

**BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORDA SIKIŞTIRMA
ORANI DEĞİŞİKLİĞİNİN MOTOR PERFORMANSI
VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIK DENİZ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

MAYIS 2009

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORDA SIKIŞTIRMA ORANI
DEĞİŞİKLİĞİNİN MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ
EMİSYONLARINA ETKİSİ**

Tarık DENİZ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

MAYIS 2009

ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN danışmanlığında,
Tarık DENİZ tarafından hazırlanan
“Buji ile Ateşlemeli Motorda Sıkıştırma Oranı Değişikliğinin Motor Performansı ve Egzoz
Emisyonlarına Etkisi”,
başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca
12 / 05 / 2009
tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Ünvanı , Adı, SOYADI

İmza

Başkan : Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

Üye : Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN (Danışman)

Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim MUTLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç.Dr. Zehra BOZKURT
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel Bilgiler	3
1.1.1 Yanma	3
1.1.2 Yanma Çeşitleri	3
1.1.3 Hava-Yakıt Miktarına Ait Tanımlar	4
1.1.3.1 Hava-Yakıt Oranı	4
1.1.3.2 Hava Fazlalılık Katsayısı, Eşdeğerlik Oranı	4
1.1.4 Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Yanma	5
1.1.5 Yanmaya Etki Eden Parametreler	7
1.1.5.2 Yanma Odası Şekli	7
1.1.5.3 Motor Hızı	8
1.1.5.4 Emme Basıncı ve Sıcaklığı	8
1.1.5.5 Artık Gazların Miktarı	8
1.1.5.6 Hava Fazlalık Katsayısı	9
1.1.6 Buji ile Ateşlemeli Motorların Egzozunda Oluşan Kirleticiler	9
1.1.7 Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Vuruntu	12
1.1.8 Vuruntuya Etki Eden Faktörler	13
1.1.9 Sıkıştırma Oranının Performansa Etkisi	16
1.1.9.1 Geometrik Sıkıştırma Oranı	16
1.1.9.2 Sıkıştırma Oranının Güce ve Yakıt Ekonomisine Etkisi	18
1.1.9.3 Sıkıştırma Oranının Termik Verime Etkisi	20
1.1.9.4 Sıkıştırma Oranının Sürtünme Gücene Etkisi	22
1.1.9.5 Sıkıştırma Oranının Volümetrik Verime Etkisi	22

1.1.9.6 Sıkıştırma Oranının Egzoz Emisyonlarına Etkisi	23
1.1.9.7 Sıkıştırma Oranı ile Hava-Yakıt İlişkisi	25
1.1.9.8 Sıkıştırma Oranı - Ateşleme Avansı İlişkisi	25
1.1.10 Değişken Sıkıştırma Oranlı Motorlar	26
1.1.11 Amaç ve Kapsam	39
2. MATERYAL ve METOD	40
2.1 Materyal	40
2.2 Deney Motoru	41
2.3 Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi	42
2.4 Mekanizmanın Tasarımı	43
2.5 Deneylerde Kullanılan Ölçü Aletleri	43
2.5.1 Dinamometre ve Motor Deney Seti	43
2.5.2 Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı	45
2.5.3 Kronometre	46
2.5.4 Terazî	46
2.6 Metot	46
2.7 Deneylere İlişkin Ölçüm ve Hesaplamalar	46
2.7.1 Motor Momenti ve Gücü	47
2.7.2 Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi	47
2.7.3 Egzoz Emisyonlarının Ölçülmesi	48
2.7.4 Egzoz Gaz Sıcaklığının Ölçülmesi	48
3. BULGULAR	49
3.1 Motor Performans Değerleri	49
3.1.1 Motor Momenti	49
3.1.2 Motor Gücü	50
3.1.3 Özgül Yakıt Tüketimi	52
3.2 Egzoz Emisyonları	53
3.2.1 CO Emisyonları	53
3.2.2 HC Emisyonları	54
4. TARTIŞMA ve SONUÇ	55

5. KAYNAKLAR	
6. ÖZGEÇMİŞ	

57
61

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORDA SIKIŞTIRMA ORANI DEĞİŞİKLİĞİNİN MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ

Tarık DENİZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim dalı

Danışman: Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

İçten yanmalı motorlarda yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonlarının iyileştirilmesi ile ilgili araştırmalar günümüzde yoğunlaşmıştır. İşletme parametrelerinin motor performansı üzerindeki olumlu etkisini arttırmak için çalışmalar yapılmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlarda, gerçek sıkıştırma oranı silindire alınan karışım miktarına göre değişkenlik gösterdiğinden, geometrik olarak tasarlanan sıkıştırma oranı ancak tam gazda ve belirli motor hızı için gerçek sıkıştırma oranı olarak elde edilebilmektedir. Bu durum buji ateşlemeli motorlarda performansın ve yakıt ekonomisinin iyileştirilmesi için silindir dolgu miktarına göre değişken sıkıştırma oranını gerekli kılmaktadır.

Bu çalışmada, buji ile ateşlemeli, dört zamanlı, tek silindirli ve sıkıştırma oranı 8,5/1 olan bir motorun sıkıştırma oranı değiştirilmiş ve sıkıştırma oranı değişiminin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Standart motoru, değişken sıkıştırma oranlı motora dönüştürmek için silindir kapağı 0,5mm aralıklarla beş kez taşlanmıştır. Sıkıştırma oranı değiştirilen motorun sıkıştırma oranı 8,5/1 ile 12,72/1 değerleri arasında değiştirilebilmektedir. Sıkıştırma oranının 8,5/1'den 11,28/1'e yükseltilmesiyle tam yükte özgül yakıt tüketiminde %14,5'e kadar iyileşme elde edilmiştir. Aynı sıkıştırma oranı aralığında CO emisyonlarında %27'e kadar azalma elde edilirken, HC emisyonlarında maksimum %18 artış belirlenmiştir.

2009, 61 sayfa

Anahtar Kelimeler: Buji ile Ateşlemeli Motor, Sıkıştırma Oranı, Yakıt Ekonomisi, Egzoz Emisyonu.

ABSTRACT
M.Sc.Thesis

**EFFECT OF THE VARIATION OF COMPRESSION RATIO ON ENGINE
PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSION ON SPARK IGNITION ENGINE**

Tarık DENİZ

Afyon Kocatepe University
Institute for the Natural and Applied Sciences
Machine Education Department

Advisor: Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

Studies on improving fuel economy and exhaust emissions in the internal combustion engines have been gained more importance. Currently, the improvements of the effects of operating variables on the engine performance is a subject of study. The designed geometrical compression ratio can be realized as an effective compression ratio at the wide open throttle for a certain engine speed since the effective compression ratio changes with the amount of mixture into the cylinder in spark ignition engines. So, this condition of the spark ignition engines force designers to change their geometrical compression ratio according to the amount of charging into the cylinder.

In this thesis, the compression ratio of a four-stroke and single cylinder spark ignition engine with compression ratio of 8.5/1 has been converted to the engine with variable compression ratio and the effect of compression ratio variations on engine performance and exhaust emissions has been investigated. In order to convert the standart engine to the engine with variable compression ratio, the cylinder cover was grinded five times with 0,5mm steps. By doing so, engine compression ratio was changed between 8,5/1 and 12,72/1. Especially at full load, improvement in specific fuel consumption was achieved by up to 14,5% with compression ratio changing from 8.5/1 to 11,28/1. Also, CO emissions were reduced by almost 27%, HC emissions were increased by up to 18% at the same compression ratio range.

2009, 61Page

Keywords: Spark ignition engine, compression ratio, fuel economy, exhaust emissions.

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın gerekleőmesinde yapmış olduğu ok değerli katkı ve ynlendirmeler ile bana büyük destek veren ve elinden gelen yardımı esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN' e en içten teőekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalıőmalarımın her aőamasında kıymetli fikirlerinden yararlandığım Yrd. Doç. Dr. İbrahim MUTLU'ya, motor testlerinde ve tezin yazım aőamasında büyük emeği geçen ve deneysel çalışmalar sırasında bıkmadan, yorulmadan hep yanımda olan Öğr. Gör. İlker SUGÖZÜ'ne, ayrıca manevi desteğini esirgemeyen, alıőmalarımınla bugünlere gelmemi sağlayan çok kıymetli aileme en içten teőekkürlerimi sunarım.

Tarık DENİZ
Afyonkarahisar, 2009

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

A	Alan (cm ²)
b _e	Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
B _e	Yakıt tüketimi (kg/h)
d	Silindir çapı (mm)
F	Kuvvet (N)
H	Kurs (mm)
L	Moment kolu uzunluğu(m)
m _y	Tüketilen yakıt miktarı (gr)
M _d	Motor momenti (Nm)
n	Motor hızı (d/dak)
P	Basınç (bar)
P _e	Efektif motor gücü (kW)
P _{me}	Ortalama efektif basınç (kPa)
r	Krank yarıçapı (mm)
s	Piston konumu (mm)
V _c	Yanma odası hacmi(cm ³)
V _h	Kurs hacmi(cm ³)
V _k	AÖN' dan sonra emme supabının kapanmasına kadar pistonun taradığı hacim(cm ³)
V _t	Toplam silindir hacmi(cm ³)
V ₁	Silindir hacmi(cm ³)
V ₂	Sıkıştırma sonu hacmi(cm ³)
ε	Sıkıştırma oranı
ε _g	Gerçek sıkıştırma oranı
ε _k	Kritik sıkıştırma oranı
η _t	Termik verim
η _v	Volümetrik verim
Φ	Yakıt fazlalık katsayısı(Eşdeğerlik oranı)
λ	Hava fazlalık katsayısı
θ	Krank açısı (°)
Δ _t	Yakıt tüketimi süresi (s)

2.Kısaltmalar

AA	Ateşleme avansı
AOS	Araştırma oktan sayısı
AÖN	Alt ölü nokta
AVCR	Otomatik değişken sıkıştırma oranlı motor (Automatic variable compression ratio)
CFR	Yakıt araştırmaları komitesi (Cooperative Fuel Research Committee)
CH ₄	Metan
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
DSO	Değişken sıkıştırma oranlı
DSOM	Değişken sıkıştırma oranlı motor
EGR	Egzoz gazı resirkülasyonu
ESEK	Emme supabının erken kapatılması
ESEGK	Emme supabının geç kapatılması
EO	Ekivalans (eşdeğerlik)oranı
EY	Eksik yanma
GKA	Gaz kelebek açıklığı
HC	Hidrokarbon
HFK	Hava fazlalık katsayısı
H/Y	Hava/ Yakıt oranı
H ₂	Hidrojen
H ₂ O	Su
KA	Kıvılcım ateşlemeli
KEY	Kısmi eksik yanma
KMA	Krank mili açısı
LPG	Likit petrol gazı
N ₂	Azot
NO _x	Azotoksit
OA	Otto-Atkinson
OS	Oktan sayısı
O ₂	Oksijen

O.E.B	Ortalama efektif basınç
ÖYT	Özgül yakıt tüketimi
SO	Sıkıştırma oranı
SO ₂	Kükürt dioksit
TTY	Teorik tam yanma
TY	Tam yanma
ÜÖN	Üst ölü nokta
ÜÖNÖ	Üst ölü noktadan önce
ÜÖNS	Üst ölü noktadan sonra
VCH	Değişken sıkıştırma yüksekliği(Variable compression height)
VCR	Değişken sıkıştırma oranı (Variable compression ratio)
VR/LE	Krank yarıçapı/kurs boyu değişken motor (variable R/L engine)
Y/H	Yüzey/Hacim oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Yanma olayında silindir basıncının KMA'na bağlı değişimi	6
Şekil 1.2 Motorlu taşıttaki kirletici emisyon noktaları	9
Şekil 1.3 Hava -yakıt oranına bağlı olarak egzoz emisyonlarının değişimi	12
Şekil 1.4 İçten yanmalı motorlarda basit silindir geometrisi	16
Şekil 1.5 Sıkıştırma oranının motor gücüne etkisi	18
Şekil 1.6 Sıkıştırma oranının motor gücü ve yakıt ekonomisine etkisi	19
Şekil 1.7 Termik verimin sıkıştırma oranına bağlı olarak değişimi	21
Şekil 1.8 Standart bir taşıtla değişken sıkıştırma oranlı bir taşıtın egzoz açısından karşılaştırılması	24
Şekil 1.9 Sıkıştırma oranı değiştirme metotları	28
Şekil 2.1 Deney tesisatının şematik görünüşü	40
Şekil 3.1 Sıkıştırma oranının motor hızına bağlı olarak motor momentine etkisi	49
Şekil 3.2 Sıkıştırma oranı artışının motor momentine etkisi	50
Şekil 3.3 Sıkıştırma oranının motor hızına bağlı olarak motor gücüne etkisi	51
Şekil 3.4 Sıkıştırma oranı artışının motor gücüne etkisi	51
Şekil 3.5 Sıkıştırma oranının motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimine etkisi	52
Şekil 3.6 Sıkıştırma oranı artışının özgül yakıt tüketimine etkisi	53
Şekil 3.7 Sıkıştırma oranının motor hızına bağlı olarak CO emisyonlarına etkisi	53
Şekil 3.8 Sıkıştırma oranının motor hızına bağlı olarak HC emisyonlarına etkisi	54

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa	
Resim 2.1	Deney düzeneğinin genel görünüşü.	41
Resim 2.2	Deney motorunun görünüşü	41
Resim 2.3 a	Motorun silindir kapağı	43
Resim 2.3 b	Motorun blok resmi	43
Resim 2.4	Dinamometre kontrol paneli	44
Resim 2.5	Loadcell Amplifier LCA-D görüntüsü	44
Resim 2.6	Egzoz emisyonu ölçüm cihazı	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Silindir çapına göre kritik sıkıştırma oranları	15
Çizelge 2.1 Deney motorunun teknik özellikleri	42
Çizelge 2.2 Egzoz emisyon cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti	45

1.GİRİŞ

Günümüzdeki ekonomik koşullar, gerek fertleri gerekse ülkeleri ihtiyaçlarını en ekonomik şekilde karşılamaya zorlamaktadır. Bu yüzden günlük hayatımızda kullanıldığımız motorlu taşıtların daha tasarruflu çalışmaları ve çalıştırılmaları konusundaki araştırmalar giderek hız kazanmıştır. Bu ise, taşıtların yapımında, servisinde ve kullanımında yakıt tasarrufunu etkileyen faktörlerin bilinmesi ve tasarrufu olumsuz yönde etkileyenlerden kaçınılmasıyla gerçekleşebilir.

Tasarruf amacıyla, enerji tüketim alanlarında uygulanan iki önemli faktör vardır: Bunlardan birincisi, mevcut sistemin işletme koşullarını değiştirilmesidir. İkinci ve daha önemli olanı ise, enerji tüketim sisteminin veriminin artmasıdır. Motorlu taşıtların yakıt tasarrufu bu açıdan ele alındığında gerek taşıt yapımıcısının ve gerekse de taşıt kullananın gayret göstermesi gerekmektedir (Sekmen 2003).

Yakıt fiyatlarının değişken olması ve artan taşıt sayıları ile birlikte çevre kirliliğinin insan sağlığını tehdit edecek seviyeye gelmesi, yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonları konusunda yapılan araştırmaların hızlanmasına sebep olmuştur. İyi bir yakıt ekonomisi ve emisyon için, motorun değişik çalışma şartlarında maksimum seviyede tutulması gerekmektedir. Her bir işletme parametresinin yanma üzerindeki etkisi farklıdır. Dolayısıyla mümkün olan çok sayıda parametreden, yakıtın en verimli biçimde enerjiye dönüşümünü sağlayacak şekilde yararlanılmalıdır (Çelik ve Balcı 2002).

Bilim ve teknolojiye yenilik ve gelişmelerle, motorların tasarım ve işletme parametrelerinin iyileştirilmesine ve yakıtın en verimli şekilde yakılmasına çalışılmaktadır (Borat vd. 1994).

Enerji tüketimi göz önüne alındığında, otomotiv sektörü ilk sıralarda yer almaktadır. Günümüz ekonomik şartları müşteri talebinin yakıt sarfiyatı az olan taşıtlara yönelimini artırmıştır. Bugünün taşıtları, emniyet, seyir özellikleri, iç gürültü, konfor, emisyon özellikleri ve en önemlisi yakıt sarfiyatı açısından kıyaslandığında bu yönelimin sonuçları kolayca görülebilmektedir.

Yakıt ekonomisinin iyileşmesinde etkili olan birçok etken mevcuttur. Bu etkenler, lastik özelliklerinin geliştirilmesi, taşıt boyutlarının küçültülmesi, hafif malzemelerin kullanılması, aerodinamik direnç, daha verimli taşıtların yapımı, geliştirilmiş motor ve aktarma organları özellikleri olarak sıralanabilir (Sekmen 2003).

Buji ile ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranının artışıyla sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıkları yükselmekte ve yanma hızını artırmaktadır. Yanma hızının artmasıyla motor performansı da yükselmektedir. Sıkıştırma oranının yanma üzerindeki etkisi ele alınırsa, bu parametrenin değişken hale getirilmesi ile değişik çalışma şartlarında önemli kazançlar elde edilebilir. Sıkıştırma oranının vurutuya neden olmayacak kadar yükseltilmesiyle birlikte çıkış gücü artmakta ve yakıt ekonomisi sağlanmaktadır (Sekmen vd. 2007).

Motorun performansını artırmak ve yakıt ekonomisi sağlamak amacıyla sıkıştırma oranının değişken hale dönüştürülmesi çeşitli şekillerde yapılmaktadır. Bunlar, yanma odası hacmini değiştirerek, biyel boyunu değiştirerek, piston yüksekliğini değiştirerek, krank mili ana ve biyel muylu çapını değiştirerek, silindir kapağını hareket ettirerek gerçekleştirilmektedir. Bu motorlarda sıkıştırma oranı, silindir basıncına veya motor yükü ile hızına bağlı olarak değiştirilmektedir (Çelik 1999).

Bu çalışmada, buji ile ateşlemeli, dört zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı, sıkıştırma oranı 8,5/1 olan bir motorun sıkıştırma oranı değiştirilerek ve tam yükte motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Motorun sıkıştırma oranının değişimi silindir kapağında yanma odası hacmi küçültülerek sağlanmıştır. Sıkıştırma oranının 8,5/1 ile 12,72/1 değerleri arasında ve silindir kapağı 0,5 mm aralıklarla beş kez taşlanarak sağlanmıştır. Taşlama miktarı supapların açılma miktarıyla sınırlıdır. Sıkıştırma oranı değişimi tam yük ve değişik motor hızlarında (1500, 1800, 2100, 2400, 2700 ve 3000 d/dak) deneysel olarak incelenmiş ve standart motorla karşılaştırılması yapılmıştır.

1.1 Genel Bilgiler

1.1.1 Yanma

Yanma, yakıtın oksijenle reaksiyonu sonucunda ve büyük miktarda ısı enerjisinin açığa çıktığı bir kimyasal reaksiyondur. Yanma olayı ise, yakıt ile oksijen moleküllerinin elektron bağlantı düzenlerinde meydana gelen değişimin sonucunda gerçekleşmektedir. Reaksiyon sonucunda kimyasal yapıları farklı olan maddeler oluşur. Kimyasal reaksiyona giren maddelere bileşen, reaksiyon sonucu oluşan maddelere ürün adı verilir. Örneğin;



denklemleri ile verilen reaksiyonun bileşenleri metan (CH₄) ve oksijen (O₂), ürünleri ise karbondioksit (CO₂) ve su (H₂O)dur.

1.1.2 Yanma Çeşitleri

Yanma işlemi sırasında, eğer yakıt içerisinde bulunan bütün yanabilir bileşenler tam olarak oksitlenir ve karbonun (C) tümü karbondioksit(CO₂), hidrojenin (H₂) tümü suya (H₂O) ve varsa kükürdün (S) tümü kükürt dioksit (SO₂) dönüşüyorsa yanma tam yanmadır. Bu yanmada minimum oksijen miktarı kullanılır, egzozda oksijen (O₂) görülmez. Hava fazlalık katsayısı (HFK)> 1'dir.

