

**BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA SUPAP ZAMANLAMASI
DEĞİŞİMİNİN PERFORMANSA VE EGZOZ EMİSYONLARINA
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Fazıl AKGÜN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006
ANKARA**

**BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA SUPAP ZAMANLAMASI
DEĞİŞİMİNİN PERFORMANSA VE EGZOZ EMİSYONLARINA
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Fazıl AKGÜN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006
ANKARA**

Fazıl AKGÜN tarafından hazırlanan BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA SUPAP ZAMANLAMASI DEĞİŞİMİNİN PERFORMANSA VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Can ÇINAR
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. M. Sahir SALMAN

Üye : Prof. Dr. Halit KARABULUT

Üye : Doç. Dr. H. Serdar YÜCESU

Üye : Doç. Dr. Adnan PARLAK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Can ÇINAR

Tarih :/09/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada standart olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Fazıl AKGÜN

**BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA SUPAP ZAMANLAMASI
DEĞİŞİMİNİN PERFORMANSA VE EGZOZ EMİSYONLARINA
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**
(Yüksek Lisans Tezi)

Fazıl AKGÜN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2006**

ÖZET

Buji ile ateşlemeli motorlarda supap zamanlaması, motor performansını ve egzoz emisyonlarını etkileyen en önemli çalışma ve tasarım parametrelerinden birisidir. Supap kontrol sistemleri üzerinde yapılan çalışmalarda, özellikle emme supabının kontrolü ile yakıt tüketiminde azalma ve motor performansında artış sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, emme supabı kapanma zamanının standart zamanlamadan farklı olarak 10° krank mili açısı (KMA) avans ve 10° - 20° - 30° KMA rötar olmak üzere beş farklı zamanlama değerinde değişimini sağlayacak bir değişken supap zamanlaması mekanizmasının tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları ile emme supabı açılma zamanı ve kalkma miktarı sabit tutulmuştur. Deneylerde, tek silindirli, dört zamanlı, buji ile ateşlemeli bir motor kullanılmıştır.

Beş farklı emme supabı kapanma zamanlaması için yapılan deneylerde, motor devrine bağlı olarak, moment, volümetrik verim, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının değişimi incelenmiştir. Değişken emme supabı zamanlaması ile motor momenti düşük motor devirlerinde %10, yüksek

devirlerde %4,6 artmıştır. Özgöl yakıt tüketimi ise düşük ve yüksek motor devirlerinde %6 azalmıştır. Ayrıca, HC emisyonlarında azalma sağlanmıştır.

Bilim Kodu : 708.3.026
Anahtar Kelimeler : Buji ile ateşlemeli motor, emme supabı zamanlaması, motor performansı, egzoz emisyonları
Sayfa Adedi : 81
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Can ÇINAR

**THE INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF VALVE TIMING
VARIATION ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS
IN SPARK IGNITION ENGINES
(M.Sc. Thesis)**

Fazıl AKGÜN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2006**

ABSTRACT

Valve timing is one of the most important operating and design parameters affecting the performance and exhaust emissions in spark ignition engines. Investigations on valve control systems proved that, especially by controlling the intake valve, decrease in fuel consumption and increase in engine performance were obtained.

In this study, a variable valve timing mechanism was designed and manufactured. Intake valve closing timing was changed from 10° crankshaft angle (CA) advance to 10°, 20°, 30° CA retard according to the standart timing. Exhaust valve opening and closing timing, intake valve opening timing and lift were not changed. A single cylinder, four stroke, spark ignition engine was used for the experiments.

Depending on the engine speed, torque, volumetric efficiency, output power, specific fuel consumption and exhaust emission variations were investigated for five intake valve closing timing values. The engine torque was increased by 10%

at low speeds and it was increased by 4.6% at high speeds with variable intake valve timing. Specific fuel consumption was increased by 6% at low and high engine speeds. Also, HC emissions was decreased.

Science Code : 708.3.026
Key Words : Spark ignition engine, intake valve timing,
engine performance, exhaust emissions
Page Number : 81
Adviser : Assist. Prof. Dr. Can ÇINAR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Yrd. Doc. Dr. Can ÇINAR'a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Hocalarım Doç. Dr. H. Serdar YÜCESU, Doç. Dr. İsmet ÇELİKTEN ve Yrd. Doç. Dr. Yakup SEKMEN'e, imalat işlemleri konusunda yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doc. Dr. Hakan DİLİPAK ve Araş. Gör. Gökhan SUR'a, parçaların imalatında birlikte çalıştığım beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli arkadaşım Yücel TAÇLI' ya ve ayrıca bu çalışmanın her aşamasında desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ	1
2. SUPAP ZAMANLAMASI	5
2.1. Supap Kalkması	6
2.1.1. Teorik supap açılması.....	6
2.1.2. Gerçek supap açılma periyodu.....	8
2.1.3. Emme supabı mach indeksi	9
2.1.4. Egzoz supabı akış kapasitesi.....	11
2.2. Supap Zamanlamasının Motor Performansına Etkileri.....	11
2.2.1. Egzoz supabı açılma zamanının değiştirilmesi.....	12
2.2.2. Egzoz supabı kapanma zamanının değiştirilmesi	13
2.2.3. Emme supabı açılma zamanının değiştirilmesi	14
2.2.4. Emme supabı kapanma zamanının değiştirilmesi.....	14
2.3. Emme Olayının Parametreleri.....	15
2.3.1 Ram etkisi	16

2.4. Emme Supabı İle Motor Yükünün Kontrolü.....	17
2.4.1. Emme supabının geç kapatılması ile motor yükünün kontrolü	17
2.4.2. Emme supabının erken kapatılması ile motor yükünün kontrolü	18
2.4.3. Emme supabı kalkma miktarı ile motor yükünün kontrolü	20
2.5. Volümetrik Verim	21
2.6. Doldurma Verimi	22
2.7. Süpürme Oranı	22
3. LİTERATÜR ÖZETLERİ	23
4. MATERYAL VE METOT	42
4.1. Deney Yeri	42
4.2. Deney Motoru	42
4.3. Değişken Supap Mekanizması	44
4.3.1. Kam mili	44
4.3.2. Kam mili dişlisi ve flanş	46
4.4. Deneylerde Kullanılan Ölçü Aletleri	47
4.4.1. Dinamometre	47
4.4.2. Egzoz gaz analizörü	48
4.4.3. Kronometre	48
4.5. Deneylerde Yapılan Ölçüm ve Hesaplamalar	49
4.5.1. Deney motorunun moment ve gücünün ölçülmesi	49
4.5.2. Yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketiminin ölçülmesi	50
4.5.3. Hava tüketimi ve volümetrik verim	51
4.5.4. Egzoz emisyonlarının ölçülmesi	54

	Sayfa
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	55
5.1. Motor Momenti.....	55
5.2. Volümetrik Verim.....	58
5.3. Motor Gücü	61
5.4. Özgül Yakıt Tüketimi	62
5.5. Egzoz Emisyonları	65
5.5.1. Hidrokarbon (HC) emisyonları.....	65
5.5.2. Karbonmonoksit (CO) emisyonları	66
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR	70
EKLER.....	74
EK-1 Değişken supap mekanizması imalat resimleri	75
ÖZGEÇMİŞ	80

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Ferrari V-8 motorunun supap zamanlaması değişimi	31
Çizelge 3.2. Nissan V-6 motorunun emme supap zamanlamasının değişimi.....	31
Çizelge 3.3. Motorun teknik özellikleri.....	34
Çizelge 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri.....	43
Çizelge 4.2. Sun MGA-1200 egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri.....	48

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Buji ile ateşlemeli dört zamanlı bir motorda emme ve egzoz supaplarının açılma ve kapanma zamanları.....	5
Şekil 2.2. Supap kalkması, hız ve ivme grafikleri.....	7
Şekil 2.3. Gerçek supap açılmasının teorik açılmadan sapması.....	9
Şekil 2.4. Emme supabı akış katsayısının ölçülmesi.....	10
Şekil 2.5. Egzoz supabı port yapısı ve oranları.....	11
Şekil 2.6. Egzoz supabı açılma zamanının motor performansına etkileri.....	12
Şekil 2.7. Egzoz supabı kapanma zamanının motor performansına etkileri.....	13
Şekil 2.8. Emme supabı açılma zamanının motor performansına etkileri.....	14
Şekil 2.9. Emme supabı kapanma zamanının motor performansına etkileri.....	15
Şekil 2.10. Emme supabının geç kapatılması ile motor yükünün kontrolü.....	18
Şekil 2.11. Emme supabının erken kapatılması ile motor yükünün kontrolü.....	19
Şekil 2.12. Kelebek kontrollü ve emme supabı ile yük kontrolü yapılan bir motora ait basınç-hacim diyagramları	19
Şekil 2.13. Emme supabı kalkma miktarı ile motor yükünün kontrolü.....	20
Şekil 3.1. Helisel dişli sistem supap mekanizması.....	23
Şekil 3.2. Motor devrine bağlı olarak güç ve moment değişimi.....	24
Şekil 3.3. Zincirli kam mili ayarlayıcısı.....	25
Şekil 3.4. DOHC VTEC sisteminin şematik şekli ve moment değişimi.....	27
Şekil 3.5. SOHC VTEC supap mekanizmasının şematik şekli ve parçaları....	28
Şekil 3.6. SOHC VTEC sisteminde devre bağlı olarak moment değişimi.....	28

Şekil	Sayfa
Şekil 3.7. VTEC-E sistemi supap mekanizmasının yapısı ve parçalar.....	29
Şekil 3.8. Honda VTEC-E motorda devre bağlı olarak moment değişimi.....	29
Şekil 3.9. Ferrari V8 motorlarda kullanılan değişken supap zamanlaması sistemi.....	30
Şekil 3.10. Fiat-Lancia elektronik kontrollü kam zamanlama değiştiricisi.....	32
Şekil 3.11. Supapların kalkma miktarları.....	33
Şekil 3.12. Çalışma şartlarına göre emme supabının krank mili açısına bağlı olarak avans ve rötar durumu.....	33
Şekil 3.13. Motor devrine bağlı olarak fren çıkış gücünün değişimi.....	34
Şekil 3.14. Supap mekanizması ve motor performans eğrileri.....	35
Şekil 3.15. Değişken supap zamanlaması mekanizması ve supap kalkma miktarlarının ayarlanması.....	35
Şekil 3.16. Fren ortalama efektif basıncına bağlı olarak farklı supap kalkma miktarlarında FÖYT değişimleri (2000 d/d motor devrinde).....	36
Şekil 3.17. Fren ortalama efektif basıncına bağlı olarak farklı supap kalkma miktarlarında NO _x emisyonları değişimleri (2000 d/d motor devrinde).....	36
Şekil 3.18. Emme supabı zamanlamasının değiştirilmesi.....	37
Şekil 3.19. Elektromekanik supap mekanizması.....	38
Şekil 3.20. Kasnak ve planet dişli sistemi mekanizması.....	40
Şekil 3.21. Değişken supap kalkma mekanizması.....	40
Şekil 3.22. Kayış genişleticili değişken supap zamanlaması mekanizması.....	41
Şekil 4.1. Emme ve egzoz supaplarının krank mili açısına bağlı olarak açılma - kapanma profilleri	44
Şekil 4.2. Deney motorunun supap ayar diyagramı.....	45
Şekil 4.3. Deney düzeneğinin şematik görünüşü.....	47

Şekil	Sayfa
Şekil 4.4. Hava akış venturisi.....	52
Şekil 5.1. Motor devrine bağlı olarak moment değişimi.....	55
Şekil 5.2. Değişken ve standart supap zamanlaması mekanizmaları ile elde edilen motor devrine bağlı olarak moment değişimi.....	57
Şekil 5.3. Emme supabı kapanma zamanına bağlı olarak moment değişimi.....	58
Şekil 5.4. Motor devrine bağlı olarak volümetrik verimin değişimi.....	59
Şekil 5.5. Değişken ve standart supap zamanlaması mekanizmaları ile elde edilen motor devrine bağlı olarak volümetrik verimin değişimi.....	60
Şekil 5.6. Motor devrine bağlı olarak motor gücünün değişimi.....	61
Şekil 5.7. Motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin değişimi.....	63
Şekil 5.8. Değişken ve standart supap zamanlaması mekanizmaları ile elde edilen motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi.....	64
Şekil 5.9. Motor devrine bağlı olarak HC emisyonlarının değişimi.....	65
Şekil 5.10. Motor devrine bağlı olarak CO emisyonları değişimi.....	66

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Ferrari motorlarında kullanılan değişken supap zamanlaması sistemi.....	30
Resim 3.2. Değişken kam mili mekanizması	39
Resim 4.1. Deney düzeneğinin görünümü.....	42
Resim 4.2. Deney motoru	43
Resim 4.3. İmalatı yapılan kam mili.....	44
Resim 4.4. Değişken emme supabı kapanma profiline sahip kam mili mekanizması.....	45
Resim 4.5. Supap başlıkları.....	46
Resim 4.6. Kam mili ve dişli arasında bağlantıyı sağlayan flanş.....	46
Resim 4.7. Sun MGA-1200 egzoz emisyon ölçüm cihazı.....	48

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A_i	Emme supabı açılma alanı (mm^2)
A_m	Minimum supap akış alanı (mm^2)
B	Yakıt tüketimi (kg/h)
b_e	Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
B	Supap oturma yüzeyi açısı
C_i	Emme supabı akış katsayısı
D_p	Supap port çapı (mm)
D_s	Supap sapı çapı (mm)
D_v	Supap başı çapı (mm)
F	Kuvvet (N)
L_v	Supap kalkma miktarı (mm)
M_e	Motor momenti (Nm)
n	Motor devri (d/d)
N_e	Motor gücü (kW)
$Q_{\text{gerçek}}$	Motorun gerçek hava tüketimi (L/dak)
Q_{teorik}	Motorun teorik hava tüketimi (L/dak)

Simgeler η_d η_{dt} η_{so} η_v V_d V_h W Z **Açıklama**

Doldurma verimi (%)

Dolgu tutma verimi (%)

Süpürme oranı (%)

Volümetrik verim (%)

Toplam silindir hacmi (cm³)Kurs hacmi (cm³)

Supap oturma yüzeyi kalınlığı (mm)

Mach indeksi

Kısaltmalar**Açıklama****AÖN**

Alt Ölü Nokta

CO

Karbon monoksit

CO₂

Karbon dioksit

DOHC

Üstten çift kam mili

Eg AA

Egzoz açılma avansı

Eg KG

Egzoz kapanma gecikmesi

Em AA

Emme açılma avansı

Em KG

Emme kapanma gecikmesi

ESEK

Emme supabının erken kapatılması

ESGK

Emme supabının geç kapatılması

FÖYT

Fren özgül yakıt tüketimi

Kısaltmalar**Açıklama****HC**

Hidrokarbon

H/Y

Hava / yakıt oranı

KMA

Krank mili açısı

NO_x

Azot oksit

SOHC

Üstten tek kam mili

ÜÖN

Üst Ölü Nokta

VVT

Değişken supap zamanlaması

1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorların icadından günümüze kadar geliştirilmesi sürecinde yüksek performans ve daha iyi yakıt ekonomisinin sağlanması değişmeyen kuraldır. İleri taşıt performansının gereklerini karşılayan günümüz motorları, doğal kaynakların ve özellikle çevrenin korunması bakımından da gerekli şartları yerine getirmelidir [1].

Günümüz şartlarında kişiler ve ülkeler gereksinimleri en ekonomik şekilde karşılamaya zorlanmaktadır. Dolayısıyla hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olan motorlu taşıtlarında sergilediği performans ve yakıt ekonomisinin her koşul altında en iyi olması istenmektedir.

İçten yanmalı motorların performanslarının artırılması için yapılan çalışmaların en önemlileri silindirlere bütün yük ve devir aralıklarında maksimum dolgu miktarı olarak aynı hacimdeki motor için daha yüksek çıkış gücü elde etmektir. Ayrıca, motorun kısmi yük çalışma şartlarında düşen volümetrik verim ile geometrik sıkıştırma oranının iyileştirilmesi üzerine çalışmalar da yapılmaktadır [2].

Performansın ve egzoz emisyonlarının iyileştirilmesi yanma olayının kısa bir sürede ve verimli şekilde gerçekleşmesine bağlıdır. Yanma veriminin, motorun bütün çalışma şartlarında en yüksek seviyede tutulması için gerekli olan çok sayıda parametrenin motorun çalışma koşullarına göre ayarlanması kullanılan yakıtın en verimli şekilde enerjiye dönüşmesini sağlayacaktır. Bu amaçla motorlarda ateşleme avansı, supap açılıp-kapanma zamanları, sıkıştırma oranı ve H/Y oranı gibi bazı işletme parametreleri motor devrine ve yüküne bağlı olarak değiştirilmektedir [3].

Otomobillerin kullanım ömürlerinin büyük bir kısmı şehir içi trafiğinde geçmektedir. Şehir içi çevriminde motor daha çok kısmi yüklerde çalışmaktadır. Kısmi yüklerde volümetrik verim düşük olduğundan, geometrik sıkıştırma oranı 10:1 olan bir motor da gerçek sıkıştırma oranı 5:1, 6:1 gibi değerlere düşmektedir. Bu da motor verimini

azaltmakta ve yakıt sarfiyatını artırmaktadır. Kısmi yüklerde yüksek sıkıştırma oranlı çalışma ile motor performansı artırılabilir [3].

İçten yanmalı motorlarda performansın iyileştirilmesi ve egzoz emisyonlarının azaltılması için yapılan çalışmalardan birisi de değişken supap zamanlaması mekanizmalarıdır. İçten yanmalı motorlardaki bu değişiklik hem daha yüksek çıkış gücü hem de düşük devirlerde daha yüksek momentin elde edilmesini sağlamaktadır [4].

Değişken supap zamanlaması mekanizmaları ile motorun volümetrik verimini artırmak ve emme zamanındaki kayıpları azaltmak için motor devrine ve yüke bağlı olarak emme supabı açılma ve kapanma zamanları değiştirilmektedir [4]. Emme supabının kapanma gecikmesi ve kalkma miktarının azaltılmasıyla motor yükü kontrol edilerek motor gücünün artırılması ve pompalama kayıplarının azaltılması sağlanmaktadır [5].

İçten yanmalı motorlarda emme ve egzoz supaplarının zamanlaması büyük önem taşımaktadır. Geleneksel supap zamanlaması, belli bir motor devri ve yükü için optimum olacak şekilde ayarlanmaktadır. Eğer supap zamanlaması yüksek hız ve tam gaz kelebeği açıklığı çalışma şartlarına göre ayarlanırsa, çıkış gücünü artırmak için supapların açık kalma periyodu uzatılır veya supap kalkma miktarı artırılır. Bu durumda motorun rölanti çalışma koşulları bozulur. Ayrıca emme supabı geç kapanacağından düşük hızlarda motor momentinin azalmasına neden olur. Diğer yandan düşük hızda hem daha yüksek moment ve daha iyi bir rölanti kararlılığı sağlayacak şekilde imal edilebilir. Ancak bu durumda da yüksek hız çalışma şartları bozulmaktadır [6].

İçten yanmalı motorlarda karışımın silindire giriş ve çıkışını kontrol eden, aynı zamanda sızdırmazlık sağlayan emme ve egzoz supaplarının zamanlaması ve kalkma miktarının motorun bütün devir ve yük aralıkları için optimize edilmesi ile başta volümetrik verim olmak üzere, motor momenti, çıkış gücü, egzoz emisyonları ve

yakıt ekonomisi iyileştirilmekte, ayrıca motorun kullanılabilir devir aralığı artırılmaktadır [6,7,8].

Bu amaçla uygulanan değişken supap zamanlaması sistemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

1. Supap kalkma miktarı ve açılma profili sabit, düşük ve yüksek devirler için iki ayrı açılma-kapanma zamanlamasına sahip sistemler,
2. Supap kalkma miktarı ve açılma profili sabit, bütün devir ve yük aralıkları için sürekli değişken açılma-kapanma zamanlamasına sahip sistemler,
3. Supap kalkma miktarı sabit, değişken supap açılma profili ve açılma-kapanma zamanlamasına sahip sistemler,
4. Supap kalkma miktarı, açılma profili ve açılıp kapanma zamanları sürekli değişen sistemler [9].

Bu sistemlerin dışında, düşük motor devirlerinde emme supabının açılmasını geciktiren veya kapanmasını erkene alan, böylece bindirme periyodunu kısaltarak rölanti kararlılığını, motor momenti ve volümetrik verimi arttıran yardımcı sistemler de kullanılmaktadır [9,10].

Bu amaçlarla kullanılmak üzere 1880 yılından bu yana değişken supap zamanlaması mekanizmaları ile ilgili sadece Amerika Birleşik Devletleri'nde 800'den fazla patent alınmıştır. Bunların bir kısmı motorlar üzerinde denenmiştir.

Bütün bu çalışmalara rağmen mekanizmaların yüksek maliyeti ve karmaşıklığı gibi sebeplerle değişken supap zamanlaması mekanizmalarının otomobillerde uygulanabilirliği ile ilgili bazı sınırlamalar vardır. Otomobiller üzerinde üretime konulan mekanizmaların hemen hepsi kam milinin faz açısı değişimini sağlayan mekanizmalardır [11].

