturduğu gösterilmiştir[48]. Yanma İşleminde bu girdabın etkisi ayrıntılı bir şekilde Boer ve ark. tarafından çalışılmıştır[49]. Deneyler, giriş jetinde düzenlemeler yapılarak çeşitli hava-yakıt oranlarında yapılmış ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır. Yüksek türbülans derecelerinde alev gecikmesinde, yanma süresinde ve çevrimden çevrime olan değişikliklerde azalmalar ve daha az egzoz emisyonu değerleri ölçülmüştür. Bununla birlikte, çok fazla girdabın yanmamış hidro karbon. emisyonlarında ve fren özgül yakıt tüketiminde de artışa neden olduğu gösterilmiştir.

Mikulic ve ark. daha yüksek girdap düzeylerinde akış enerjisinin genellikle dala büyük basınç kayıplarıyla sonuçlandığını göstermişlerdir[50]. Bunun tam yüklemde volimetrik verimde bir azalmaya, kısmi yüklemde ise gaz keleşi boyunca daha az basınç kaybına neden olduğu gözlenmiştir.

5. MATERYAL VE METOT

Deneyler; Bafra Anadolu Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi Motorlu Araçlar Teknolojisi Alanı atölyelerinde ve Bafra Kızılırmak sanayi sitesindeki servislerde yapılmıştır. Deneylerde kullanılmak amacıyla aşağıda teknik özellikleri verilen bir motor jeneratör gurubu temin edilmiştir. Jeneratörü yüklemek için ampullerden oluşan bir alıcı gurubu oluşturulmuştur.

Emisyon ölçümlerinde Bafra sanayi sitesinde bulunan emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır.

5.1 Deney Düzeneği ve Teknik Özellikler

5.1.1 Deney Motorunun Teknik Özellikleri



Şekil 5.1.1 Genpower Jeneratör

Deneyler de genpower jeneratörünün içten yanmalı 4 zamanlı hava soğutmalı tek silindirli CH116S tip benzin motoru kullanılmış, bu motora ait teknik bilgiler Çizelge 5.1.1’de verilmiştir. Jeneratör boşa çalışırken maksimum devir olan 5000 dak^{-1} çalışmaktadır. Motor jeneratör gurubu alıcılar kullanılarak 6 kWatt’a kadar yüklenebilmektedir. Her yük artışında motor devri bir miktar düşmektedir. Yük artışını karşılamak için motorun regülatörü motor gaz kelebeğini bir miktar açarak motora daha fazla dolgu alınmasını sağlayıp motor devrini tekrar yükseltmektedir.

Markası	CH116S
Çalışma prensibi	4 zamanlı Karbüratörlü
Silindir sayısı	1
Silindir çapı	77,8 mm
Strok	82,5 mm
Toplam silindir hacmi	392 cc
Sıkıştırma oranı	6/1
Maksimum tork	20,6 Nm (2100-2200 d/d)
Maksimum güç	6 kW
Soğutma sistemi	Hava soğutmalı
Yağlama sistemi	Sıçratmalı yağlama
Buji tırnak aralığı	0,752 mm
Platin aralığı	0,506 mm

Çizelge 5.1.1 Deney motorunun teknik özellikleri

5.1.2 Egzoz Gazı Ölçümü Cihazı



Şekil 5.1.2 OByDic 5000 Egzoz gaz analiz cihazı

Deneylerde egzoz gazı emisyonları ölçümü Şekil 5.1.2 de görülen mOByDic 5000 Egzoz gaz analiz cihazı ile yapılmıştır. Cihaz 220 Volt şehir elektriği ile çalışmakta olup cihaz

açma düğmesi açıldıktan sonra normal çalışma şartlarına gelmesi için bir süre beklendikten sonra cihazın ayarları yapılarak ölçüm işlerine başlanmaktadır. Bunun için yeterli süre beklendikten sonra yakıt cinsi (benzin) seçimi yapıp bu yakıt cinsine göre cihaz otomatik olarak kendi kalibrasyonunu yapmaktadır. Kalibrasyon tamamlandıktan sonra cihazın gaz alma probu egzoz borusuna takılıp cihaz ekranında görülen emisyon değerleri kararlı bir duruma gelince veriler yazıcıdan alınmaktadır. Cihazın teknik özellikleri aşağıdadır.

TEKNİK ÖZELLİKLERİ mOByDic 5000 Egzoz Gaz Analiz Cihazı *TS ISO 3930 Sertifikalı *OIML 0 Standardına uygun hassasiyet *TUV, PTB ve DEKRA onaylı kızılötesi ölçüm ünitesi, prop ve pnömatik *17" LCD Ekran *Beko bilgisayar *Lazer yazıcı * Müşteri bilgileri kaydı ve rapor alabilme * Otomatik su tahliyesi * Maksimum 4 dakika otomatik hesaplanan ısınma süresi *Ölçüm değerlerinin yeşil, sarı, kırmızı olarak yorumlama *Otomatik sıfır ayarı *Opsiyonel NOx ilavesi *LPG ölçümüne uygunluk *Ölçüm aralıkları *CO : 0..10 %Vol *CO2 : 0..20 %Vol *HC : 0..20000 ppmVol *O2 : 0..21 %Vol *NOx : 0..5000 ppm *Lambda : 0..5

5.1.3 Türbülötör

Emme Manifoldu hava girişine yerleştirilen sabit kanatçıkları bulunan ve havaya türbülans etkisi yapan bir parçadır. Bu türbülötörler emme manifoldu girişine yerleştirilip silindire taze dolgu girişi esnasında dolguya bir türbülans kazandırılmıştır. [Şekil 5.1.3]

Bu harekete emme girdabı da denilmektedir. Emme girdabını oluşturmak için dizayn edilen emme portları motor performansını belirlemede daha etkili parametrelerden birisi olarak bilinmektedir. Kullanılan türbülötör farklı motor tiplerine rahatlıkla takılabilmektedir. Ancak farklı port tiplerine sahip motorlarda etkisi farklı olmaktadır. Farklı motor tiplerinde türbülötörün silindirdeki akışa etkileri üzerine çok az bilgi mevcuttur.

Şekil 5.1.3’de deneyler de kullanılan türbülötörler görülmektedir. Manifold giriş çapı ve motor silindir hacmine göre türbülötör çapı da değişmektedir.

Benzinli motorlarda yanmayı etkileyen en önemli faktörlerden birisi silindir içine alınan havaya giriş sırasında bir türbülans oluşturmaktır.