Yanma sonu ürünleri arasında yanmamış yakıt veya H₂, CO gibi bileşenler varsa yanma işlemi tam değildir. HFK<1 halindedir.

Yanma için yeterli olan oksijenin bulunmaması, yanmamasının tam olmamasının açık nedenlerinden biri, fakat tek nedeni değildir. Diğer bir nedeni, yakıtın ve oksijenin bir arada olduğu süre içinde yeterince karışmamasıdır. Yanmanın tam olmamasının bir başka nedeni de yüksek sıcaklıklarda önem kazanan ayrışmadır.

Hidrojen atomlarının oksijen atomlarını çekim kuvveti, karbon atomlarına oranla daha büyüktür. Bu nedenle yakıt içerisindeki hidrojen, ortamda tam yanma için gerekli olan oksijenden daha az oksijen bulursa bile, tümüyle suya dönüşür. Buna karşılık karbonun bir bölümü yanma sonu ürünleri arasında CO veya C parçacıkları olarak görülür (Gök 2008).

1.1.3 Hava-Yakıt Miktarına Ait Tanımlar

Yanma olayında kullanılan hava-yakıt miktarını tespit etmek için çeşitli tanımlar ve terimler kullanılmaktadır. Bu tanımlar arasında gerçekte basit bağlantılar mevcuttur.

1.1.3.1 Hava-Yakıt Oranı

Hava-yakıt oranı, motorun tükettiği hava kütlesinin yakıt kütlesine oranıdır.

$$\frac{Hava}{Yakıt} = \frac{Havanın kütlesi}{Yakıtın kütlesi} = \frac{m_{hava}}{m_{yakıt}} \quad (1.2)$$

1.1.3.2 Hava Fazlalık Katsayısı, Eşdeğerlik Oranı

Birim miktardaki yakıt için kullanılan gerçek hava miktarının teorik tam yanma (TTY) için gerekli minimum hava miktarına oranıdır. HFK olarak isimlendirilir ve λ ile gösterilir.

$$HFK(\lambda) = \frac{(H/Y)_{gerçek}}{(H/Y)_{teorik}} \quad (1.3)$$

İngilizce literatürde hava fazlalık katsayısının (HFK) tersi olan eşdeğerlik oranı (EO) kullanılır ve Φ ile gösterilir. Bunu yakıt fazlalık katsayısı şeklinde de düşünmek mümkündür.

$$Eşdeğerlik Oranı(\Phi) = \frac{Stokiyometrik Hava / Yakıt oranı}{Gerçek Hava / Yakıt oranı} \quad (1.4)$$

Yine eşdeğerlik oranını HFK cinsinden ifade etmek gerekirse;

$$Eşdeğerlik Oranı(\Phi) = \frac{1}{HFK} \quad (1.5)$$

şeklinde yazılmaktadır. Eksik yanma (EY) enerji kaybı ile sonuçlandığından, pratikte yanmanın tam olarak gerçekleşmesi için teorik hava miktarından daha fazla hava kullanılır. Bu durumda HFK 1'den büyük olur. Buji ile ateşlemeli motorlarda HFK, 0,8 ile 1,2 arasında değişmektedir. HFK 1'in üzerine çıktıkça karışım fakirleşmekte, 1'in altına düştükçe karışım zenginleşmektedir (Çelik 1999).

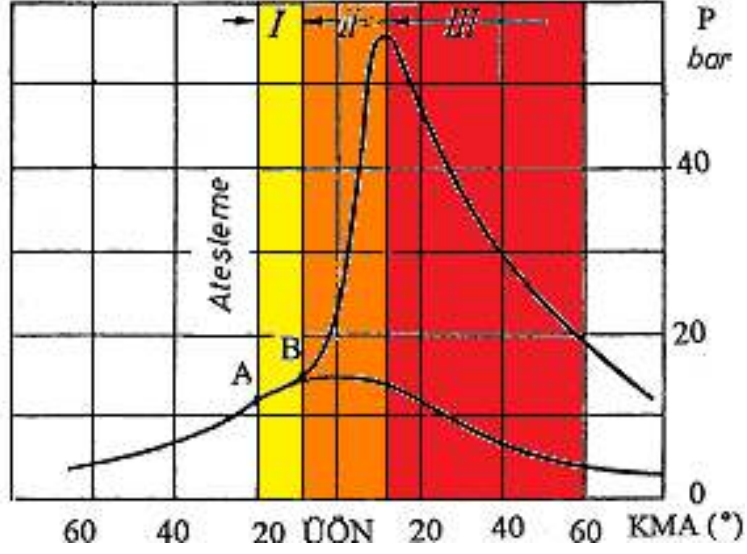
1.1.4 Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Yanma

Buji ile ateşlemeli motorlar Otto çevrimine göre çalışmaktadır. Teorik çevrimde yakıt ve havadan oluşan karışım sıkıştırılır, ateşlenir ve sabit hacimde yanma gerçekleştirilir. Yanma ürünleri genişler son olarak genişleme (iş) zamanının sonunda egzoz işlemi yine sabit hacimde gerçekleşir (Sekmen 2003).

Buji ile ateşlemeli motorlardaki gerçek yanma olayı ile teorik yanma olayı arasında çok yönden farklılıklar vardır. Teorik olarak sabit hacimde olması gereken yanma, ideal olmayan sebeplerden dolayı sabit hacimde gerçekleşmez. Çünkü yanma için mutlaka belirli bir zamana ihtiyaç vardır. Bu zaman karışımın homojenliğine, uygun oranda olmasına, ateşlemenin ideal olmasına, motor hızına, ateşleme avansına, motor sıcaklığına bağlıdır. Alevin yayılma hızı yanabilir karışımın fiziksel ve kimyasal özelliklerine ve türbülans şiddetine bağlıdır. Bütün bu etkenler yanma hızını doğrudan ya da dolaylı etkilediklerinden tam ve ideal yanma gerçekleşemez.

Buji ile ateşlemeli motorlarda yanma işlemi indikatör diyagramı üzerinde krank mili açısına (KMA) göre silindir basıncının değişimi Şekil 1.1'de görülmektedir. Ancak safhalar çok belirgin bir şekilde birbirinden ayrılamazlar (Çelik 1999).

Yanma işlemi üç safhada incelenir:



Şekil 1.1 Yanma olayında silindir basıncının KMA'na bağlı değişimi (Çelik 1999).

Birinci safhada, buji elektrotları arasında kıvılcım oluştuğu andan bir alev çekirdeğinin oluştuğu ana kadar geçen süredir. Diğer bir ifade ile buji elektrotları arasında kıvılcım çaktıktan sonra silindir basıncında sıkıştırma basıncının üzerinde kayda değer bir artış görülene kadar geçen süredir. Tutuşma gecikmesi süresi; buji kıvılcım enerjisine, kıvılcımın uygulanma süresine, buji elektrotları arasındaki ısınan bölgenin hacmine, karışım oranına ve buji önündeki akış hızına bağlıdır. Bu safhada yanan karışım miktarı az olup, toplam miktarın %1'i kadardır. Bu nedenle diyagram üzerinde basınç artışı görülmez.

İkinci faz alev cephesinin başlangıcı ve basıncın yükselmeye başlamasından sonra kuvvetli bir alev cephesinin silindir duvarlarına yayılarak silindir basıncının maksimum olduğu noktaya ulaşana kadar geçen süredir. Genişleyen alev cephesinin yanma odası hacmini kuşattığı karışımın enerjisinin açığa çıktığı periyottur. Hızlı basınç yükselme süresi; yanma odasının şekli ve bujinin konumu, silindire alınan hava-yakıt karışımının homojenliği, silindirdeki hava-yakıt karışımının oranı, sıkıştırma ve emme türbülansına ve yanma odasındaki türbülans şiddetine bağlıdır.

Üçüncü periyot maksimum silindir basıncından genişleme (iş) zamanı esnasında başlayıp, egzoz supabı açılıncaya kadar devam eden yanma süresidir. Bu periyotta alev cephesi en uzak silindir duvarına kadar ulaşır, fakat hala silindirdeki taze karışımın %25'i yanmamış olarak bulunabilir. Bu faz esnasında açığa çıkan enerjinin büyük bir kısmı silindir duvarlarından, silindir kapağından ve piston tepesinden kaybedilir ve eş zamanlı olarak, piston alt ölü noktaya (AÖN) doğru ilerledikçe hacim artacağından yanma hızı da yavaşlar ve silindirdeki basınç hızla azalmaya başlar (Sekmen 2003).

1.1.5 Yanmaya Etki Eden Parametreler

Motorun her türlü çalışma şartlarında maksimum verimin elde edilmesi için ateşleme zamanlamasının uygun seçilmesi gerekmektedir. Avansın seçimini etkileyen önemli faktörler yanma hızı ve tutuşma gecikmesidir. Bunlara etki eden faktörler de genellikle sıcaklık, basınç, karışım oranı ve türbülans şiddetidir. Dolayısıyla sıcaklık, basınç ve türbülansı etkileyen her parametre yanma hızına da etki etmektedir.

1.1.5.1 Sıkıştırma Oranı

Sıkıştırma oranı artışı ateşleme anındaki karışımın basınç ve sıcaklığını artırmakta ve artık gaz miktarını azaltmaktadır. Dolayısıyla karışım daha kolay ateşlenilir. Yanma olayının başlangıç safhasının süresi kısalmış ve ikinci safhadaki yanma hızı da artmaktadır. Ancak sıkıştırma oranının yüksek değerlere ulaşması vurutuya sebep olmakta, verimi azaltmaktadır. Yine yanma odası yüzey/hacim oranının artırdığından hidrokarbon emisyonlarını artırmaktadır (Sekmen 2003).

1.1.5.2 Yanma Odası Şekli

Türbülansın şiddeti, emme manifoldunun ve yanma odasının şekline bağlı olarak değişmektedir. Yanma odasının şekli küresel veya küresele yakın ise toplam alev yolu kısalmacağından yanma için gerekli krank mili açısı daha küçük, basınç artma hızı daha yüksek olacaktır. Ayrıca yanma odasına konan bujinin konumu ve buji sayısı da yanma süresini etkilemektedir (Çelik 1999).

1.1.5.3 Motor Hızı

Motor hızı arttıkça yanma için gerekli süre azalmakta, silindirdeki karışımın türbülansı ve dolayısıyla yanma hızı artmaktadır. Yanmanın verimli olması için ateşleme avansı motor devrine bağlı olarak değiştirilmektedir. Fakir karışımlar daha düşük alev hızına ve hafif zengin karışımlar ise en yüksek alev hızına sahiptir. Karışımın yanma hızı, motor hızından kuvvetli bir şekilde etkilenebilir. Hız artışıyla birlikte yanma odası içerisindeki karışımın türbülansı artmakta ve yanma süresi kısalmaktadır (Sekmen 2003).

Hires and Tabaczynsik yaptıkları bir araştırmada, motor hızı ile yanma süresi arasındaki bağıntıyı krank mili açısı cinsinden ölçmüşlerdir. Bu çalışmada, motor hızının dört kat artmasıyla yanma hızının 1,6 kat arttığı belirlenmiştir (Salman 1996).

1.1.5.4 Emme Basıncı ve Sıcaklığı

Silindire alınan hava-yakıt karışımının basıncı artarsa, alev cephesinin ilerleme hızı azalmakla beraber sıkıştırma sonu sıcaklığı da arttığından alev hızı ve yanma hızı artmaktadır. Kısmi yüklerde emme basıncı düştüğünden yanma hızı azalmaktadır. Bunu karşılamak için de ateşleme avansı artırılır. Belirli bir yakıt için emme sıcaklığının artması reaksiyon süresini kısaltmaktadır. Yine sıkıştırma oranının artması sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını artırdığından reaksiyon süresini kısaltmaktadır. Aynı zamanda bu hava-yakıt oranı vuruntu eğilimi en yüksek olan karışımdır. Reaksiyon süresi uzun veya reaksiyon hızı düşük olan yakıtların vuruntu direnci daha yüksektir (Çelik 1999).

1.1.5.5 Artık Gazların Miktarı

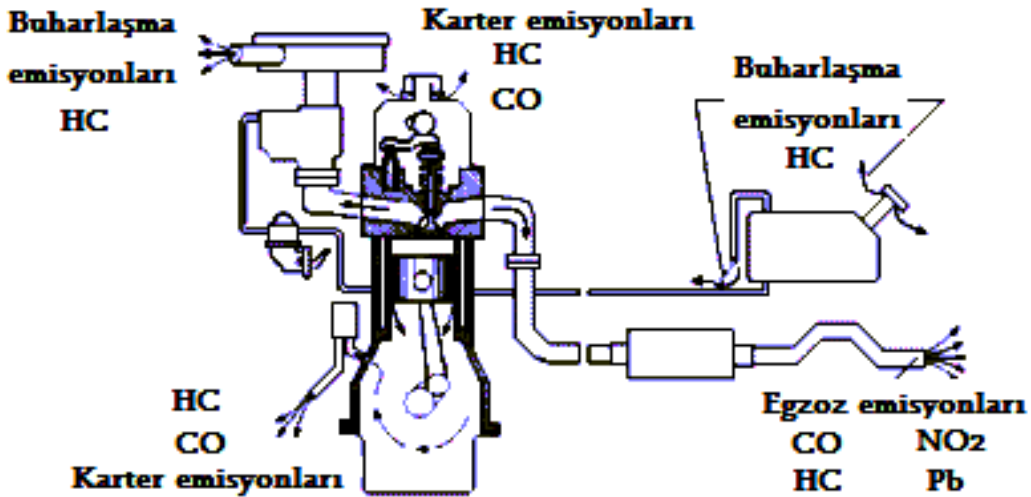
Silindir içinde kalan artık gaz miktarının artmasıyla silindirdeki kullanılabilir oksijen miktarı azaldığından yanmış gazların sıcaklığı azalmakta, dolayısıyla yanma hızı da azalmaktadır. Motor yükü azaldıkça artık gaz miktarı artmakta, sıkıştırma oranının artmasıyla azalmaktadır (Sekmen 2003).

1.1.5.6 Hava Fazlalık Katsayısı

Hava fazlalık katsayısı (λ), yanma hızını, dolayısıyla açığa çıkan ısı miktarını, basıncın ve sıcaklığın değişimini etkilemektedir. HFK 0,9-0,95 değerleri arasında yanma hızı maksimumdur. HFK 0,7 gibi bir değer altına düşürüldüğünde çalışma şartlarına bağlı olarak kolaylıkla tutuşma sınırı dışına çıkılmaktadır. HFK'nın 0,8-0,9 gibi değerlerinde birinci ve ikinci safha süresi kısalmakta ve basınç artma hızı büyümektedir. Fakir karışımlarda ($\lambda=1,1-1,2$) ise, tutuşabilmenin üst sınırına yaklaşıldığından motorun yapısına bağlı olarak ateşleme ve yanma, çevrimden çevrime değişim gösterir. Karışım fakirleştikçe ateşlemenin sağlanamadığı çevrimlerin sayısı giderek artar (Çelik 1999).

1.1.6 Buji ile Ateşlemeli Motorların Egzozunda Oluşan Kirlenimler

Hava kirliliğinin önemli nedenlerinden biri olan motorlu taşıtların egzoz emisyonları; ağırlıklı olarak, azotoksitler (NO_x), karbonmonoksit (CO) ve yanmamış hidrokarbonları (HC) içermektedir. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi içten yanmalı motorlar tarafından üretilen hava kirliliği yakıtın yanması veya buharlaşması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu kirlenici emisyonlar canlılar ve çevre açısından zararlı ve tehlikeli etkilere sahiptirler.



Şekil 1.2 Motorlu taşıttaki kirlenici emisyon noktaları (Erduranlı vd. 2001).

Buji ile ateşlemeli motorların egzozundan çıkan kirletici gazlar, NO_x, CO ve yanmamış hidrokarbonlardır. Miktar bakımından az olmasına rağmen azotoksit emisyonları ile hem miktar ve hem de olumsuz etkilerinden dolayı karbonmonoksit ve yanmamış hidrokarbon emisyonları buji ile ateşlemeli motorlarda tehdit altında bulunan kirleticiler sınıfına dâhildirler.

Kirletici gazların oluşumu ve miktarları, motorun çalışma şartlarına ve motor tasarımına bağlı olarak değişmektedir. Egzoz ile atılan yukarıdaki kirleticilerden başka; karter havalandırması yoluyla atılan gazlar, yakıt deposundan buharlaşan ve motor stop edildiği zaman karbüratör şamandıra kabından çıkan yakıt buharları, atmosfere atılan diğer kirleticilerdir. Günümüz motorlarında egzoz haricindeki kaynakların havayı kirletmesi büyük ölçüde kontrol altına alınmıştır (Sekmen 2003).

Egzozdaki yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonları çeşitli kaynaklardan meydana gelmektedir. Sıkıştırma ve yanma zamanında artan silindir basıncının etkisiyle yakıt buharları, silindir ve yanma odası içerisindeki oyuk ve boşluklara, yanma odası cidarında birikmiş kuru tabakaları arasına girmektedir. Yanma sırasında alev cephesinin giremediği bu kısımlarda reaksiyona katılamayan yakıt buharları silindir basıncının düşmesiyle birlikte ortaya çıkarak egzoz gazı ile birlikte dışarı atılırlar. Diğer bir kaynak, silindir cidarında oluşan yağ film tabakasıdır. Yüksek basınçlarda yakıt buharlarını yok ederek bünyesine almakta, basıncın düşmesiyle geri çıkarak, HC emisyonlarının artmasına yol açmaktadır (Sekmen 2003).

HC emisyonunu oluşturan kaynaklardan birisi de yakıtların eksik yanması veya tutuşamaması sonucu meydana gelirler ve yaklaşık olarak motora giren yakıt miktarının %1-1,5'ini oluştururlar. Yanma odasını çevreleyen dar boşlukların sıkıştırma esnasında hava-yakıt karışımı ile dolması, yakıtın yağ tabakaları içinde absorpsiyonu, kalıntıların yağ filmi etkisi göstermesi, silindir içinde sıvı yakıt kalması ve supap yatak boşluklarında karışım sızması şeklindeki mekanizmalar en önemli HC kaynaklarıdır. Buji ile ateşlemeli motorlar, genellikle stokiyometrik oranlar civarında çalıştırılırlar (Erduranlı vd. 2001).

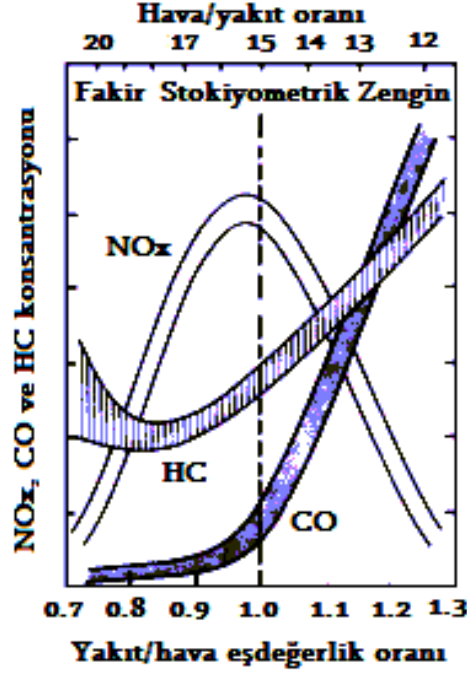
Karbonmonoksit, yakıtın eksik yanması sonucu oluşmaktadır. Zengin hava-yakıt karışımlarında yeterli oksijen bulamayan karbon tek oksijen ile birleşerek CO oluşturur. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda karbondioksitin, ayrışarak CO oluşturduğu bilinmektedir (Sekmen 2003).

CO emisyonları yük ve hız değişimlerine büyük oranda duyarlı olup hava-yakıt oranına karşı daha duyarlı davranmaktadır. CO oluşumunu etkileyen en önemli faktör hava fazlalık katsayısıdır. Karışım zenginleştikçe, yanma odasına alınan yakıtın içindeki karbonun (C) tamamını CO₂ şeklinde yakacak oksijen bulunmadığından, CO oranı hızlı bir şekilde artmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlar, kısmi yüklerde yakıt ekonomisi açısından stokiometrik orandan biraz fakir karışımlarla çalışmakla birlikte, tam yükte belirli bir kurs hacmi için emilen havadan tam olarak yararlanmak amacıyla zengin karışımla çalışırlar. Dolayısıyla buji ile ateşlemeli motorların CO emisyonunun kontrolü önemli bir faktördür.