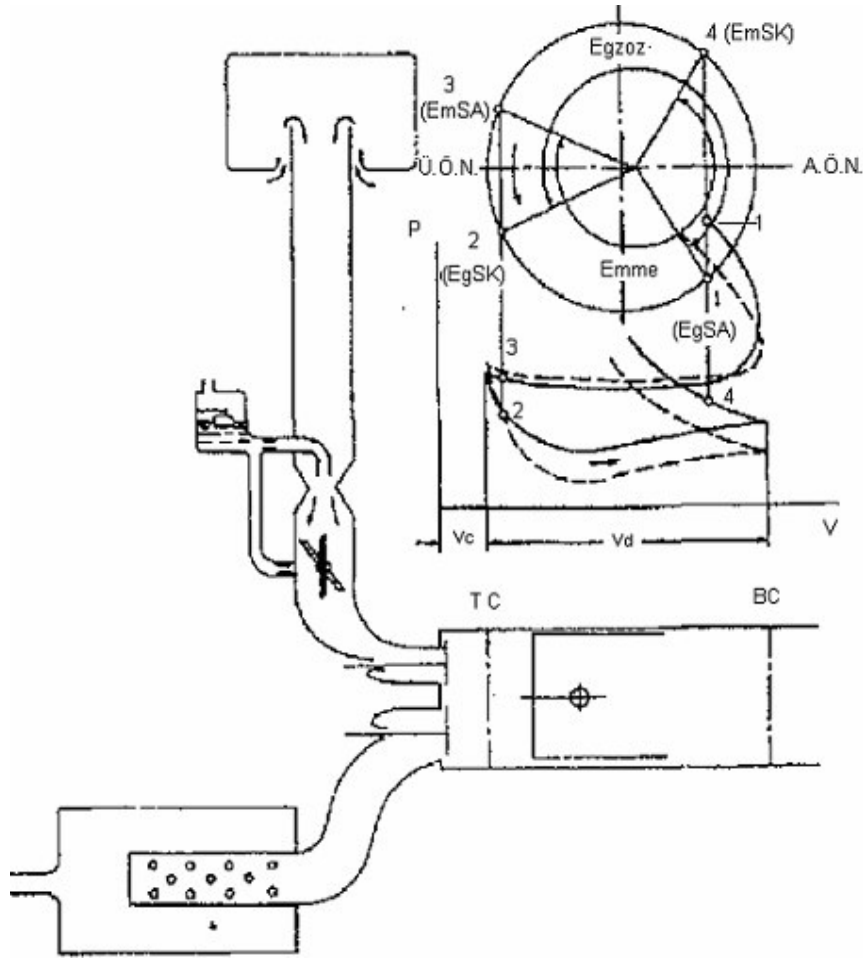
Değişken supap zamanlaması sistemlerinde kullanılan mekanizmalar, mekanik, hidrolik ve elektromanyetik sistemler olarak üç sınıfa ayrılabilir. Bunlar;

- ◆ Mekanik değişken supap zamanlaması sistemleri
 - Değişken kam mili
 - Değişken itici
 - ◆ Hidrolik değişken supap zamanlaması sistemleri
 - Mekanik veya hidrolik kontrol
 - Elektrohidrolik kontrol
 - ◆ Elektromanyetik değişken supap zamanlaması sistemleri,
- olarak sınıflandırılabilir [9,10].

Bu çalışmada, buji ile ateşlemeli, dört zamanlı, tek silindirli bir motorda emme supabı kapanma zamanını değiştirmek amacıyla özel bir kam mili tasarlanmış ve imal edilmiştir. Farklı emme supabı kapanma zamanında yapılan deneylerde, moment, volumetrik verim, motor gücü, özgül yakıt tüketimi, HC ve CO emisyonlarının değişimi incelenmiştir.

2. SUPAP ZAMANLAMASI

Buji ile ateşlemeli motorlarda emme ve egzoz supaplarının açılma ve kapanma zamanlarının motor performansına büyük etkisi vardır. Emme supabının görevi, emme zamanı süresince mümkün olduğu kadar çok taze karışımın silindire alınmasını sağlamaktır. Buna karşılık egzoz supabının görevi de, yanmış gazların silindiri tamamen terk etmesini sağlamaktır. Emme ve egzoz kesitleri tam olarak açılmayacağı ayrıca akış halindeki gazlar kinetik enerjiye sahip olduklarından, supap açılma ve kapanma zamanlarının, pistonun ölü noktalarından önce ve sonra olması gereklidir [7,8].



Şekil 2.1. Buji ile ateşlemeli dört zamanlı bir motorda emme ve egzoz supaplarının açılma ve kapanma zamanları [7].

Emme ve egzoz sistemindeki gazların ataletlerini iyileştirmek, silindirlerin doldurulmasını ve boşaltılmasını geliştirmek için yapılan en doğal uygulama emme ve egzoz zamanlarında supapların açık kalma sürelerini genişletmektir [7].

Egzoz supabı genellikle AÖN'dan 40° - 60° KMA önce açılır. Silindir ve egzoz sistemindeki basınç farkından dolayı AÖN'ya doğru silindirdeki yanmış gazlar boşalmaya başlar. AÖN'dan sonra pistonun ÜÖN'ya doğru hareketi ile silindirdeki yanmış gazlar süpürülür. Egzoz zamanında bu iki evreye genişleme ve süpürme periyodu adı verilir. Egzoz supabı kapanması ÜÖN'dan 10° - 20° KMA sonra ve emme supabı açılması ÜÖN'dan 10° - 15° KMA öncedir. Her iki supabında birlikte açık olduğu bu periyoda supap bindirmesi denir. Piston ÜÖN'dan aşağıya doğru hareket edince, silindir basıncı emme sistemi basıncının altına düşer ve emme manifoldundan silindire gaz akışı olur. Emme supabı AÖN'yı 40° - 60° KMA geçene kadar açık kalır, bundan dolayı silindire taze karışım AÖN'dan sonra da dolmaya devam eder [11].

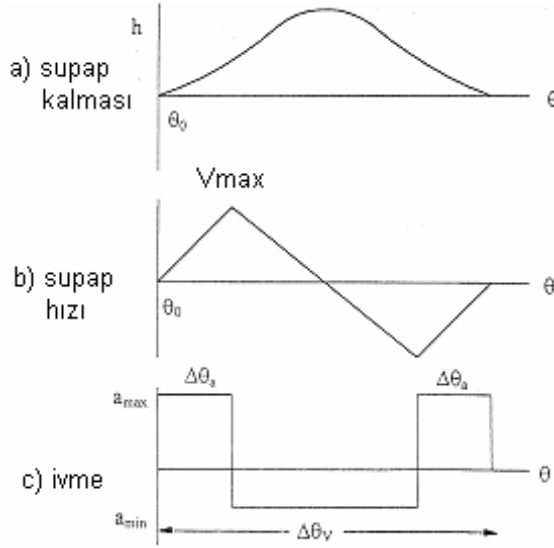
Emme supabı zamanlaması silindir içerisine alınan dolgu miktarına ve motorun maksimum moment devrine önemli derecede etki eder. Supapların açılma ve kapanma değerleri, motor devrine bağlı olduğundan, motorun farklı devirlerinde her zaman en uygun değer de kalmalıdır. Supapların açılma ve kapanma zamanlarını kontrol eden kam milinin, krank miline göre ileriye veya geriye doğru belirli bir açı altında döndürülerek, motorun her bir devrinde en iyi supap zamanlaması elde edilebilir [7,12].

2.1. Supap Kalkması

2.1.1. Teorik supap açılması

Kam profili supabın kalkma eğrisini belirler ve kamın kalkış miktarı belli bir oran altında supaba iletilir. Supapların kalkması, özellikle emme supapları pistonun AÖN'ya hareketi ile arkasında bıraktığı boşluğu taze karışım dolduracak şekilde yapılmalıdır. Bu itibarla önce piston hareketine uyacak şekilde bir supap kalkma

eğrisi çizilir [13]. Supabın kalkma profili hızlanmanın yavaşlamaya oranı sabit kabul edilerek hesaplanır.



Şekil 2.2. Supap kalkması, hız ve ivme grafikleri [14].

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi başlangıçta supap θ_0 ’da sıfır hızından itibaren hızlanarak en büyük hızına ($V_{\max}$) ulaşır. Bu zaman süresince kamdan supaba iletilen $a_{\max}$ ivmesi daima pozitif değerdedir (Şekil 2.2). Bu esnada supap kam üzerinden ayrılmaz [14].

İkinci zaman ise, supabın maksimum hızından tekrar sıfır hızına yani supabın tam açılma pozisyonuna gelene kadar geçen zamandır. Bu zaman süresince $a_{\min}$ ivmesi daima negatiftir ve hareket halinde bulunan elemanların atalet kuvvetleri bu elemanları kamdan uzaklaştırmaya doğru etki eder. Bu zaman süresince supap yayı bu elemanların kamdan ayrılmasını önler [15].

Supap maksimum açıklığına eriştikten sonra ya bir müddet bu durumda kalır veya geri dönerek kapanma periyoduna geçer. Supap kapanırken önce sıfır hızından $V_{\max}$ maksimum hızına geçer. Bu esnada $a_{\min}$ negatif ivmesi mevcuttur. Maksimum hızdan sıfır hızına geçerken tekrar $a_{\max}$ pozitif ivmesi ile hareket eder. Kam

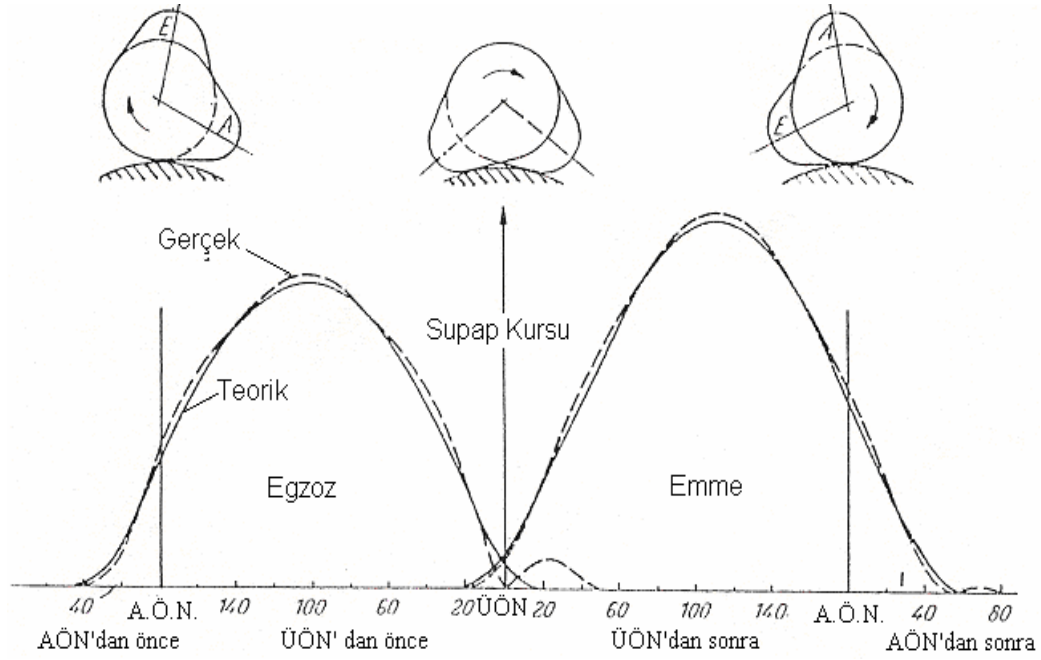
tasarımında bu $a_{\max}$ ve $a_{\min}$ ivmelerinin mutlak değerleri büyük önem taşır. $a_{\max}$ ivmesi kam üzerindeki basınç dolayısıyla, $a_{\min}$ ivmesi ise seçilecek yayın kuvveti bakımından önemlidir. Kam millerinde ivmenin maksimum ve minimum değerleri arasında fark mümkün olan en düşük değerde tutulmalıdır (Şekil 2.2) [13].

2.1.2. Gerçek supap açılma periyodu

Gerçek supap açılma periyodu, hareket iletme elemanlarının elastikiyetinden, kam milinin kendisinden ve tahrik şekillerinden dolayı teorik açılma periyodundan daha kısadır. Kuvvetler ve onların kam mili eksenine olan mesafelerinden dolayı dönme momenti meydana geldiğinden, kam ileri harekette geri kalır ve geri harekette ise ileri gider. Böylece hesaplamalarla bulunan değere göre daha kısa açılış ile daha yüksek hızlanma ve yavaşlama meydana gelir [12].

Şekil 2.3’de emme ve egzoz supapları için tek kam mili kullanılan bir motorda sapma olayı gösterilmiştir. Egzoz başlangıcında supap açılması geride kalacak dolayısıyla moment kam üzerinde ters yönde olacak ve aktarma organları birbiri üzerine baskı yapacaktır. Esneme hareketlerinin dengelenmesi, yan yüz üzerindeki ivmenin yükselmesine neden olur, zamanlar kısalır ve kam ile supap arasındaki kuvvetler bağıntısını elde etmek için supap yayı, maksimum noktada gerekeni sağlayamaz. Supap kamın uç noktası üzerinde sıçrar, tekrar kam üzerine oturur ve ona ileri doğru yönelmiş bir dönme momenti verirken bu arada aktarma elemanları elastik olarak tekrar sıkıştırılmış olurlar [12].

Supabın yuvası üzerine oturması anındaki darbe oldukça fazladır. Yuva yay tesiri yaparak supabı geri iter. Emme ve egzoz için tek kam mili kullanılan motorlarda, aynı zamanda emme supabında aniden meydana gelen kuvvetler kam milini tekrar ters yönde döndürmek isteyeceğinden, egzoz supabının yeniden açılması geri dönen egzoz kamı vasıtasıyla kolaylaşmış olur [12].



Şekil 2.3. Gerçek supap açılmasının teorik açılmadan sapması [12].

Emme supabı açılması önce, hesaplanan değerden daha geride bulunur, fakat egzoz supabında olduğu kadar değildir. Çünkü burada ilave gaz basıncı nedeniyle supap üzerinde daha büyük dönme momenti etki eder. Yine tek kam mili kullanılan motorda egzoz kamını ileri doğru döndüren moment emme kamının geri dönmesini dengeleştirmeye çalışır. Gerçek supap açılması hesaplanan değerden ne kadar az farklı olursa, supabın kam tepesi üzerinde sıçraması da o kadar az olur [12].

2.1.3. Emme supabı mach indeksi

Emme supabı çevresinden geçen gazların hızı emme mach indeksi ile belirlenir. Emme mach indeksi;

$$Z = \frac{u}{a} \quad (2.1)$$

olarak hesaplanır. Burada;

u: emme supabı çevresinden geçen gaz hızı (m/s),

a: ses hızı (m/s)'dır.

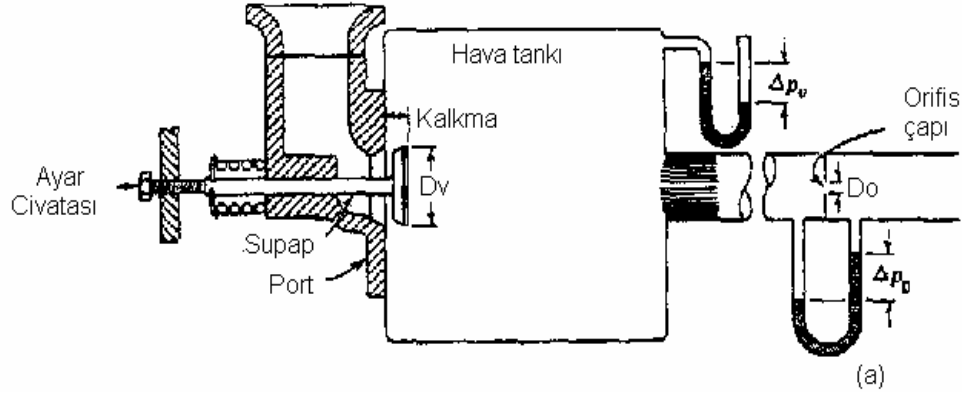
Eğer akışkan sıkıştırılmaz kabul edilirse, A_p piston alanı, S piston hızı, A_i emme supabı açılma alanı'na bağlı olarak emme supabından geçen ortalama akışkan hızı ;

$$U = A_p S / A_i \quad (2.2)$$

olarak bulunur. Buna bağlı olarak mach indeksi için;

$$Z = (A_p S) / (A_i a) \quad (2.3)$$

olarak yazılabilir. Emme supabında ortalama akış alanı $\pi D^2 / 4$ olarak verilirse, A_p / A_i oranı $(b / D)^2$ olarak yazılabilir. Burada, D supap çapı, b ise silindir çapıdır.



Şekil 2.4. Emme supabı akış katsayısının ölçülmesi [21].

Mach indeksinin bulunması için Şekil 2.4'de verilen düzenek kullanılarak değişik supap kalma miktarları için;

$$C_v = C_0 \cdot (D_o / D_v)^2 \cdot \sqrt{\Delta P_o / \Delta P_v} \quad (2.4)$$

eşitliği kullanılarak akış katsayıları deneysel olarak hesaplanır. Hesaplanan bu akış katsayılarından ortalama bir emme akış katsayısı C_i alınır ve mach indeksi;

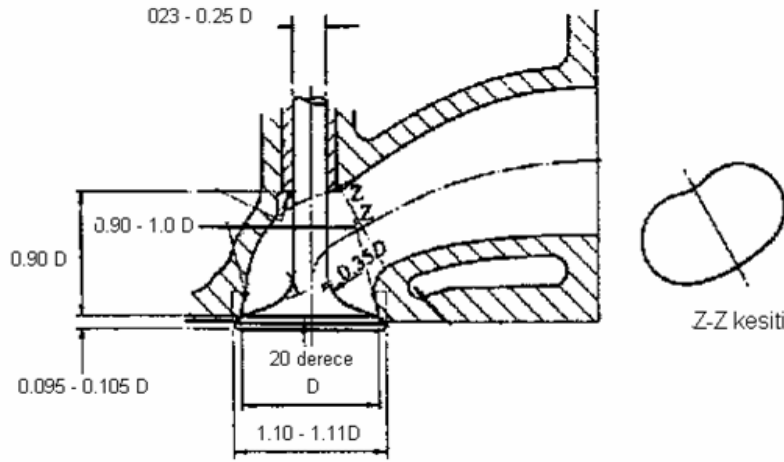
$$Z = \left(\frac{b}{D} \right)^2 \cdot \frac{S}{C_i \cdot a} \quad (2.5)$$

olarak hesaplanır [21].

İyi bir volümetrik verim için buji ile ateşlemeli motorlarda emme mach indeksi 0,25-0,6 arasında olmalıdır [21].

2.1.4. Egzoz supabı akış kapasitesi

Emme supabı akış kapasitesinin mümkün olan en büyük değere sahip olabilmesi için egzoz supabı akış kapasitesinin, emme supabı kapasitesine oranı 0,70-0,75 arasında olmalıdır. Akış katsayılarının ve supap sayılarının eşit olduğunu varsayarsak egzoz çapı/emme çapı oranı 0,83-0,87 arasında olmalıdır. Şekil 2.5'te egzoz supabı port yapısı ve oranları görülmektedir [11].



Şekil 2.5. Egzoz supabı port yapısı ve oranları [11].

2.2. Supap Zamanlamasının Motor Performansına Etkileri

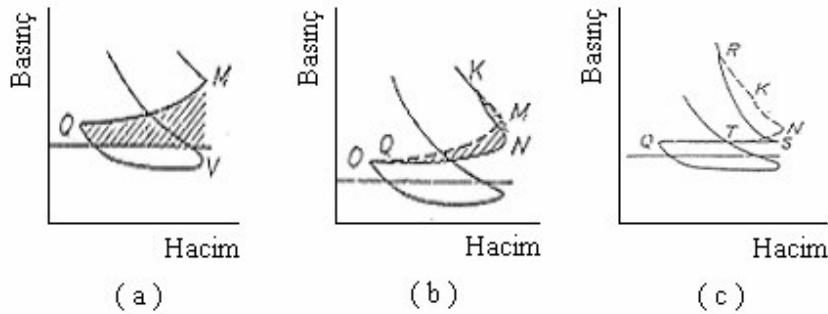
Buji ile ateşlemeli motorlarda motor performansı supap zamanlamasının kontrolü ile önemli oranda iyileştirilebilmektedir. Düşük motor yükleri ve hızlarında istenilen

supap hareket profili ile maksimum yük ve motor hızında istenilen supap hareket profili birbirinden farklıdır. Optimum supap zamanlaması motor hızının bir fonksiyonudur. Motor devri değıştikçe piston hızı, piston hızına bağılı olarak içeri alınan taze dolgunun hızı ve kinetik enerjisi sürekli değışeceğinden daha yüksek motor performansı için supap zamanlamasının da sürekli değışmesi gerekir. Emme ve egzoz supaplarının açılıp kapanma zamanlarının değışiminin motor performansına etkileri aşağıda basınç-hacim diyagramlarında gösterilmektedir.