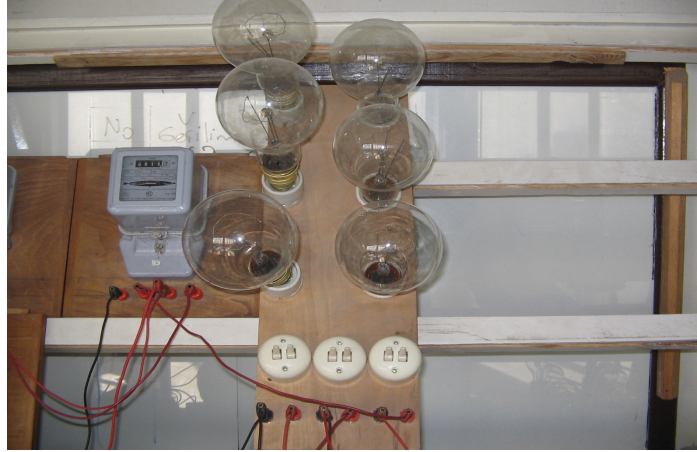
Bundan dolayı bu çalışmada benzinli bir motorun karbürötör girişine yerleştirilen bir türbülötör ile dolguya türbülans kazandırmak amaçlanmıştır. Motor değişik yükler altında çalıştırılıp türbülötörün yakıt tüketimi ve egzoz emisyonu üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.



Şekil 5.1.3 Sabit kanatçıklı türbülator

5.1.4 Paralel Lamba Düzenegi

Motorun yüklenmesinde kullanılan her biri 500 wattlık lambadan oluşan düzenektir. Düzenek Şekil 5.1.4 deki gibidir.Yükleme esnasında lambalar yük durumuna göre motor çalışırken jeneratöre bağlanmış ve anahtar yardımıyla yanmalı sağlanmıştır.



Şekil 5.1.4 Paralel Lamba düzeneği

5.1.5 Deneyde Kullanılan Yakıtlara Ait Özellikler

Deneylerde, motor üretici firmanın önerdiği kurşunsuz benzin kullanılmıştır. Kurşunsuz benzin ticari amaçlı satılan yakıt satış istasyonlarından temin edilmiştir.

5.2. Metod

Deneye başlamadan önce motorun yağı değiştirilmiş ve motor ayarları kontrol edilmiştir. Daha sonra motor belli bir süre çalıştırılarak motorun çalışma sıcaklığına gelmesi sağlanmış ve motorun hareketli ve sabit parçalarının kontrolü yapılmıştır.

Deneyde iki aşamalı yapılmıştır. Birinci aşamada türbülatorsüz olarak çalışma sıcaklığına getirilen motor yüksüz olarak çalıştırılarak hazırlanan 30 ml. yakıtın harcanma süresi zaman olarak belirlenmiştir. Daha sonra motor Şekil 5.1.4 deki Paralel Lamba düzeneği kullanılarak 1000 Watt , 2000Watt ve 3000Watt yüklenmiştir ve her yüklemedeki 30 cc.lik yakıtın harcandığı süre tespit edilmiştir. Ölçülen süreler çizelge 5.2.1 de verilmiştir.

Çizelge 5.2.1 Türbülatorsüz motorun yakıt sarfiyatı

MOTOR	H.YAKIT	YAKITIN HARCANDIĞI SÜRE
Yüksüz	30cc	2.10 DAKİKA(126 SANİYE)
1000waat	30cc	1.50 DAKİKA(90 SANİYE)
2000waat	30cc	1.42 DAKİKA(85.2 SANİYE)
3000waat	30cc	1.31 DAKİKA(78.6 SANİYE)

İkinci aşamada motorun hava girişine bir boru ve boru içine türbülator yerleştirilerek motorun karbüratör hava girişine yerleştirilmiştir. Motor tekrar çalıştırılarak çalışma sıcaklığına getirilmiş ve sırasıyla motorun yüksüz, 1000Watt, 2000Watt ve 3000Watt yükte çalıştırılması

sağlanarak bu durumlardaki 30 ml. yakıtın harcandığı süre ölçülmüştür. Ölçülen bu süreler çizelge 5.2.2 de verilmiştir. 30 ml.için yakıt tüketim süresi ölçümleri kullanılarak birim zamandaki yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2.2 Türbülatorlü motorun yakıt sarfiyatı

MOTOR	H.YAKIT	YAKITIN HARCANDIĞI SÜRE
Yüksüz	30cc	2.26 DAKİKA(135.6 SANİYE)
1000waat	30cc	1.46 DAKİKA(87.6 SANİYE)
2000waat	30cc	1.40 DAKİKA(84 SANİYE)
3000waat	30cc	1.38 DAKİKA(82.8 SANİYE)

Motorun türbülatorlü ve türbülatorsüz çalışma safhalarında yakıt tüketimi ölçümleri sırasında motor yüksüz çalışırken ve 3000 Watt yükteki durumunda egzoz gazları emisyonları ölçülmüştür . Ölçülen emisyon değerleri Şekil 5.2.3, Şekil 5.2.4, Şekil 5.2.5, Şekil 5.2.6 da verilmiştir.

TSE 11366 STANDARDLARINA UYGUN ÖLÇÜM DEĞERLERİ

		ölçüm sonucu	sınır değeri
CO	· ·	0.10 %Vol	0-3.50
C02	·	07.91 %Vol	10-16
HC	· ·	43 ppmVol	0-1200
02	· ·	9.80 %Vol	0-5.00
Lambda	· ·		0.9-1.2
NOx	· ·	0 ppm	-----

Şekil 5.2.3 Türbülatorsüz(Motor yüksüz çalışırken emisyon değerleri)

		ölçüm sonucu	sınır değeri
CO	· ·	0.35 %Vol	0-3.50
C02	·	04.7 %Vol	10-16
HC	· ·	22 ppmVol	0-1200
02	· ·	14.13 %Vol	0-5.00
Lambda	· ·	- ---	0.9-1.2
NOx	· ·	0 ppm	-----

Şekil 5.2.4 Türbülatorlü(Motor yüksüz çalışırken emisyon değerleri)

		ölçüm sonucu	sınır değeri
CO	· ·	0.46 %Vol	0-3.50
C02	· ·	08.24 %Vol	10-16
HC	· ·	115 ppmVol	0-1200
02	· ·	9.32 %Vol	0-5.00
Lambda	· ·		0.9-1.2
NOx	· ·	0 ppm	-----

Şekil 5.2.5 Türbülatsüz(Motor 3000 Watt yükte çalışırken emisyon değerleri)

		ölçüm sonucu	sınır değeri
CO	· ·	0.69 %Vol	0-3.50
C02	· ·	04.8 %Vol	10-16
HC	· ·	73 ppmVol	0-1200
02	· ·	13.24 %Vol	0-5.00
Lambda	· ·	----	0.9-1.2
NOx	· ·	0 ppm	-----

Şekil 5.2.6 Türbülatsüz(Motor 3000 Watt yükte çalışırken emisyon değerleri)

5.3 Özgöl Yakıt Tüketimi

Motorun birim güç başına tükettiği yakıt miktarına özgöl yakıt tüketimi denir. 3000 Watt yük altında motorun özgöl yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

$$b_e = \frac{B_e}{N_e} * 10^3$$

Bu formülde:

be = Özgöl yakıt tüketimi gr/kWh olarak,

Be = Tüketilen benzin ve gr/h olarak,

Ne = Motor gücünü kW olarak gösterilmektedir.

Benzin tüketimi,30 cc. yakıtın harcanma süresi (saniye) olarak ölçüldükten sonra verilen formülle hesaplanmıştır.