Hava yakıt karışımı içindeki azotoksitler (NO_x), yanma odası sıcaklığı yaklaşık 1800°C'ye yükseldiğinde N₂ ve O₂'nin birleşmesiyle oluşur. Eğer sıcaklık 1800°C'nin üstüne yükselmez ise, N₂ ve O₂, NO_x gazını meydana getirmeden egzoz sisteminden dışarı atılır. NO_x'in oluşumu, 1800°C'nin üzerinde kalış süresi yeterli O₂ veya N₂ miktarına bağlıdır (Erduranlı vd. 2001).

Çalışma şartlarının değişimi sırasında hava- yakıt karışımı, ateşleme avansı, egzoz gazı resirkülasyon (EGR) oranı gibi faktörlerin değişimi yanmayı kötüleştirerek kirletici emisyonları artırmaktadır. Bu faktörler içinde hava-yakıt oranı en büyük etkiye sahiptir (Çelik 1999).

Şekil 1.3'de hava fazlalık katsayısı ile egzoz emisyonları arasındaki ilişki verilmiştir. Farklı motorlar arasında CO, NO_x ve HC emisyonları ateşleme zamanı, yük, hız ve belirli hava-yakıt oranı gibi değişkenlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Zengin karışımlarda motor kararlı çalışırken egzoz emisyonları yüksektir. Karışımın fakirleşmesiyle emisyonların iyileştiği, fakirleşmenin artmasıyla emisyonların arttığı görülmektedir (Erduranlı vd. 2001).



Şekil 1.3 Hava-yakıt oranına bağlı egzoz emisyonlarının değişimi (Sekmen 2007).

1.1.7 Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Vuruntu

Buji ile ateşlemeli motorlarda, motorun sıkıştırma oranının yüksek olması, düşük oktanlı yakıt kullanılması veya yanma odasındaki karbon birikintilerinden dolayı kötüleşmektedir. Silindir içerisine alınan hava-yakıt karışımı kendi kendine veya yanma odasında oluşan sıcak noktalardan dolayı bujide kıvılcım çakmadan önce ateşlenmesi olayına vuruntu denilmektedir. Bu tür bir olay motor parçalarının aşırı derecede ısınmasına, kısa zamanda aşınıp, arızalanmasına ve motor veriminin düşmesine yol açabilir (Sekmen 2003).

Vuruntu, silindirden kaynaklanan akustik titreşimler (vuruntu sesi), basınç, sıcaklık yükselmeleri ve yanma hızının artması şeklinde kendini belli eder. Bu nedenle bu büyüklükler ölçüldüğünde belli sınırların aşılması durumunda vuruntunun başlamış olduğu kabul edilir. Genellikle, vuruntunun varlığı motor sesi dinlenilmek suretiyle tespit edilir. Silindir basınçlarının ölçülmesi de vuruntunun belirlenmesinde daha doğru bir metot olarak kabul edilir (Çelik 1999).

1.1.8 Vuruntuya Etki Eden Faktörler

Buji ile ateşlemeli bir motorlarda değişik türden çok sayıda parametre vuruntu olayında etkili olabilmektedir. Ancak, bunlar içerisinde sıkıştırma oranı, giriş basıncı ve yakıtın kalitesi vuruntuyu önemli derecede etkilemektedir (Çelik 1999).

Sıkıştırma oranı ve yakıtın oktan sayısı, vuruntulu yanmaya neden olan en önemli etkenlerden biridir. Motorun verimini arttırmak için sıkıştırma oranını arttırmak gerekir. Ancak, artan sıkıştırma oranı, yanma hızını artırırken, sıcaklıkların artması nedeniyle yakıtın cinsine bağlı olarak, belli bir değerden sonra vuruntulu yanma başlamakta ve gittikçe şiddetini artırmaktadır. Sıkıştırma oranı arttıkça vuruntunun oluşmaması için ya daha yüksek oktanlı yakıt kullanmak veya ortalama efektif basıncı azaltmak, yani motorun gücünü kısmak gerekir. Oktan sayısı artışıyla vuruntu olmadan sıkıştırma oranını arttırmak mümkündür (Sekmen 2003).

Silindire emilen karışımın basıncı ve sıcaklığı artınca, sıkıştırma sonu basıncı ve sıcaklığı da artacağından tutuşma gecikmesi azalır ve motorun vuruntu eğilimi artar. Diğer yandan artan giriş basıncı alev hızını da artırır. Fakat artan giriş basıncı alev hızını da arttırdığından bu durum vuruntuyu azaltıcı yönde etki gösterebilmektedir. Sonuç olarak tutuşma gecikmesindeki azalma çok daha etkili olduğundan artan giriş basıncı ve sıcaklığı ile motor daha çok vuruntu eğilimini artırıcı yönde etki etmektedir (Çelik 1999).

Radwan (1992) tarafından yapılan araştırmada, bazı parametrelerin vuruntuya olan etkilerini incelemiştir. Artan emme basıncıyla kritik sıkıştırma oranının azaldığı yani vuruntu temayülünün arttığını tespit etmiştir. Emme havası sıcaklığının artması ise vuruntu temayülünü daha az arttırdığını belirtmiştir. Ateşlenme avansının kritik sıkıştırma oranına etkisini incelemek için; VCR (Variable compression ratio) motorunda, motor sabit hızda iken ateşleme avansını değiştirilerek deneyler yapmıştır. Sonuç olarak ateşleme avansı arttıkça kritik sıkıştırma oranının azaldığını, vuruntu meylinin arttığı belirlemiştir.

Ateşleme avansı, vuruñtu kontrolünde en çok kullanılan mekanizmalardan birisidir. Buji ile ateşlemeli motorlarda ateşleme sistemi, değişik motor hızlarında aynı maksimum basınç piston konumunu sağlayacak şekilde tasarlanır. Sabit motor hızında ateşleme avansı artırılırsa maksimum basınçlar üst ölü noktaya doğru kaymakta ve basınç ile sıcaklık değerleri de yükselmektedir. Bu sırada yanma hızı ve basınç yükselme hızı da artarak ön reaksiyonlar için kalan süre kısalmakta ise de artan sıcaklıkların etkisi daha önemli olduğundan ateşleme avansı arttıkça vuruñtu temayülü artmaktadır. Sadece oktan sayısının parametre olarak ele alınması halinde, artan oktan sayısı ile vuruñtu ihtimalinin azalacağı açıkça bilinmelidir. Ateşleme avansının kritik sıkıştırma oranına etkisini incelemek için yapılan deneysel çalışmada, değişken sıkıştırma oranlı bir motorda, motor sabit hızda iken ateşleme avansı değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda ateşleme avansı arttıkça kritik sıkıştırma oranının azaldığı, vuruñtu eğiliminin arttığı belirlenmiştir (Sekmen 2003, Taylor 1985).

Hava-yakıt oranındaki değişim, alev hızının, alev ve duvar sıcaklığının ve son gaz reaksiyon süresinin değişmesine neden olabileceğinden vuruñtuya da etki etmektedir. Vuruñtuya en yakın hava-yakıt oranı, en kısa reaksiyon süresi veren hava-yakıt oranıdır. Vuruñtu eğilimi oldukça geniş bir karışım aralığında azalmaktadır. Çok fakir karışımlarda ise maksimum sıcaklık düşmekte ve alev hızı azalmaktadır. Dolayısıyla vuruñtu ihtimali artma eğilimi göstermektedir. Karışım zenginleştikçe alev hızının artmasıyla vuruñtu eğilimi azalmaktadır. Hava-yakıt oranının vuruñtuya etkisini incelemek için yapılmış olan bir çalışmada, karışım fakir karışımdan stokiyometrik orana doğru yaklaştıkça vuruñtu eğiliminin arttığını belirtmiştir (Sekmen 2003, Taylor 1985).

Motor hızının vuruñtuya etkisi en karmaşık olan değişkenlerden birisidir. Motor hızı arttıkça yanma odası içindeki hava hareketleri ve yanma hızı artmakta vuruñtu eğilimi azalmaktadır. Motorun hızı artınca türbülans hareketleri artar, dolayısıyla alev hızı da artmaktadır. Sıkıştırma süresini azaltması gene vuruñtu temayülünü azaltır. Son gaz sıcaklığı motor hızı ile artmakta, dolayısıyla vuruñtu ihtimali de artmaktadır. Hem maksimum basınç hem de volümetrik verim artan motor hızıyla önce artar sonra azalmaktadır. Sonuç olarak; diğer parametreler sabit kalsa bile, motor hızı yukarıdaki

parametreleri değiştirdiğinden, hızdaki artışın vurutuya toplam etkisi çok net olmayabilir. Motor hızı ile kritik sıkıştırma oranı arasındaki ilişkiyi belirlemek için yapılan bir deneysel çalışmada, artan motor hızıyla birlikte kritik sıkıştırma oranının arttığı ve vuruñtu meyilinin azaldığı tespit edilmiştir (Çelik 1999, Taylor 1985).

Yanma odası hacmi de vurutuya etki eden önemli faktördür. Yanma odası hacmi küçüldükçe, çeper yüzey alanının hacime oranı artar, ısı transferi (soğuma) daha iyi olur ve vuruñtulu yanma ihtimali azalır (Çelik 1999). Ricardo tarafından yapılan bir çalışmada, kurs/çap oranı yaklaşık aynı olan motorlarda silindirlerin çapları değiştirilmek suretiyle vuruñtunun başladığı kritik sıkıştırma oranları (ϵ_k) belirlenmiştir. Silindir çapı büyüdükçe vuruñtu eğilimi artmaktadır. Çizelge 1.1’de silindir çapına göre kritik sıkıştırma oranları verilmektedir (Safgönül vd.1995).

Çizelge 1.1 Silindir çapına göre kritik sıkıştırma oranları (Safgönül vd.1995).

Silindir çapı (mm)	71	89	140	216
Kritik sıkıştırma oranı	7,9	7,3	6,2	5,4

Oyuk piston kafası ve açısız hareket veren giriş supapları vuruñtuyu önemli ölçüde azaltmaktadır. Oyuk pistonların vuruñtuya olumlu etkisi, son gazın bulunduğu kenarlardaki dar hacimli bölge için hacim/soğutma yüzeyi oranının çok küçük olmasındandır. L tipi supap mekanizmasına sahip silindir kapaklarında da son gaz bölgesindeki hacim/soğutma yüzeyi alanının küçük tutulması esas alınmaktadır. Bu bölgedeki ısı transferinde etkili olan parametrelerden en önemlileri birim hacim başına düşen soğutma yüzeyinin büyüklüğü ve hava hareketleridir.

Soğutucu akışkan sıcaklığı artıkça soğutma etkisi azalacağından son gaz sıcaklığı artmakta, dolayısıyla motorun vuruñtu eğilimi artmaktadır.

Supap bindirmesi sırasında emme supabından giren karışım egzoz gazlarını süpürerek, egzoz supabını ve silindire alınan karışımın bir kısmını soğutmaktadır. Diğer şartlar aynı kalmak şartıyla, supap bindirme süresi uzadıkça, vuruñtu eğilimi azalmakta, kritik ortalama basınç artmaktadır (Sekmen 2003).

İdeal motorda, sıkıştırma başlangıcındaki silindir hacminin (V_1), sıkıştırma sonu hacmine (V_2) oranı şeklinde tanımlanan geometrik sıkıştırma oranı (ε);

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c} \quad (1.6)$$

eşitliği ile gösterilir.

Herhangi bir krank açısında toplam silindir hacmi (V_t),

$$V_t = V_c + \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) (1 + r - s) \quad (1.7)$$

olup,

krank eksen ve piston pimi eksen arasındaki mesafe(s) ise,

$$s = r \cdot \cos \theta + \sqrt{1^2 - r^2 \cdot \sin^2 \theta} \quad (1.8)$$

$$\frac{V_t}{V_c} = 1 + \frac{1}{2} \left(\varepsilon - 1 \left[R + 1 - \cos \theta - \sqrt{R^2 - \sin^2 \theta} \right] \right) \quad (1.9)$$

eşitlikleri ile hesaplanabilmektedir.

Gerçek motorda ise sıkıştırma alt ölü noktada (A.Ö.N) değil, emme supabı kapandıktan sonra başlamaktadır. Bu nedenle gerçek motorun sıkıştırma oranı(ε_g);

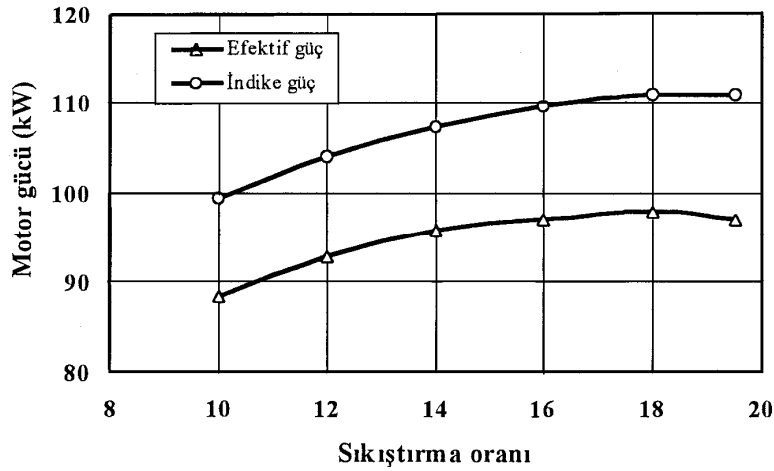
$$\varepsilon_g = \frac{V_h - V_k + V_c}{V_c} = \quad (1.10)$$

olur. V_k , alt ölü noktadan sonra supapların kapanmasına kadar pistonun taradığı hacimdir (Sekmen 2003).

1.1.9.2 Sıkıştırma Oranının Güce ve Yakıt Ekonomisine Etkisi

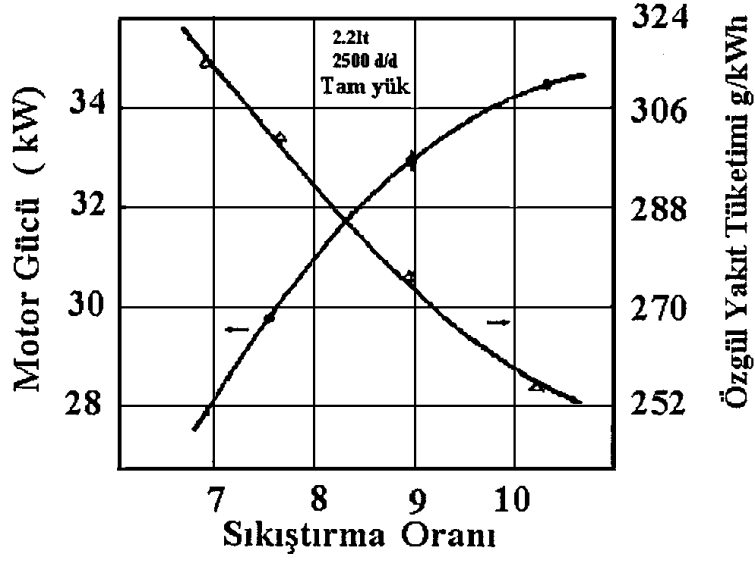
Sıkıştırma oranı, motorun gücünü ve verimini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Sıkıştırma oranının artmasıyla sıkıştırma ve yanma sonu basınç ve sıcaklıkları yükselmekte, dolayısıyla ortalama efektif basınç artmaktadır. Sıkıştırma oranının vuruntuya neden olmayacak kadar yükseltilmesiyle birlikte çıkış gücü artmakta ve yakıt tüketimi azalmaktadır (Çelik 1999).

Caris and Nelson (1958) yaptıkları çalışmada, buji ile ateşlemeli bir motorun kurs hacmi 5300 cm^3 olan V8 bir motorun sıkıştırma oranı 9/ l'den 20/ l'e kadar artırılmış ve artan sıkıştırma oranıyla birlikte motor gücünün de arttığı belirlenmiştir. Sıkıştırma oranı 17/1 değerinden sonra motor gücü azalmaya başlamıştır. Motorun yüksek sıkıştırma oranlarında vuruntu yapmaması için yakıt içerisine özel katkı maddeleri katılmıştır. Şekil 1.5'de sıkıştırma oranının motor gücüne etkisi görülmektedir (Sekmen 2003).



Şekil 1. 5 Sıkıştırma oranının motor gücüne etkisi (Sekmen 2003).

Stone (1989) motorlu taşıtlarda yakıt ekonomisi üzerine bir deneysel çalışma yapmıştır. Buji ile ateşlemeli, 2,2 litrelik bir motorun kısmi gaz ve sabit devirde (2500 d/dak) sıkıştırma oranını değiştirerek test etmiştir. Deneyler sonucunda, sıkıştırma oranının 7,5/1'den 10/1'e yükseltilmesi ile motor gücünün %19 civarında arttığını ve özgül yakıt tüketiminin %18 oranında azaldığını tespit etmiştir.



Şekil 1.6 Sıkıştırma oranının motor gücü ve yakıt ekonomisine etkisi (Sekmen 2003).

Sıkıştırma oranının artışı hem indike hem de fren özgül yakıt tüketimini azaltmaktadır. Genişleme kursunun son kısmındaki düşük sıcaklıklar sonucu soğutma kayıplarının azalmasıyla artan termal verimden dolayı soğutucuya olan ısı kaybı sıkıştırma oranı artışı ile azalmaktadır. Ayrıca, soğutmaya olan ısı kaybı motor hızıyla azaldığı için indike özgül yakıt tüketimi motor hızı artışı ile azalmakta, daha sonra bir miktar artmaktadır. Diğer taraftan fren özgül yakıt tüketimi düşük hızlarda daha düz olup yüksek hızlarda artmaktadır. Bu fark, motor hızıyla artan sürtünme ve pompalama kayıplarından kaynaklanmaktadır.

Sıkıştırma oranı artışıyla birlikte artan sürtünme ve ısı kayıplarından dolayı indike özgül yakıt tüketimi, fren özgül yakıt tüketiminden daha hızlı bir şekilde iyileşmektedir. Bu etkilerden dolayı her motor için uygun bir sıkıştırma oranı mevcut olmaktadır. Sıkıştırma oranının motor gücü ve yakıt ekonomisine etkisini incelemek için yapılan deneysel çalışmada; kurs hacmi 4700cm^3 olan bir V-8 motoru üç değişik sıkıştırma oranında (8/1, 10/1, 12/1) test edilmiştir. Sıkıştırma oranının artmasıyla motor gücünün arttığı ve özgül yakıt tüketiminin azaldığı belirlenmiştir (Ferguson 1986, Sekmen 2003).

Matsumoto et al. (1977) yaptıkları çalışmalarında değişik yanma odalarının ve değişik sıkıştırma oranlarının egzoz emisyonlarına ve yakıt ekonomisine etkilerini incelemiştir. Yapılan deneylerde dört değişik yanma odası ve üç değişik sıkıştırma oranı (8/1, 9/1, 10/1) kullanmışlardır. 4 silindirli, 1,6 litrelik, karbüratörlü bir motor üzerinde yapılan testler sonucunda artan sıkıştırma oranıyla yakıt ekonomisinin iyileştiği ancak NO_x ve HC emisyonlarının arttığını tespit etmişlerdir (Çelik 1999).

Marsee et al. (1977) tarafından yapılan bir çalışmada, sıkıştırma oranının artırılmasıyla yakıt ekonomisine katkısının araştırılması için iki taşıtın sıkıştırma oranları, emisyon seviyeleri ve performansı sabite yakın bir değerde tutularak, bir birim artırılmıştır. Taşıtların fakir karışımla çalışmalarını sağlamak amacıyla, motorda düşük hava-yakıt oranı için ayarlı bir karbüratör, türbülans akışlı bir manifold, ateşleme zamanını ayarlayan bir sistem ve egzoz gazı resirkülasyonu donanımı kullanılmıştır. Bu testler sonucunda yakıt ekonomisinde %4,2'lik bir artış elde edilmiştir (Çelik 1999).