2.2.1. Egzoz supabı açılma zamanının değıştirilmesi

Egzoz supabı silindir içerisindeki yanmış gazların boşaltılması için yeterli zaman sağlamak üzere AÖN'dan önce açılmaktadır. Ancak düşük motor hızlarında ise piston hızına bağılı olarak egzoz gazlarının dışarıya atılması için daha fazla zaman vardır ve egzoz supabının daha erken açılması gereksizdir.

Değişken egzoz supabı zamanlaması kullanılarak düşük hızlarda egzoz supabının erken açılması önlenerek daha uzun bir genişleme zamanı sağlanır. Artırılmış genişleme zamanı motor momentini artırmakta ve düşük devirlerde yakıt tüketimini iyileştirmektedir [16]. Egzoz supabı açılma zamanının motor performansına etkileri Şekil 2.6.a, b ve c'de gösterilmektedir.



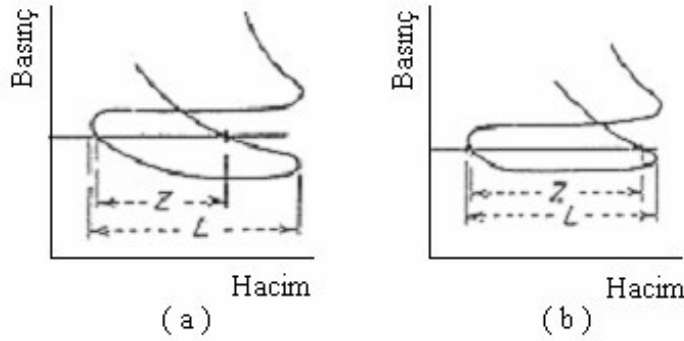
Şekil 2.6. Egzoz supabı açılma zamanının motor performansına etkileri

Eğer egzoz supabı Şekil 2.6.a'da M noktasındaki gibi tam AÖN'da açılırsa, genişleme çizgisinin altında kalan alan maksimumdur. Fakat egzoz zamanının bir bölümünde piston yüksek silindir basıncına karşı çalışacağı için egzoz geri basıncı da

büyük olacağından çevrimin net işi azalır. Egzoz supabı Şekil 2.6.b'de K noktasındaki gibi AÖN'dan önce açılırsa KMN alanı kaybolacaktır. Fakat daha büyük MQN alanı silindirdeki egzoz gazlarını dışarı atmak için harcanan işi gösterir ki, bu bir kazançtır. Sonuç olarak çıkış gücünde bir artış sağlanmaktadır [17]. Eğer egzoz supabı şekil 2.6.c'de R noktasında ki gibi AÖN'dan çok fazla erken açılırsa RKNS kayıp alanı TNS alanından çok daha büyük olacaktır [17].

2.2.2. Egzoz supabı kapanma zamanının değiştirilmesi

Egzoz supabı kapanma zamanı değişiminin motor performansına etkileri Şekil 2.7.a ve b'de, basınç-hacim diyagramlarında gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Egzoz supabı kapanma zamanının motor performansına etkileri

Eğer egzoz supabı Şekil 2.7.a'da görüldüğü gibi ÜÖN'dan önce kapatılırsa yanmış gazların silindirden çıkışı engellenecektir. Bu da emme zamanının başlangıcında silindirde bir boşluk kaplamasına neden olacaktır. Yeni bir dolgudan önce silindirdeki art gaz basıncından dolayı önce en azından atmosfer basıncına kadar bir genişleme olması gerekir. Bu durum içeriye alınan dolgu miktarının azalmasına neden olur. Böylece ÜÖN'dan önce kapanan egzoz supabı volümetrik verimde düşmeye neden olur [17].

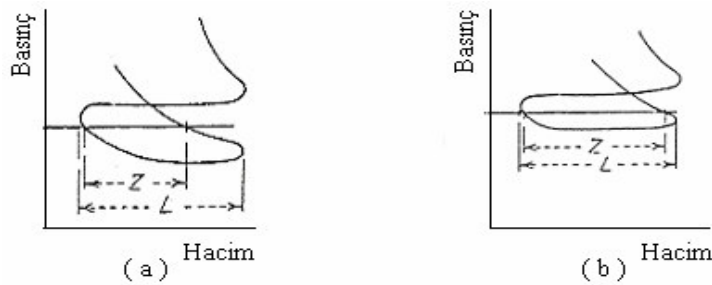
Egzoz supabının Şekil 2.7.b'deki gibi ÜÖN'dan sonra kapatılması egzoz manifoldunu terk eden egzoz gazlarının taşınma kapasitesini artırır. Bu durum silindir basıncını düşürür ve volümetrik verimi artırır [17].

2.2.3. Emme supabı açılma zamanının değiştirilmesi

Geleneksel motorlarda emme supabı zamanlaması düşük ve yüksek hız gibi iki değişken arasında bir değerde optimize edilmektedir. Bu sebeple motorlarda genellikle orta motor devri değerlerinde oluşan bir tepe değeriyle eğimli bir moment elde edilmektedir. Supap zamanlaması için belirlenmiş tek bir değer hem düşük hem de yüksek hızlarda performans düşmesine neden olmaktadır. Supap zamanlamasının iyileştirilmesi volümetrik verimde artış ile daha düz bir moment eğrisi oluşmasını sağlamaktadır [16].

Emme supabının açılma zamanının değiştirilmesinin performansa etkileri Şekil 2.8.a ve b'de gösterilmektedir. Şekil 2.8.a'da görüldüğü gibi emme supabı emme zamanının başlamasından sonra açılırsa supabın tamamen açılması daha fazla krank mili açısına ihtiyaç gösterir. Bu durum emme zamanında dolgunun kısılmasına ve volümetrik verimde azalmaya neden olur [17].

Şekil 2.8.b'deki gibi emme supabı ÜÖN'dan önce açılırsa, emme zamanı süresince emme supabı daha çok açık kalacağına dolgudaki kısılma miktarı azalacak ve volümetrik verimin artmasına neden olacaktır [17].

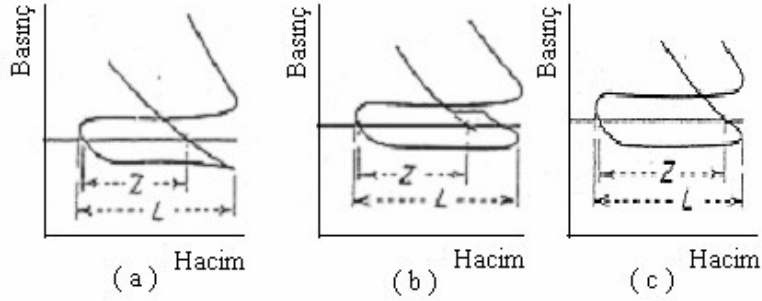


Şekil 2.8. Emme supabı açılma zamanının motor performansına etkileri

2.2.4. Emme supabı kapanma zamanının değiştirilmesi

Şekil 2.9.a, b ve c'de emme supabı kapanma zamanının motor performansına etkileri görülmektedir. Şekil 2.9.a'da emme supabı AÖN'dan hemen sonra kapanmaktadır.

Sıkıştırma zamanının başlangıcında basınç atmosfer basıncının altındadır. Sıkıştırma çizgisi atmosferik basınç çizgisini geç keser ve volümetrik verim düşer.



Şekil 2.9. Emme supabı kapanma zamanının motor performansına etkileri

Emme supabı Şekil 2.9.b'deki gibi AÖN'dan sonraya kadar açık kalırsa motor devrine bağlı olarak dolgunun kinetik hızı daha fazla dolgu yapılmasını sağlar ve silindir hacmi pistonun hızı dolayısı ile azalsa bile basınç artar. Bununla birlikte Şekil 2.9.c'de görüldüğü gibi emme supabı AÖN'dan sonra çok uzun süre açık tutulursa volümetrik verim azalır. Çünkü pistonun ÜÖN'ya hareketi ataletli karışımı karşılar ve ram etkisini azaltır. Sonuç olarak silindir içerisine alınan karışım açık olan emme portundan geriye kaçar [17].

Emme supabı kapanma zamanı motorun moment karakteristiğine ve maksimum güç devrine önemli derecede etki eder [16]. Bunun temel sebebi ram etkisinin motor hızına bağlı olan değişimidir. Bu sebeple silindir içerisine alınan dolgu miktarını artırmak amacıyla emme supabı yüksek devirlerde geç, düşük devirlerde daha erken kapanmalıdır [17].

2.3. Emme Olayının Parametreleri

Dört zamanlı motorlarda emme zamanında silindire giren taze dolgunun AÖN'daki basıncı, emme basıncı (P_e) olarak tanımlanır. Bunun değeri, motorun hızına dolayısıyla piston hızına ve emme sistemindeki akış kayıplarına bağlıdır. Motorun hızı arttıkça basınç kayıpları da artmaktadır. Silindire alınan dolgu miktarının arttırılabilmesi için supap basınç kayıplarının azaltılması gerekmektedir [7].

Supap açık kalma alanlarının büyütülmesi için uygulanacak yöntemlerden biri emme ve egzoz için ikişer supap kullanmaktır. Bu yöntem özellikle günümüzde yüksek hızlı motorlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [7].

Tek supap kullanılarak elde edilen kesit açık kalma alanı, çift supap kullanıldığında daha az kalkma yüksekliği ile elde edilmektedir. Çift supap kullanıldığında supaplar daha hafif olduğundan atalet kuvvetleri daha az olmakta ve motorun devri daha yüksek yapılabilmektedir [11]. Ancak çift supap kullanıldığında cidar sürtünme kayıpları ve ısınma ters yönde etki yapar. Bazı şartlarda her iki akım birbirini kötü yönde etkileyebilir [12].

Supap açıklık alanına etki eden parametrelerden biriside supap oturma açısıdır. Supap oturma açısı büyüdükçe supap açıklık alanı küçülmektedir. Normal olarak bu açı 45° olup, bazı motorlarda 30° 'lik oturma açısı kullanılmaktadır. Supap oturma açısı büyüdükçe supap yuvası ile supap oturma yüzeyi arasındaki basınç artmakta ve iyi bir gaz sızdırmazlığı sağlanmaktadır. 45° 'den büyük açılar çok yüksek oturma basınçları, 30° 'den küçük açılar ise kötü merkezlenme ve kötü sızdırmazlık nedeniyle kullanılmamaktadır [7].

Supap efektif kesit alanına etki eden diğer bir parametrede türbülans ve sürtünme kayıplarıdır. Çeper sürtünmesi kayıpları kanal çeperlerinin pürüzsüz yapılması ile türbülans kayıpları ise supap ve kanalların geometrisi akım çizgilerine uygun yapılarak azaltılmaktadır.

2.3.1 Ram etkisi

Emme manifoldunda ki basınç, geometrik farklılıklar nedeni ile düzgün olmayan gaz akışı, piston hızının farklılığı ve supap açılma bölgesinin çeşitliliği nedeniyle her silindirin emme zamanı esnasında farklılıklar gösterir. Bu durumdaki geometrik şekil değişimlerinin meydana getirdiği sürekli olmayan akışa bağlı basınç değişimlerine ram etkisi denir. Supabın kapanmasına yakın, supabın

arkasında dolgu birikimi olur ve basınç yükselmesi meydana gelir. Bu etki motor hızı arttıkça daha etkili olur. Bu esnada supabın kapanması geciktirilirse silindire olan hava girişi hızlanacağından volumetrik verim artar. Silindire dolgu girişi oldukça basınç dengesi sağlanır ve giriş yavaşlar. Emme supabı tam bu denge konumunda kapatılmalıdır. Eğer supap zamanlaması yüksek motor devirleri için maksimum dolgu sağlayacak şekilde ayarlanırsa, düşük motor devirlerinde volumetrik verim azalır. Ram etkisinden yararlanabilmek için emme supabı yaklaşık olarak AÖN'dan 40-60° sonra kapatılır.

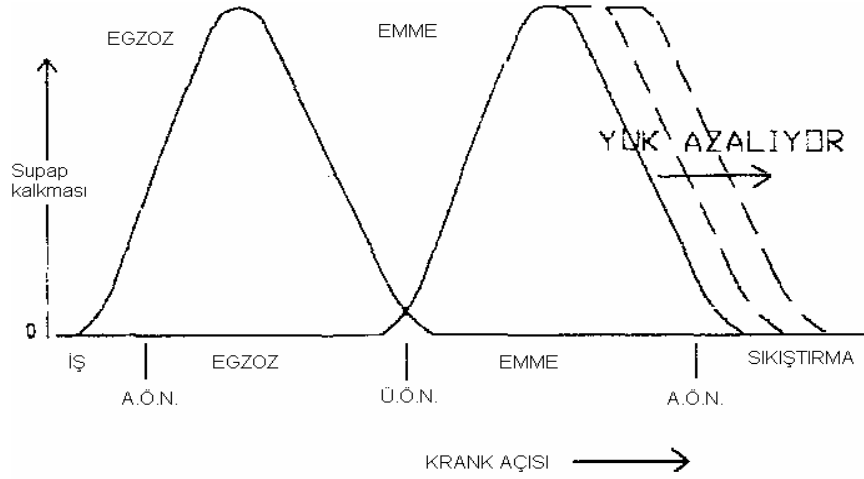
2.4. Emme Supabı İle Motor Yükünün Kontrolü

Buji ile ateşlemeli motorlarda gaz kelebeğini tam açık bırakıp silindir içerisine alınan dolgu miktarı emme supabı ile de kontrol edilebilmektedir. Emme supabı ile motor yükü kontrolü üç şekilde yapılabilmektedir.

1. Emme supabının geç kapatılması ile yük kontrolü
2. Emme supabının erken kapatılması ile yük kontrolü
3. Emme supabının kalkma miktarının değiştirilmesi ile sağlanan yük kontrolü

2.4.1. Emme supabının geç kapatılması ile motor yükünün kontrolü

Herhangi bir motor hızında, gaz kelebeğini kademeli olarak kapatmakla buji ile ateşlemeli bir motorun yükü azaltılmaktadır. Bu şekilde emme zamanında aşağıya inen piston tarafından taze dolgunun basıncı emme manifoldunda atmosfer basıncının altına düşürülürken pompalama kaybı meydana gelir. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi gaz kelebeğini tam açık bırakıp, emme supabını kademeli olarak emme zamanından sonra bir süre daha açık tutarak da motor yükü kontrol edilebilmektedir [18].

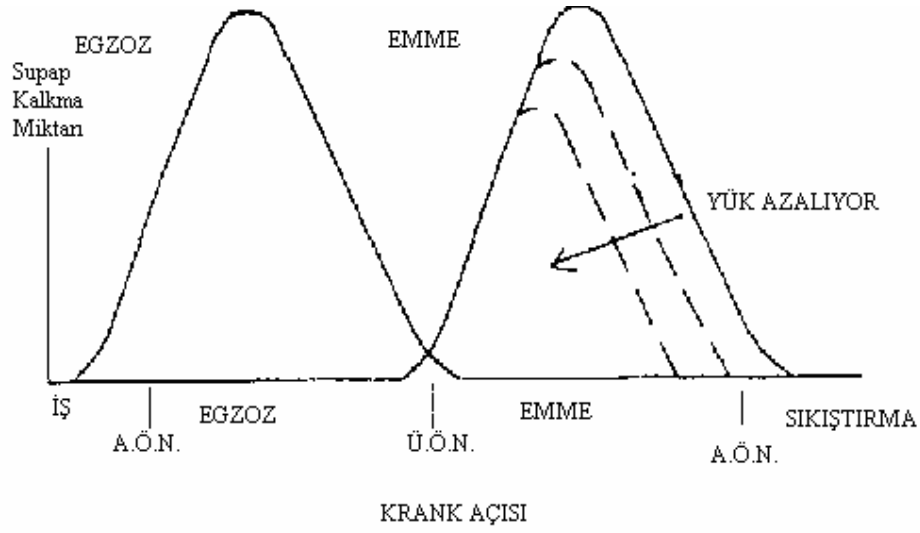


Şekil 2.10. Emme supabının geç kapatılması ile motor yükünün kontrolü [18]

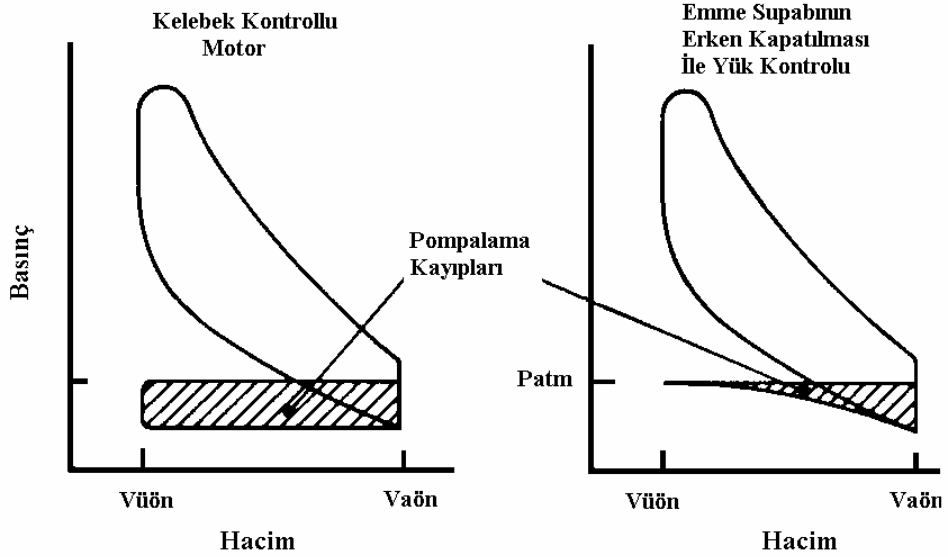
Bu durum yukarı giden pistonun dolguyu gerçek manada sıkıştırmaya başlamadan önce, içeri alınan dolgunun bir kısmının emme manifolduna geri püskürtülmesine neden olur. Sonuç olarak, kısmi yükteki pompalama kaybı ve etkin sıkıştırma oranı azalır. Sıkıştırma oranının düşmesi çevrimin termik verimini ters yönde etkiler ve dolaylı olarak motorun indike termik verimi düşer. Ancak pompalama kaybının düşürülmesinin sağladığı kazanç, indike termik verimin azalmasından fazladır [18].

2.4.2. Emme supabının erken kapatılması ile motor yükünün kontrolü

Gaz kelebeği tam açıkken, motor yükü herhangi bir motor hızında emme supabını kademeli olarak emme zamanı süresince erken kapamak suretiyle de kontrol edilebilir. Emme supabı kapandığında silindire alınmış olan hava pistonun aşağıya devam eden hareketi ile düşük basınca genişletilir ve sıkıştırma zamanında tekrar sıkıştırılır. Şekil 2.11’de görüldüğü gibi emme zamanı kısalırken emme supabının kalkma miktarı da azaltılmaktadır [19]. Şekil 2.11’de ise kısmi yükte geleneksel kelebek kontrollü ve emme supabının erken kapatılması ile yük kontrolü yapılan bir motorda ideal basınç-hacim diyagramları verilmiştir. Şekilde pompalama kaybındaki düşme açık olarak görülmektedir [7].



Şekil 2.11. Emme supabının erken kapatılması ile motor yükünün kontrolü [19]



Şekil 2.12. Kelebek kontrollü ve emme supabı ile yük kontrolü yapılan bir motora ait basınç-hacim diyagramları

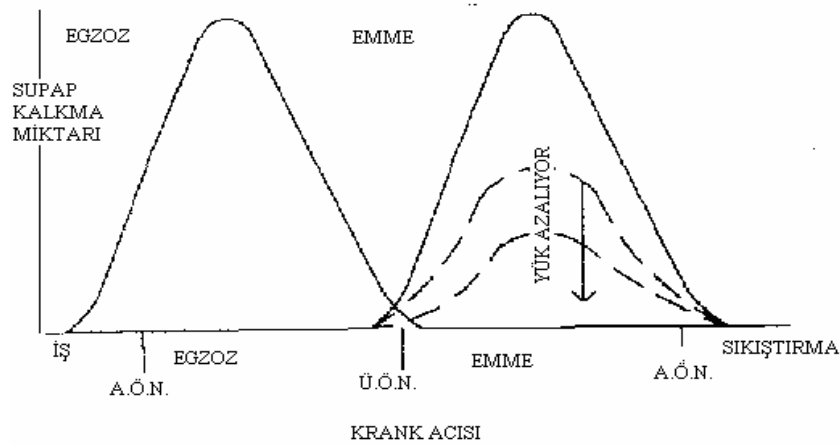
Tuttle [20,21] tarafından kelebeksiz buji ile ateşlemeli motorlarda, emme supabının erken ve geç kapatılması ile yük kontrolü ile pompalama kayıpları, yakıt tüketimi ve diğer çalışma parametreleri üzerindeki etkileri açıklanmıştır. Emme supabının geç kapatılması ile yük kontrolü uygulanan motor kelebek kontrollü motora göre kısmi yükte daha düşük özgül yakıt tüketimi, daha düşük pompalama kaybı, daha düşük

azot oksit (NO_x) emisyonları ve benzer HC emisyonu vermektedir. Emme supabının erken kapatılması ile yük kontrolü uygulanan motor ise kelebek kontrollü motordan daha yüksek HC emisyonu vermekte fakat pompalama kaybı ve özgül yakıt tüketiminde azalma sağlamaktadır.