Be (Türlatörlü 3000 Watt) =1304.3 gr/kWh

be= (1304,3/3)*10³

Be (Türlatörsüz 3000 Watt) =1374 gr/kWh

be= (1374,3/3)*10³

6. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

6.1 Yakıt Tüketimi

Motorun türbülatorsüz ve türbülörlü olarak çalıştırılması durumunda 30 cc. lik tüketim süresi Şekil 5.2.1 ve 5.2.2 verilmişti. Bu değerler doğrultusunda türbülatorsüz ve türbülörlü motorun tam gaz durumunda yüksüz çalışması, 1000Watt, 2000Watt ve 3000Wattlık yüklemeler sonucunda 1 saatte harcadığı yakıt miktarı hesaplanmış ve Şekil 6.1 de grafik olarak gösterilmiştir.

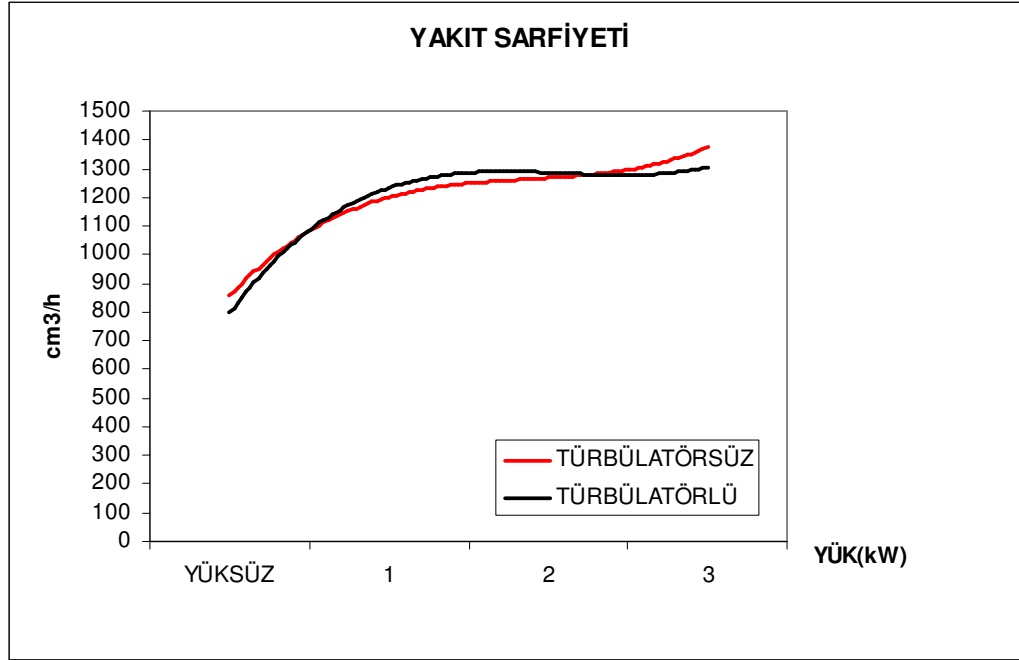
Tablo 6.1' e bakıldığında motor yüksüz çalışırken, emme havası girişine(karbüratör girişine) türbülötör yerleştirildiğinde yakıt sarfiyatının bu devirde çalışan türbülatorsüz motora oranla düştüğü görülmektedir.

Motorun yüklenmeye başlanmasıyla birlikte yakıt sarfiyatının türbülörlü ve türbülatorsüz motorda arttığı görülmektedir. Motorlarda yakıt tüketiminin motor yüküne bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Bu nedenle motorun türbülörlü ve türbülatorsüz olarak yüksüz durumda çalışması halinde iki durum için yakıt tüketiminin en düşük seviyede olması doğal bir sonuçtur. Deney motoru çalıştırıldığında gaz kolu sürekli maksimum konumdadır. Bu nedenle yüksüz durumda motor en yüksek devirde çalışmaktadır. Motor yüklendikçe devir sayısı bir miktar düşmektedir.

Yüksek devirlerde silindire alınan hava hızı da yüksektir. Yüksek devirlerde emme supabı açılma aralığından hava silindire jet hızına yakın bir hızla girmesi yerel soğuk bölgelerin oluşmasına neden olabilir. Türbülötör kullanılması yüksek devirlerde daha fazla bir türbülans oluşturmaktadır. Yüksek türbülans yerel soğuk bölgelerin daha da artmasına sebep olmaktadır [2]. Bunun yanmayı olumsuz etkilediği söylenebilir. Nitekim Şekil 6.1' e bakıldığında türbülötör kullanılması yakıt tüketimini arttırdığı görülmektedir. Böyle bir yanmada yanmaya iştirak etmeyen O_2 fazlalığı ortaya çıkmaktadır. Şekil 6.2.1' e bakıldığında türbülötör kullanılması durumunda egzoz emisyonlarındaki O_2 miktarının türbülötör kullanılmamış çalışmaya göre daha fazla olduğu görülmektedir. Aynı grafikte türbülötör kullanılmış motorda bir eksik yanma ürünü olan CO miktarının daha yüksek olması bu düşüncüyü kuvvetlendirmektedir. Türbülötör kullanılmış durumda bir tam yanma ürünü olan CO_2 konsantrasyonunun türbülötör kullanılmamış duruma göre daha düşük olması yerel eksik yanmanın ikinci bir kanıtı olarak ileri sürülebilir.

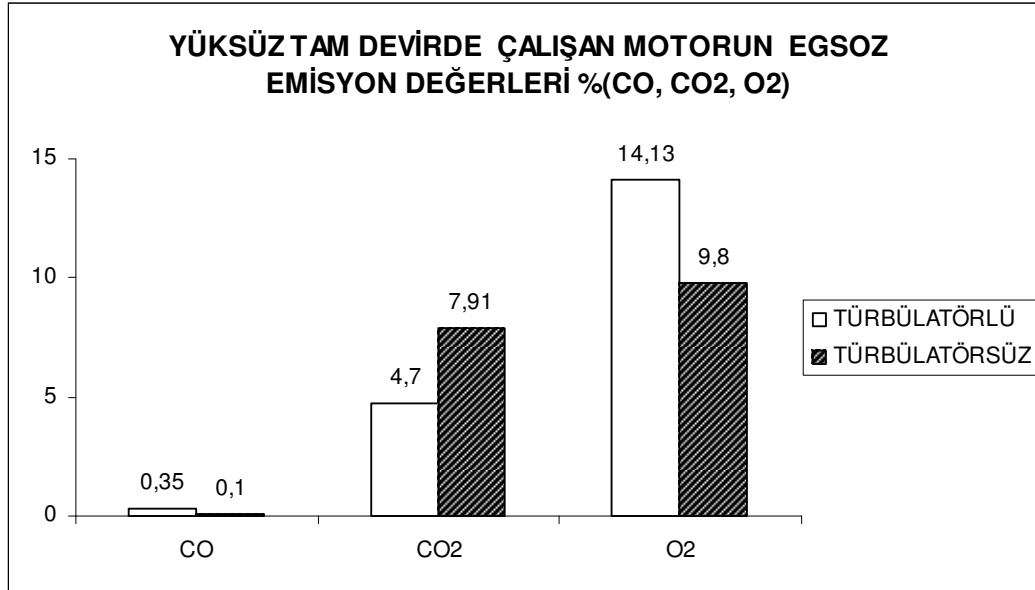
Şekil 6.1'de motor yüküne bağlı olarak yakıt tüketimindeki artış trendi türbülötör kullanılmamış durumda, türbülötör kullanılmış duruma göre daha yüksektir. Yükleme devam ettikçe türbülötör kullanılmamış durumdaki yakıt tüketimi türbülörlü çalışmadaki yakıt tüketimine yetiştigi ve geçtiği yükleme arttıkça yakıt tüketimi arasındaki farkın arttığı görülmektedir.