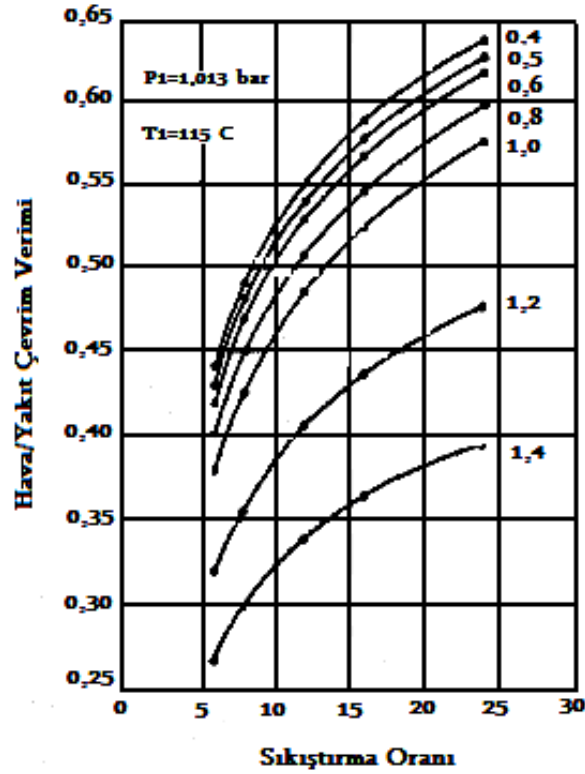
1.1.9.3 Sıkıştırma Oranının Termik Verime Etkisi

Buji ile ateşlemeli motorlarda oluşan işlemleri en iyi açıklayan model olan Otto çevrimi, termik verimin sıkıştırma oranı ile termik verimdeki değişimin nasıl arttığını gösterir. Otto çevrim ifadesi;

$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \quad (1.11)$$

dir.

Stokiyometrik oran tam yanma için kimyasal olarak en uygun orandır. Eğer karışım zengin ise eşdeğerlilik oranı ($\Phi > 1$) birden büyük, karışım fakir ise eşdeğerlilik oranı ($\Phi < 1$) birden küçüktür. Hava-yakıt çevrimi, Otto çevriminin geliştirilmiş halidir ve gazların gerçek termodinamik özellikler göstermesine izin vermektedir. Bu çevrime göre sıkıştırma oranının eşdeğerlilik oranına bağlı olarak verime etkisi Şekil 1.7 de görülmektedir.



Şekil 1.7 Termik verimin sıkıştırma oranına bağlı olarak değişimi (Çelik 1999).

Şekil 1.7'de görüldüğü gibi karışım fakirleştikçe ($\Phi \rightarrow 0$), belirtilen sıkıştırma oranında verim artar. Başka bir ifadeyle, fakir karışımlardaki gazların özellikleri Otto çevrimi için kabul edilen ideal gazların özelliklerine çok yakındır. Bu sebeple motorun maksimum verimi fakir karışımlarda gerçekleşmektedir. Sıkıştırma oranı artışının istenmeyen etkilerinden biri silindir basıncında aynı şekilde artış sağlamasıdır. Yani piston-segman ile silindir duvarı arasındaki sürtünme, sıkıştırma ve genişleme ısı kayıpları artmakta dolayısıyla mekanik verim azalmaktadır. Sonuç olarak, sıkıştırma oranı termik verimi artırırken mekanik verimi azaltmaktadır.

Ancak, gerçekte termik verim Otto çevrimiyle belirlenen seviyede artırılamamaktadır. Bunun başlıca nedenleri, sıkıştırma ve genişleme zamanları esnasında mekanik sürtünme ve ısı transferi olması, yanma işleminin ani olarak oluşmaması, egzoz supabının genişleme zamanı tamamlanmadan önce açılması ve kullanılan yakıtın Otto çevrimi için öngörülen ideal gaz özelliklerini göstermemesidir.

Caris and Nelson (1958) yaptıkları bir çalışmada, sıkıştırma oranını 9/ 1' den 25/ 1' e kadar değiştirmişlerdir. Deneplerinde 7 adet kurs hacmi 5300 cm³ V8 motoru kullanmışlar ve yanma odaları düz silindir kapağı ve oyuk piston aracılığıyla elde etmişlerdir. Tam yükte 2000 d/dak' da avans ve hava-yakıt oranı maksimum ekonomiye göre ayarlanarak yaptıkları deneylerde, motorun maksimum termal verime 17/1'lik sıkıştırma oranında ulaştığını tespit etmişlerdir. Sıkıştırma oranının daha da artırılmasıyla termal verimin düşmeye başladığı gözlenmiştir. Tam yükte yüksek sıkıştırma oranlarında vuruntuyu önlemek için i-oktan (C₈H₁₈) içerisine kurşun tetra etil (Pb(C₂H₅)₄) ve mangan içerikli katkı ilave etmişlerdir (Çelik 1999).

1.1.9.4 Sıkıştırma Oranının Sürtünme Gücüne Etkisi

Buji ile ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranı yükseldikçe sıkıştırma basıncı ve maksimum basınç aynı ölçüde artmaktadır. Bunun iki etkisi vardır; birincisi daha yüksek olan basınçlar daha yüksek kuvvetleri ve bilhassa pistonda daha yüksek sürtünmeleri doğurmaktadır. İkinci ve daha önemli etki ise, aynı dayanım derecesinin sağlanması için hareket eden parçaların daha ağırlaşması ve toplam sürtünme kayıplarını artırmasıdır. Bu da motorun mekanik verimini düşürmektedir. Kısmi ve tam yükte, değişik hızlarda motorun dinamo ile döndürülmesiyle sıkıştırma oranının sürtünme gücüne etkisini araştırmak amacıyla yapılan bir çalışmada, artan sıkıştırma oranı ile sürtünme gücünün de bir miktar arttığı belirlenmiştir (Sekmen 2003).

1.1.9.5 Sıkıştırma Oranının Volümetrik Verime Etkisi

Motorun bütün değişkenleri sabit kalır, yalnız sıkıştırma oranı değiştirilirse volümetrik verim değişir. Ancak yapılan deneysel çalışmalarda, sıkıştırma oranının artmasıyla volümetrik verimin azaldığı gibi arttığı da görülmüştür. Çünkü sıkıştırma oranının artırılması bir yandan sıcaklık seviyelerini artırdığı için volümetrik verime olumsuz bir etki yaparken diğer taraftan artık gazların miktarını azalttığı için volümetrik verimi artırıcı yönde etki etmektedir (Çelik 1999).

1.1.9.6 Sıkıştırma Oranının Egzoz Emisyonlarına Etkisi

Sıkıştırma oranının yanmayı etkilemesi sonucu motorun emisyon seviyelerinde de değişiklikler olmaktadır. Sıkıştırma oranındaki artışlar HC emisyonlarını artırmaktadır. Yüksek sıkıştırma oranlarında genişleme zamanının sonlarında gaz sıcaklıklarının çok düşmesi sonucu silindirdeki HC oksitlenmesinin daha az gerçekleşmesi, daha düşük egzoz sıcaklıkları nedeniyle egzoz sisteminde daha az oksidasyon olmasıdır. Ayrıca, yanma odası yüzeylerindeki ve piston bölgelerindeki yarık ve oyuk kısımların hacmindeki artışlar da HC emisyonlarını artırmaktadır.

HC emisyonlarını etkileyen önemli parametrelerden biri yanma odası-yüzey alanıdır. Sıkıştırma oranı artışıyla birlikte artar ve HC emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Yanma odası içinde alev yüzeye yakın bölgelerde soğur ve söner. Bu, yanmamış bir HC tabakası bırakır ve bu tabaka yanmış gazlarla birlikte egzozdan atılır (Erduranlı vd.2001).

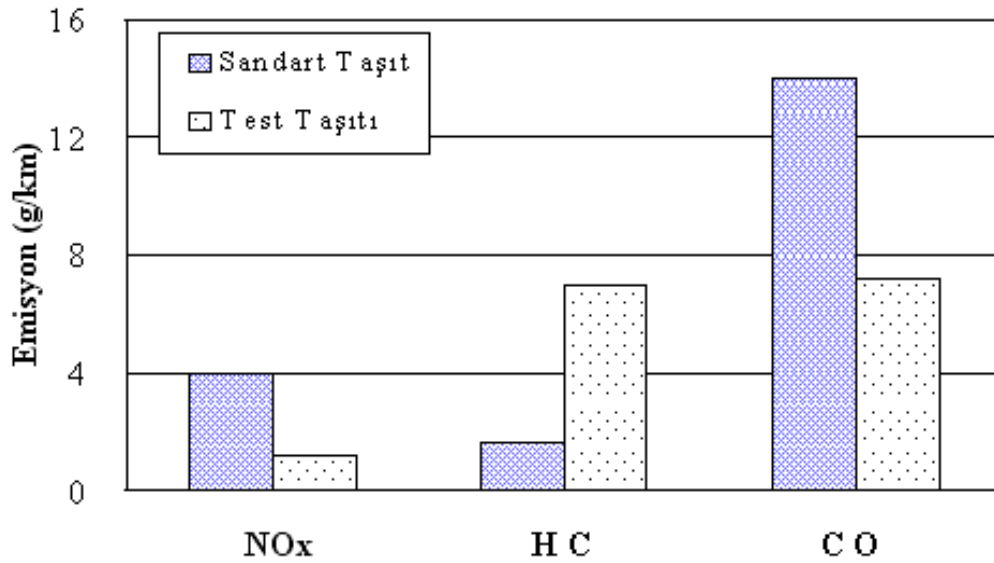
Civil (1987) buji ile ateşlemeli motorda egzoz emisyonlarına benzindeki metanol karışımının ve sıkıştırma oranının etkileri başlıklı bir çalışma yapmıştır. 4 zamanlı, tek silindirli, standart yakıt oktan sayısını tespit etmekte kullanılan, sıkıştırma oranı değişebilen, buji ile ateşlemeli bir motor üzerinde sıkıştırma oranının egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Sıkıştırma oranının etkisi başlıca dört değişik oranda (7/1, 8/1, 8,5/1 ve 9/1) araştırılmış, hava-yakıt oranı ise zengin bir karışıma tekabül eden bir noktada sabit tutmuştur. Sıkıştırma oranının değiştirilmesi sonucu motorun vuruşu yapmaması için ateşleme avansını da buna bağlı olarak değiştirmiştir. Sıkıştırma oranının artırılmasıyla CO oranında çok azda olsa bir artış gözlemlemiştir. Ayrıca CO oranında sıkıştırma oranı ile belirgin bir değişimin söz konusu olmadığını belirlemiştir (Çelik 1999, Civil 1987).

Felt and Krausse (1971) yaptıkları çalışmalarında buji ile ateşlemeli, 383 CID V-8 motorda sıkıştırma oranının emisyonlara etkisini incelemişlerdir. 9,5/1 ve 7,6/1 sıkıştırma oranlarında yaptıkları deneyler sonucunda, yüksek sıkıştırma oranlı çalışmada

aynı güçte, NO_x ve CO emisyonlarının değişmediğini, HC emisyonlarının ise arttığı belirlenmiştir.

Adams et al. (1987) tarafından yapılan bir çalışmada, 4 silindri 4 zamanlı, 1780cm³ kurs hacmine sahip benzin enjeksiyonlu bir motorun silindir kapağına yardımcı oda eklenmesiyle yapılan değişken sıkıştırma oranlı motora sahip VW marka taşıtta yaptıkları testlerde, taşıtın egzoz emisyon seviyeleri katalist kullanmaksızın araştırılmıştır. Testler sonucunda NO_x ve CO emisyonlarında azalma gözlenirken, sıkıştırma oranı ile birlikte artan n/hacim oranından dolayı HC emisyonlarının arttığı belirlenmiştir.

Wardznski and Rychter (1991) tarafından yapılan bir çalışmada, sıkıştırma oranının NO_x emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Artan sıkıştırma oranıyla birlikte NO_x emisyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir.



Şekil 1.8 Standart bir taşıtla değişken sıkıştırma oranlı bir taşıtın egzoz emisyonları açısından karşılaştırılması (Erduranlı vd. 2001).

1.1.9.7 Sıkıştırma Oranı ile Hava-Yakıt İlişkisi

Gerek sıkıştırma oranı, gerekse hava- yakıt oranı motorun gücünü etkileyen ve ayrıca vuruntuya sebep olabilecek önemli parametrelerdir. Motorun uygun sıkıştırma oranı ve hava-yakıt oranı ile çalıştırılması durumunda vuruntu olmadan maksimum güç ekonomik bir şekilde elde edilebilmelidir.

Motordan iyi bir performansın elde edilmesi, yakıtın verimli kullanılması ve emisyonların, bütün çalışma şartlarında sürekli olarak kontrol edilmesiyle gerçekleştirilebilir. Bunun temini için motor fakir karışımlarla çalıştırılabilir. Fakir karışımla çalışmada, çalışma dengesizliği ve aşırı ısınmadan gelen problemler olmadan yanma düzeltilebilirse hem emisyonlar düşer hem de yakıt ekonomisi iyileştirilebilir. Bununla birlikte fakir yanma; alevin sönmeye ihtimaline kadar büyük problemlere de yol açabilir. Bu problemler, sıkıştırma oranının artmasıyla aşılabılır (Sekmen 2003).

Gruden (1979) tarafından yapılan çalışmada, motorun hava-yakıt oranı ve sıkıştırma oranının bir fonksiyonu olarak fakir karışımla çalışma ve vuruntu sınırı belirlenmiştir. Yüksek sıkıştırma oranlarında fakir karışımla çalışmak mümkündür, özellikle fakir çalışma limitini yükselten yüksek türbülanslı yanma odalı motorlarda bu durum daha belirgindir (Sekmen 2003).

1.1.9.8 Sıkıştırma Oranı - Ateşleme Avansı İlişkisi

Sıkıştırma oranı artırıldığında, ateşleme anındaki karışımın basıncı, sıcaklığını artırırken artık gaz yoğunluğu ise azalmaktadır. Bununla birlikte karışımın ateşlenebilmesi için uygun koşullar oluşur hem de yanma olayının başlangıç fazının süresi azalır, ana fazdaki alevin yayılma hızı yükselir. Diğer taraftan sıkıştırma oranının artırılması, yanma odası Yüzey/Hacim oranının artırdığından karışımın büyük miktarı bağlı olarak yanma odası çeperleri yakınında toplanacağından son safhanın süresi artmaktadır. Bu durum uygun ateşleme avansı (AA) ile azaltılabilir.

Sıkıştırma oranının artışı ile oluşacak vurutu, belli bir noktaya kadar ateşleme avansının değişimi ile kontrol edilir. Artan sıkıştırma oranlarında maksimum verimi elde etmek için bir miktar azaltılması gerekir. Buji ile ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranının ve hava giriş sıcaklığının artırılması daha fakir karışımların yakılmasını mümkün kılmaktadır. Fakir karışımlarda alevin yayılma hızının düşmesi ve gecikme periyodunun uzaması nedeniyle ateşleme avansının artırılması gerekebilmektedir (Çelik 1999).

1.1.10 Değişken Sıkıştırma Oranlı Motorlar

Değişken sıkıştırma oranlı motorlar (DSOM), basit ve sade olarak standart motor üzerinde gerçekleştirilecek değişikliklerle yapılabilmekte ve sıkıştırma oranının motor performansına ve çalışma parametrelerine etkisinin incelenmesinde yararlanılan bir araştırma motoru olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca bu motorla vurutuya dayanıklı alternatif yakıtlarla ilgili denemeler yapılabilmektedir. Sıkıştırma oranının kolayca değiştirilebilmesi sayesinde deneysel çalışmalar kısa sürede tamamlanmaktadır.

İçten yanmalı motorların performansı, yakıtın ekonomisi ve emisyon seviyelerinin düşük seviyelerde tutulması motorun değişik yük koşullarında sürekli kontrol edilmesine bağlıdır. Bu da performansa etki eden parametrelerin çalışma şartlarına göre kontrol edilmesiyle gerçekleşebilmektedir. Buji ile ateşlemeli motor verimine etki eden en önemli faktör olan, sıkıştırma oranı günümüzde 8/1'den 12/1'e kadar çıkarılabilmekte, vurutuya dayanıklı katkıli yakıtlar kullanıldığında bu oran daha da artırılmaktadır (Çelik 1999).

Buji ile ateşlemeli bir motorun sıkıştırma oranı değerini tespit etmek için, vurutuya en çok yatkın olan düşük hız-maksimum yük konumlu çalışmasındaki koşullar dikkate alınmakta ve motorun vurutusuz çalışması sağlanmaktadır. Yanma veriminin, yakıt ekonomisinin ve emisyonların iyileştirilmesi için kısmi kelebek açıklıklarında sıkıştırma oranının artırılması, motorun yüksek yük ve düşük hız çalışmasında oluşan vurutu ve sert çalışmayı önlemek için de sıkıştırma oranının azaltılması gereklidir. Bunun için de sıkıştırma oranı yüke ve hıza göre değişebilen motorlara ihtiyaç vardır (Sekmen 2003).

Değişken sıkıştırma oranlı olarak kullanılan ilk motorlardan birisi Harry R. Ricardo tarafından 1919 yılında yapılmıştır. Yakıt muayenesi ve özellikle detanasyon ölçülmesi için kullanılan bu buji ile ateşlemeli motorun silindir çapı 114,3 mm, kursu 203,2 mm dir. E35 olarak anılan bu motorda sıkıştırma oranının değiştirilmesi bütün silindirin krank miline göre yükseltip alçaltılmasıyla sağlanmıştır. Sıkıştırma oranı 3,7/1'den 8/1'e kadar değiştirilmiştir.

Bu konuda yapılan ilk motorlar genel araştırma yerine sadece detanasyon ölçülmesine tahsis edildiğinden performansın yüksek olmasına ehemmiyet verilmemiş, daha ziyade motorun iyi işlemesi istenmiştir. Daha sonraları sıkıştırma oranı aralığı artırılan ve geliştirilen bu motorlar, CFR motoru (Cooperative Fuel Resarch Committee) adıyla tanınmış ve yakıtların vuruntu ölçümleri için standart donanım haline getirilmiştir. Bu alandaki çalışmalar giderek yakıt ekonomisi ve performansı artırmaya yönelik olmuştur. Değişken sıkıştırma oranının dizel motora uygulanmasındaki amaç ise soğukta ilk hareketi kolaylaştırmak, daha iyi relanti çalışması ve maksimum silindir basıncını artırmadan çıkış gücünde artış elde edilmesidir (Çelik 1999).

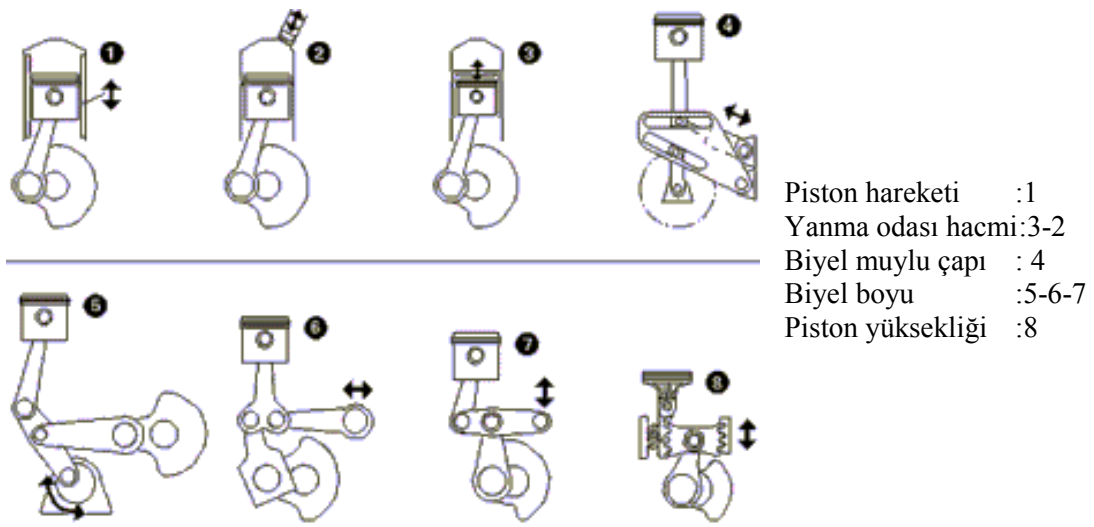
Buji ile ateşlemeli bir motorun sıkıştırma oranını değişken hale getirmek için, ya sabit sıkıştırma oranlı motor üzerinde bir takım değişiklikler yapmalı ya da motor ilk baştan değişken sıkıştırma oranlı olarak tasarlanmaktadır. DSOM araştırma motoru olarak kullanılmakla beraber taşıt üzerinde uygulanmış çalışmalar da mevcuttur (Sekmen 2003).