Ma [22] tarafından yapılan çalışmada, emme supabının erken kapatılması ile yük kontrolünde tam yükten %30 düşürebilmek için, emme supabı kapanma zamanında 120° KMA'nın üzerinde bir değişim sağlanmalıdır ve düşük yüklerde kelebek kontrolü gerekmektedir.

2.4.3. Emme supabı kalkma miktarı ile motor yükünün kontrolü

Emme supabının kalkma miktarını kademeli olarak azaltmak suretiyle de kelebek kullanmaksızın verilen bir hızda motor yükü kontrolü yapılabilmektedir. Bu sistem pompalama kayıplarını tamamen ortadan kaldırmaz, fakat kelebekteki basınç düşmesini emme supabının çevresindeki halkasal boşluğa götürür. Böylece supap boşluğundan geçmekte olan dolgunun yüksek hızı türbülans meydana getirerek daha iyi yanma ve yüksek verim sağlar. Silindirden silindire güç değişimini önlemek için uygun bir supap kalkma miktarı gerekirken, rölanti çalışma şartlarında bu kalkma miktarı çok düşüktür (Şekil 2.13) [18].



Şekil 2.13. Emme supabı kalkma miktarı ile motor yükünün kontrolü [18]

2.5. Volümetrik Verim

İçten yanmalı motorlarda emme zamanı süresince bir çevrimde silindire dolan taze dolgunun, pistonun boşalttığı hacme dolması gereken belirli yoğunluktaki dolguya oranına volümetrik verim denir [21].

$$\eta = \frac{2.\dot{M}a_i}{n.V_d.\rho_i} \quad (2.6)$$

Burada;

Ma : Bir çevrimde silindire dolan dolgunun kütlesi (g)

n : Motorun devri (d/d)

V_d : Toplam silindir hacmi (cm³)

ρ_i : Dolgunun yoğunluğu'dur. (g/cm³)

Volumetrik verim, bir motorda emme sürecinin etkinliğinin ölçülmesinde kullanılan bir parametredir [11,21].

Volumetrik verimi etkileyen parametreler aşağıda verilmiştir;

1. Yakıt cinsi, yakıt/hava oranı, emme sisteminde yakıt buharlaşma oranı,
2. Karışım sıcaklığı,
3. Egzoz ve emme manifold basınçlarının oranı,
4. Sıkıştırma oranı,
5. Motor devri,
6. Emme ve egzoz manifoldu ve port tasarımı,
7. Emme ve egzoz supap geometrisi ve supap zamanlaması.

2.6. Doldurma Verimi

Silindirde net olarak kalan taze dolgunun teorik dolgu kütlesine oranı doldurma verimi olarak ifade edilmektedir. Genellikle supap bindirmesi büyük olan dört zamanlı ve egzoz portundan kaçakları olan iki zamanlı motorlar için kullanılır [23].

Doldurma verimi;

$$\eta = \frac{m_{ds}}{m_h} = \frac{m_{ds}}{v_h \cdot \rho_d} \quad (2.7)$$

olarak hesaplanır. Burada;

m_{ds} : Silindir içindeki sıkıştırma başlangıcındaki net taze dolgu kütlesi (gr)

V_h : Kurs hacmi, (cm³)

ρ_d : Yoğunluk (g/cm³)'tur.

2.7. Süpürme Oranı

Dört zamanlı motorlarda supap bindirmesi esnasında, iki zamanlı motorlarda ise egzoz penceresinden büyük miktarda taze karışım kaybedilmektedir. Bir miktar soğutmayı da amaçlayan süpürme işleminden dolayı bu motorlarda volümetrik verim yerine süpürme oranı ifadesi kullanılmaktadır [23].

$$\eta_{so} = (m_{ds} + m_{dk}) / m_h \quad (2.8)$$

Burada,

m_{ds} : Silindirdeki taze dolgu (g)

m_{dk} : Egzoza kaçan taze dolgu (g)

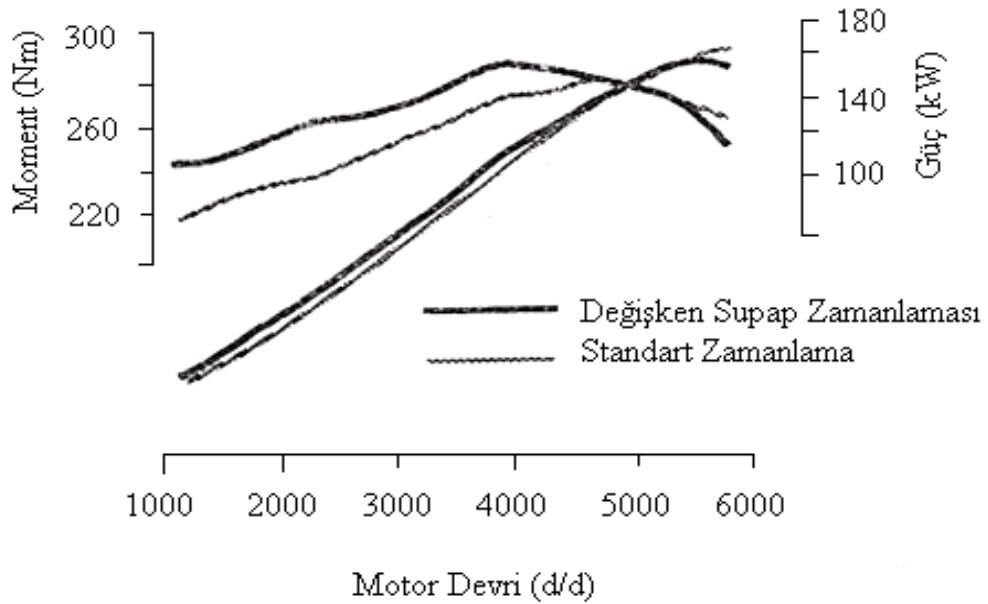
m_h : Silindire teorik olarak alınabilecek dolgu miktarı ($v_h \cdot \rho_d$)'dır.

Şekil 3.1. Helisel dişli ile hareket eden değişken supap mekanizması [24].

Otomobillerde kam milinin ileri geri hareket ettirilmesini sağlayan bu sistemle, emme supabının kapanması devre bağı olarak değiştirilerek moment ve motor gücünde artış sağlanmıştır [22].

Şekil 3.1'de görülen sistemde motorun ilk hareketinde ve relanti durumunda bir geri getirme yayı (8) supap zamanlama sistemini ilk konumuna getirmektedir. Motor yağ basıncı piston üzerine basan yay kuvvetini yendiğinde helis freze dişli sistem (3) pistonun aksenal hareketini dairesel harekete dönüştürür. Bu da itici dişlilerle (4) birlikte kam milinin (1) krank miline göre avansa ya da rötara alınmasını sağlamaktadır [24].

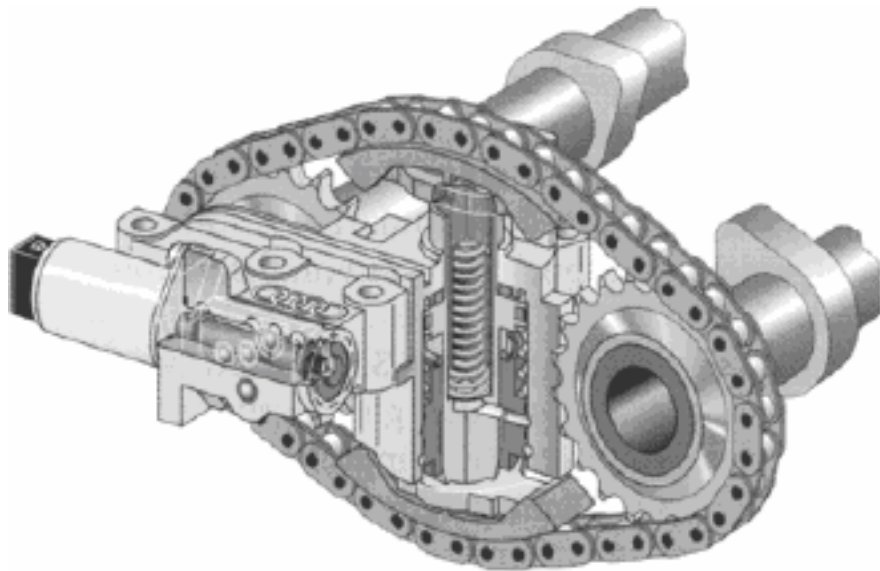
Moriya, tarafından yapılan çalışmada 3000 cm^3 silindir hacmine sahip, sıra tipi, 6 silindirli bir motora hidrolik tahrikli bir değişken supap zamanlaması sistemi uygulanmış, düşük ve orta motor devirlerinde moment yaklaşık %10 artmış, özgül yakıt tüketimi %6 iyileşmiştir. NO_x emisyonlarında %40, HC emisyonlarında %10 azalma görülmüştür. Şekil 3.2'de standart ve değişken supap zamanlaması sistemleri ile elde edilen moment ve güç eğrileri görülmektedir [1].



Şekil 3.2. Motor devrine bağı olarak güç ve moment değişimi [1]

Arslan, tarafından yapılan çalışmada, volümetrik verimi etkileyen en önemli faktörlerden biri olan supap zamanlamasının, her motor devri için optimize edilebilmesini sağlamak amacıyla, tek silindirli bir dizel motorunun yapısına uygun olarak on üç adet farklı açılı kam mili üretilmiştir. Kam millerinde emme açılma avansı, emme kapanma gecikmesi, egzoz açılma avansı ve egzoz kapanma gecikmesi değiştirilmiştir. Deneylerde standart kam mili ile belirli devirlerde daha yüksek performans alınan kam milleri karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda emme açılma avansının artırılması ile düşük ve orta devirlerde volümetrik verimin arttığı görülmüştür. Ayrıca emme açılmasını geciktirilen kamlar ile egzoz kapanma zamanı çok öne alınan kamlarda hissedilir bir volümetrik verim düşüşü görülmüştür [25].

Knecht ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, üstten çift kam miline sahip bir motorda emme ve egzoz kam milleri arasındaki faz açısını değiştirmek amacıyla zincir mekanizması kullanılmıştır (Şekil 3.3). Hidrolik bir piston yardımıyla zincirin hareketi miller arasındaki faz açısını değiştirmektedir. Bu sistemde egzoz kam mili doğrudan krank mili tarafından döndürülmekte ve emme kam milinin pozisyonu zincir mekanizması tarafından değiştirilmektedir [26]. Zincirli kam mili ayarlayıcı sistemleri Porsche, Audi, VW otomobillerde kullanılmıştır.



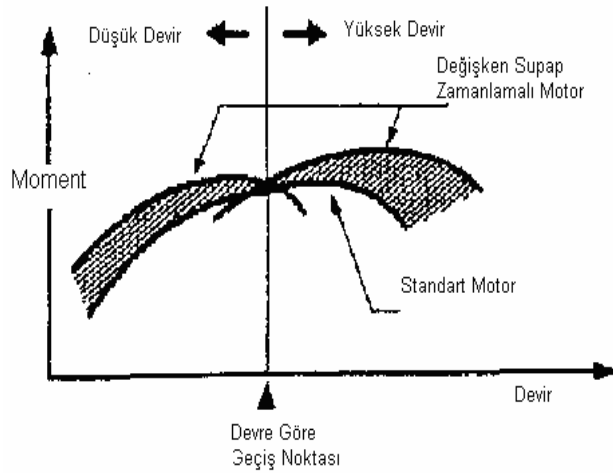
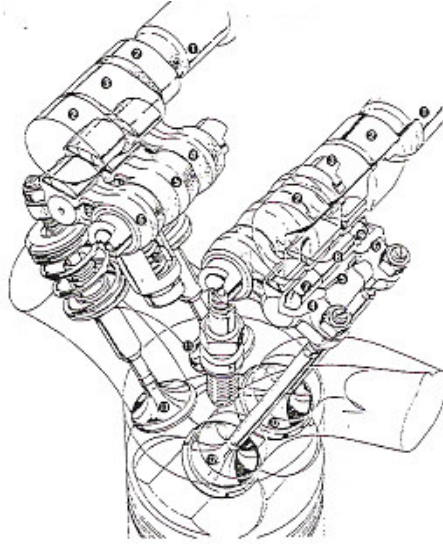
Şekil 3.3. Zincirli kam mili ayarlayıcısı [26].

Leone ve arkadaşları, tarafından yapılan çalışmada, değişken supap zamanlaması sistemi, krank miline göre kam milinin pozisyonu değiştirilerek uygulanmıştır. Bu amaçla 2000 cm³ silindir hacmine sahip buji ile ateşlemeli bir motor kullanılmış ve deneyler 1500-3500 d/d motor devri aralığında yapılmıştır. Düşük motor devirlerinde sadece emme kam mili veya emme ve egzoz kam milleri birlikte avansa alınarak, yüksek devirlerde ise emme kam mili veya her iki kam mili rötara alınarak volumetrik verim iyileştirilmiştir [27].

Değişken supap zamanlaması sisteminin öncülerinden olan Honda 1980’li yılların sonunda VTEC sistemini uygulamaya koymuştur. İlk uygulamasını Civic, CRX ve NS-X modellerinde yapmıştır. Honda VTEC sisteminin dört farklı tipi vardır bu tipler temelde aynı yapıya sahip olmasına rağmen her biri farklı devirlerde devreye girmektedir.

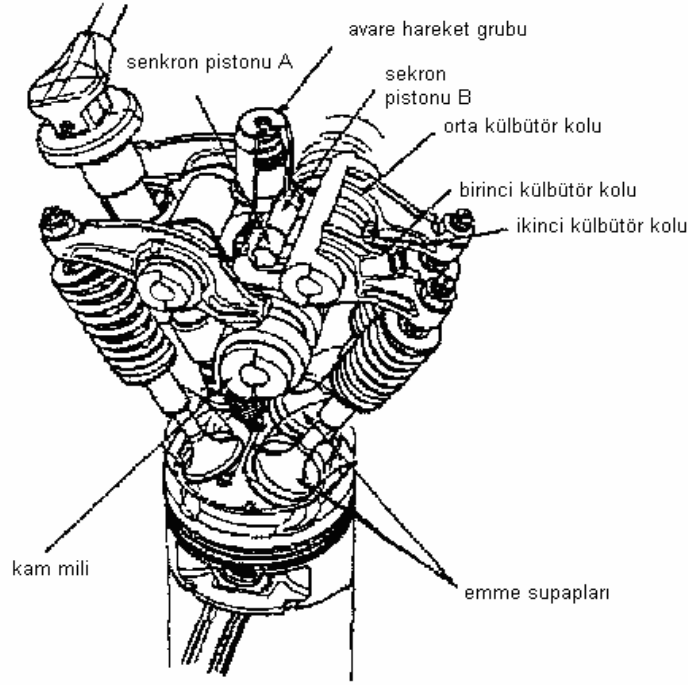
DOHC VTEC sisteminde her silindirde bulunan hem emme hem de egzoz supapları için üçüncü bir külbütör kolu ve üçüncü bir kam bulunmaktadır. Orta külbütör kolunun birinci ve ikinci külbütör koluyla birbirine bağlanmasını sağlayan hidrolik pistonlar vardır. Ayrıca her silindire düşen egzoz ve emme kam mili üzerinde üçer adet kam bulunmaktadır. Birinci ve ikinci kam düşük hızlarda devredeyken yüksek hızlarda orta kam devreye girer. Bu sistemde yüksek hızlarda devreye giren orta kam ve orta külbütör kolu sayesinde supapların açık kalma süreleri ve açılma miktarları değiştirilmektedir [28].

Bu sistemin kullanıldığı motorda devre bağlı moment değişimi Şekil 3.4’te standart motordaki moment değişimi ile karşılaştırılmıştır.

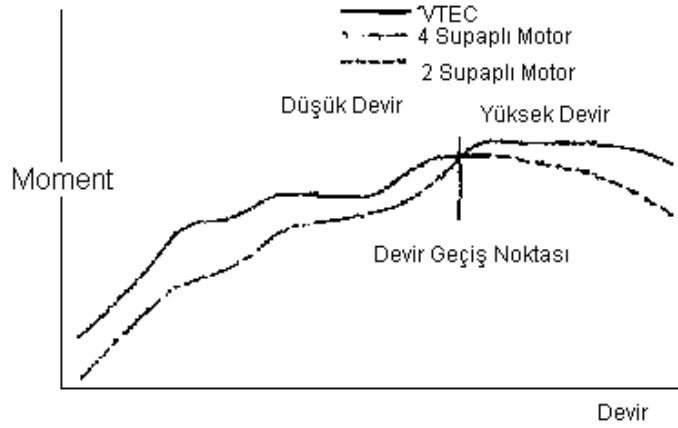


Şekil 3.4. DOHC VTEC sisteminin şematik şekli ve moment değişimi [29].

SOHC VTEC sisteminde ise motorda her silindir için çoklu kamlar bulunur ve bu kamlar düşük ve yüksek devirler için ayrı ayrı supap zamanlaması ve hareket şekline olanak sağlar. Bir hareket şeklinden diğerine geçişler motorun o andaki yüküne ve devrine bağlı, elektronik olarak kumanda edilir. Bu sistemde egzoz supapları sabit bir hareket ve zamanlamaya sahiptir [28]. Şekil 3.5'te SOHC VTEC sisteminin şematik görünümü ve Şekil 3.6'da motor devrine bağlı olarak moment değişimi görülmektedir.



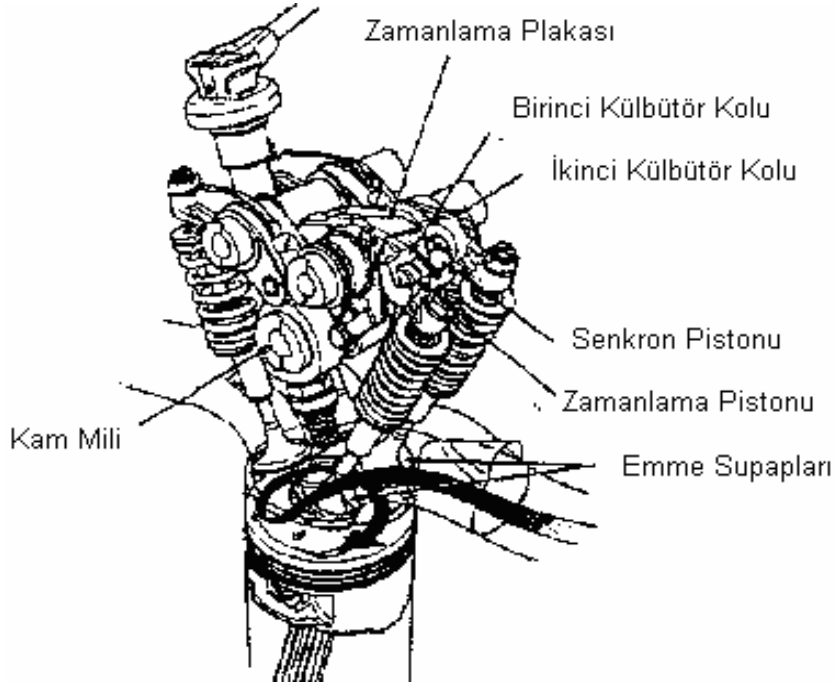
Şekil 3.5. SOHC VTEC supap mekanizmasının şematik şekli ve parçaları [29].



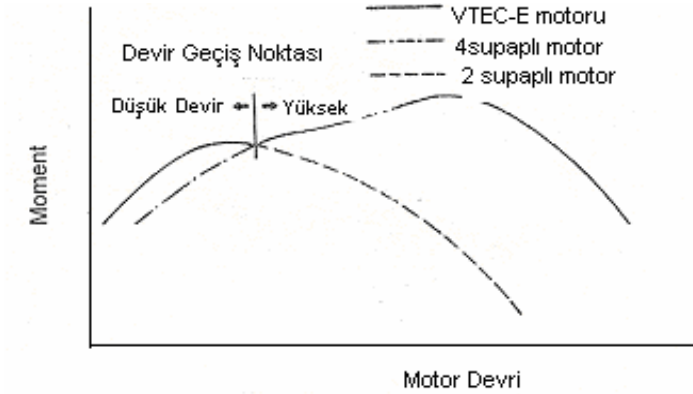
Şekil 3.6. SOHC VTEC sisteminde devre bağlı olarak moment değişimi [29].