Motorlarda yakıt tüketimini arttıran önemli göstergelerden biriside yanmadan dışarı atılan HC miktarıdır. Şekil 6.2.1 ve Şekil 6.2.2'ye bakıldığında motor boşta çalışırken türbülator kullanılması durumunda türbülator kullanılmamış çalışmaya göre HC miktarında 21 ppm azalma olduğu görülmektedir. Motor 3000 Waatt yüklü durumda ise HC oranındaki azalma 42 ppm dir. Motor yüklü olarak çalıştırıldığında türbülator kullanılması durumunda yanmamış yakıt göstergesi olan HC miktarının azalması, yakıt tüketiminin azalmasının başlıca nedeni olarak gösterilebilir. Sonuç olarak yük arttıkça türbülator kullanılmasının yanma üzerindeki etkinliğinin arttığı yanmayı iyileştirip yakıt tüketimini azalttığı söylenebilir. Motorun yüklenmeye başlamasıyla birlikte yük miktarına bağlı olarak yakıt sarfiyatının türbülatorlü ve türbülatorsüz motorda arttığı görülmektedir. Bu doğal ve beklenen bir sonuçtur.

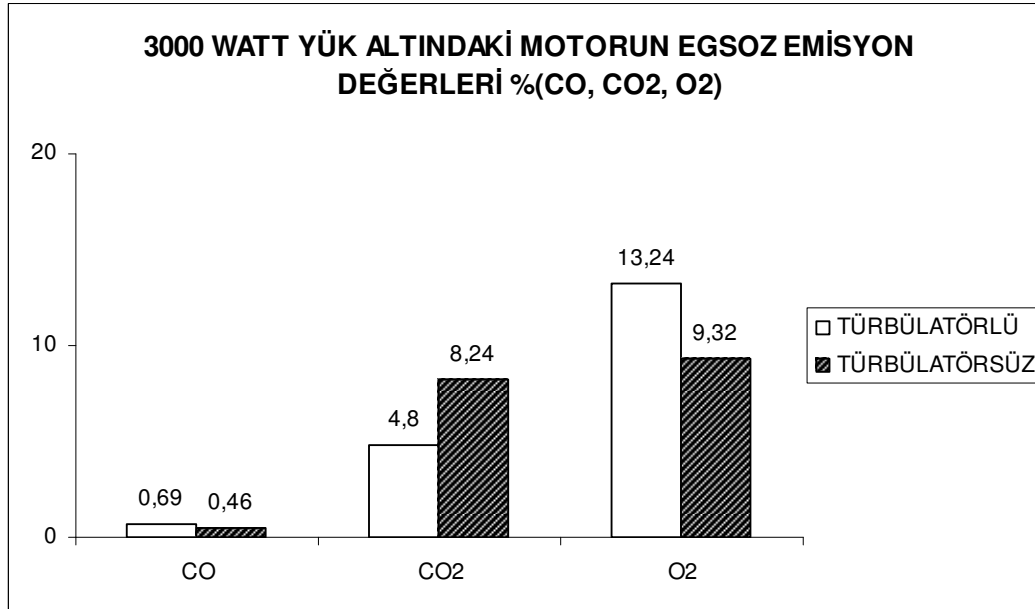


Şekil 6.1 Motorun Türbülatorsüz ve Türbülatorlü Çalışma Durumunda Yakıt Tüketimi

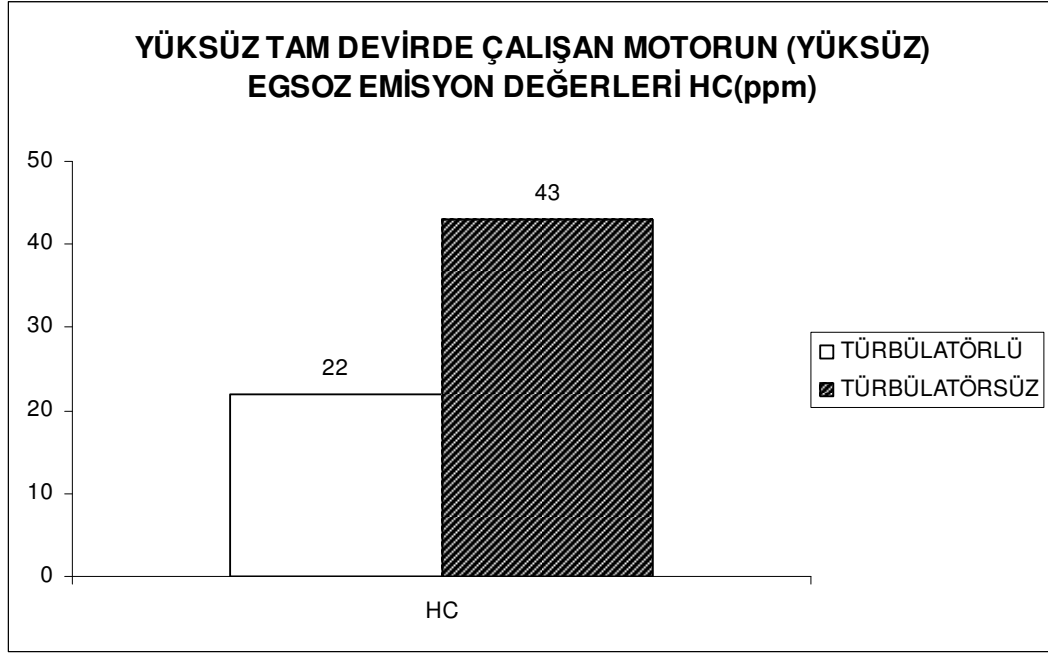
6.2 Emisyon Değerleri



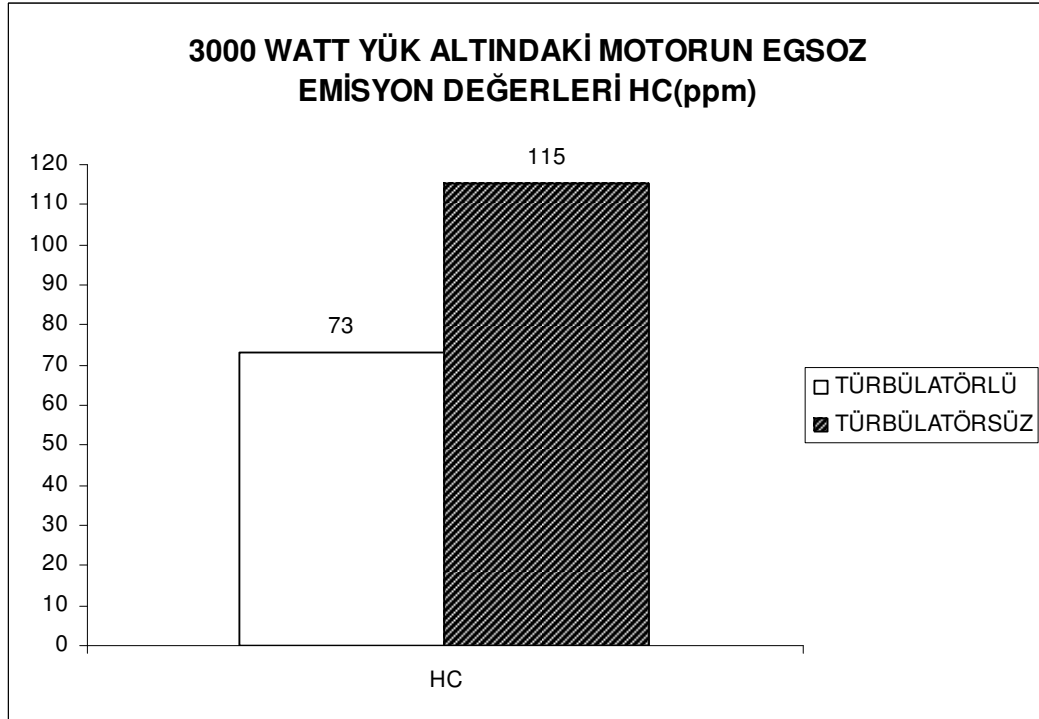
Şekil 6.2.1 Yüksüz tam devirde çalışan motorun türlatörlü ve türlatörsüz ölçülen emisyon değerleri %(CO, CO₂, O₂)



Şekil 6.2.2 3000 Wattlık yükle yüklenen motorun türlatörlü ve türlatörsüz ölçülen emisyon değerleri %(CO, CO₂, O₂)



Şekil 6.2.3 Yüksüz tam devirde çalışan motorun türbülatorlü ve türbülatorsüz ölçülen emisyon değerleri HC(ppm)



Şekil 6.2.4 3000 Wattlık yükle yüklenen motorun türbülatorlü ve türbülatorsüz ölçülen emisyon değerleri HC(ppm)

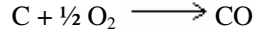
6.3 CO Emisyonları

Deney motorunun yüksüz ve yüklü çalışmasında CO (karbon monoksit) emisyonunun değişimi Şekil 6.2.1 ve Şekil 6.2.2. 'de gösterilmiştir.

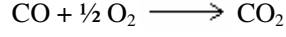
CO emisyonunun oluşmasının ana nedeni yanma odasında oksijenin yetersiz olması, yerel fakir karışımların bulunması ve düşük yanma sıcaklığına bağlanmaktadır. Oksijen miktarı yanma odasının tamamında toplam olarak yetersiz olabileceği gibi, yerel olarak da yetersiz olabilir. Yanma sırasında yüksek sıcaklıklarda su gazı reaksiyonu olarak adlandırılan denge reaksiyonu sonucu CO oluşmaktadır. Karşım oranı CO oluşumunu çok kuvvetli olarak etkileyen bir parametredir[2]. Ayrıca yanma hızının da CO oluşumuna etkisi söz konusudur. Yanma yeterince hızlı olmadığında silindir cidarlarından kaybedilen ısı yanmanın tam olarak tamamlanabilmesini olumsuz etkiler, bu durumda da CO oluşumu artar. Yanma odasının yüzey/hacim oranı da CO emisyonu oluşumunu etkileyen faktörlerdendir. Silindir içindeki karışımın homojenliği, silindirler arasında oluşan karışım oranı farklılıkları, motor hızı, dolayısıyla piston hızı ve silindirdeki karışımın türbülansı da CO emisyonunun oluşumunu etkileyen diğer önemli faktörlerdir.