İyi bir değişken sıkıştırma oranı mekanizmasının aşağıdaki şartları sağlaması gerekmektedir:

- Sistem basit, küçük boyutlu ve hafif olmalıdır.
- Herhangi ciddi bir tasarım problemi oluşturmamalıdır.
- Sıkıştırma oranının tüm aralıklarda değişimi mümkün olmalıdır.
- Pistonlu motorlarda kullanılabilirliktir.
- Sıkıştırma oranı hassas olarak ayarlanabilirliktir.
- Diğer motor parametrelerinde istenmeyen değişikliklere neden olmamalıdır.
- Motorun dengesi klasik bir motora göre kötüleşmemelidir.
- Motor ömrü kısalmamalıdır.

Bu motorlarda sıkıştırma oranının değişimi, silindir basıncına veya motor devri ile yüküne bağlı olarak otomatik ya da dışarıdan ayarlanabilmektedir (Çelik 1999).

Motorun kısmi yük performansını artırmak ve yakıt ekonomisi sağlamak amacıyla sıkıştırma oranının değişken hale dönüştürülmesi çeşitli şekillerde yapılmaktadır. Bunlar, yanma odası hacmini büyütüp küçülterek, biyel boyunu veya piston yüksekliğini, krank mili ana veya biyel muylu çapını değiştirerek, silindir kapağını hareket ettirerek veya başka şekillerde olabilmektedir. Şekil 1.9 (Sekmen vd. 2007).



Şekil 1.9 Sıkıştırma oranı değiştirme metotları (Sekmen vd. 2007).

Pouloit (1977) yaptığı çalışmada değişken kurslu, 5 silindirli bir araştırma motoru tasarlamıştır. Motor, gücünü gaz kelebeğinden ziyade piston kursunun değişimiyle kontrol etmiştir. Piston kursunun değişimiyle birlikte motorun sıkıştırma oranını istenilen aralıklarda tutabilmek mümkün olmuştur. Bu motorla yaptığı test sonuçlarında, standart motorlarla karşılaştırıldığında; gaz kelebeği kısılması ve sürtünme kayıplarının azaltılması ile birlikte düşük güçlerde yakıt sarfiyatı sağlamıştır.

Dartnell (1978) geleceğin yakıt ve motorları başlıklı bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında İngiliz Teknik Konseyi tarafından yapılan bir araştırmada araştırma oktan sayısı (AOS), sıkıştırma oranı ve yakıt ekonomisi arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Kurs

hacimleri 1100cm³ ile 4235 cm³ aralığında bulunan 17 farklı motoru, dinamometrede ve taşıt üzerinde deneye tabi tutmuştur. 1300–1600 cm³'lük motorlarda 7,6/1–8,0/1 sıkıştırma oranında AOS' nın 90 olması gerekirken 8,5/1–9,0/1 sıkıştırma oranında AOS' nın 97 olması gerektiğini belirlemektedir. Sıkıştırma oranında 0,9–1,0 birimlik artışın, AOS' nda 7 birimlik artmayı gerektirdiğini belirtmiştir. Bu durumda 1300–1600 cm³'lük motorlarda birim sıkıştırma oranı başına %4,4–13,3'lük, birim AOS başına da %0,6–1,7'lik yakıt ekonomisini tespit etmiştir. 17 adet motor için genel ortalama yaparak sıkıştırma oranındaki birim artış ile %7,7 ve AOS' ndaki birim artış ile % 1,3'lük yakıt ekonomisi sağlandığını belirlemiştir.

Adams et al. (1987) çalışmalarında değişken sıkıştırma oranlı motor ile yanma işlemini optimize etmek amacıyla 4 zamanlı, 4 silindirli ve kurs hacmi 1780 cm³ olan, benzin enjeksiyonlu bir motorun silindir kapağına bir yardımcı yanma odasını eklemişlerdir. Sıkıştırma oranı 9,5/1–15/1 aralığında devir ve yüke bağlı, otomatik olarak değiştirmişlerdir. Böylece motorun yanma odası, ana ve yardımcı oda olmak üzere ikiye ayırmışlardır. Değişken sıkıştırma oranlı motora dönüştürülen taşıt ile yaptıkları denemelerde, kısmi yüklerde yakıt ekonomisinde %12'ye varan iyileşmelerin elde edildiği sonucuna varmışlardır.

Wirbeleit et al. (1990) tarafından geliştirilen değişken sıkıştırma oranlı motorda kompresyon yüksekliği için değişken piston (VCH; variable compression height) kullanmışlardır. Motorda piston pimine bağlı bir iç piston ve iç pistonun dış kısmına yerleştirilen dış piston bulunduğunu ve kısmi yüklerde dış piston geliştirilen hidrolik sistem tarafından otomatik olarak yukarı itilerek sıkıştırma oranı artırıldığını belirtmişlerdir. Yanma basıncının belirlenen değeri aştığında ise dış pistonun aşağı çekilerek sıkıştırma oranının azaltıldığına değinmişlerdir. VCH pistonlu V–8 motoruyla performans ölçülmüş sabit devir (n=3000 d/dak), değişik yüklerde yapılan motor testleri sonucunda; kısmi yüklerde maksimum silindir basıncı ve özgül yakıt tüketiminde, önemli iyileşmeler elde etmişlerdir. Özellikle düşük yüklerde özgül yakıt tüketimindeki iyileşme %10-11'e ulaşılmıştır.

Wardznski and Rychter (1991) yaptıkları çalışmalarda, sıkıştırma oranı motorun çalışması esnasında da değiştirilebilen bir mekanizmaya sahip tek silindirli bir araştırma motoru tasarlamışlardır. Motoru VR/LE (variable R/L engine) şeklinde adlandırmışlardır. Sıkıştırma oranının değiştirilmesi, kinematik krank yarıçapının elle değiştirilmesiyle sağlamışlardır. Biyel ile biyel muylusu arasına eksantrik bir dişli yerleştirmişlerdir. Kinematik krank yarıçapının kısılması ve uzamasını krank muylusuna bağlı eksantriğin açısız pozisyonunun değişimiyle ayarlamışlardır. Kurs hacmi 650 cm³, sıkıştırma oranı 6,13/1 ile 9,61/1 arasında değiştirilebilen VR/LE motorunun performansını ölçüp ve deneyler sonucunda motor gücünün ve termik verimin arttığı belirlemişlerdir.

Rychter et al. (1991) yaptıkları deneysel çalışmada, sıkıştırma oranının değişimi kinematik krank yarıçapının değiştirilmesiyle sağlanmaktadır. Motorun silindir çapı 196,85 mm, krank yarıçapı 107,95 mm, biyel kol uzunluğu 406,4 mm ve eksantrik boyu 4,3 mm'dir. 6 silindirli ve sıkıştırma oranı 12,93/1 ile 25,20/1 arasında değişebilen türbo şarjlı bir dizel motoru ile deneyler yapmışlardır. Deneyler sonucunda kısmi yüklerde yakıt tüketiminde yaklaşık %2 azalma görülmüştür. Tutuşma gecikmesinde 0,35 ms ve yanma gürültüsünde 6 dB'lik bir azalma görmüşlerdir.

Boggs and Hilbert (1995) Otto- Atkinson (OA) çevrimli motorunda, yakıt ekonomisi ve emisyon neticesi ile donanım tasarımı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmalarında, 1.6 litrelik bir 1-4 motoru OA çevrimine göre çalışacak şekilde tasarlamışlardır. Motorun sıkıştırma oranı 9,5/1-15,5/1 arasında kademeli olarak değiştirmişlerdir. Emme supaplarının da sabit olarak geç kapanmasını sağlamışlardır. OA motorunun sıkıştırma oranını değişken yapmak için sıkıştırma yüksekliği değişken piston kullanmışlardır. Sistem iç ve dış piston olmak üzere iki ana elemandan oluştuğunu vurgulamışlardır. Dış piston iç pistonun üzerinde aşağı yukarı kaydığını ve böylece sıkıştırma yüksekliğinin değiştiğini belirtmişlerdir. Dış pistonun hareketi hidrolik sistem tarafından silindir basıncına göre kontrol edildiğine değinmişlerdir. Sıkıştırma oranının; tam yükte 9,5/1'e ayarlandığı, yük azaldıkça artırıldığı ve kısmi yükte 15,5/1 değerine ulaştığını görmüşlerdir. OA motoruyla yaptıkları testler sonucunda; OA motoru standart motora göre %10 egzoz gazı resirkülasyonu (EGR) ile

1500d/dak' da 2,62 bar'lık ortalama efektif basınçta özgül yakıt tüketiminde %15 oranında iyileşme gösterdiğini, kısmi yüklerde OA motorunda standart motora göre; NO_x ve CO emisyonlarında %50 oranında azalma gözlenirken HC emisyonlarında %60 oranında artış gözlemlenmiştir.

Yücel ve Karel (1998) deneysel çalışmalarında, sıkıştırma oranı değiştirilebilen tek silindirli Ricardo motorunun, devir sayısına bağlı olarak, motor performans ve emisyon davranışlarını farklı sıkıştırma oranları için deneysel olarak incelemiştir. Deneilerini tam yükte gaz keleşi açık konumunda ve ateşleme avansı üst ölü noktadan önce 25°C' ye ayarlayarak yapmışlardır. Deneilerde motor torku, devir sayısı, yakıt tüketimi, hava tüketimi, egzoz emisyonları ve silindir basıncını ölçmüşlerdir. Bu verilerini analiz edilerek Ricardo motorunun performans ve emisyon davranış grafiklerini devir sayısına bağlı olarak elde etmişlerdir.

Blair (1999) dört zamanlı motorlarda tasarım başlıklı çalışmalarında; teorik yakıt-hava çevriminde motorun sıkıştırma oranı 10/1 iken sıkıştırma indeksi standart 1,4 değerinden 0,1 aralıklarla 1,1'e kadar küçültmüştür. Genişleme indeksi ise standart 1,4 değerinden 0,025 aralıklarla 1,5 değerine kadar artırarak çalıştırdığı simülasyon programında ortalama efektif basınç ve indike termal verime etkilerini incelemiştir. Sıkıştırma indeksindeki azalma ve genişleme indeksindeki artış indike termal verim ve ortalama efektif basıncı sırasıyla %6 ve %15 kötüleştirdiğini gözlemlenmiştir.

Çelik (1999) yapmış olduğu çalışmada, buji ile ateşlemeli bir motorun sıkıştırma oranının değişken hale dönüştürülmesi ve performansa olan etkilerini araştırmıştır. Bu çalışmada buji ile ateşlemeli, dört zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı, sıkıştırma oranı 5/1 olan bir motorun sıkıştırma oranını değişken hale dönüştürmüş ve değişken sıkıştırma oranının kısmi yüklerde motor performansına etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Standart motoru değişken sıkıştırma oranlı motora (DSOM) dönüştürmek için yardımcı yanma odalı silindir kapağı kullanılmıştır. DSOM' un sıkıştırma oranını 4/1 ile 10/1 arasında değişebilecek şekilde tasarlamış ve motor çalışırken sıkıştırma oranının değiştirilebilmesini sağlamıştır. Yapılan deneysel çalışma ile DSOM ile standart motorun karşılaştırılmasını yapmıştır. Sonuçta DSOM' un kısmi yüklerde özgül

yakıt tüketimi, standart motora göre kısmi yük, yüksek hız durumunda %29 azaldığını gözlemlemiştir. Ayrıca DSOM' un CO emisyonlarında yaklaşık %10 azalma elde ederken HC emisyonlarında yaklaşık %25 artış kaydedilmiştir.

Birch (2001) Saab'da değişimler başlıklı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma ile değişken sıkıştırma oranlı motorların tasarımı konusunda çalışmalarını sürdürmüştür. Saab tarafından Şubat 2000'de 1,6 l'lik 5 silindri değişken sıkıştırma oranlı bir motor imalatı yapıldığını ve geliştirilme çalışmalarının devam ettiğini açıklamıştır. Silindir kapağı ile silindirin birleşik olduğu ve monohead kapak olarak bilinen bu motorda blok klasik motorda olduğu gibi krank milini taşımaktadır. Monohead kapak hidrolik bir sistem aracılığıyla krank mili ekseninin bir tarafından yukarı doğru en fazla 4°C ye kadar eğilerek sıkıştırma oranı 14/1 ile 8/1 arasında değiştirilebildiğine değinmiştir. Değişken sıkıştırma oranlı ve süper şarj SVC tasarım ile 200 Nm/l özgül moment ve 150 HP/l özgül güç elde edilebildiğini belirtmiştir. Düşük yüklerde en iyi yakıt ekonomisi mümkün olan 14/1 sıkıştırma oranında sağlanabildiğini ve yüksek yüklerde vuruntu problemi olmaması için süper şarj ile motor performansını yükseltmek üzere sıkıştırma oranı 8/l' e düşürüldüğünü açıklamıştır.

Erduranlı vd. (2001) yaptıkları deneysel çalışmada sıkıştırma oranı değişiminin buji ile ateşlemeli motorların egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Sıkıştırma oranı artışıyla NO_x ve CO emisyonlarında azalma gözlenirken, yüzey/hacim oranının artmasından dolayı HC emisyonlarında artış gözlemişlerdir.

Abd Alla (2002) dört zamanlı buji ile ateşlemeli bir motorun bilgisayar simülasyonu başlıklı bir deneysel çalışma yapmıştır. Bu çalışmasında 4 zamanlı buji ile ateşlemeli motor performansını etkileyen eşdeğerlik oranı, ateşleme zamanlaması, sıkıştırma oranı, sıkıştırma ve genişleme indeksi gibi parametreleri incelemek üzere bir simülasyon modeli geliştirmiştir. Bu modele göre sıkıştırma oranı artışının (5/1 ile 11/1) aralığında, indike ve termal verimler arttığını ve özgül yakıt tüketiminde yaklaşık %21,5 azalma olduğunu belirtmiştir.

Çelik ve Balcı (2002) yaptıkları deneysel çalışmalarında, motor performansını etkileyen en önemli parametrelerden biri olan sıkıştırma oranının motor gücü, yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonlarına olan etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylelerini; buji ile ateşlemeli, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı, sıkıştırma oranı 4/1 ile 10/1 arasında ayarlanabilen değişken sıkıştırma oranlı bir motorda yapmışlardır. Sabit kısmi yük ve hızda sıkıştırma oranının artması ile birlikte motor gücünde %29 artma, özgül yakıt tüketiminde %23 azalma elde etmişlerdir. Ayrıca CO emisyonlarında %20 düşme kaydedilirken HC emisyonlarının %38 oranında arttığını gözlemlemişlerdir.

Sekmen (2003) yaptığı çalışmada buji ile ateşlemeli, dört zamanlı, tek silindirli ve sıkıştırma oranı 4,6/1 olan bir motorun sıkıştırma oranı değişken hale dönüştürmüş ve sıkıştırma oranı değişiminin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Standart motoru, değişken sıkıştırma oranlı motora dönüştürmek için silindiri aşağı- yukarı hareket ettirmiştir. Sıkıştırma oranı değişken hale dönüştürülen motorun sıkıştırma oranı 5/1 ile 13/1 arasında değiştirmiştir. Kısmi yüklerde özgül yakıt tüketiminde %39' a kadar iyileşme elde edilmiştir. Aynı sıkıştırma oranı aralığında CO emisyonlarında %29' a kadar azalma elde edilirken, HC emisyonlarında maksimum %25 artış belirlemiştir. Ayrıca sıkıştırma oranının ateşleme avansı, hava-yakıt oranı ve egzoz gaz sıcaklığına etkilerini incelemiştir.

Moorthi and Rudramoorthy (2007) yaptıkları deneysel çalışmalarında değişken sıkıştırma oranı (DSO / VCR) teknolojisinin, uzun süredir buji ile ateşlemeli motorların yakıt ekonomisini geliştirmede bir yöntem olarak algılandığına değinmişlerdir. Sıkıştırma oranını değiştirmek için, açıklık hacminin değiştirilmesi suretiyle geometrik sıkıştırma oranlarının değiştirilmesinin bazı metotları gerekliliğini belirtmişlerdir. Bunu yapmanın birkaç yolunun olduğunu ifade etmişlerdir. Bunlar; silindir kafasının yerini değiştirerek sıkıştırma oranının etkilenmesi, ikinci bir piston valfi kullanılarak yanma odasının hacminin değiştirilmesi, piston yuvasının yüksekliğinin değişimi, bağlantı çubuklarının geometrisinin etkilenmesi, krankshaft'ın yerinin ve krankshaft eksenlerinin yerlerinin değiştirilmesini içeren çeşitli patentler ve tasarımlar sunulmuştur. Ayrıca bu teknolojilerin potansiyelinin maliyet ve tüketim kârı yönünden değerlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. VCR' yi yapabilmek için kullanılan geometrik yaklaşımları

ve çözümleri ve daha önceki araştırmaları gözden geçirmişler ve ileride DSO'nun řu anki motor tasarımına ne katkı sağlayacağını kestirebilmişlerdir.

Shaik et al. (2007) yaptıkları çalışmada, değişken sıkıştırma oranlı motorda otomobiller için ileriki güç kaynağına genel bir bakış başlıklı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, değişken sıkıştırma oranı (DSO / VCR) teknolojisinin, uzun süredir buji ile ateşlemeli motorların yakıt ekonomisini geliştirmede bir yöntem olarak algılandığını, sıkıştırma oranını değiştirmek için, açıklık hacminin değiştirilmesi suretiyle geometrik sıkıştırma oranlarının değiştirilmesinin bazı metotları gerektiğine değinmişlerdir. VCR'yi yapabilmek için kullanılan geometrik yaklaşımları ve çözümler ile daha önceki araştırmaları gözden geçirmişler ve ileride DSO'nun řu anki motor tasarımına ne katkı sağlayacağını kestirmektedirler.

Sekmen vd. (2007) yaptıkları çalışmalarında buji ile ateşlemeli, dört zamanlı, tek silindirli bir motorun sıkıştırma oranını değişken hale dönüştürmüşler ve sıkıştırma oranı değişiminin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Sıkıştırma oranı değişimini silindir aşağı-yukarı hareket ettirilerek sağlamışlardır. Sıkıştırma oranının artırılmasıyla (7/1-11/1) motor gücünde artma ve özgül yakıt tüketiminde iyileşme elde edilmiştir. Aynı sıkıştırma oranı aralığında karbon monoksit (CO) emisyonlarında azalma elde edilirken, sıkıştırma oranı artışı yanma odası yüzey/hacim oranını artırdığından hidrokarbon (HC) emisyonlarında artış gözlemlenmişlerdir.

Harne and Marathe (1987) değişken sıkıştırma oranlı iki zamanlı motor başlıklı bir çalışma yapmışlardır. Yapılan bu çalışmada iki zamanlı, tek silindirli bir motorun silindir kapağını değiştirerek, yerine bir dökme demir kovan içinde hareket eden yardımcı pistonu sahip bir silindir kapağı takmışlardır. Sıkıştırma oranını yanma odası hacmini değiştirmekle ayarlamışlardır. Yardımcı piston bir taraftan silindir basıncının etkisi altında iken diğer taraftan yay kuvvetine direndiğini, silindir basıncı belirlenen basıncı aştığında pistonun dışarı doğru hareket ettiğini ve sıkıştırma oranını azalttığını belirtmişlerdir. Bu motorda yaptıkları denemelerde, yardımcı piston ve yayın silindirdeki basınç değişimine anında cevap verememesi yüzünden bazen yeterli

sonuçlar elde edememişlerdir. AVCR (otomatik değişken sıkıştırma oranlı motor, automatic variable compression ratio) şeklinde adlandırılan, tek silindirli, hava soğutmalı, standart sıkıştırma oranı 7,6/1, kurs hacmi 50 cm³ olan bu motorla yaptıkları testler sonucunda; kısmi yüklerde özgül yakıt tüketiminde azalma kaydetmişlerdir. Tam yükte düşük hızlarda ise vuruntulu çalışma nedeniyle özgül yakıt tüketimindeki iyileşmenin daha az olduğunu gözlemlemişlerdir.