Honda tarafından kullanılan VTEC-E değişken supap zamanlaması sisteminde ise her bir silindir için 4 supap kullanılmaktadır. Düşük devirlerde birinci emme supabı normal hareket değerinde çalışırken, ikinci emme supabı emiş ağzında yakıt birikmesine yol açmamak için çok az açılmaktadır. Yüksek devirlerde ise

ikinci supap normal supap hareketi sağlamak üzere birinci emme supap külbütör kolu ile birleşir [28]. Bu sistem ile düşük motor devirlerinde oldukça fakir yakıt/hava karışımı, verimli bir biçimde yakılarak daha yüksek moment elde edilmekte ve özgül yakıt tüketimi azaltılmaktadır. Yüksek motor devirlerinde ise geleneksel 4 supaplı motorlara eşdeğer yüksek verim elde edilebilmektedir (Şekil 3.7) [28].

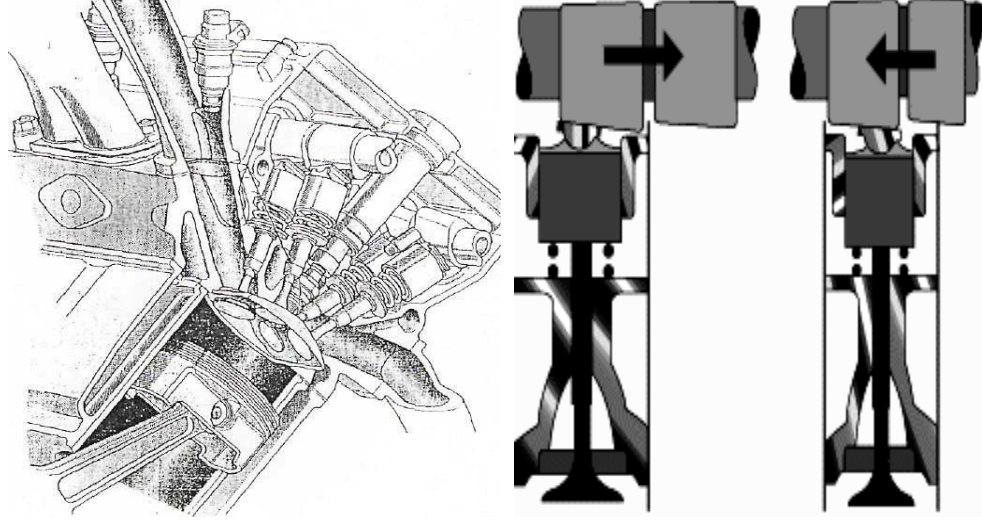


Şekil 3.7. VTEC-E sistemi supap mekanizmasının yapısı ve parçaları



Şekil 3.8. Honda VTEC-E motorda devre bağı olarak moment değişimi [28]

Ferrari V8 motorunda kullanılan değişken supap zamanlaması sisteminde supaplara eksenel yönde konikleşen kamlar kumanda etmektedir. şekil 3.9’da görülen konik kam mekanizması motor devrinin bir fonksiyonu olarak eksenel hareketi bir regltrden almaktadır [31].



şekil 3.9. Ferrari V8 motorlarda kullanılan değişken supap zamanlaması sistemi [31]

Ferrari’nin kullandığı diğer bir değişken supap zamanlaması sisteminde ise emme ve egzoz supapları iin ayrı ayrı kam milleri vardır. Emme kamlarının üzerinde bulunduğu kam miline helis diş aılarak, milin motor devrine göre eksenel yönde hareket ettirilmesi ile emme kamlarının aılma avansları ve kapanma gecikmeleri değiştirilmektedir (Resim 3.1) [31].



Resim 3.1. Ferrari motorlarında kullanılan değişken supap zamanlaması sistemi

Çizelge 3.1. Ferrari V-8 motorunun supap zamanlaması değişimi

	Düşük ve orta devirlerde	Yüksek devirlerde
Emme açılma avansı	15° KMA (önce ÜÖN)	30° KMA
Emme kapanma gecikmesi	30° KMA (sonra AÖN)	70° KMA
Egzoz açılma avansı	43° KMA (önce AÖN)	68° KMA
Egzoz kapanma gecikmesi	7° KMA (sonra ÜÖN)	32° KMA

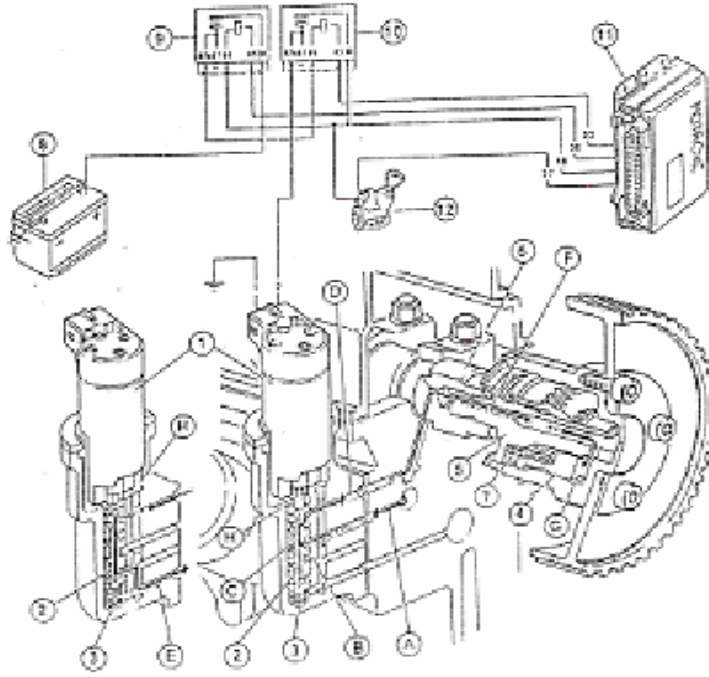
Supap zamanlamasını değiştirmek için kullanılan bir diğer sistemde elektronik kontrollü supap sistemidir. Bu sistem bir mikrobilgisayar tarafından kontrol edilen pnömatrik, manyetik veya hidrolik esasla çalışan işletici bir sistem tarafından emme ve egzoz supaplarının açılma-kapanma zamanlarının değiştirilmesi prensibine dayanmaktadır. Kam mili yerine her bir supap için açılıp kapanmayı sağlayan pnömatrik, manyetik veya hidrolik çalışan bir sistem kullanılmaktadır. Motor volanından alınan sinyallerin işletici sisteme gönderilmesiyle çalışmaktadır. Supapların açılma miktarı 10 mm civarındadır [32].

Nissan V-6 motorlarında uygulanan sistemde ise, motorda 4 adet kam milli olup her silindir için 4 supap yerleştirilmiştir. Her bir kam ayrı bir dişli ile hareket almaktadır. İki adet kam mili V motorun bir grubunun emme ve egzoz supaplarını çalıştırmakta olup değişken supap açılma ve kapanma açılara sahiptir. Emme supabının açılıp kapanmasındaki değişim miktarı 14° KMA'dır. Motorda egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları ise değiştirilmemiştir [33].

Çizelge 3.2. Nissan V-6 motorlarında emme supap zamanlamasının değişimi [33].

	Düşük devirlerde	Yüksek devirlerde
Emme supabı açılması	19° KMA (önce ÜÖN)	5° KMA (önce ÜÖN)
Emme supabı kapanması	49° KMA (sonra AÖN)	63° KMA (sonra AÖN)

Fiat - Lancia modellerinde kullanılmak üzere Fiat firması tarafından Şekil 3.10'da görülen elektronik kontrollü supap zamanlaması sistemi geliştirilmiştir [30].



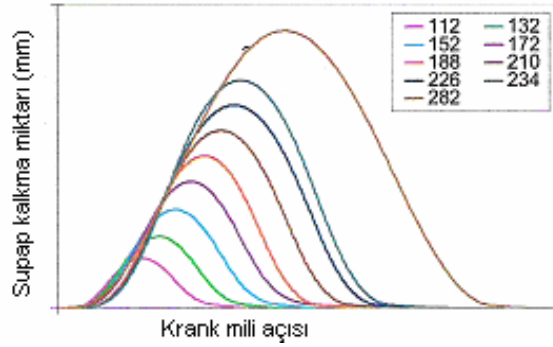
Şekil 3.10. Fiat - Lancia elektronik kontrollü kam zamanlama değıştiricisi [30].

- | | |
|----------------------|---|
| 1- Selenoid | 7- Piston yayı |
| 2- Supap | 8- Akü |
| 3- Supap yayı | 9- Enjeksiyon- ateşleme sistemi rölesi |
| 4- Piston | 10- Zamanlama değıştirici selenoid supap rölesi |
| 5- Mahruti dişli | 11- Enjeksiyon- ateşleme kontrol rölesi |
| 6- Kam mili uç kısmı | 12- Kontak anahtarı |

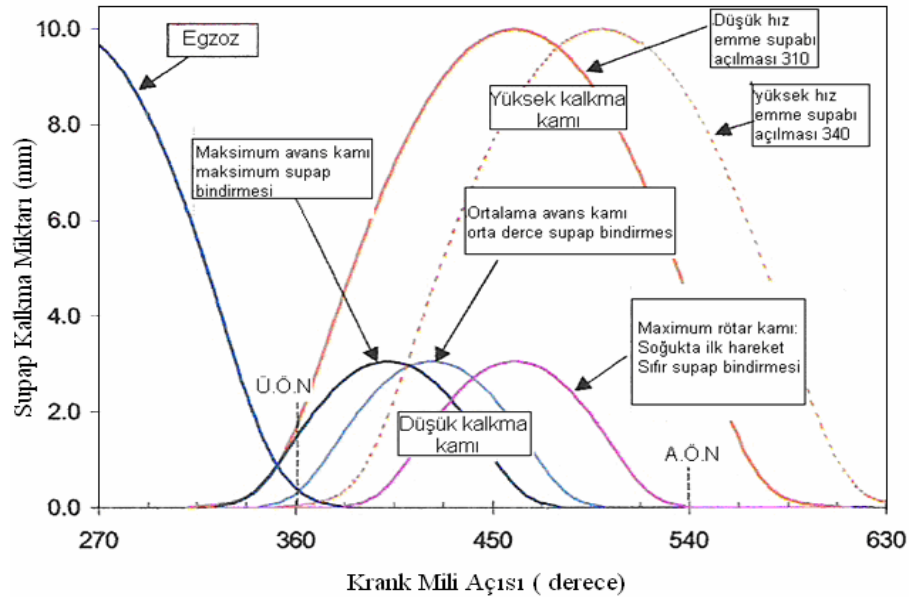
Düşük ve yüksek devirlerde motor momentinde artış sağlayarak daha yüksek performans elde etmek amacıyla araca monte edilmiştir. Bu sistem yük koşullarına göre emme supabı zamanlamasının değıştirilmesine olanak sağlamaktadır. Motronic kontrol ünitesi tarafından hava debimetresi, ÜÖN ve devir sensörlerinden alınan elektrik sinyallerinin emme supabı zamanlama değıştirici selenoid valfine gönderilmesi prensibine göre çalışmaktadır. Şekil 3.10'da şematik olarak gösterilen emme kam mili üzerine oturan ve milin dişliye göre konumunu değıştiren sistemden meydana gelmektedir [30].

Sellnau ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada birbirinden farklı kalkma miktarı ve kam geometrisine sahip dokuz farklı kam mili kullanılmıştır (Şekil 3.11). Kullanılan birbirinden farklı emme kamlarının krank mili açısına ve motor

devrine göre kalkma miktarları ve kapanma gecikmeleri değiştirilerek yakıt ekonomisine, egzoz emisyonlarına ve motor performansına etkileri incelenmiştir [34].



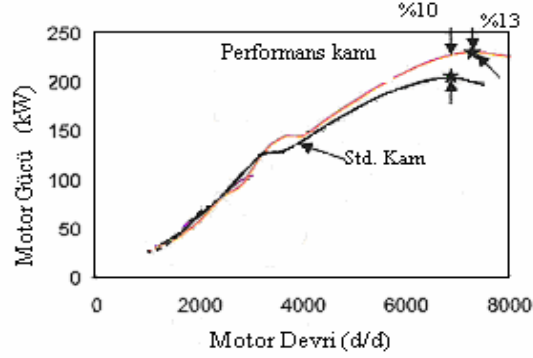
Şekil 3.11. Supapların kalkma miktarları [34]



Şekil 3.12. Çalışma şartlarına göre emme supabının krank mili açısına bağlı olarak avans ve rötör durumu [34].

Emme supabı için kullanılan ve düşük kalkma miktarı olan iki kam profili motor devrine bağlı olarak supabı ÜÖN'dan önce veya sonra açarak o devirde içeriye alınması gereken dolgu miktarı için gereken supabın açık kalma süresini ayarlamaktadır (Şekil 3.12) [34]. Yapılan deneyler sonucunda değişik kam profillerinden elde edilen en iyi performansla motorun normal performansı

karşılaştırıldığında Şekil 3.13'te görüldüğü gibi motorun çıkış gücü 6000 d/d' motor devrinde, %10, 7300 d/d' motor devrinde ise %13 artmıştır.

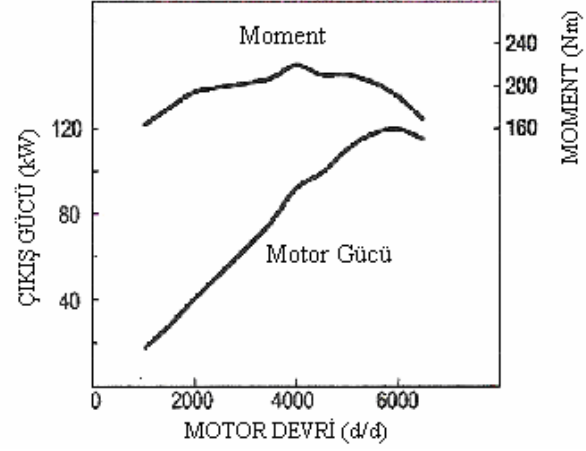
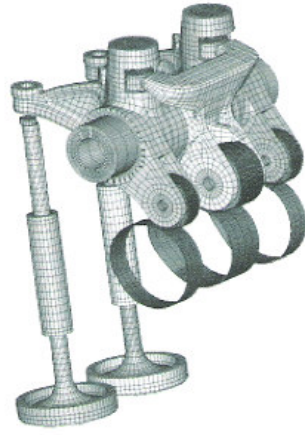


Şekil 3.13. Motor devrine bağlı olarak fren çıkış gücünün değişimi

Murata ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, teknik özellikleri Çizelge 3.3'de verilen 2400 cm³ silindir hacmine sahip dört silindirli motorda emme kamlarında kalkma miktarları ve kam profilleri değiştirilmiştir. Egzoz kamında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Şekil 3.14'de motorun külbütör sistemi görülmektedir. Düşük devirlerde külbütörler birbirlerinden bağımsız hareket etmektedirler ve sadece bir emme supabı açılırken diğer emme supabı yuvarlak bir profil takip etmektedir. Orta motor devirlerde ise dıştaki iki kam birlikte hareket ederek ikinci supabın da açılmasını sağlamaktadır. Yüksek devirlerde iki supap ta ortadaki kamdan hareket alarak daha yüksek kalkma miktarlarına ulaşmaktadır [35].

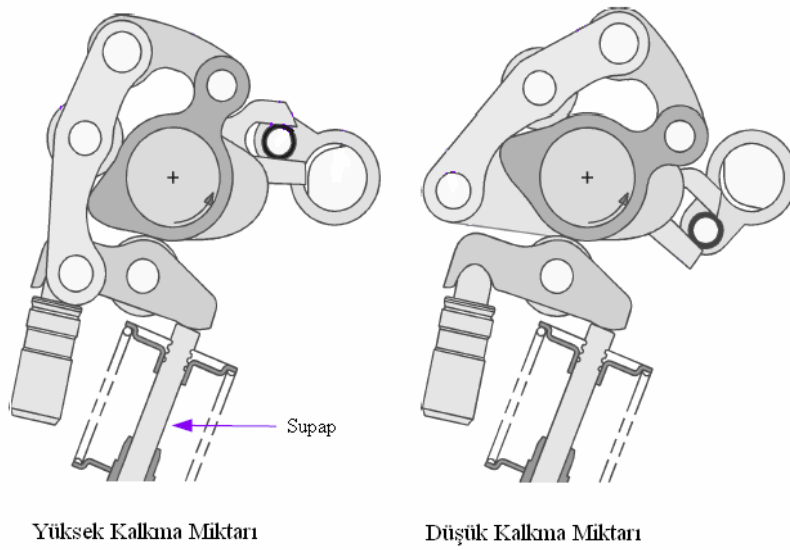
Çizelge 3.3. Motorun teknik özellikleri

Motor Modeli	4G69 MIVEC	4G64 GDI-V
Silindir sayısı	4	4
Çap x Kurs (mm)	87,0 x 100	86,5 x 100
Sıkıştırma oranı	9,5	10,8
Supap sistemi	SOHC 16 Supap	DOHC 16 Supap
Maksimum Motor Gücü	121 kW / (6000 d/d'da)	121 kW / (5700 d/d'da)
Maksimum Moment	217 Nm / (4000 d/d'da)	230 Nm / (3500 d/d'da)

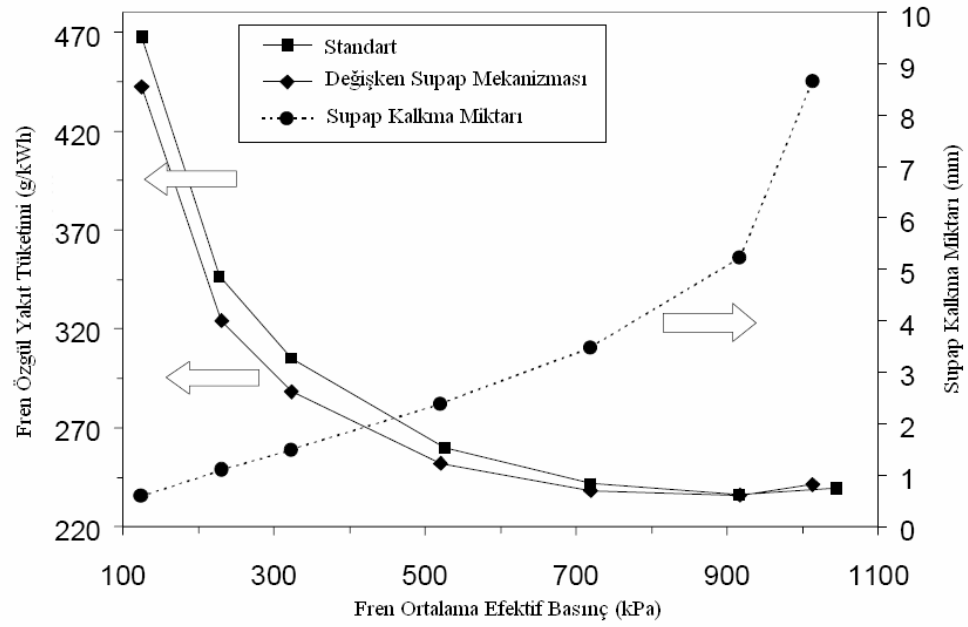


Şekil 3.14. Supap mekanizması ve motor performans eğrileri [35].

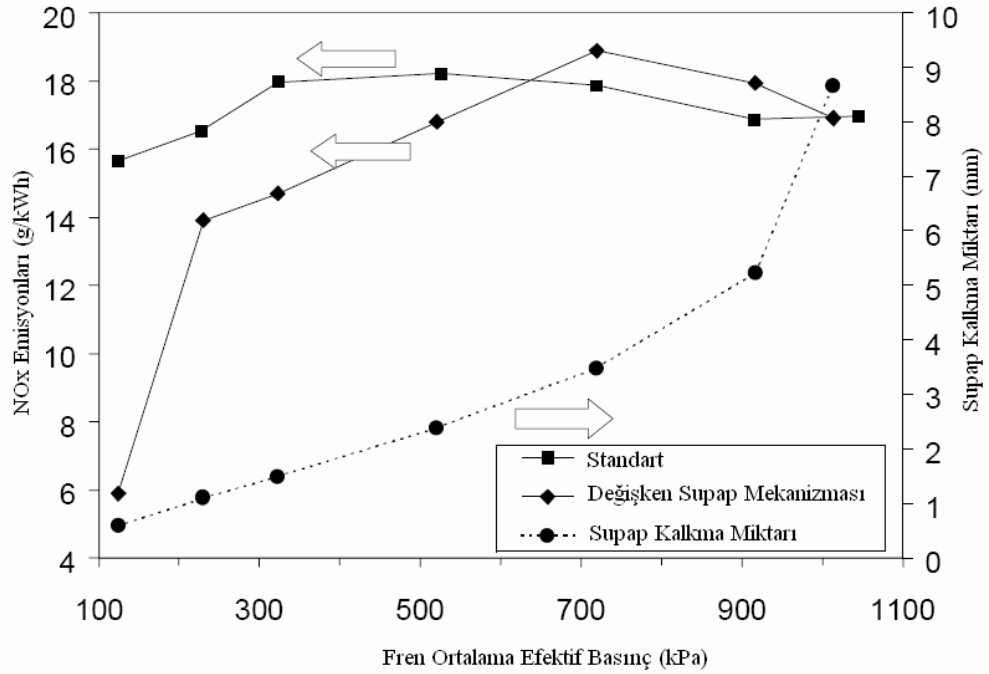
Pierik ve Burkhard tarafından yapılan çalışmada, Şekil 3.15’de görülen değişken supap mekanizması kullanılarak, supap kalkma miktarı 0-9 mm aralığında değiştirilebilmektedir. Buji ile ateşlemeli, dört silindirli, 1600 cm³ silindir hacmine sahip bir motorda yapılan deneylerde FÖYT rölanti çalışma şartlarında %12, düşük ve orta motor devirlerinde %7-10, yüksek motor devirlerinde ise %0-3 arasında iyileşme sağlanmıştır (Şekil 3.17). 1200-3200 d/d arasında yapılan deneylerde motor momentinde %3 artış sağlanmıştır [36].