Motor yüksüz olarak çalıştırıldığında, hem türbülatorsüz hem de türbülatorlü çalışma koşullarında CO kompenent oranının motorun yüklü çalışmasına oranla daha düşük olduğu görülmektedir. Birçok litaretürde CO davranışının oksijen konsantrasyonu, yanma odası sıcaklığı yakıt özelliklerinin yanı sıra yanma odası tasarımı ve motor özelliklerine bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir. Yanma odasında gaz formuna dönüşen yakıt için bugün en iyi bilinen tepkimeler CO ve H₂ bileşenlerinin yanma tepkimeleridir. Gaz yakıtın yanma başlangıcı ile sonu arasında çok sayıda ara ürün oluşup yok olmaktadır. Gaz maddelerin yanma zamanı belirli oksitlenme şartlarında yanma odası sıcaklığına, parçalanmış yakıtın pülverizasyonuna , yakıt cinsine, yanma odasındaki hava hareketlerine, karışım oranı ile motor ve yanma odası dizaynına bağlı olarak değişmektedir. Hava/Yakıt karışım düşünüldüğünde en yüksek yanma hızı stokiyometrik karışım oranı civarında gerçekleşmektedir. Diğer bir değişle stokiyometrik karışım oranı civarında karışım sağlanması, yanma süresini kısaltmaktadır. Fakir ve zengin karışım oranlarında yanma süresi uzamaktadır. Motor yükü arttıkça silindire alınan dolgu miktarı artmakta, dolgu içerisindeki yakıt oranı da yükselmekte karışım zenginleşmektedir. Ayrıca zengin karışımında yakıtın parçalanma hızı uzamakta, yakıt taneleri büyümektedir. Yüksüz durumda motor yanma odası sıcaklığı da düşük kalmaktadır. Bunlar düşünüldüğünde motor yüksüz çalışırken CO oranının yüklü duruma göre daha düşük çıkması normal gelmektedir. Şekil 6.2.1 ve Şekil 6.2.2' de türbülator kullanılması durumunda motorun hem yüksüz hem de yüklü çalışma koşullarında CO oranının biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Yanma odası içerisinde CO oluşum mekanizması aşağıdaki şekilde verilmektedir.

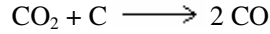
1. Oksijen karbon atomlarına nüfuz eder, ani olarak reaksiyona girer.



2. CO kalan oksijenle hemen reaksiyona girer.



2. CO₂' nin bir kısmı CO oluşturmak üzere reaksiyona girmemiş C atomlarıyla reaksiyona girer.



Burada CO oluşumunda reaksiyona karşı fiziksel ve kimyasal dirençlerin bulunduğu bilinmektedir. Fiziksel direnci yanma odası tasarımı ve yanma odası içeriği daha çok etkilerken, kimyasal direnç üzerinde sıcak daha etkindir. Yüksek sıcaklık kimyasal direnci azaltmaktadır. CO oluşumu eksik hava ve düşük sıcaklıklarda artmaktadır. Türbülator kullanımının CO konsantrasyonu üzerinde çok fazla etkisi olmadığı anlaşılmaktadır. Türbülator kullanılarak motorun yüksüz çalışmasında yerel zengin ve fakir karışımların bulunması, yanma odası sıcaklığının nispeten daha soğuk olması kimyasal reaksiyonları azalttığı sonuçta CO oluşumunu arttırdığı söylenebilir. Motor yükü arttıkça yakıt tüketimine bağlı olarak CO oranında da artış olması beklenen bir durumdur. Yüklü çalışmada türbülator kullanılmış ve türbülator kullanılmamış durumdaki CO oranları arasındaki farkın, yüksüz çalışmalarda CO oranları arasındaki farkı koruduğu görülmektedir. Bu; türbülator kullanımının CO oluşumu üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Yüklü durumda O₂ tüketimindeki artış yani O₂ konsantrasyonunun azalması bunun bir kanıtı olarak ileri sürülebilir.