Lurial and Taitel (1982) tarafından yapılan çalışmada Otto çevrimine göre çalışan 4 silindirli, 1098 cm³ hacimli bir Austin motoru Otto-Atkinson (OA) prensiplerine göre çalışacak şekle dönüştürmüşlerdir. Dönüşüm için motorun sıkıştırma oranı ve emme supabı zamanlamasını değişken hale getirmişlerdir. Sıkıştırma oranını değiştirmek için üç ayrı silindir kapağı kullanılarak yanma odası hacmini küçülterek sıkıştırma oranının üç kademe artırılmasını sağlamışlardır. Standart motorun yanma odası hacmi 44,5 cm³ iken, 1 nolu OA motorununki 25,5 cm³, 2 nolu OA motorununki 22 cm³ ve 3 nolu OA motorununki de 13 cm³ olduğunu belirtmişlerdir. Emme supaplarının kapanmasını geciktirmek için standart kam mili üzerine yeni emme kamları yapmışlar. Bu kamlarla, emme supabı açılmasının standart motorda olduğu gibi açıldığını, ancak kapanma zamanı geciktirildiğini vurgulamışlardır. 2000 d/dak'da değişik yüklerde yapılan deney sonuçlarına göre yakıt ekonomisinde %10 iyileşme elde edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca CO ve NO_x emisyonlarını standart motora göre daha az bulmuşlardır.

Tuttle (1982) deneysel çalışmasında gaz kelebeksiz buji ile ateşlemeli motorlarda emme supabının erken veya geç kapatılması ile yük kontrolü ile pompalama kayıpları, yakıt tüketimi ve diğer çalışma parametreleri üzerindeki etkilerini açıklamıştır. Emme supabının geç kapatılması (ESGK) ile yük kontrolü uygulanan motorun, kelebek kontrollü motora göre kısmi yükte daha düşük özgül yakıt tüketimi, daha düşük pompalama kaybı ve daha düşük azotoksit (NO_x) emisyonları verdiğini belirtmiştir. Emme supabının erken kapatılması (ESEK) ile yük kontrolü uygulanan motorun kelebek kontrollü motordan daha yüksek seviyede hidrokarbon (HC) emisyonu verdiğini, fakat ESGK uygulanan motor ile benzer faydaları sağladığını belirlemiştir.

Blakey et al. (1991) çalışmalarında silindir hacmi 2 litre, 16 supaplı, 4 silindirli bir motorda, iki kam mili yardımıyla birbirinden bağımsız iki emme supap sistemini kontrol ederek emme supabı geç kapanmasıyla (ESGK) yük kontrolü yapmışlardır. Sıkıştırma oranını değişken hale dönüştürmek için silindir kapağında yardımcı yanma odası oluşturulmuş ve sıkıştırma oranı 10/1 ile 13/1 arasında değiştirmişlerdir. Yardımcı pistonun pozisyonunu motor yağını kullanan bir hidrolik sistem tarafından kontrolü sağlanmıştır. İlk değişken sıkıştırma oranı mekanizması sistemin tepki süresini ölçmek ve tasarımı geliştirmek amacıyla yapmışlardır. Piston ile yardımcı silindir arasından gaz kaçağını önlemek için piston üzerine iki adet dökme demir segmanı takmışlar ve piston tepesinde ise yüksek hızlı hidrolik yağ sızdırmazlık keçesi kullanılarak silindire yağ sızıntısı önlenmiştir. Geliştirilmemiş bir kontrol sistemiyle bile kabul edilebilir olduğunu göstermişler ve geliştirilmeye ihtiyacı olduğunu belirtmişlerdir.

Bayındır ve Yücesu (1999) yaptıkları çalışmada tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı ve sıkıştırma oranı 6/1 olan buji ile ateşlemeli bir motorda, etanol hacimsel olarak %10, %20 ve %30 oranlarında normal benzinle karıştırılmış ve motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini test etmişlerdir. Yapılan ilk testte karışım motora çevre sıcaklığında (T_0) alınmış, sonraki testlerde dolgu sıcaklığı kademeli olarak $T_0 + 6$ °C ve $T_0 + 12$ °C olacak şekilde artırılmıştır. Her üç dolgu sıcaklığında ve dört farklı yakıt çeşidiyle motora tam gaz - değişik yük - devir testi uygulamışlardır. Test sonuçları, karışımdaki etanol miktarı artışına bağlı olarak, özellikle yüksek motor hızlarında motor momentinde bir azalma görüldüğü, fakat dolgu sıcaklığının artması ile motor momentinde bir miktar artış olduğunu göstermiştir. Karışımdaki etanol miktarı ve emme manifoldu karışım sıcaklığı artışına bağlı olarak HC ve CO emisyonlarında azalma olduğu görülmüştür.

Dinler ve Yücel (2002) tarafından yapılan deneysel çalışmada, farklı silindir hacimlerine sahip ve farklı markalarda benzinli motorlar kullanılarak LPG'nin egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Deneylerde farklı silindir hacimleri ve markalarda; 4 zamanlı, 4 silindirli, buji ile ateşlemeli ve karbüratörlü motorlar kullanılmıştır. Birinci motor 1600 cm³ hacimli Ford marka, diğeri ise 850 cm³ hacimli Reliant markadır. Emisyon deneyleri sabit motor hızında motor yükü % 0 (yüksüz) -% 100 (tam yük)

arasında % 20 değiştirilerek yapılmıştır. LPG ile çalıştırılmada tam yük haricinde CO emisyonunda bir artış olmadığı gözlemlenmiştir. Orta yükler hariç LPG ile çalışmada daha az CO emisyonu olduğu kaydedilmiştir. Yine LPG ile çalıştırılma esnasında hidrokarbon konsantrasyonu dalgalanmaktadır. Yüksüz durumdan yüklü duruma geçilirken hidrokarbon emisyonu artış göstermekte ve benzin ile çalışmaya oranla hidrokarbon emisyonlarında artış kaydedilmektedir.

Choi et al. (2005) yaptıkları deneysel çalışmada sıkıştırma oranı değiştirilebilen, tek silindirli bir motor üretmişlerdir. Bu motoru performans ve emisyon karakteristiklerini araştırmak için kullanmışlardır. Ateşleme avansı, maksimum tork değerini verebilecek şekilde ayarlanan bu motor, 1400 d/dak'da ve 8/1 sıkıştırma oranında test edilmiştir. Bu çalışmada, çift yakıtlı (LPG+hidrojen) çalışmanın termik verim, performans ve egzoz emisyonları üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, çift yakıtlı çalışmada hidrojen oranının artmasıyla, stokiyometrik hava- yakıt oranına kadar termik verimde düşme daha sonra artış gözlemlenmiştir. Özgül yakıt tüketimi ise hidrojen oranının artmasıyla azalmıştır. Egzoz emisyonları açısından değerlendirildiğinde, hidrojen katkısının CO emisyon miktarını etkilemediği, ancak zengin karışimli çalışma şartlarında, oksijen miktarının azaldığı görülmüştür. NO_x emisyonlarının en yüksek değerine %10 hidrojen + %90 LPG ve hava fazlalık katsayısı 0,9-1,15 olan çalışma şartlarında ulaşılmıştır.

Mustafi et al. (2006) yaptıkları çalışmalarında, buji ile ateşlemeli bir motorda benzin ve doğal gazın performans kıyaslaması başlıklı bir çalışma yapmışlardır. Tek silindirli değişken sıkıştırma oranlı Ricardo E6 motoru ile yaptıkları çalışmada sıkıştırma oranının 8/1'den 11/1'e yükseltilmesiyle motor çıkış gücünde yaklaşık %22 iyileşme elde etmişlerdir.

Çelik ve Balki (2007) yaptıkları deneysel çalışmada düşük güçlü bir motorda farklı sıkıştırma oranlarında LPG kullanımının performans ve emisyonlara etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, tek silindirli bir motorun sıkıştırma oranı 5/1'den 9/1'e artırılmıştır. LPG ile çalıştırılarak performansını artırma olanakları deneysel olarak araştırılmıştır. Standart sıkıştırma oranında yapılan deneylerde LPG ile çalışmada, benzine göre önemli bir güç kaybı olmadan, özgül yakıt tüketimi ve egzoz

emisyollarında azalmalar tespit edilmiştir. Maksimum sıkıştırma oranında, LPG ile çalışmada; benzine göre güçte %32 artış, özgül yakıt tüketiminde %60 azalma, CO, HC ve CO₂ emisyonlarında sırasıyla %91, %23 ve %5 azalma elde etmişlerdir. Sonuç olarak; düşük güçlü motorlarda yüksek sıkıştırma oranında LPG kullanımının, motor performansını önemli ölçüde artırdığını ve egzoz emisyonlarını azalttığı gözlemlenmiştir.

Yousufuddin and Mehdi (2008) yaptıkları deneysel çalışmada, LPG yakıtlı değişken sıkıştırma oranlı kıvılcım ateşlemeli (KA) motorun performans ve emisyon karakteristiklerini incelemişlerdir. Yakıt olarak LPG'nin propan halini göz önünde tutmuşlardır. Çalışmalarında, tek silindirli, 4 zamanlı, hava soğutmalı, değişken sıkıştırma oranlı, buji ateşlemeli motorun, farklı sıkıştırma oranlarında, LPG yakıtı ile performans ve emisyon karakteristiklerini değerlendirilmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, LPG yakıt sistemi ile çalışan motorun, yüksek yük durumunda ve güçte daha etkili bir şekilde çalıştığını gözlemlenmiştir. Orijinal yakıtla (benzin) kıyaslandığında, motorun yakıt olarak LPG kullanan bir motora dönüşmesiyle, ortalama CO ve HC emisyonlarında azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Özcan and Yamin (2008) yapmış oldukları çalışmada; değişken kurs uzunluklarında ve sıkıştırma oranlarında LPG yakıtlı, dört zamanlı buji ateşlemeli motorun performans ve emisyon karakteristiklerini araştırmışlardır. LPG yakıtlı, dört zamanlı, su soğutmalı, buji ile ateşlemeli motorun değişken kurs uzunluklarına ait bir bilgisayar benzetimi yapılmış, motor kapasitesi ve ayrıca sıkıştırma oranı, motorun kurs uzunluğu değiştirmişlerdir. Geliştirilen karşılaştırma modeli sabit ve değişken kurslu motorların her ikisi için de literatürden deney sonuçlarını doğruladığını görüp, motorun performansı her kurs uzunluğu/sıkıştırma oranı kombinasyonunda karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda değişken zamanlı motorların yakıt ekonomisi ve güç konularındaki faydalarını ve üstünlüklerini açıkça göstermişlerdir.

1.1.11 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı, buji ile ateşlemeli bir motorda sıkıştırma oranı değiştirilerek motor performans ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak incelenmesidir. Bu amaç için, buji ile ateşlemeli, dört zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı, sıkıştırma oranı 8,5/1 olan bir motorun sıkıştırma oranı değiştirilerek, tam yükte motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Motorun sıkıştırma oranının değişimi silindir kapağında yanma odası hacmi küçültülerek sağlanmıştır.

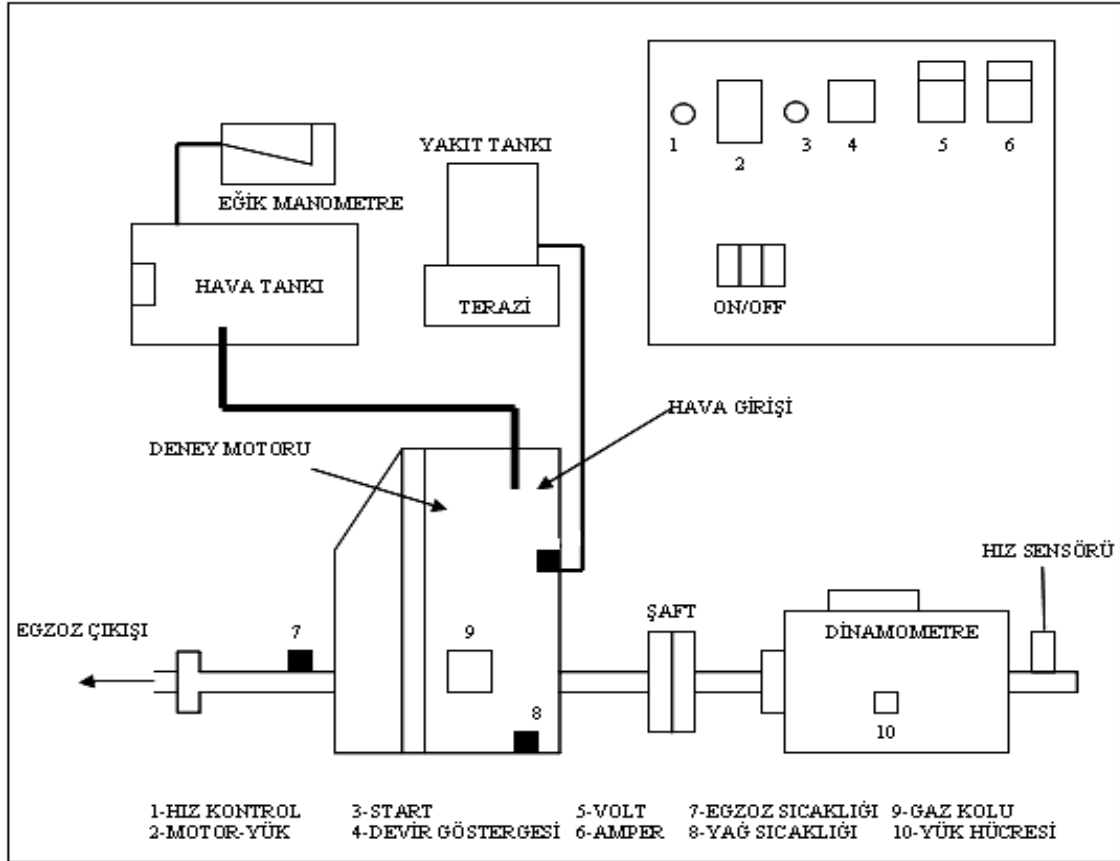
Sıkıştırma oranının 8,5/1 ile 12,72/1 değerleri arasında ve silindir kapağı 0,5 mm aralıklarla beş kez taşlanarak sağlanmıştır. Taşlama miktarı supapların açılma miktarı ile sınırlıdır. Sıkıştırma oranı değişimi tam yük ve değişik motor hızlarında (1500, 1800, 2100, 2400, 2700 ve 3000 d/dak) deneysel olarak incelenmiş ve standart motor değerleri ile karşılaştırma yapılmıştır. Sıkıştırma oranı değiştirilen motor ile sıkıştırma oranı değişiminin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada özellikle tam gaz yüklemdeki parametreler (özellikle yakıt tüketimi, motor momenti ve gücü) motor hızına ve sıkıştırma oranına göre incelenmiş olup standart motor değerlerine göre farklılıkları belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada, standart motor göre, CO emisyonlarında ve HC emisyonlarında oluşan farklılıklar tespit edilmiştir.

2. MATERYAL ve METOD

Sıkıştırma oranı değiştirilen buji ile ateşlemeli motor üzerinde yapılan deneysel çalışmalar aşağıda belirtilen materyal ve metotlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.1 Materyal

Bu çalışmada, sıkıştırma oranı değiştirilen motorun değişik yük ve hızlarda motor performansına, egzoz emisyonlarına ve diğer motor performans parametrelerine olan etkilerini araştırmak için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneyler Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Uygulama Laboratuvarında yapılmıştır. Deney düzeneğinin şematik görünüşü Şekil 2.1’de ve deney düzeneğinin genel görünüşü ise Resim 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1 Deney tesisatının şematik görünüşü



Resim 2.1 Deney düzeneğinin genel görünüşü

2.2 Deney Motoru

Deneyleerde, buji ile ateşlemeli, dört zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı, HONDA GX 120 UT1 SX4 motoru kullanılmıştır. Teknik özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Deneyleerde kullanılan motorun genel görünüşü Resim 2.2’de gösterilmiştir.



Resim 2.2 Deney motorunun görünüşü

Çizelge 2.1 Deney motorunun teknik özellikleri

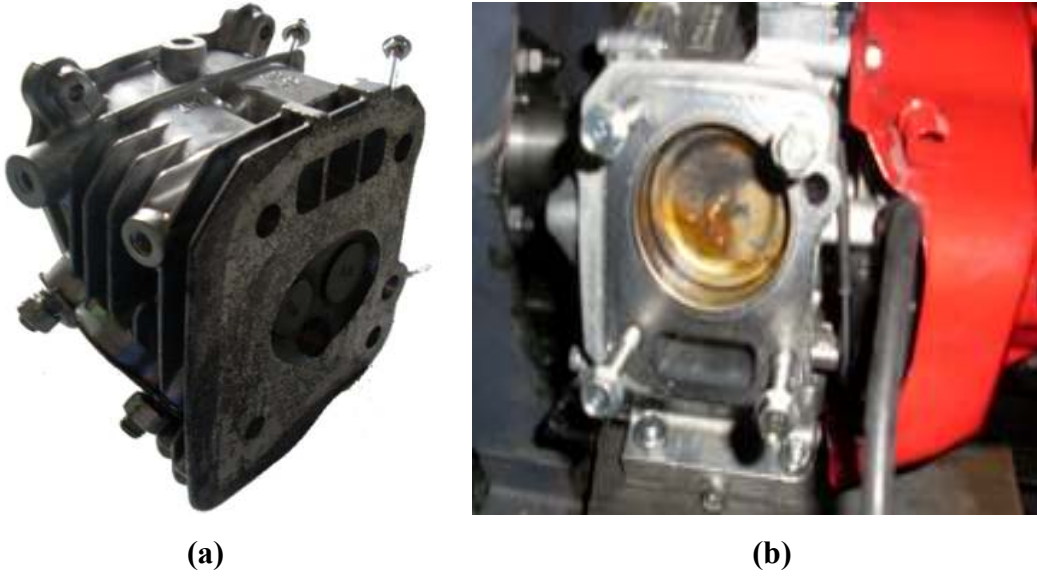
Marka model	Honda GX 120 UT1 SX4
Motor tipi	4 zamanlı buji ile ateşlemeli, üstten valfli, eğimli silindirli, yatay şaftlı
Silindir çapı	60mm
Motor kursu	42mm
Silindir sayısı	1
Kurs hacmi	118cm ³
Sıkıştırma oranı	8,5/1
Maksimum tork	0,79kg.m(2500d/dak)
Maksimum motor hızı	3600d/dak
Maksimum çıkış gücü	4BG
Ateşleme sistemi	Elektronik Ateşlemeli
Çalıştırma sistemi	Otomatik mekanizmalı
Soğutma sistemi	Hava soğutmalı
Hava filtresi	Yarı kuru, yağ banyolu, çift elamanlı, silikonlu filtre
Yakıt kapasitesi	2,5l
Yakıt cinsi	Kurşunsuz benzin
Özgül yakıt tüketimi	230gr/HP-h
Yağ kapasitesi	0,6l

2.3 Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi

Sıkıştırma oranını değişken hale dönüştürmek için ya motor imal edilirken değişken sıkıştırma oranlı olarak tasarlanmalı veya mevcut motor üzerinde bazı değişiklikler yapılmalıdır. Bu çalışmada buji ile ateşlemeli motorun sıkıştırma oranını değiştirmek için silindir kapağı ve supap sisteminde değişiklikler yapılmıştır. Sıkıştırma oranı değişimi, silindir kapağı 0,5 mm aralıklarla beş kez taşlanarak değiştirilmiştir.