Şekil3.15. Değişken supap mekanizması ile kalkma miktarının ayarlanması [36].



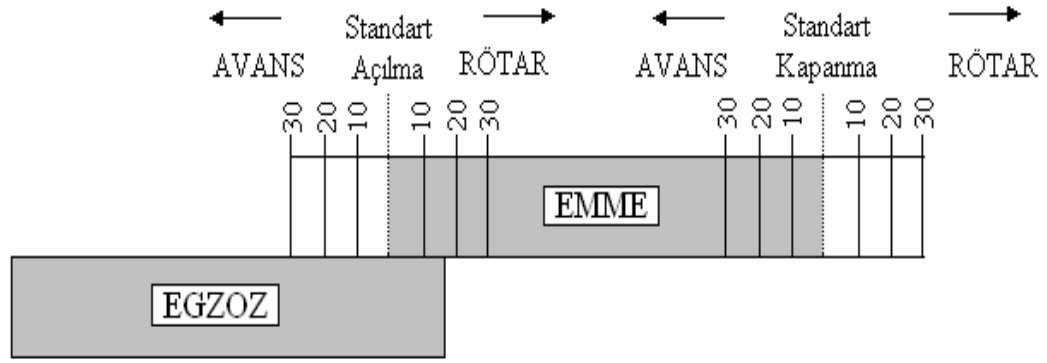
Şekil 3.16. Fren ortalama efektif basıncına bağlı olarak farklı supap kalkma miktarlarında FÖYT değişimleri (2000 d/d motor devrinde) [36]



Şekil 3.17. Fren ortalama efektif basıncına bağlı olarak farklı supap kalkma miktarlarında NO_x emisyonları değişimleri (2000 d/d motor devrinde)

Aynı motorda standart ve değişken supap mekanizması ile farklı supap kalkma miktarları için elde edilen NO_x emisyonları değişimi Şekil 3.17’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi düşük ve orta motor yüklerinde NO_x emisyonları, standart motora göre azalmaktadır [36].

Çınar tarafından yapılan çalışmada, tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motorda emme supabı açılma ve kapanma zamanları 30° KMA avanstan 30°KMA rötara kadar 10° KMA aralıklarla değiştirilmiştir (Şekil 3.18). 1200 d/d motor devrinde emme supabı zamanlaması 30° KMA avansa alındığında volumetrik verimde %8,7’lik kazanç sağlanmıştır [19].

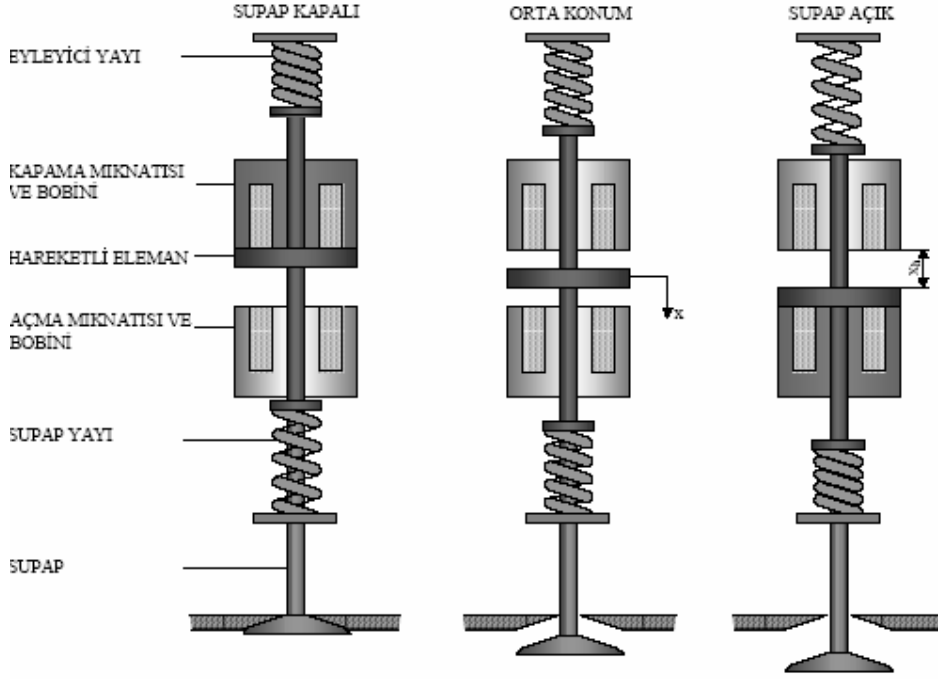


Şekil 3.18. Emme supabı zamanlamasının değiştirilmesi

Kamış ve Yüksel tarafından yapılan çalışmada, elektromekanik supap mekanizmalarında sistemin cevap verme süresinin kısaltılması üzerinde çalışılmıştır. Şekil 3.19’da görülen elektromekanik supap mekanizması elemanları, açma ve kapama olmak üzere iki adet mıknatıs devresi ve bobini, iki adet yay ve supap ile birlikte hareket eden bir hareketli elemandan meydana gelmektedir [38].

Şekil 3.19’da görülen sistemde, elektronik kontrol ünitesinden gönderilen sinyale göre bobinlerden biri iletme, diğeri kesime sokularak supap açılıp kapanmaktadır. Hareketli eleman yay kuvveti yardımıyla ivmelenmekte ve hareketinin büyük bir kısmını yayların depoladığı enerji ile tamamlamaktadır. Mıknatıs kuvveti, hareketin tamamlanmasına yardımcı olmak ve hareketli eleman ile hareketli elemana bağlı

supabı açık veya kapalı konumda tutmak için hareketin son kısmında etkili olmaktadır. Her iki bobine de akım uygulanmadığında hareketli eleman yaylar yardımıyla denge konumunda tutulmaktadır [38].

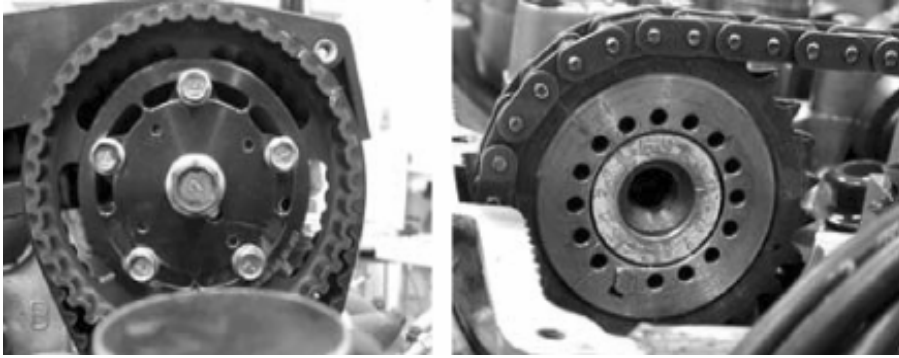


Şekil 3.19. Elektromekanik supap mekanizması [38]

Yapılan çalışma sonucunda sistemin cevap verme süresini kısaltmanın en iyi yolunun mıknatıs devresi boyutları ve yay katsayısını değiştirmeksizin hareketli kütle miktarında azaltma yapmak olduğu görülmüştür [38].

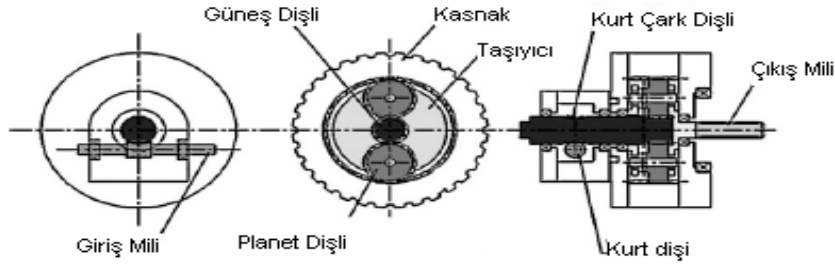
Bohac ve Assanis tarafından yapılan çalışmada, 2500 cm^3 silindir hacmine sahip Ford marka, buji ile ateşlemeli bir motorda egzoz supabı açılma ve kapanma zamanı değişiminin HC emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada egzoz supabı açılma zamanı 60° KMA avansa ve egzoz supabı kapanma zamanı 40° KMA avansa alınlığında, soğukta ilk harekette HC emisyonları %27 azalmıştır. Egzoz supabı açılma zamanının erkene alınması, egzoz gaz sıcaklığını arttırmış ve katalitik konvertörün etkili çalışma sıcaklığına daha çabuk ulaşmasını sağlamıştır [39].

Kim ve Chou tarafından yapılan çalışmada, buji ile ateşlemeli bir motorda soğukta ilk harekette egzoz gaz sıcaklığının artırılarak katalitik konvertörün etkili çalışma sıcaklığına daha çabuk ulaşmasını sağlamak amacıyla, egzoz supabı zamanlaması ve ateşleme avansı değiştirilmiştir. Deneyler, 4 zamanlı, 4 silindirli, 2000 cm³ silindir hacmine sahip buji ile ateşlemeli bir motorda yapılmıştır. Resim 3.2’de görüldüğü gibi egzoz supabı zamanlaması kam mili dişlisi ve zincirinin kasnak üzerinde döndürülmesi ile değiştirilmiştir. Bu amaçla kam mili dişlisi üzerinde 16 adet delik açılmıştır. Yapılan deneylerde, egzoz supabı zamanlaması rötara alındığında silindir içerisinde kalan yanmış gaz miktarı artmış, yanma hızı düşmüş ve egzoz gaz sıcaklığı artmıştır [40].



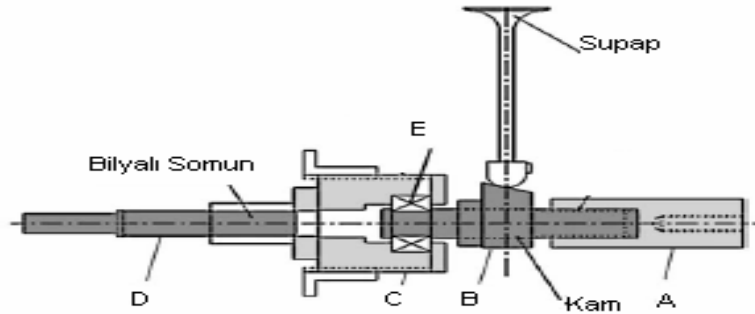
Resim 3.2. Değişken kam mili mekanizması [40]

Nagaya ve arkadaşları içten yanmalı motorlar için supap zamanlama ve supap iticisinin devamlı kontrol edildiği yeni bir supap kontrol sistemi tasarlamışlardır. Supap zamanlamasının kontrolü için bir kontrol kasnağı yapılmıştır. Kasnakta, iki tane planet dişli kasnağın iç dişlisini tutmaktadır. Planet dişli milleri bir mille yan kaplamaya bağlanmakta ve dış mil kam miline bağlanmaktadır. Zamanlama kasnağının dönüşü belirli bir dişli oranıyla kam miline taşınmaktadır. Planet dişlilerinin içindeki güneş dişli bir kurt çark dişli mile sahiptir. Kurt çark dişlisi gövdeye bağlı kontrol motoruna sahip kurt dişliyi tutmaktadır. Kontrol motoru döndürüldüğünde dönüş kurt dişliler vasıtasıyla güneş dişliye ve oradan da kasnağa iletilmekte böylece emme ve egzoz supabı arasında faz farkı oluşmaktadır (Şekil 3.20) [41].



Şekil 3.20. Kasnak ve planet dişli sistemi mekanizması [41]

Aynı sistemde değişken supap kalkma miktarı sağlamak için konik kamlar kullanılmıştır (Şekil 3.21). Yukarıda açıklanan değişken supap zamanlaması mekanizmasının çıkış mili civatayla A milinin sağ ucuna bağlanmıştır. Hareket A milinden kama yardımıyla üzerinde kamı bulunduran B miline aktarılmaktadır. B mili aksel yönde bağımsız hareket etmektedir. D milinin ucundaki kontrol motoru hareket ettirildiğinde C mili kamalı mil boyunca kaymaktadır ve C mili ile birlikte üzerinde kam bulunan B mili de aksel yönde hareket ettirilerek supap kalkma miktarı değiştirilmiş olur (Şekil 3.21) [41].

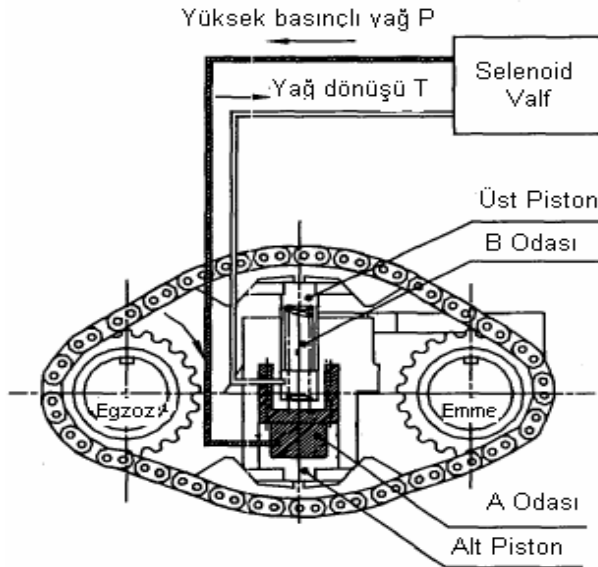


Şekil 3.21. Değişken supap kalkma mekanizması [41]

Hazırlanan bu sistem ile supap zamanlaması ve supap kalkma miktarı motor devrine bağlı olarak sürekli kontrol edilebilmektedir. Supaplar kam profilini takip etmektedir, kam profili ve supap yayı için uygun bir tasarım yapılarak kamlarda sıçrama olması önlenmiş böylece kamların aşınma ve gürültü seviyesi sınırlandırılmıştır. Elektromekanik supap sistemine göre ağırlığı azdır ve iki adet DC motor ile tüm silindirler kontrol edilebilmektedir [41].

Li ve arkadaşları, 1600 cm³ silindir hacmine sahip dört silindirli DOHC her silindirde beş supap bulunan buji ile ateşlemeli bir motor için geliştirdikleri elektronik kontrollü değişken supap zamanlaması sisteminde standart zincir gergi sistemini değişken hale dönüştürerek iki farklı emme supabı zamanlaması elde etmişlerdir.

Motorun çalışması esnasında krank mili tarafından döndürülen egzoz kam mili dişli ve zincir yardımıyla emme kam miline hareket vermektedir. Elektronik kontrol ünitesi P'den A odasına yüksek basınçlı yağın iletilmesini selenoid valf ile kontrol etmekte, B odasındaki düşük basınçlı yağ T' den çıkmaktadır ve piston aşağıya hareket etmektedir. Diğer konumda basınçlı yağ B odasına gönderilir, A odası T' ye bağlanır ise piston yukarıya hareket edecektir. Böylece pistonu takip eden zincir vasıtasıyla emme kam mili için iki farklı konum oluşturulmaktadır (Şekil 3.22) [42].



Şekil 3.22. Kayış genişleticili değişken supap zamanlaması mekanizması [42].

Yapılan deneyler sonucunda kullanılan sistemle düşük motor devirlerinde %11,8, yüksek devirlerde (5400 d/d'dan sonra) ise %7,9 moment artışı ve özgül yakıt tüketiminde düşük devirlerde %4,2 ile %9,5 arasında yüksek devirlerde ise (4200 d/d'den sonra) %8,6 iyileşme sağlamışlardır [42].

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Deney Yeri

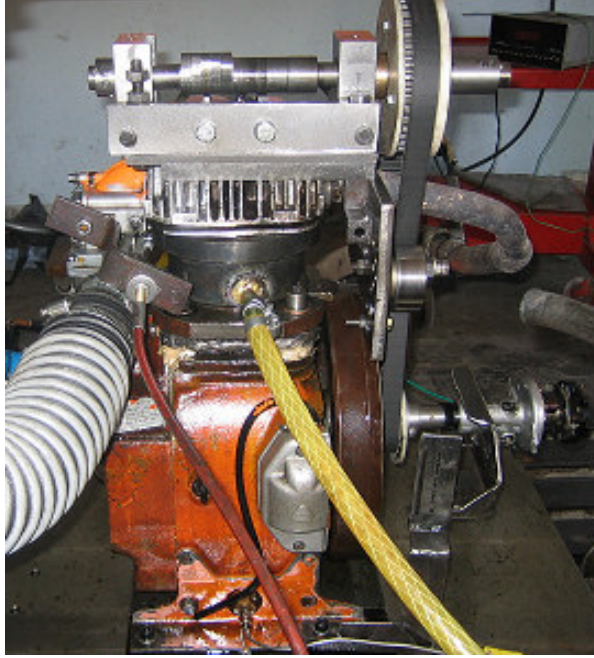
Deneyler Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı, İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deney düzeneğinin genel görünümü Resim 4.1'de verilmiştir.



Resim 4.1. Deney düzeneğinin görünümü

4.2. Deney Motoru

Deneylerde Resim 4.2'de görülen, tek silindirli, dört zamanlı, Lombardini marka buji ile ateşlemeli bir motor kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Resim 4.2. Deney motoru

Çizelge 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri

Markası	Lombardini
Soğutma sistemi	Su soğutmalı
Maksimum motor gücü	7,82 kW (3000 d/d motor devrinde)
Silindir çapı x Kurs boyu	88 x 80 mm
Silindir hacmi	487 cm ³
Sıkıştırma oranı	9:1
Emme supabı açılma zamanı	19° KMA önce ÜÖN
Emme supabı kapanma zamanı	38°, 48° , 58°, 68°, 78° KMA sonra AÖN
Emme supabı kalkma miktarı	6,75 mm
Egzoz supabı açılma zamanı	59° KMA önce AÖN
Egzoz supabı kapanma zamanı	8° KMA sonra ÜÖN
Egzoz supabı kalkma miktarı	6,75 mm

4.3. Değişken Supap Mekanizması

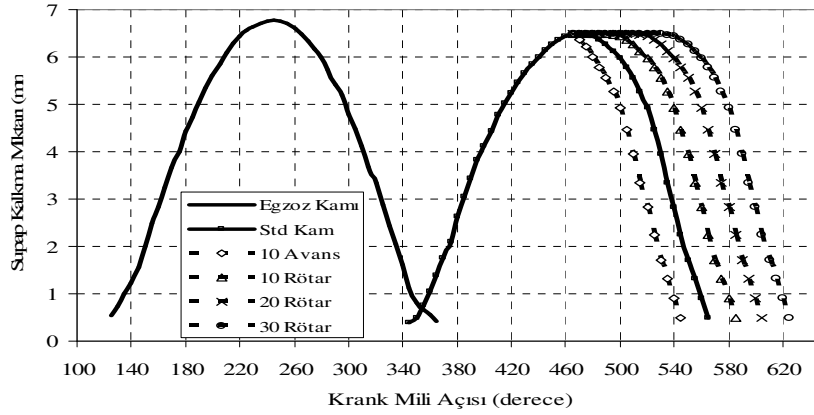
4.3.1. Kam mili

Resim 4.3’de görülen kam mili SAE 2080 yağ çeliğinden imal edilmiştir. Egzoz supabı açılma-kapanma zamanları ve emme supabı açılma zamanında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Supap bindirmesi ve supapların kalkma miktarı da standart değerindedir.



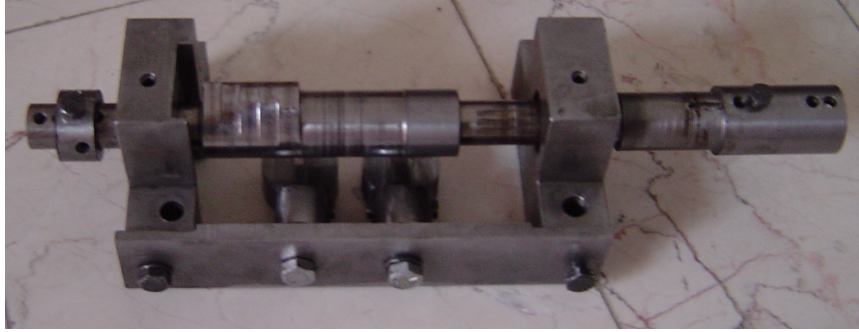
Resim 4.3. İmalatı yapılan değişken emme supabı kapanma zamanlamasına sahip kam mili

Kam mili, standart zamanlama değerine göre, emme supabı kapanma zamanı 10° KMA avans ve 10° , 20° , 30° KMA rötör olacak şekilde beş kademedeki CNC dik işleme tezgâhında imal edilmiştir. Emme supabı kapanma zamanı değişimi kam milinin aksenel hareketi ile sağlanmaktadır.