6.4 CO₂ Emisyonları

Motor Yüküne bağlı olarak CO₂ (karbondioksit) emisyonunun değişimi Şekil 6.2.1 ve Şekil 6.2.2.'de gösterilmiştir. Grafiklere bakıldığında yüksüz ve motorun yüklü olduğu türbülatorsüz ve türbülatorlü çalışmalarda CO₂ konsantrasyonunda kayda değer bir değişim olmadığı görülmektedir. Yüklü ve yüksüz çalışmaların her ikisinde de türbülatorlü ve türbülatorsüz çalışmada CO₂ değerinde ve CO₂ konsantrasyonu arasındaki farkın kayda değer bir değişim göstermemesi, motor yükünün CO₂ oluşumu üzerinde etkili olmadığını göstermektedir. Yüklü çalışmada O₂ tüketimindeki artışın daha çok HC konsantrasyonu üzerinde etkili olduğu söylenebilir.

6.5 HC Emisyonları

Motor devrine bağı olarak HC (hidrokarbon) emisyonunun değişimi Şekil 6.2.3 ve Şekil 6.2.4.'de gösterilmiştir. Grafiklere bakıldığında türbülantörli düzenekteki HC oranının türbülantörsüz düzenekteki HC oranından düşük çıktığı görölmekedir.

Egzoz gazları içinde yanmamış hidrokarbonların bulunma nedeni sıcaklıkların, oksijen miktarının veya zamanın yetersiz olması sonucu yanmanın tamamlanamamasıdır. Bu nedenle zengin karışımlarda yeterli oksijen sağlanamadığı için yanma tamamlanamaz ve HC emisyonu artar. Karışımın çok fakirleşmesi durumunda ise yanma odası sıcaklığı düşeceği için tam yanma sağlanamaz ve HC emisyonu artar. Benzin motorlarında cidarlardaki ısı kaybı nedeniyle oluşan ve “alev sönme bölgesi” olarak adlandırılan ince tabakada yanma tamamlanamadığı için HC emisyonu bu bölgenin kalınlığına bağı olarak artış gösterir. Yağlama yağının silindir cidarlarında oluşturduğu ince yağ filminin yanması sonucunda da HC emisyonu artmaktadır. Supap süper pozisyonu sırasında ve iki zamanlı motorlarda süpürme işlemi sırasında yakıtın yanmadan yanma odasından atılması HC emisyonlarını artırır.[3]

Şekil 6.2.3 'de motorun yüksüz çalışmasında HC değerlerine baktığımızda türbülantörli çalışmada ortaya çıkan HC değerlerinin türbülantörsüz çalışmada ortaya çıkan HC değerinden küçük olduğu görölmektedir, bunun en önemli sebebi türbülantörli çalışmada türbülantörün karışımı hızlandırarak ve karışıma türbülans etkisi yaratarak yanma hızını artırması ve karışımın daha iyi yanmasını sağlamasıdır. Aynı şekilde, Şekil 6.2.4'e baktığımızda 3000 Wattlık yüklemde motorun türbülantörli çalışmasında ölçülen HC oranının türbülantörsüz çalışmadaki HC oranından daha düşük olduğu görölmektedir. Buda türbülantörli çalışmada motorun yüklenmesiyle birlikte türbülantörsüz çalışmaya göre yanmanın iyileştiğini göztermektedir.

Şekil 6.2.3 ve 6.2.4' deki HC oranlarına bakıldığında motorun yüksüz çalışmasında ortaya çıkan HC oranının motorun yüklenmesiyle birlikte arttığı görölmektedir. Motorun türbülantörli veya türbülantörsüz çalışmalarındaki bu HC artışının sebebi alevin, yanma odasını boydan boya geçmeden, yanmamış karışım kütlesi içinde sönmesi bazı motor işletme şartlarında önemli bir HC emisyonu oluşum nedenidir. Genişleme esnasında alevin önündeki karışım sıcaklığı düşmektedir. Bu yanma hızının düşmesine neden olmaktadır.Yüksek devirlerde sıkıştırma esnasında yükselen silindir basıncı yanmamış karışımı silindir içerisinde bulunan küçük oyuklardaki bu hacimlere girmeye zorlamaktadır. Bu hacimler küçük olduğundan yüzey/hacim oranı büyük olup içeri giren gazın sıcaklığı ısı transferi yoluyla duvar sıcaklığı mertebesine düşmektedir. Yanma esnasında basınç yükseldikçe yanmamış karışım bu hacimlere girmeye devam etmektedir alev bu kısımlara geldiğinde bu hacimdeki gazları yakamamakta ve alevin sönmesine neden olmaktadır bunun sonucunda da HC oranı yükselmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Daha yüksek verimli benzinli motorların geliştirilmesi, sadece mevcut petrol rezervlerinin tutumlu şekilde kullanılması için değil, bunun yanında daha iyi emisyon değerlerinin elde edilmesi sonucu tüm çevrenin korunması yönünde oldukça önemlidir. Bir benzinli motorun yanma karakteristiklerini ve termal verimini doğrudan etkileyen etken, motor silindirinin içerisine giren karışımın hızıdır.

Hem egzoz emisyon kontrolünü hem de yakıt tüketimini iyileştirmek ve hızlı bir yanma elde etmek için yüksek türbülansa ihtiyaç duyulmaktadır. Meydana gelen bu hızlı yanmayı oluşturmak için uygun yöntemlerden bir tanesi, emme işlemi süresince bir girdap akımı oluşturmaktır. Silindir içerisinde oluşturulan girdabın küçük olması yanmanın daha kararlı bir yapıya sahip olduğunu göstermekte ve yanma süresince yüksek türbülans oluşturan çevrimden hemen sonra dağılma göstermektedir. Bu da daha yüksek türbülans, hızlı alev önü yayılması hem de daha yüksek alev yüzey alanına neden olmaktadır. Şu da bir gerçektir ki, çok hızlı bir yanmaya ihtiyaç duyulmadığı durumda aşırı akışkan hareketi ve türbülans, gereğinden fazla oluşan ısı transferi, performans ve verim kayıplarıyla sonuçlandığından dolayı arzu edilmemektedir.