2.4 Mekanizmanın Tasarımı

Bu çalışmada motorun performansını artırmak ve yakıt ekonomisi sağlamak amacıyla sıkıştırma oranı, motorun yanma odası hacmi küçültülerek değiştirilmiştir. Yanma odası hacmi supapların ve üst kapağın maksimum taşlanma mesafesi kadar 0,5mm aralıklarla beş kez taşlanıp deneyler yapılmıştır. Sıkıştırma oranı değiştirilen tek silindirli buji ile ateşlemeli motorun silindir kapağı ve motor bloğu Resim 2.3’de görülmektedir.



Resim 2.3 a. Motorun silindir kapağı, **b.** Motor blok resmi

2.5 Deneylerde Kullanılan Ölçü Aletleri

Motor deneylerinin yapımı sırasında kullanılan cihaz ve ölçü aletlerinin tanıtımı ve özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

2.5.1 Dinamometre ve Motor Deney Seti

Motor testlerinde kullanılan dinamometre şönt sargılı DC motor olup maksimum gücü 30 kW ve maksimum devri 7500 d/dak kadar frenleme yapabilmekte ve elektrikli bir fan tarafından soğutulmaktadır. Deney seti üzerinden motor yükü, hızı ve yakıt tüketimleri ölçülebilecek donanıma sahiptir. Dinamometrenin deney motoruna bağlantısı Resim 2.1’de gösterilmiştir.

Dinamometre kontrol paneli ünitesi Resim 2.4’de görülmektedir. Bu kontrol paneli üzerinde test esnasında motor ile ilgili; devir, volt ve amper değerleri görülebilmektedir. Resim 2.5’de görüldüğü gibi yük değeri ise Loadcell Amplifier LCA-D tipi dinamometre ile ölçülmektedir.



Resim 2.4 Dinamometre kontrol paneli



Resim 2.5 Loadcell Amplifier LCA-D görüntüsü

2.5.2 Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Deneyleerde emisyonlarının belirlenmesinde Bosch BEA 350 EU marka cihaz kullanılmıştır (Resim 2.6). Cihaz ile CO, CO₂, HC değerlerini hacimsel olarak ölçebilmektedir. Egzoz emisyon cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti Çizelge 2.2’de verilmiştir. Yanmış gazların analiz edilmesi ile hava-yakıt oranı veya hava fazlalık katsayısı da belirlenebilmektedir.

Çizelge 2.2 Egzoz emisyon cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti

Ölçülen gaz	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO	0-9,99 (%)	± 0,01 (%)
CO ₂	0-19,99 (%)	± 0,01 (%)
HC	0-2500 (ppm)	± 1 (ppm)



Resim 2.6 Egzoz emisyonu ölçüm cihazı

2.5.3 Kronometre

Deney esnasında ölçülmekte olan parametrelerde meydana gelen yakıt tüketimini ölçebilmek ve yakıt tüketim süresinin tespit edilebilmesi için Sporline WS 3107 SL marka ve 1 salise hassasiyetinde dijital bir kronometre kullanılmıştır.

2.5.4 Terazi

Deneylerde motorun tükettiği yakıtın ağırlığını ölçmek için DENSİ / PC100W-30SS 30010 marka, elektrikle çalışan, 2 gram hassasiyetinde ölçüm yapabilen dijital terazi kullanılmıştır.

2.6 Metot

Deneylere başlamadan önce motor ayarları kontrol edilmiş, ölçme işlemlerine motor çalışma sıcaklığına ulaştığı zaman başlanmıştır. Deneylerde kurşunsuz benzin kullanılmıştır. Kullanılan ölçüm cihazlarının kontrolü yapılarak kalibre edildikten sonra aşağıda belirtilen deneyler gerçekleştirilmiştir. Motor tam gaz konumuna getirilerek dinamometre ile yüklenmiş ve 1500 ile 3000 d/dak arasında motor hızı 300 d/dak aralıklarla 1500,1800, 2100, 2400, 2700 ve 3000d/dak sabit hızlarda ve tam gazda güç, moment ve özgül yakıt tüketimleri ve egzoz emisyonları ölçülmüştür.

Sıkıştırma oranı değiştirilen motorun sıkıştırma oranına bağlı olarak motor performansındaki değişimi incelemek için maksimum momente kadar olan aralıkta yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları ölçülmüştür. Sıkıştırma oranı 8,5/1'den 12,72/1'e kadar değiştirilmiştir.

2.7 Deneylere İlişkin Ölçüm ve Hesaplamalar

Kurşunsuz benzin kullanılarak sıkıştırma oranı değiştirilen buji ile ateşlemeli motorda, yapılan deneylerde elde edilen verilerden hesaplanan sonuçlara ulaşırken kullanılan formüller aşağıda sıralanmıştır.

2.7.1 Motor Momenti ve Gücü

Motor belirtilen devirlerde ve yükte çalışırken dinamometre göstergesinden kuvvet değerleri okunmuştur. Her bir yük için göstergede okunan kuvvet değeri, dinamometre moment kol uzunluğu (0,38 m) ile çarpılarak o yükteki motor momentini hesaplanmıştır.

$$M_d = m.9,81.L \quad (2.1)$$

olarak hesaplanır.

Deney sırasındaki motor gücü ise, motor momentini ve motor hızını tespit edilip, güç formülünde yerine yazılarak belirlenmiştir.

$$P_e = \frac{m.9,81.L.n}{9549} \text{ (kW)} \quad (2.2)$$

şeklindedir.

Ortalama Efektif Basınç;

$$P_{me} = \frac{120.p_e}{V_H.n} \text{ (kPa)} \quad (2.3)$$

şeklinde hesaplanır.

2.7.2 Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi

Deneylerde yakıt olarak kurşunsuz benzin kullanılmıştır. Yakıt tüketiminin ölçülmesinde hacimsel yöntem kullanılmıştır. Deney seti yakıt ölçme borusundaki 10ml yakıtı tüketme süresi kronometre ile tespit edilerek, saatteki yakıt tüketimi kg/h olarak hesaplanmıştır. Ölçekli kap ve dijital tartı aleti kullanarak deney ortamında yakıtın yoğunluğu 0,735gr/cm³ olarak bulunmuştur.

Benzinin yoğunluğu=0,735gr/cm³ alındığı zaman,
10ml=0,011 → 0,011 yakıt=0,735.0,01=0,00735kg'dır.

Özgöl Yakıt Tüketimi;

$$b_e = \frac{3600 \cdot m_y}{P_e \cdot \Delta_t} \text{ (gr / kWh)} \quad (2.4)$$

şeklinde hesaplanır.

2.7.3 Egzoz Emisyonlarının Ölçülmesi

Bosch BEA 350 EU marka egzoz emisyon cihazı belli bir sürede kendini kalibre etmektedir. Ölçme işleminde önce analizörün egzoz probu motorun egzoz çıkış borusuna takılmıştır. Motorun çalışması esnasında, egzoz emisyon cihazı ekranında emisyon değerlerinin sürekli değiştiğı görülmüştür. Motor normal çalışma koşullarına getirildikten sonra değişik hız ve tam gazda HC, CO, emisyonları ve hava-yakıt değerleri ölçülmüştür.

2.7.4 Egzoz Gaz Sıcaklığının Ölçülmesi

Egzoz gaz sıcaklığı deney setine ait bir K tipi termokupulun egzoz borusuna bağlanmasıyla ölçülmüştür. Sıkıştırma oranı değiştirilen motor çalışma sıcaklığına getirildikten sonra değerler ölçülmüştür.

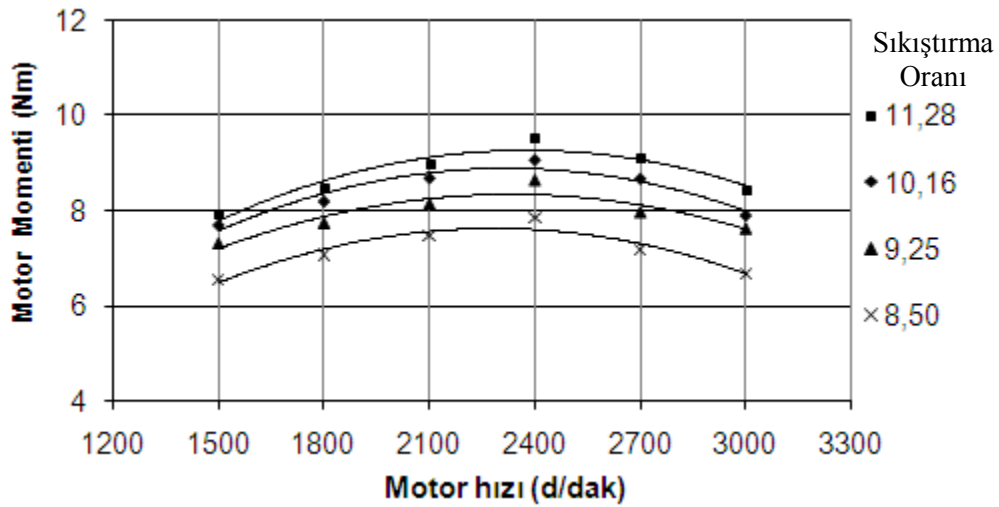
3. BULGULAR

3.1 Motor Performans Değerleri

Bu çalışmada, buji ile ateşlemeli, dört zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı, sıkıştırma oranı 8,5/1 olan bir motorun sıkıştırma oranı değiştirilerek ve tam yükte motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Buji ile ateşlemeli bir motorun sıkıştırma oranı (8,5/1-12,72/1) değiştirilerek motor gücü, özgül yakıt tüketimi, motor momenti ve egzoz emisyonlarına etkilerini belirleyebilmek amacıyla dinamometre üzerinde deneyler yapılmıştır. Silindir kapağında yanma odası hacmi silindir kapağı 0,5 mm aralıklarla beş kez taşlanarak sağlanmıştır. Sıkıştırma oranının 12,72/1 olduğu deneylerde vuruntu probleminden dolayı deneyler (8,5/1-11,28/1) sıkıştırma oranları aralığında yapılmıştır.

3.1.1 Motor Momenti

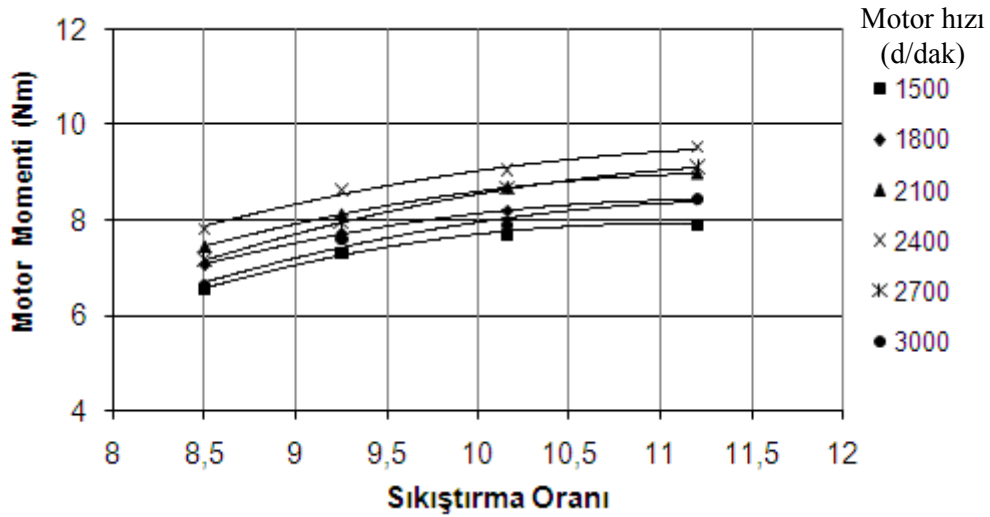
Sıkıştırma oranının artırılmasıyla birlikte sıkıştırma ve yanma sonu basınç ve sıcaklıklar yükselmekte, dolayısıyla efektif basınç artmaktadır. Sıkıştırma oranının vuruntuya neden olmayacak kadar yükseltilmesiyle birlikte çıkış gücü artmakta ve özgül yakıt tüketimi azalmaktadır (Sekmen vd. 2007).



Şekil 3.1 Sıkıştırma oranının motor hızına bağlı olarak motor momentine etkisi

Şekil 3.1’de tam yükte farklı sıkıştırma oranları için motor hızına bağlı olarak motor momentindeki değişim görülmektedir. Tam yükte motor hızıyla motor momenti önce artmakta maksimuma ulaştıktan sonra azalmaktadır. Sıkıştırma oranı artışıyla birlikte motor momenti hem artmakta hem de düzleşme eğilimi göstermektedir. Sıkıştırma oranının 8,5/1’den 11,28/1’e yükseltilmesiyle maksimum momentin elde edildiği motor hızı 2400 d/dak için tam yükte %17 artış belirlenmiştir.

Şekil 3.2’de sıkıştırma oranının 1500 d/dak ile 3000 d/dak motor hızları arasındaki motor momentine etkisi görülmektedir. 3000d/dak motor hızında sıkıştırma oranı artışıyla motor momentindeki artış daha fazla olmuştur. Düşük sıkıştırma oranlarında yüksek hızlarda oldukça düşük olan motor momentleri yüksek sıkıştırma oranlarında önemli bir artış göstermektedir.

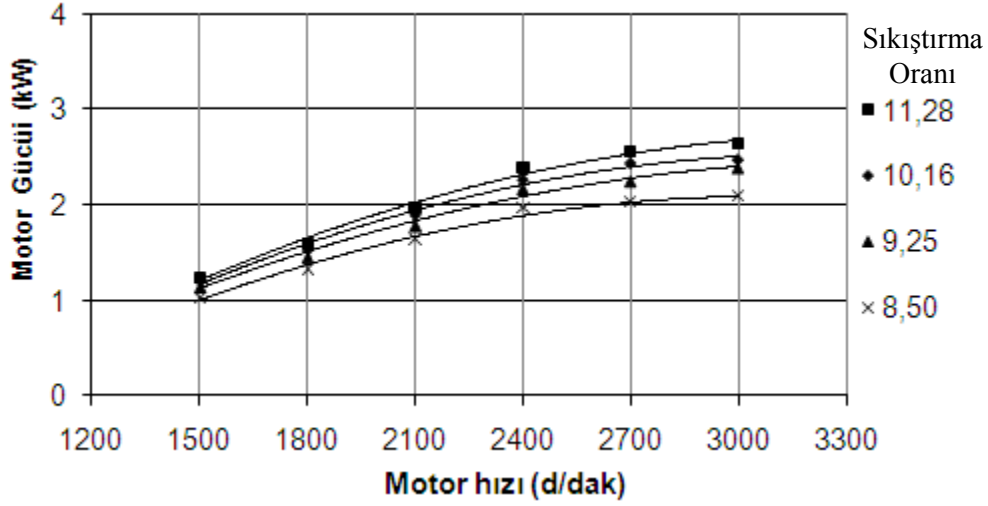


Şekil 3.2 Sıkıştırma oranı artışının motor momentine etkisi

3.1.2 Motor Gücü

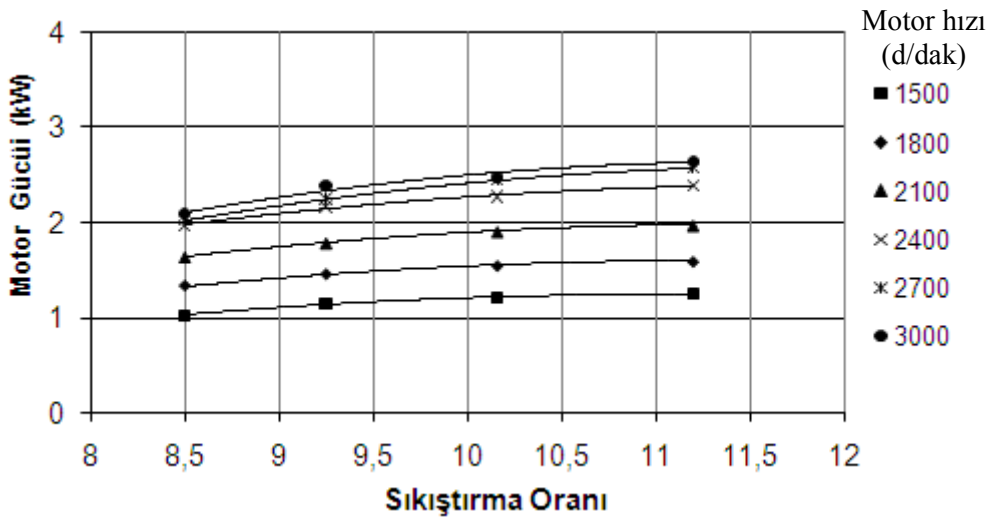
Şekil 3.3’de tam yükte motor gücündeki değişim farklı sıkıştırma oranları için motor hızına bağlı olarak görülmektedir. Tam yükte motor hızıyla birlikte motor gücü önce artmakta maksimuma ulaştıktan sonra azalmaktadır. Sıkıştırma oranının artışıyla motor gücündeki artışla birlikte maksimum gücün elde edildiği motor hızı için tam yükte

%17,7 artış belirlenmiştir. Sıkıştırma oranı artışıyla birlikte yanma hızı artmakta ve maksimum basıncın oluşma yeri üst ölü noktaya yaklaşmaktadır.



Şekil 3.3 Sıkıştırma oranının motor hızına bağlı olarak motor gücüne etkisi

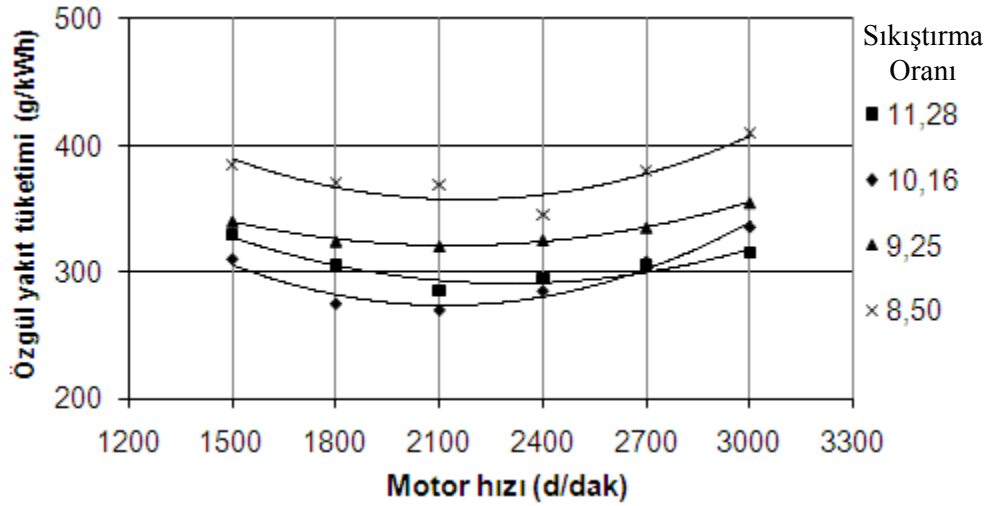
Şekil 3.4’de tam yükte motor gücündeki değişim farklı sıkıştırma oranlarına bağlı olarak görülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda her çalışma durumunda artan sıkıştırma oranıyla motor gücünün arttığı belirlenmiştir. Bu artış düşük motor hızlarında daha az, yüksek hızlarda daha fazla olmaktadır.