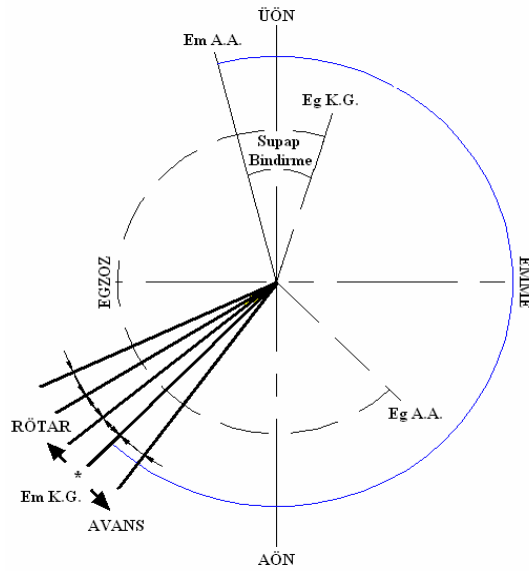
Şekil 4.1. Emme ve egzoz supaplarının krank mili açısına bağlı olarak açılma - kapanma profilleri

Motorun egzoz kamı, kam taşlama tezgâhında standart profiline uygun olarak 40 mm genişlikte taşlanarak imal edilmiştir. Kam milinin yataklar içerisinde çalışacak muylu yüzeyleri de taşlama tezgâhında taşlanarak imal edilmiştir. Kam mili imal edildikten sonra kam ve muylu yüzeyleri ısıtılma işlemine tabi tutularak sertleştirilmiştir (Resim 4.4).



Resim 4.4. Değişken emme supabı kapanma profiline sahip kam mili mekanizması

İmal edilen kam mili ile egzoz supabı açılma ve kapanma profili, emme açılma profili, supap bindirmesi ve supapların kalkma miktarları sabit tutularak emme supabı kapanma zamanı değişiminin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Şekil 4.2’de deney motorunun supap ayar diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.2. Deney motorunun supap ayar diyagramı

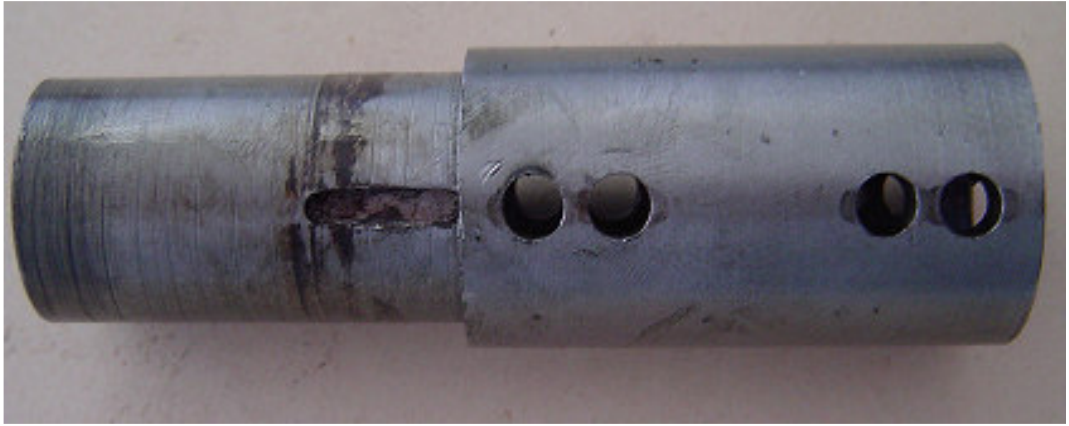
Supap başlığı emme kamının genişliğine uygun olarak SAE 2080 yağ çeliğinden torna tezgahında işlenerek imal edilmiş ve ısıl işleme tabi tutulmuştur (Resim 4.5).



Resim 4.5. Supap başlıkları

4.3.2. Kam mili dişlisi ve flanş

SAE 2080 yağ çeliğinden torna tezgâhında işlenerek imal edilen flanş krank milinden gelen hareketi kam mili dişlisi vasıtası ile kam miline iletmektedir. Emme kamı üzerindeki beş farklı kademe için her defasında motor durdurularak kam mili eksenel olarak hareket ettirilmiş ve flanş üzerindeki deliklerden kam miline vidalanarak kam mili dişlisinden milin hareket alması sağlanmıştır (Resim 4.6).

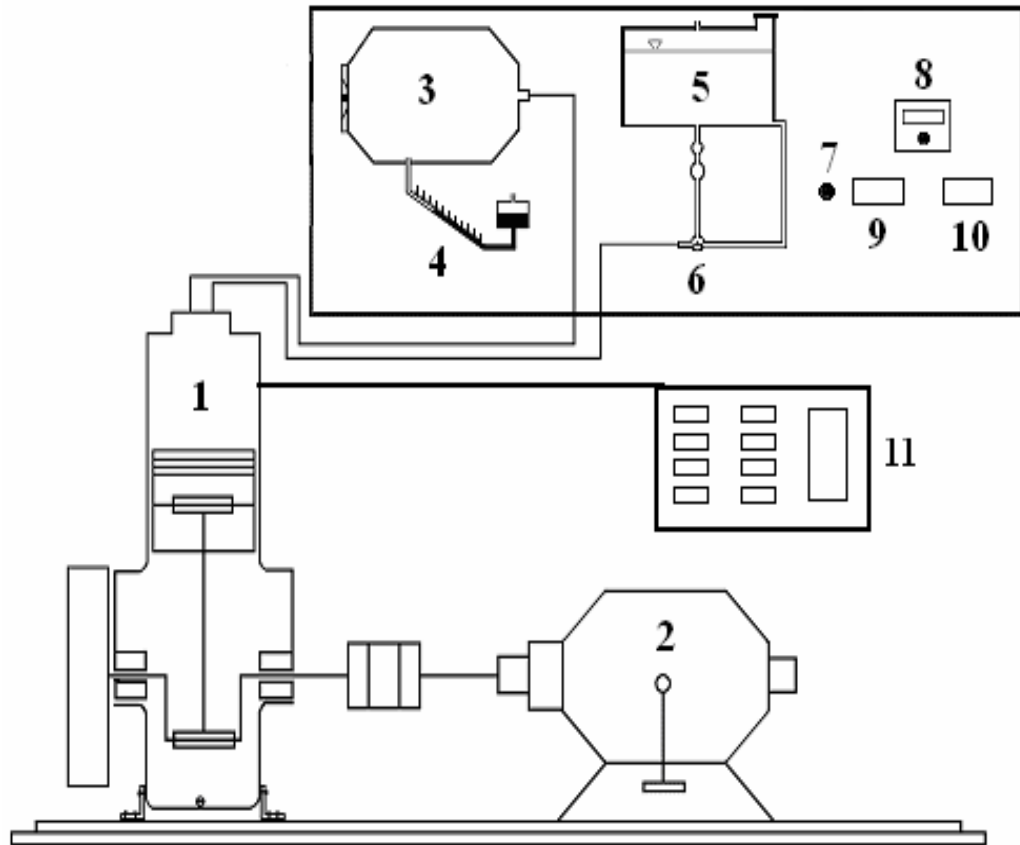


Resim 4.6. Kam mili ve dişli arasında bağlantıyı sağlayan flanş

4.4. Deneylerde Kullanılan Ölçü Aletleri

4.4.1. Dinamometre

Deneylerde Cussons P8160 marka elektrikli dinamometreye sahip deney seti kullanılmıştır (Şekil 4.3). Deney seti ile motor momenti, yakıt ve hava tüketimleri ve motor devri ölçülebilmektedir.



Şekil 4.3. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

- | | | |
|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1. Deney motoru | 2. Dinamometre | 3. Hava tankı |
| 4. Eğik manometre | 5. Yakıt deposu | 6. Yakıt kontrol vanası |
| 7. Hız kontrol düğmesi | 8. Sıcaklık göstergesi | 9. Motor hızı göstergesi |
| 10. Kuvvet göstergesi | 11. Egzoz gaz analizörü | |

4.4.2. Egzoz gaz analizörü

Egzoz emisyonlarının ölçümünde Resim 4.7’de görülen Sun MGA-1200 marka egzoz gaz analizörü kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Çizelge 4.2’de görülmektedir.



Resim 4.7. Sun MGA-1200 marka egzoz gaz analizörü

Çizelge 4.2. Sun MGA-1200 egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri

	Ölçüm Aralığı	Hassasiyeti
Hava Fazlalık Katsayısı (λ)	0,80 - 2,00	0,001
CO (% hacimsel)	0 - % 10	% 0,01
CO ₂ (% hacimsel)	0 - % 20	% 0,01
HC (ppm)	0 - 20000	1
O ₂ (% hacimsel)	0 - % 21	% 0,1

4.4.3. Kronometre

Deney düzeneğinde bulunan yakıt ölçme borusu içerisindeki yakıtın tüketilme süresinin ölçülmesinde ölçme hassasiyeti 1 salise olan Robic Sports SC - 700 marka kronometre kullanılmıştır.

4.5. Deneylerde Yapılan Ölçüm ve Hesaplamalar

Ölçümlere başlanmadan önce deney motorunun ayarları kontrol edildikten sonra motor çalışma sıcaklığına getirilmiştir.

4.5.1. Deney motorunun moment ve gücünün ölçülmesi

Motor ölçüm yapılacak devir ve yüklerde çalışırken dinamometre üzerinden ölçülen kuvvet değeri okunmuştur. Her bir devir için göstergede okunan kuvvet değeri dinamometre moment kol uzunluğu (0,25 m) ile çarpılarak o devirdeki motor momenti hesaplanmıştır (Eş. 4.1).

$$M_e = F.L \quad (4.1)$$

Burada;

M_e : Moment (Nm)

F : Kuvvet (N)

L : Dinamometrenin moment kol uzunluğu (0,25 m)'dur.

Örnek olarak standart emme supabı kapanma zamanına sahip olan kam ile yapılan deneylerde 2400 d/d motor devrinde göstergeden okunan kuvvet 113,2 N'dur. Bu değeri Eş. 4.1.'de yerine yazarsak;

$$Me = 113,2 \cdot 0,25$$

$$Me = 28,3 \text{ Nm}$$

olarak hesaplanır.

Motor gücü ise moment ve motor devrine bağlı olarak Eş. 4.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$N_e = \frac{M_e . n}{9549} \quad (4.2)$$

Burada;

N_e : Motor gücü (kW)

n : Motor devri (d/d)'dir.

Örnek olarak standart emme supabı kapanma zamanına sahip olan kam ile yapılan deneylerde 2400 d/d motor devrinde hesaplanan moment değeri (28,3 Nm) Eş. 4.2'de yerine yazılırsa;

$$N_e = \frac{28,3 . 2400}{9549}$$

$N_e = 7,112$ kW olarak hesaplanır.

4.5.2. Yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketiminin ölçülmesi

Deney şartları altında motorun yakıt ölçme borusundaki (10 ml) yakıtı ne kadar sürede tükettiği kronometre ile belirlenerek motorun saatteki yakıt tüketimi hacimsel olarak ölçülmüştür.

10 ml = 0,01 lt

Benzinin yoğunluğu =0,735 kg/lt olarak alındığı zaman,

0,01 lt yakıt, 0,735 . 0,01 = 0,00735 kg olur.

2400 d/d motor devrinde 10 ml yakıt tüketimi için geçen süre 11,259 sn olarak ölçülmüştür. Buradan orantı ile;

0,00735 kg için	11,259 sn ise
B kg için	3600 sn dir.

buradan $B = 2,35$ kg/h bulunur (EK 2.1.).

Özgöl yakıt tüketimi ise,

$$be = \frac{B}{Ne} \cdot 1000 \quad (4.3)$$

olarak hesaplanmıştır. Burada;

b_e : Özgöl yakıt tüketimi (g/kWh)

B : Yakıt tüketimi (kg/h)'dır.

2400 d/d motor devri için hesaplanan yakıt tüketimi 2,35 kg/h ve güç 7,112 kW olduğuna göre Eş. 4.3 kullanılarak özgöl yakıt tüketimi buradan;

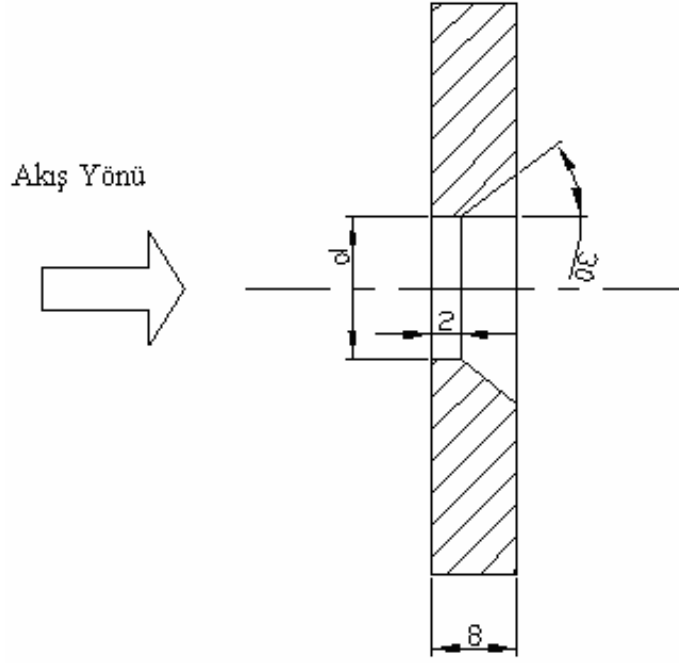
$$be = \frac{2,35}{7,112} \cdot 1000$$

$be = 330,40$ gr/kWh olarak hesaplanır.

4.5.3. Hava tüketimi ve volümetrik verim

Hava tüketiminin ölçülmesi için önce motora uygun hava akış venturi çapı hesaplanmış ve Şekil 4.4'de görülen venturi kullanılmıştır. Venturi çapının hesaplanmasında Eş. 4.4'ten faydalanılmıştır [43].

$$d = [Q_{\max}]^{0,5} \quad (4.4)$$



Şekil 4.4. Hava akış venturisi

Eş. 4.4'ten venturi çapı 23 mm olarak bulunmuştur. Ölçümler Şekil 4.3'deki 4 numara ile gösterilen eğik manometreden 'mm su sütunu' olarak alınmıştır. Okunan değerler Eş. 4.5'te yerine konularak lt/dak olarak her devir için motorun tükettiği gerçek hava miktarı hesaplanmıştır.

$$Q_{gerçek} = 0,1123.d^2\sqrt{h} \quad (4.5)$$

Burada;

$Q_{gerçek}$: Motorun tükettiği hava miktarı (L/dak)

d : Venturi çapı (mm)

h : Manometredeki su sütunu yüksekliği (mm)'dir [43].

Örnek olarak standart emme supabı kapanma zamanına sahip olan kam ile yapılan deneylerde 2400 d/d motor devrinde hava tüketimi Eş. 4.5 kullanılarak;

$$Q_{gerçek} = 0,1123.23^2\sqrt{32}$$

$$Q_{gerçek} = 336,055 \text{ L/dak}$$

olarak hesaplanır.

Motorun volümetrik verimi, gerçek hava tüketiminin, teorik olarak motorun tüketmesi gereken hava miktarına bölünerek % olarak hesaplamıştır (Eş. 4.6).

$$\eta_v = \frac{Q_{gerçek}}{Q_{teorik}} \quad (4.6)$$

Teorik hava tüketimi ise Eş. 4.7'den hesaplanmıştır.

$$Q_{teorik} = V_h \cdot \frac{n}{2} \quad (4.7)$$

Burada;

V_h : Motorun silindir hacmi (dm³)

n : Devir sayısı (d/d)'dır.

2400 d/d motor devri için teorik hava tüketimi Eş.4.7'den;

$$Q_{teorik} = 0,487 \cdot \frac{2400}{2}$$

$$Q_{teorik} = 584,4 \text{ L/dak}$$

olarak bulunur. Buradan 2400 d/d motor devrinde standart emme supabı kapanma zamanına sahip kam ile yapılan deneyde volümetrik verim Eş. 4.6 kullanılarak;

$$\eta_v = \frac{336,055}{584,4}$$

$\eta_v = \%57,50$ olarak hesaplanır.

4.5.4. Egzoz emisyonlarının ölçülmesi

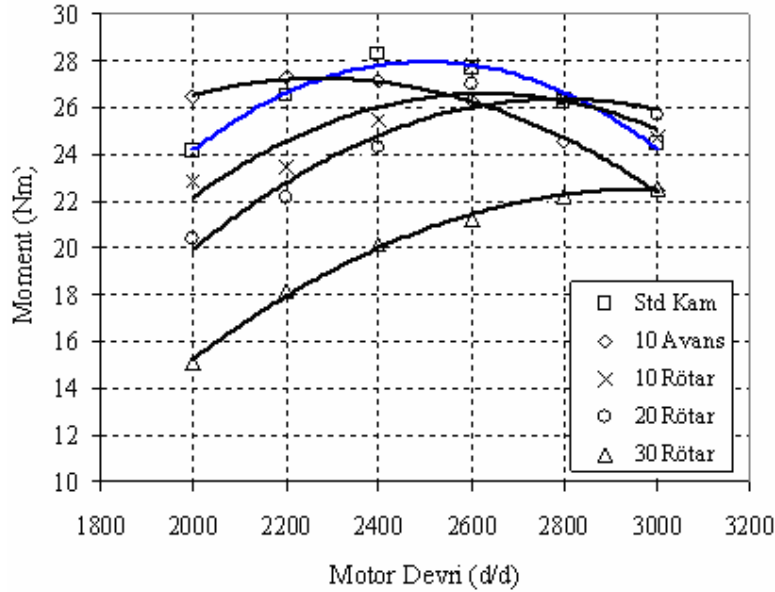
Sun MGA-1200 marka egzoz gaz analizörü, ilk açılışta 15 dakikalık bir sürede kendini kalibre etmektedir. Ölçme işleminden önce analizörün egzoz ölçme probu motorun egzoz borusuna takılmıştır. Motor normal çalışma şartlarına getirildikten sonra verilen devir aralıklarında egzoz emisyonlarının ölçümü yapılmıştır.

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneyler 2000-3000 d/d motor devri aralığında 200 d/d aralıklarla 6 farklı motor devrinde yapılmıştır. Tam gaz kelebek açıklığında yapılan deneylerde, emme supabının standart kapanma zamanı temel alınarak 10° KMA avanstan 30° KMA rötara kadar 10'ar derece KMA aralıklarla 5 farklı kapanma zamanı için, moment, volümetrik verim, güç, özgül yakıt tüketimi ile HC ve CO emisyonlarının değişimi elde edilmiştir.

5.1. Motor Momenti

Değişken emme supabı kapanma zamanlaması mekanizması ile sağlanan emme supabının 5 farklı kapanma değeri için motor devrine bağlı olarak elde edilen moment değişimleri Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1. Motor devrine bağlı olarak moment değişimi

Standart emme supabı zamanlaması için yapılan deneylerde maksimum motor momentleri 2400 d/d'da 28,3 Nm iken, bu devrin altındaki ve üstündeki devirlerde

silindir ierisine alınan dolgu miktarındaki azalmaya bağlı olarak moment düşmektedir.

Düşük motor devirlerinde emme zamanının sonuna doğru, piston AÖN'dan ÜÖN'ya hareketine bağladığında silindir ierisine alınan dolgunun açık olan emme supabından emme manifolduna geri itilmesinin önüne geçmek amacıyla, emme supabı kapanma zamanının avansa alınması ile silindir ierisine alınan dolgu miktarında artış sağlanmaktadır. Buna bağlı olarak düşük devirlerde motor momentinde iyileşme meydana gelmektedir. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi, 2200 d/d'nın altındaki motor devirlerinde emme supabı kapanma zamanının 10° KMA avansa alınmasıyla standart supap zamanlamasına göre motor momentinde artış meydana gelmektedir. Bu artış 2000 d/d motor devrinde %10 kadardır. 2400 d/d'dan yüksek devirlerde ise emme supabının avansa alınması durumunda elde edilen motor momenti standart emme supap zamanlaması eğrisinin altına düşmekte ve 10° KMA avans için 3000 d/d'da momentte % 8'lik bir kayba neden olmaktadır (Şekil 5.1).