Özgül yakıt tüketimi açısından türbülantörlü çalışmasının türbülantörsüz çalışmaya göre daha iyi sonuç vermiştir. Motorun 3000 Watt yüklü çalışmasında özgül yakıt tüketimi (Türbülantörsüz 3000 Watt) =1374 gr/kWh ve (Türbülantörlü 3000 Watt) =1304.3 gr/kWh olarak tespit edilmiştir. Buda motorun türbülantörlü çalışmasında türbülantörsüz çalışmaya göre özgül yakıt tüketiminde azalma olduğunu sonucunu verir. Aynı şekilde motorun yüksüz çalışmasında da türbülantör kullanımının özgül yakıt sarfiyatını düşürmektedir. Ancak Motorun yüklenmesiyle birlikte türbülans etkisinin artması yerel soğuk bölgelerin daha da artmasına sebep olmaktadır. Bu da yanmayı olumsuz etkilemektedir. Buna bağlı olarak türbülantör kullanılmasının yakıt tüketimini arttırdığı görülmektedir. Böyle bir yanmada yanmaya iştirak etmeyen O₂ fazlalığı ortaya çıkmakta ve CO oranı da artmaktadır. Motor yüklenmeye devam edilmesi ile özellikle 2000 Watt ve 3000 Watt arasında yakıt sarfiyatının türbülantörlü çalışmada türbülantörsüz çalışmaya göre düştüğünü göstermektedir. Bunun sebebi olarak da HC oranındaki düşmeyi söyleyebiliriz. Buna göre motorun yüklenmesiyle türbülantörlü ve türbülantörsüz çalışmada yakıt sarfiyatının artması doğaldır fakat motorun yüklenmesiyle türbülantörün yakıt sarfiyatını düşürdüğünü söyleyebiliriz.

Türbülantör kullanımının CO konsantrasyonu üzerinde çok fazla etkisi olmadığı anlaşılmaktadır. Türbülantör kullanılarak motorun yüksüz çalışmasında yerel zengin ve fakir karışımların bulunması, yanma odası sıcaklığının nispeten daha soğuk olması kimyasal

reaksiyonları azalttığı, sonuçta CO oluşumunu artırdığı söylenebilir. Motor yükü arttıkça yakıt tüketimine bağlı olarak CO oranında da artış olması beklenen bir durumdur. Yüklü çalışmada türbülator kullanılmış ve türbülator kullanılmamış durumdaki CO oranları arasındaki farkın, yüksüz çalışmalarda CO oranları arasındaki farkı koruduğu görülmektedir. Bu türbülator kullanımının CO oluşumu üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Yüklü durumda O₂ tüketimindeki artış yani O₂ konsantrasyonunun azalması bunun bir kanıtı olarak ileri sürülebilir. Türbülatorlü ve türbülatorsüz çalışmalarda ortaya çıkan bu CO değerleri TSE 11366 standartlarına uygun resmi ölçüm değerleri olan % 0-3,5 arasında olduğu göz önünde bulundurulursa önemsenmeyecek kadar düşük değerlerdir.

Yüksüz ve motorun yüklü olduğu türbülatorsüz ve türbülatorlü çalışmalarda CO₂ konsantrasyonunda kayda değer bir değişim olmadığı görülmektedir. Yüklü ve yüksüz çalışmaların her ikisinde de türbülatorlü ve türbülatorsüz çalışmada CO₂ değerinde ve CO₂ konsantrasyonu arasındaki farkın kayda değer bir değişim göstermemesi, motor yükünün CO₂ oluşumu üzerinde etkili olmadığını göstermektedir. TSE 11366 standartlarına göre CO₂ sınır değerler % 10-16 verilmiştir. Türbülatorlü ve türbülatorsüz çalışmada ölçülen CO₂ miktarı bu değerler arasında çıkmış, türbülatorlü çalışmada CO₂ değeri türbülatorsüz çalışmadaki CO₂ değerinden düşük çıkmıştır.

HC değerlerine baktığımızda türbülatorlü çalışmada ortaya çıkan HC değerlerinin türbülatorsüz çalışmada ortaya çıkan HC değerinden küçük olduğu görülmektedir, bunun en önemli sebebi türbülatorlü çalışmada türbülatorün karışımı hızlandırarak ve karışıma türbülans etkisi yaratarak yanma hızını artırması ve karışımın daha iyi yanmasını sağlamasıdır

Sonuç olarak içten yanmalı motorlarda türbülator kullanılmasının daha iyi emisyon değerleri verdiği ve yakıt sarfiyatını az da olsa düşürdüğünü söyleyebiliriz. Fakat fazla türbülans yakıt tasarrufu sağlar ancak ateşleme sisteminin hızlı yanmaya göre ayarlanması gerekmektedir.

Bundan sonraki içten yanmalı motorlarda türbülator kullanılması üzerine yapılan çalışmalarda; giriş havasının türbülans etkisini daha iyi görebilmek için şeffaf bir cam boru içerisinden hava renklendirilip ve bir fan yardımıyla hareket kazandırılarak geçirildiğinde türbülans etkisindeki değişim gözlenebilir. Motorun türbülatorlü ve türbülatorsüz çalışmalarında emme manifoldundaki hava debisi ölçülerek türbülatorün giren hava miktarı üzerindeki etkisi açıklanabilir. Türbülatorlü ve türbülatorsüz çalışmadaki değerler bir bilgisayar simülasyon programı kullanılarak geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A. 1987. Benzin Motorlarında Yakıt Ekonomisi, Gütef Dergisi, Cilt2, 1987.
2. Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H., E., Soruşbay, C., İçten Yanmalı Motorlar, İstanbul
3. Soruşbay, C., Gökten, A., G., "Motorlu taşıtlardan kaynaklanan çevre kirliliği ve kontrolü", İTÜ I. Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Sempozyumu, İstanbul, 157-166, (1993).
4. Salman, S., Altıparmak, D., İçingür, Y., Koca, A., "Buji İle Ateşlemeli Bir Motorda Çeşitli Parametrelerin Yanma Hızı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi", 1. Uluslararası Otomotiv Teknolojisi Kongresi, 195-203, 26-30 Mayıs, 1997, Adana
5. Özdamar, İ. Yelken, B., 1991, Benzin Motorları, M.E.B. yayını, İstanbul
6. Lancaster, D., Krieger, R. and Spencer, C., 1976 Effects of turbulence on spark ignition engine combustion : SAE, 160,
7. Khovakh, M., 1976, Motor vehicle engines, Mir Publishers, 618 p
8. Bayka, D., 1986 İçten yanmalı motorlar: Master Ders Notları , Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara , 70 s.(yayınlanmamış)
9. Ricardo, R., 1968. The High Speed Internal Combustion Engine, 5 th Edition, London,
10. Gülder, Ö., ve Bayka, D., 1981 Etanol ve Etanol-Benzın karışımlarının otomobil yakıtı olarak teknik yönleri: TUBİTAK MAG-526, Ankara , 39 s.
11. Wakuri, Y., 1979. Influence of Swirl and Turbulence on the Burning Rate in an Engine Cylinder, Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University, Vol.39, No.4.
12. Annand, W.J.D. and Roe, G.E., 1974. Gas Flow in the Internal Combustion Engine, (G.T. Foulis and Company Limited, Spark-ford, Yeovil, Somerset).
13. Tabaczynski, R.J., 1982. Effects of inlet and Exhaust System Design on Engine Performance, SAE paper 821577.
14. Wentworth, J.T., 1971. The Piston Crevice Volume Effect on Exhaust Hydrocarbon Emission, Combustion Science and Technology, Vol.4.
15. Heywood, J. B., 1987. Fluid Motion Within the Cylinder of Internal Combustion Engines, Journal of Fluids Engineering, Vol.109/3, pp.3-35, March.
16. Taylor. K.C., 1986. Automobile Catalytic Converters", Proceedings of the First International Symposium (CAPOC I), Brussels, September 8-11, pp. 97-117.
17. Clerk, D., Cylinder Actions in Gas and Gasoline Engines, SAE Journal, Vol. 8, p.523. 1921.
18. Arcoumanis, C. and Whitelaw, J. H., Fluid Mechanics of internal Combustion Engines- A Review, Proc. I. Mech. Engrs., Vol. 201, No. C, pp. 57-74, 1987.
19. Heywood, J. B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Book Company, 1988.
20. Tennekes, H., and Lumley, J. L., A first Course in Turbulence, The MIT Press. 1972.