Şekil 3.4 Sıkıştırma oranı artışının motor gücüne etkisi

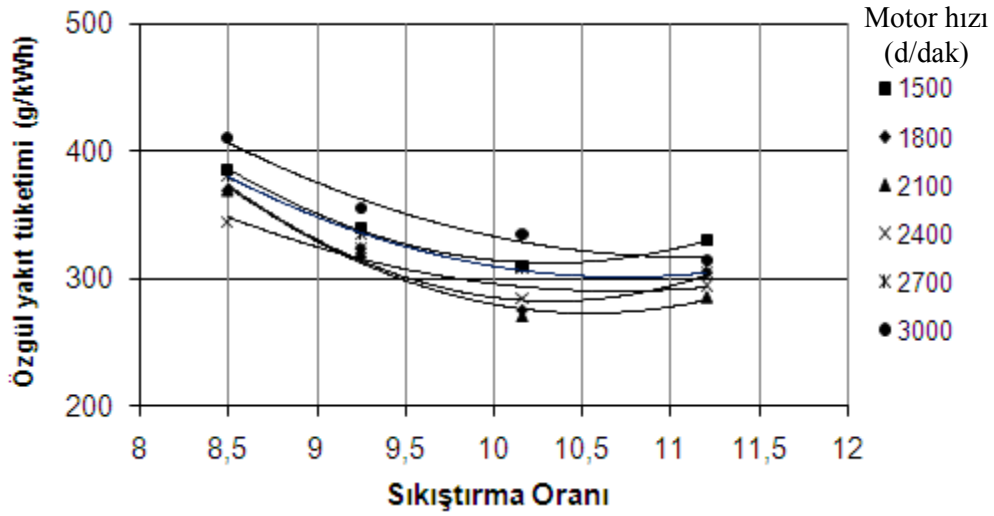
3.1.3 Özgül Yakıt Tüketimi

Şekil 3.5’de farklı sıkıştırma oranları için özgül yakıt tüketimindeki değişim tam yükte motor hızına bağlı olarak görülmektedir. Motor hızıyla başlangıçta azalma gösteren özgül yakıt tüketimi daha sonra artmaktadır. Sıkıştırma oranı 11,28/1 için düşük motor hızlarında yüksek olan özgül yakıt tüketimi yüksek hızlarda azalmaktadır. Bu durum, düşük motor hızlarında volümetrik verim ve vurutulu çalışma ihtimalinin yüksek, yüksek hızlarda yüksek türbülans, kısa ısı transfer süresi ve düşük volümetrik verimden dolayı vurutu ihtimalinin ortadan kalkmasından kaynaklanmaktadır (Sekmen vd. 2007).



Şekil 3.5 Sıkıştırma oranının motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimine etkisi

Şekil 3.6’da tam yükte özgül yakıt tüketimindeki değişim farklı sıkıştırma oranlarına bağlı olarak görülmektedir. Artan sıkıştırma oranıyla birlikte motor gücü arttığından özgül yakıt tüketimleri de azalmıştır. Yakıt ekonomisindeki bu iyileşme yüksek sıkıştırma oranlarında belirgin bir şekilde olmaktadır. Sıkıştırma oranının 8,5/1’den 11,28/1’e yükseltilmesiyle tam yükte özgül yakıt tüketiminde %14,5’e kadar iyileşme elde edilmiştir.

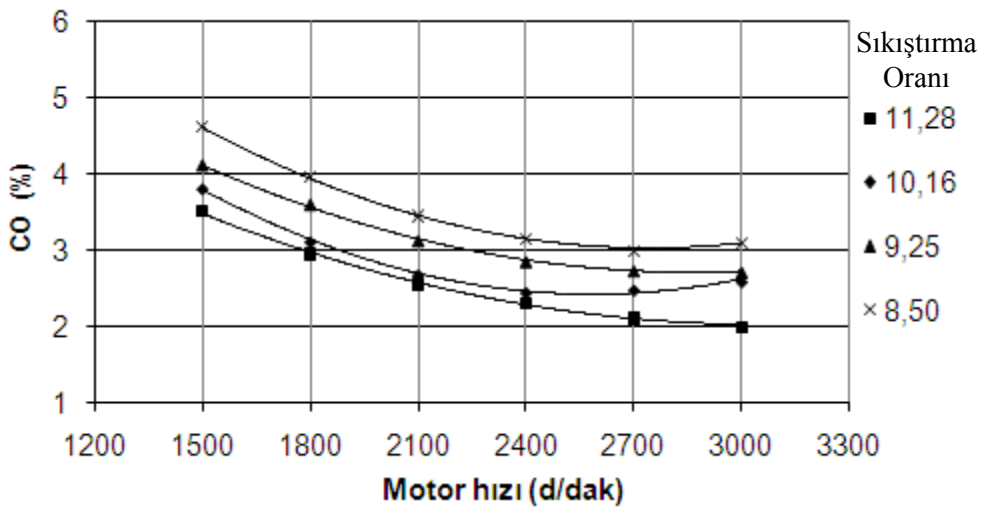


Şekil 3.6 Sıkıştırma oranı artışının özgül yakıt tüketimine etkisi

3.2 Egzoz Emisyonları

3.2.1 CO Emisyonları

Motor hızıyla ilk önce CO emisyonları azalmakta daha sonra yüksek devirlerde emisyon değerlerinde bir miktar artma görülmüştür. Sıkıştırma oranı artışı yanma verimini de artırdığından CO emisyonlarında bir miktar azalma olmaktadır (Sekmen vd.2007).

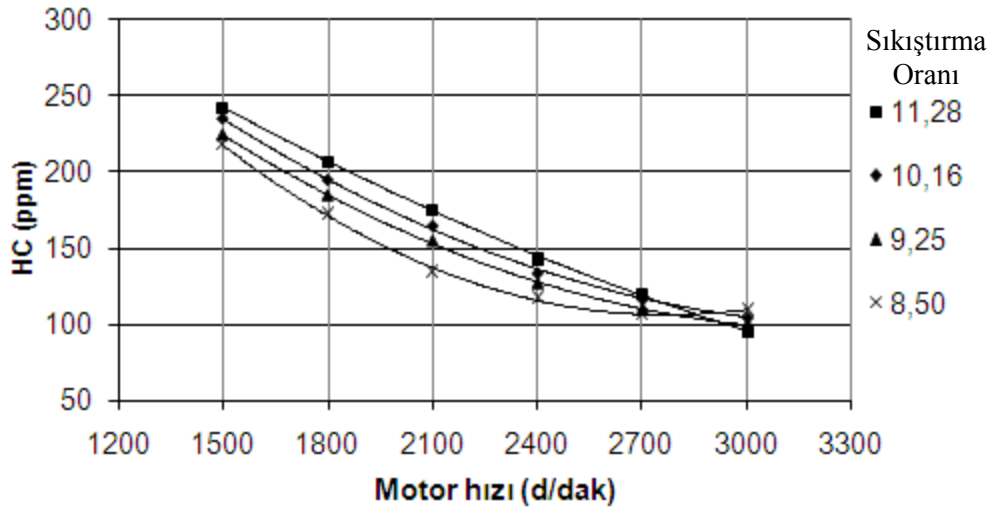


Şekil 3.7 Sıkıştırma oranının motor hızına bağlı olarak CO emisyonlarına etkisi

Şekil 3.7’de farklı sıkıştırma oranları için CO emisyonlarındaki değişim tam yükte motor hızına bağlı olarak görülmektedir. Sıkıştırma oranı artışıyla maksimum motor momentinin elde edildiği motor hızı için tam yükte %27 azalma tespit edilmiştir. Buji ile ateşlemeli motorlarda maksimum CO ilk çalıştırma veya yük altında ivmelenme gibi zengin karışımla çalıştığıında oluşmaktadır. Ancak, motor stokiometrik veya fakir hava-yakıt karışımı ile çalışsa bile bir miktar CO emisyonu yayılmaktadır (Sekmen vd.2007).

3.2.2 HC Emisyonları

HC emisyonlarının en önemli kaynaklarından birisi yanma odası yüzey/hacim oranıdır. Sıkıştırma oranı artışıyla birlikte yanma odası yüzey/hacim oranı arttığından ve genişleme kursunun sonuna doğru düşük silindir sıcaklıklarından dolayı HC emisyonları da artmaktadır (Sekmen vd. 2007).



Şekil 3.8 Sıkıştırma oranının motor hızına bağlı olarak HC emisyonlarına etkisi

Şekil 3.8’de farklı sıkıştırma oranları için HC emisyonlarındaki değişim tam yükte motor hızına bağlı olarak görülmektedir. Motor hızıyla birlikte HC emisyonları azalırken sıkıştırma oranının 8,5/1’den 11,28/1’e yükseltilmesiyle maksimum motor momentinin elde edildiği motor hızı 2400 d/dak için tam yükte %18 artış belirlenmiştir.

4.TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, buji ile ateşlemeli, dört zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı, sıkıştırma oranı 8,5/1 olan bir motorun sıkıştırma oranı değiştirilmiştir. Sıkıştırma oranı değiştirilen motorun sıkıştırma oranı 8,5/1 ile 12,72/1 arasında değiştirilmiştir. Ancak vuruntu probleminde dolayı deneyler sırasında maksimum 11,28/1 sıkıştırma oranında motor çalıştırılmıştır. Motorun sıkıştırma oranının değişimi silindir kapağında yanma odası hacmi küçültülerek yapılmış ve silindir kapağı 0,5 mm aralıklarla beş kez taşlanarak sağlanmıştır. Motorun çalışması esnasında sıkıştırma oranı değiştirilmemiştir.

Sıkıştırma oranının artmasıyla tam gaz yüklerde özgül yakıt tüketiminde önemli derecede iyileşmeler elde edilmiştir. Sıkıştırma oranı değişimi ile birlikte ortalama efektif basınç artmakta, dolayısıyla motor momenti ve gücü artmakta, özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Sıkıştırma oranının 8,5/1'den 11,28/1'e yükseltilmesiyle özgül yakıt tüketiminde %14,5'e kadar iyileşme elde edilmiştir.

Tam gaz yüklerde sıkıştırma oranının 8,5/1'den 11,28/1'e yükseltilmesiyle maksimum momentin elde edildiği motor hızı 2400 d/dak için tam yükte %17 artış belirlenmiş ve aynı sıkıştırma oranı aralığında ve maksimum motor hızında %17,7 civarında motor gücünde artış elde edilmiştir.

Sıkıştırma oranı artışıyla birlikte HC emisyonlarında artma, CO emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir. Sıkıştırma oranının 8,5/1'den 11,28/1'e yükseltilmesiyle tam gazda HC emisyonlarında ortalama %18 artış olmaktadır. Aynı motor yükü ve aynı sıkıştırma oranı aralığında CO emisyonlarında ortalama %27'lik bir azalma gözlemlenmiştir.

Sıkıştırma oranı artışıyla maksimum basıncın oluşma yeri Ü.Ö.N' ya yaklaştığından maksimum momenti elde etmek için ateşleme avansının azaltılması gerekmektedir. Sıkıştırma oranının artmasıyla birlikte yanma verimi arttığından motor parçalarına geçen ısı transferi zamanı kısaltmakta ve genişleme kursunun sonuna doğru yanma işlemi tamamlandığından egzoz gaz sıcaklıkları düşmektedir.

Değişken sıkıştırma oranlı motorların otomobil motorlarında kullanılmasıyla özgül yakıt tüketiminde önemli derecede azalma elde edilebilir. Sıkıştırma oranı motor yükü ve hızına göre, hidrolik veya elektronik kontrollü, otomatik olarak değiştirilebilir. Sıkıştırma oranının değişimine paralel olarak ateşleme avansının değiştirilmesi gerekmektedir. Gelişmiş bir ateşleme sistemiyle sıkıştırma oranı arttığında ateşleme avansı azaltılabilir, azaldığında artırılabilir. Yine sıkıştırma oranı değişimi supap zamanlamasını değiştirmemeli veya bunu karşılayabilecek sistemler tasarlanmalıdır.

Değişken sıkıştırma oranlı motorlara değişken supap zamanlama sistemleri birlikte uygulanabilir. Bu iki sistemin birlikte uygulanmasıyla özellikle şehir içi çalışmalarında yakıt ekonomisinde daha büyük iyileşmelerin olacağı açıktır. Değişken sıkıştırma oranlı sistemlerin buji ile ateşlemeli motorlara uygulanmasıyla gerek birey, gerek ülke ekonomisi ve gerekse çevre kirliliğinin önlenmesi açısından sağlayacağı kazançlar ihmal edilemeyecek kadar önemlidir.

5.KAYNAKLAR

- Abd Alla, G.H., 2002, "Computer Simulation of A Four-Stroke Spark Ignition Engine", Energy Conversion&Management, 43,1043-1061.
- Adams, W.H., Hinrichs, H.G., Adamis, P., 1987, Analysis of The Combustion Process of A Spark Ignition Engine with A Variable Compression Ratio, SAE Paper, No:870610.
- Bayındır, H., Yücesu, H.S., 1999, "Etanol Benzin Karışımları Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi",Altıncı Uluslar Arası Yanma Sempozyumu, 396-407, İstanbul.
- Birch, S., April 2001, Variations on a Theme by Saab, Automotive Engineering International, Volume 109, Number 4, SAE Pres, Brimfield, OH.
- Blair, P.G., 1999, Design and Simulation Four Stroke Engines, SAEInc., Warrendale, Pa., USA.
- Blakey, S.C., Saunders R.J., 1991, A Design and Experimental Study of an Otto-Atkinson Cycle Engine Using Late Intake valve Closing, SAE Paper, No: 910451.
- Boggs, D.L., Hilbert, H.S., 1995, The Otto-Atkinson Cycle Engine-Fuel Economy and Emissions Results and Hardvware Design, SAE Paper, 950089.
- Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., 1994, İçten Yanmalı Motorlar, Cilt 1 T.E.V. Yayını, Ankara.
- Bosch BEA 350 EU Egzoz Emisyon Cihazı Kataloğu.
- Caris, D.F., Nelson, E.E., Aug 1958, "A New Look at High Compression Engines,"SAE Paper, No:590015, pp.1-16.
- Civil T., 1987, Effects of Compression Ratio and the Ratio of Methanol to Gasoline in Blend on the Exhaust Emissions of Spark İgnition Engine, M.E.T.U.Master Thesis.
- Çelik, M.B., Balki, M.K., 2007, Düşük Güçlü Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Lpg Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 22, No 1, 81-86.
- Çelik, M.B., Balcı, M., 2002, Sabit Yük ve Hız Şartlarında Sıkıştırma Oranının Motor Karakteristiklerine Etkisi. Teknoloji, Sayı3-4, 39-45.

- Çelik, M.B., Şubat 1999, Buji ile Ateşlemeli Bir Motorun Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması, Gazi Üniv. Fen Bil. Enst., Doktora Tezi, Ankara.
- Choi, G., Chung, Y., Han, S., 2005, "Performance and Emissions Characteristics of a Hydrogen Enriched LPG Internal Combustion Engine at 1400 rpm", *International Journal of Hydrogen Energy*, 30, 77-82.
- Dartnell, P.L., 1978, *Future Fuels and Engines*, Yugoslav Petroleum Institute Symposium 77, The Associated Octel Company Ltd., January.
- Dinler, N., Yücel, N., 2002, "Benzin ve LPG Kullanılarak ki Farklı Motorun Egzoz Emisyon Davranışının Deneysel incelenmesi", 7. Uluslar arası Yanma Sempozyumu, 242-249, Ankara.
- Erduranlı, P., Sekmen, Y., Çınar, C., 2001, Buji İle Ateşlemeli Değişken Sıkıştırma Oranlı Motorların Egzoz Emisyonları Açısından İncelenmesi. Selçuk-Teknik Online Dergisi / ISSN 1302- 6178 Volume 2, Number: 1.
- Felt A.E., Krausse R.S., 1971, Effects of Compression Ratio Changes on Exhaust Emissions of, *SAE Transaction*, 710831.
- Ferguson, C.R., 1986, *Internal Combustion Engines*, John Wiley and Sons İne.
- Gök, C., 2008, Biyodizel olarak Çeşitli Bitkisel Yağların Etil Ester Metoduyla Üretilerek Karakteristiklerinin Araştırılması. Afyon Kocatepe Üniv. Fen Bil. Enst., Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar.
- Honda Motoru Kataloğu.
- Harne, V., Marathe, S.R., 1987, Variable Compression Ratio Two Stroke Engine, *SAE Transaction*, 891750.
- Luria, D., Taitel, Y., 1982, The Otto-Atkinson Engine - A New Concept in Automotive Economy, ez 820352.
- Marsee, FJ., Olree, R.M., Adams, W.E., 1977, Compression Ratio Effects With Lean Mixtures, *SAE Transaction*, 770640.
- Matsumoto, K., Inoue, T., Nakanishi, T., 1977, The Effects of Combustion Chamber Design and Compression Ratio on Emissions, Fuel Economy, *SAE Transaction*, 770193.
- Mustafı, N.N., Miraglia, Y.C., Raine, R.R., Bansal, P.K., and Elder, S.T., 2006, "Spark-Ignition Engine Performance With 'Powergas' Fuel (mixture of CO/H₂): A Comparison With Gasoline and Natural Gas", *Fuel*, 85(12-13), 1605-1612,.

- Özcan, H., Yamin, J.A.A., 2008, Performance and emission characteristics of LPG powered four stroke SI engine under variable stroke length and compression ratio. *Energy Conversion and Management* 49 (2008) 1193–1201.
- Pouliot, H.N., Delameter, W.R., 1977, A Variable - Displacement Spark İgnition Engine, *SAE Transaction* ,770114.
- Radwan, M.S., 1992, A Study of Knock in Lean Burn Spark- İgnition Engines, *SAE Paper*,921668.
- Ricardo, H.R., 1952, Yüksek Hızlı İçten Yanmalı Motor, Çev: Z. Demirgüç, İ.T.Ü. Yayını, İstanbul.
- Rychter, T.J., Teodorczyk, A.,1991, VR/LE Engine Concept Application to The Turbocharged Diesel Engine, *SAE Paper*, No: 911788.
- Safgönül, B., 1981, Pistonlu Motorlar, İTÜ Yayınlan, No 124, İstanbul.
- Salman, M.S., 1996, Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Yanma Hızının Performansa Etkileri, *Gazi Üniversitesi Fen Bil.Enst.*, Doktora Tezi, Ankara.
- Sekmen, Y., Salman, M.S., Sekmen, P., 2007, Buji Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt* 22, No 4, 745-751.
- Sekmen, Y., Salman, M.S., Sekmen, P., 2007, Kısmi Yükte Buji Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranı Artışı İle Performansın İyileştirilmesi. *Teknoloji*, Cilt 10, Sayı 1, 13-19.
- Sekmen, Y., Şubat 2003, Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranının Değiştirilebilir Hale Getirilmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması, *Gazi Üniv. Fen Bil. Enst.*, Doktora Tezi, Ankara.
- Shaik, A., Moorthi, N., S., V., Rudramoorthy, R., Şubat 2007, Variable compression ratio engine: a future power plant for automobiles – an overview. Department of Automobile Engineering, PSG College of Technology, Peelamedu, Coimbatore, India.
- Stone, R., 1989, Motor vehicle fuel economy, Macmillan Eduacational Ltd., Houndmills.
- Taylor, C.F., 1985, The internal combustion engine in theory end practice, Vol.2, The M.I.T. Press.
- Tuttle, J. H., 1982, Controlling Engine Load by Means of Early Intake Valve Closing, *SAE Paper*.

- Wardznski, W.F., Rychter , T.J., 1991, Variable R/L Research Engine- Design and Preliminary Investigations, SAE Transaction, 911773.
- Wirbeleit, F.G., Binder, K.G., Winner, D., 1990, Development of Pistons With Variable Compression Height for Increasing Efficiency and Specific Output of Combustion Engines, SAE Transaction, 900229.
- Yousufuddin, S., Mehdi, S., N., 2008, Performance and Emission Characteristics of LPG-Fuelled Variable Compression Ratio SI Engine. Turkish J. Eng. Env. Sci.32, 7-12.
- Yücel, N., Karel, A., 1998 Ricardo Motorunun Değişik Sıkıştırma Oranlarında Performans ve Emisyon Davranışının Analizi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 13, No 2, 181-191.

6.ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Tarık DENİZ
Doğum Yeri	ELAZIĞ
Doğum Tarihi	18.04.1974
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dili	İngilizce

	Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise	Elazığ Endüstri Meslek Lisesi (1988-1991)
Lisans	Fırat Üniversitesi. Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği (1992-1996)
Yüksek Lisans	Afyon Kocatepe Üniversitesi, Makine Eğitimi (2007-2009)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı
Afyonkarahisar Anadolu Teknik, Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi (1996-halen devam etmekte)