21. Namekawa, S, Ryu, H., and Asanuma, T., Lda Measurement of Turbulent Flow in a Motored and Firing Spark-ignition Engine with a Horizontal Prechamber, SAE .PaperNo. 881636, 1988.
22. Witze, P. O., Martin, J. K., Cyclic-Variation Bias in Spark Ignition Engine turbulence Measurement, in Second Intl. Symp. on Application of User Anemometry to Fluid Mechanics. Lisbon. July 2-4, 1984
23. Obokata, T., Hanada, N., Kurubayashi, T., Measurement of Gas Flow in a Combustion Chamber of Small-Sized. Two-Stroke S.I. engine by LDA (2nd Report, Evaluation of Turbulence Characteristics by Stationary Time-Averaged Analysis), JSME, No. 86-103A, 1987.
24. Kodal, A., A New Orthogonal Decomposition Method for Turbulent Flows. Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering) in The University of Michigan, 1993.
25. Brereton, G. J, and Kodal, A., A Frequency-Domain Filtering Technique for Triple Decomposition of Unsteady Turbulent Flow. .J.Fluids Engineering, Vol. 114. p. 45-51, 1992.
26. Erdil, A. ve Kodal, A., Karmaşık Organize Sinyallerin Türbülans Filtresi Yardımıyla Süzülmesi, Sinyal İşleme Ve Uygulamaları Kurultayı, Nevşehir, 1995.
27. Kodal, A. ve Aydöre, S., Deneysel Jet Datası Üzerinde Türbülans Filtresi Kararlılık ve Etkinliğinin İncelenmesi, 1. Ulusal Deneysel Mekanik Sempozyumu, pp. 249-257, İstanbul, 1994.
28. Ricardo, H. R., Recent Research Work on the Internal Combustion Engine. Transactions of SAE. Vol. 17, p. 1, 1922.
29. Alcock, J. F., Air Swirl in Oil Engines, Proc. inst. Mech. Eng., Vol. 128, 1934
30. Witze, P. O., Hot Wire Measurements of the Turbulence Structure in a Motored Spark-Ignition Engine. Sandia Laboratories Energy Report SANND77-8333, May1977.
31. Semenov, E. S., Studies of Turbulent Gas Flow in Piston Engines, Otedelenie Technicheskikh Nauk, No. 8 1958.
32. Winsor, R. E. and Patterson, D. J., Mixture Turbulence, A Key to Cyclic Variation, SAE Paper No. 730086, 1973.
33. Liou, T. M., Santavicca, D. A., Cycle Resolved Turbulence Measurements in a Ported Engine With and Without Swirl, SAE paper No. 830419. 1983
34. Ekchian,A.and Hoult,D.P.,1979.Flow Visualization Study of the Intake Process of an Internal Combustion Engine, SAE 790095.
35. Hirotomi, T., Nagayama, I., Kobayashi, S. and Yamamasu, M., 1981. Study of Induction Swirl in a Spark Ignition Engine, SAE 810496.

36. Willis, D.A., Mayer, W.E. and Birnie, C.Jr., 1966. Mapping of Airflow Patterns in Engines With Induction Swirl, SAE 660093.
37. Şahin.B., Koç.E., 1993. Beş Delikli Küresel Pitot Tüpü ile Laminar ve Türbülanslı Akış Karakteristiklerinin Ölçülmesi, Müh. Mim. Fakültesi Dergisi, Cilt 8, Sayı 2.
38. White, A., Passmore, M.A., 1998. Measurement of Air Flow Around and Inlet Valve Using a Pitot Probe, Analysis of Combustion and Flow Diagnostics, SAE Special Publications, Vol.1348, pp. 39-43.
39. Kang K., Reftz R.D., 2000. Intake Flow Structure and Swirl Generation in a Four-Valve Heavy Duty Diesel Engine, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 122, Issue 4, pp. 570-578.
40. Khalighi, B., El Tahry, S.H. and Kuzlak, W.R., 1986. Measured Steady Flow Velocity Distributions Around a Valve/Seat Annulus, SAE 860462.
41. Arcoumanis, C, Bicen, A.F. and Whitelaw, J.H., 1983. Squish and Swirl-Squish Interaction in Motored Model Engines, Journal of Fluids Engineering, Vol.105, pp. 105-112.
42. Gosman, A.D., Tsui, Y.Y. and Watkins, A.P., 1984. Calculation of Three Dimensional Air Motion in Model Engines, SAE 840229.
43. Rask, R.B., 1983. Laser Doppler Anemometer Measurements in an Internal Combustion Engine, SAE 831697
44. Wigley, G., Patterson, A.C. and Renshaw,J., 1981. Swirl Velocity Measurements in a Firing Production Diesel Engine by Laser Doppler Anemometer, Proc. Symposium on Fluid Mechanics of Combustion Systems, (Asme Spring Meeting, Boulder).
45. Brandstatter, W., Johns, R.J.R. and Wigley, G-, 1985 The Effect of Inlet Port Geometry on In-Cylinder Flow Structure, SAE 850499.
46. Stone, C.R., Garden, T.R. and Podmore, I., 1993. Analysis of the Effect Of Inlet Valve Disablement on Swirl, Combustion and Emissions in a Spark-Ignition Engine, Prac. Instn. Mech. Engrs., Vol. 207, pp. 295-305.
47. Collins, O. and Stokes, J., 1983. Gasoline Combustion Chambers-Compact or Open, SAE 830866.
48. Kyriakides, S.C. and Glover, A.R., 1989. The Correlation Between In-Cylinder Air Motion and Combustion in Gasoline Engines, Proc. Instn. Mech. Engrs., Part D, 203 (D3), pp. 185-192.
49. Boer, CD., Johns, R.J.R., Grigs, D.W., Trafn.B.M., Denbratt.I.P. and Linna,J.R., 1990. Refinement with Performance and Economy for Four Valve Automotive Engines, IMechE Conference on Automotive Power Systems, Paper C394/053, pp.147-156 (Mechanical Engineering Publications,London).
50. Mikulic, L.A., Quissek, F. and Fraidl, G.K., 1990. Development of Low Emission High Performance Four Valve Engines, SAE paper 90027.