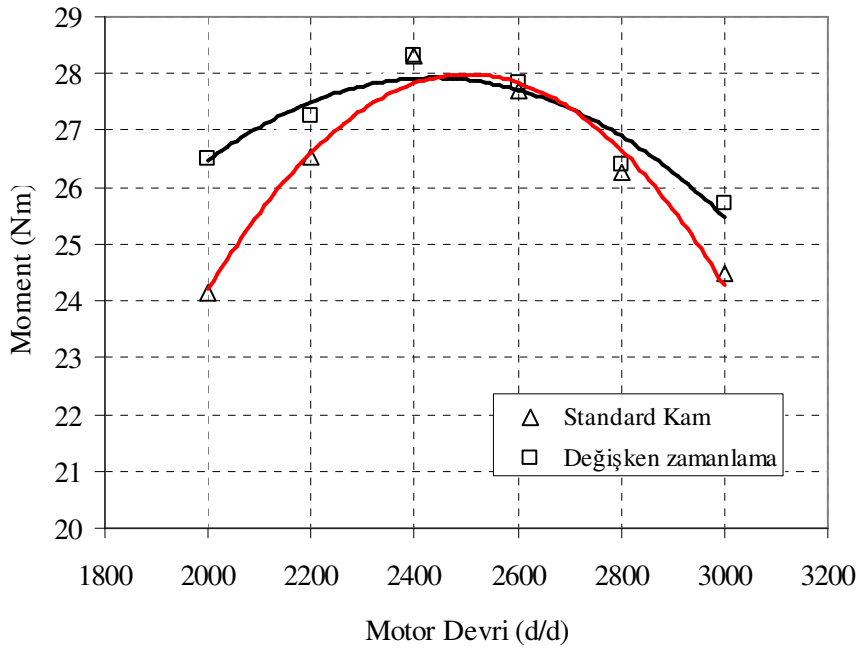
Emme supabı kapanma zamanının kademeli olarak rötara alınmasıyla ise yüksek devirlerde dolgunun artan kinetik hızı sebebiyle daha fazla dolgu yapılması sağlanmaktadır. Yüksek devirlerde silindir ierisine daha fazla dolgu alınması motor momentinin de artmasını sağlamaktadır. 3000 d/d motor devrinde, standart kapanma zamanı ile karşılaştırıldığında 20° KMA rötär için momentte %4,6 artış sağlanmışır. Bununla birlikte emme supabı AÖN'dan sonra çok uzun süre açık tutulursa motor momentinde düşüş meydana gelmektedir. 3000 d/d motor devrinde emme supabı kapanma zamanı 30° KMA rötara alındığında motor momentinde %8 azalma meydana gelmiştir.

Düşük motor devirlerinde emme supabı kapanma zamanının geciktirilmesi moment üzerinde negatif etki yapmaktadır. Moment 2000 d/d'da 20° KMA rötär için 20,4 Nm ye, 30° KMA rötär için ise 15,11 Nm ye kadar düşerek standart emme supabı kapanma zamanlamasına göre % 37'lik bir kayba neden olmaktadır.

Emme supabı kapanma zamanı kademeli olarak rötara alındığında maksimum momentin elde edildiği motor devri de, standart supap zamanlamasında maksimum

momentin elde edildiği devre göre yükselmektedir. 10° KMA rötär için maksimum moment 2600 d/d'da elde edilirken 20° KMA rötär için 2800 d/d'da elde edilmektedir.

Şekil 5.2'de her devirde en yüksek motor momentini veren kam profili kullanılarak elde edilen moment eğrisi ile standart supap zamanlaması ile elde edilen moment eğrileri motor devrine bağlı olarak verilmiştir. Değişken supap zamanlaması mekanizması ile standart emme supabı kapanma zamanına göre motor momentinde düşük devirlerde (2000 d/d) %10, yüksek devirlerde ise (3000 d/d) % 4,6 artış sağlanmıştır.

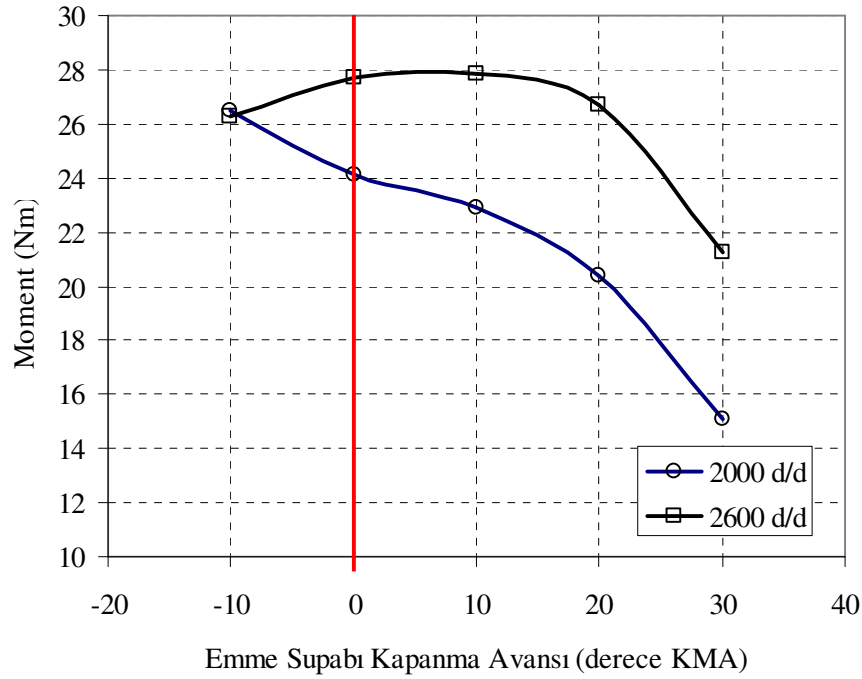


Şekil 5.2. Değişken ve standart supap zamanlaması mekanizmaları ile elde edilen motor devrine bağlı olarak moment değişimi

Şekil 5.3'de 10° KMA avanstan 30° KMA rötara kadar her bir emme supabı kapanma zamanı için 2000 d/d ve 2600 d/d motor devirlerinde moment değişimleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, emme supabı kapanma zamanı kademeli olarak avanstan rötara alındığında 2000 d/d motor devrinde moment düşerken, 2600 d/d

motor devrinde 10° KMA rötör kademesine kadar artmakta ve buradan 20° KMA rötara kadar 1,2 Nm kadar az bir kayıpla devam etmekte ve daha sonra düşmektedir.

Yüksek devirlerde emme supabı kapanma zamanının kademeli olarak rötara alınmasıyla standart emme supabı zamanlamasına göre momentte artış, düşük devirlerde ise kademeli olarak avansa alınmasıyla momentte artış sağlanmaktadır.

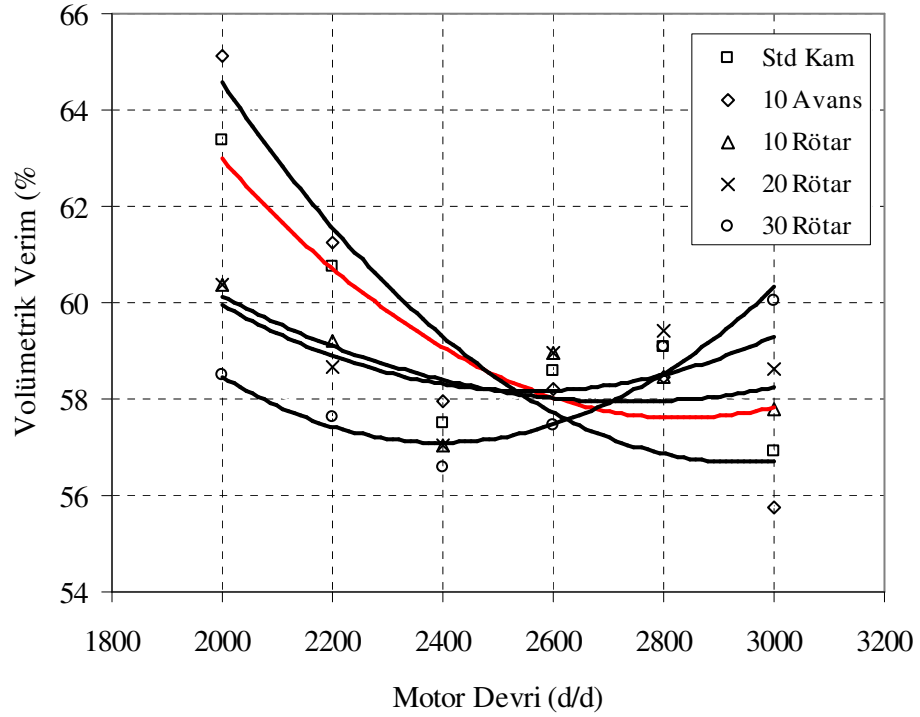


Şekil 5.3. Emme supabı kapanma zamanına bağlı olarak moment değişimi

5.2. Volümetrik Verim

Şekil 5.4’de emme supabının 5 farklı kapanma zamanı için motor devrine bağlı olarak volümetrik verim değişimi görülmektedir. Düşük motor devirlerinde dolgunun kinetik hızının düşük olması sebebiyle, emme supabı kapanma zamanı AÖN’ya yaklaştırıldığında içeriye alınan dolgunun ÜÖN’ya hareket eden piston tarafından emme manifolduna geri gönderilmesinin önlenmekte ve volümetrik verim artmaktadır. Motorun standart emme supabı kapanma zamanında yapılan deneylerde volümetrik verim 2000 d/d motor devrinde %63,38 iken, aynı devir için emme

supabı kapanma zamanı 10° KMA avansa alındığında volümetrik verim %65,12 olmakta ve %2,7'lik bir artış meydana gelmektedir. Motor devri arttıkça emme supabı kapanma zamanının avansa alınması volümetrik verimi ters yönde etkilemekte ve volümetrik verim düşmektedir. Emme supabı kapanma zamanı 10° KMA avansa alındığında 3000 d/d motor devrinde volümetrik verimdeki düşüş %2,5 olmaktadır.

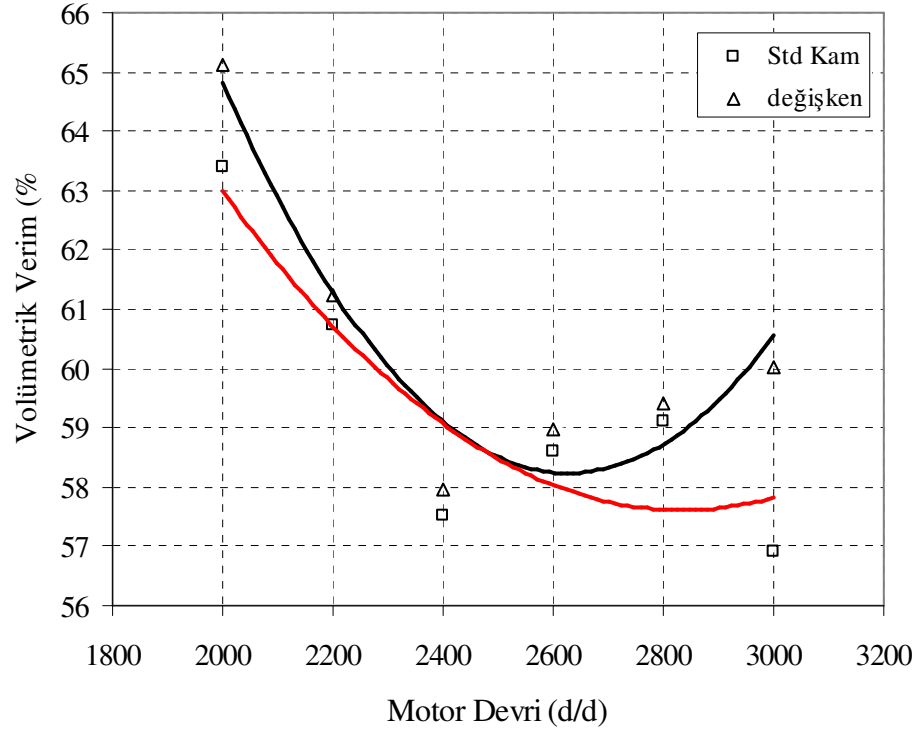


Şekil 5.4. Motor devrine bağlı olarak volümetrik verimin değişimi

Emme supabı kapanma zamanı kademeli olarak rötara alındığında düşük devirlerde silindir içerisine alınan dolgunun kinetik hızının düşük olmasından dolayı standart emme supabı kapanma zamanına göre volümetrik verimde düşüş meydana gelmektedir.

Yüksek motor devirlerinde ise emme supabı standart emme supabı kapanma zamanına göre rötara alındığında dolgunun kinetik enerjisinin yüksek oluşuna bağlı olarak piston AÖN'yı geçtikten sonra dahi dolgunun silindirlere akışı devam etmektedir. Bu sebeple silindir içerisine daha fazla dolgu alındığından volümetrik

verimde artış meydana gelmekte ve elde edilen volümetrik verim eğrisi standart emme supabı kapanma zamanında elde edilen eğrinin üzerine çıkmaktadır.



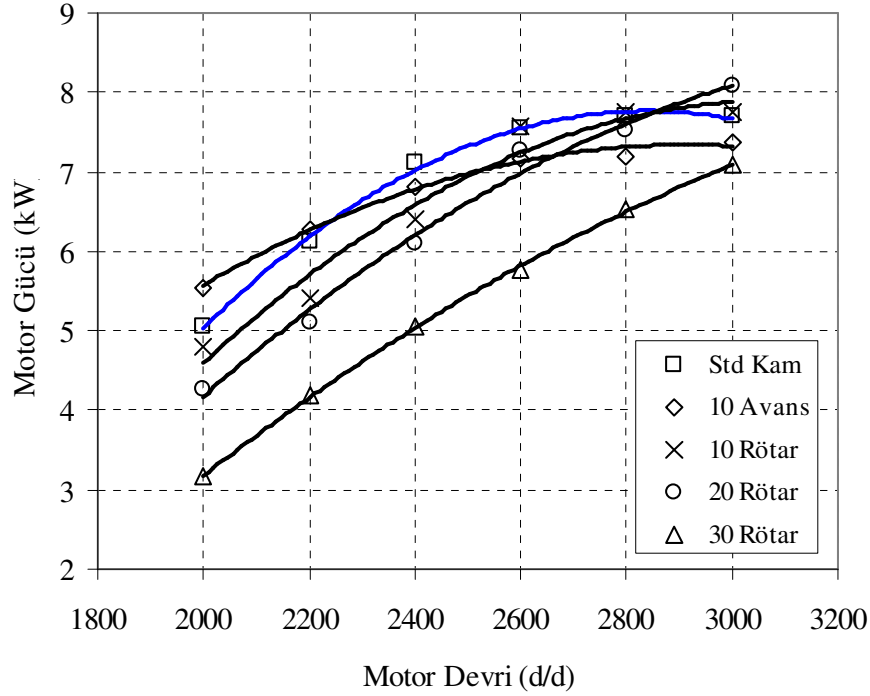
Şekil 5.5. Değişken ve standart supap zamanlaması mekanizmaları ile elde edilen motor devrine bağlı olarak volümetrik verimin değişimi

3000 d/d motor devrinde standart emme supabı kapanma zamanında yapılan deneylerde volümetrik verim %56,9 iken emme supabı kapanma zamanı 30° KMA rötara alındığında volümetrik verim %60 olmakta ve % 5,5'lik bir artış olmaktadır.

Şekil 5.5'de görüldüğü gibi emme supabı kapanma zamanı motor devrine bağlı olarak değiştirilip her devir için en uygun emme supabı kapanma zamanı seçildiğinde elde edilen volümetrik verim eğrisi her devir için standart emme supabı kapanma zamanında elde edilen volümetrik verim eğrisinin üzerinde olmaktadır.

5.3. Motor Gücü

Şekil 5.6’da emme supabının 5 farklı kapanma zamanı için motor devrine bağlı olarak motor gücünün değişimi görülmektedir.



Şekil 5.6. Motor devrine bağlı olarak motor gücünün değişimi

Şekil 5.6’da görüldüğü gibi motor gücü motor devrine bağlı olarak artmaktadır. Düşük motor devirlerinde sabit bir devir için emme supabı kapanma zamanı standart emme supabı kapanmasına göre avansa alındığında motor momentindeki artışına bağlı olarak motor gücü de artmaktadır. Standart supap zamanlaması için yapılan ölçümlerde maksimum motor gücü 3000 d/d motor devrinde 7,70 kW olarak elde edilmiştir. Standart emme supabı kapanma zamanı için motor gücü 2000 d/d’da 5,05 kW iken, emme supabı kapanması 10° KMA avansa alındığında 5,55 kW’a çıkarak %10 artış sağlanmıştır. Motor devri arttığında ise emme supabı kapanma zamanının avansa alınmasıyla elde edilen kazanç silindirlere alınan dolgu için yeterli sürenin olmamasına bağlı olarak azalmakta ve 2200 d/d’dan sonra emme supabı kapanma

zamanı avansa alınarak elde edilen güç eğrisi standart emme supabı zamanlamasında elde edilen güç eğrisinin altına düşmektedir.

Emme supabı kapanma zamanı kademeli olarak rötara alındığında düşük motor devirlerinde elde edilen güç standart supap zamanlamasına göre düşmektedir. 2000 d/d'da standart emme supabı için yapılan ölçümlerde ölçülen güç 5,05 kW iken, 30° KMA rötär için ölçülen güç 3,164 kW'a kadar düşerek %37'lik bir kayba sebep olmaktadır.

Motor devri arttıkça emme supabı kapanma zamanı kademeli olarak rötara alındığında ise, orta devirlerde güç standart emme supabı kapanma zamanıyla elde edilen güç eğrisine yaklaşmakta ve yüksek devirlerde dolgunun kinetik hızındaki artışa da bağlı olarak bu eğrinin üzerine çıkmaktadır.

3000 d/d motor devrinde yapılan ölçümlerde standart emme supabı kapanma zamanında elde edilen güç 7,70 kW iken emme supabı kapanması 20° KMA rötara alındığında elde edilen güç 8,02 kW'a çıkmış ve % 4,6'lık bir kazanç sağlanmıştır.

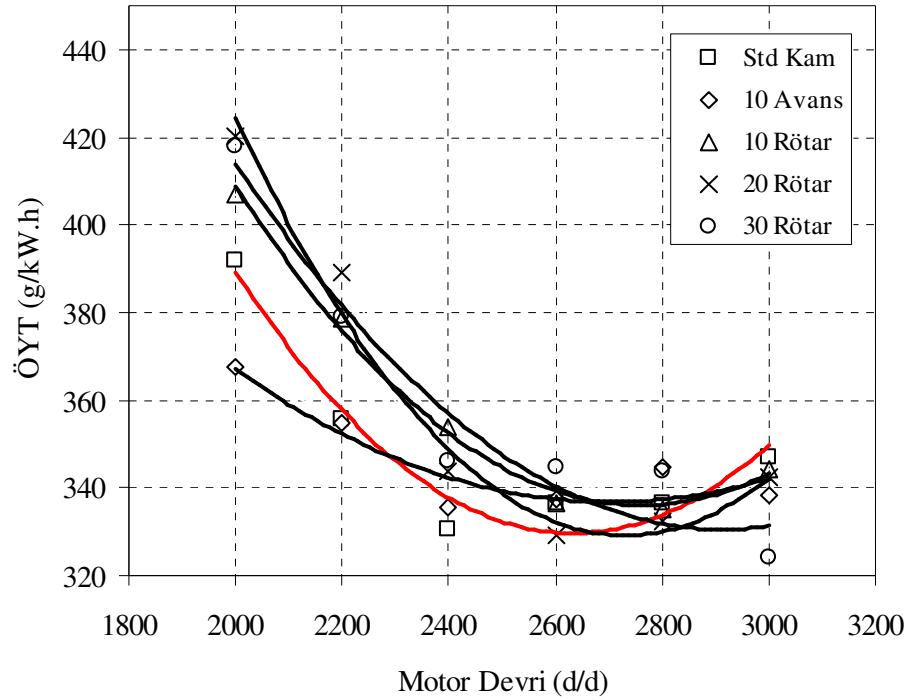
Düşük devirlerde emme supabı zamanlaması avansa alınarak silindirlere alınan dolgu miktarı artırılmakta ve buna bağlı olarak motor gücünde de artış görülmektedir. Yüksek devirlerde ise silindirlere alınan dolgu miktarının ve dolayısıyla motor gücünün artırılması için emme supabı kapanma zamanı rötara alınmaktadır.

5.4. Özgöl Yakıt Tüketimi

Şekil 5.7'de emme supabının 5 farklı kapanma zamanı için motor devrine bağlı olarak özgöl yakıt tüketimi eğrileri görülmektedir.

Şekil 5.7'de görüldüğü gibi standart emme supabı kapanma zamanına sahip kam ile yapılan deneylerde özgöl yakıt tüketimi 2000 d/d'da 391,855 g/kWh iken 2600 d/d'da 336,488 g/kWh'a kadar düşmekte bu devirden sonra tekrar yükselmektedir. Emme supabı zamanlaması standart supap kapanma zamanına göre avansa

alındığında özgül yakıt tüketimi düşük devirler için standart supap kapanma zamanında elde edilen özgül yakıt tüketimi eğrisinin altına düşmekte, 2200 d/d'dan daha yüksek motor devirlerinde ise artmaktadır. 2000 d/d motor devrinde standart emme supabı zamanlaması için özgül yakıt tüketimi 391,855 g/kWh iken, emme supabı kapanma zamanı 10° KMA avansa alındığında özgül yakıt tüketimi 367,546 g/kWh olmakta ve %6'lık bir azalma meydana gelmektedir.



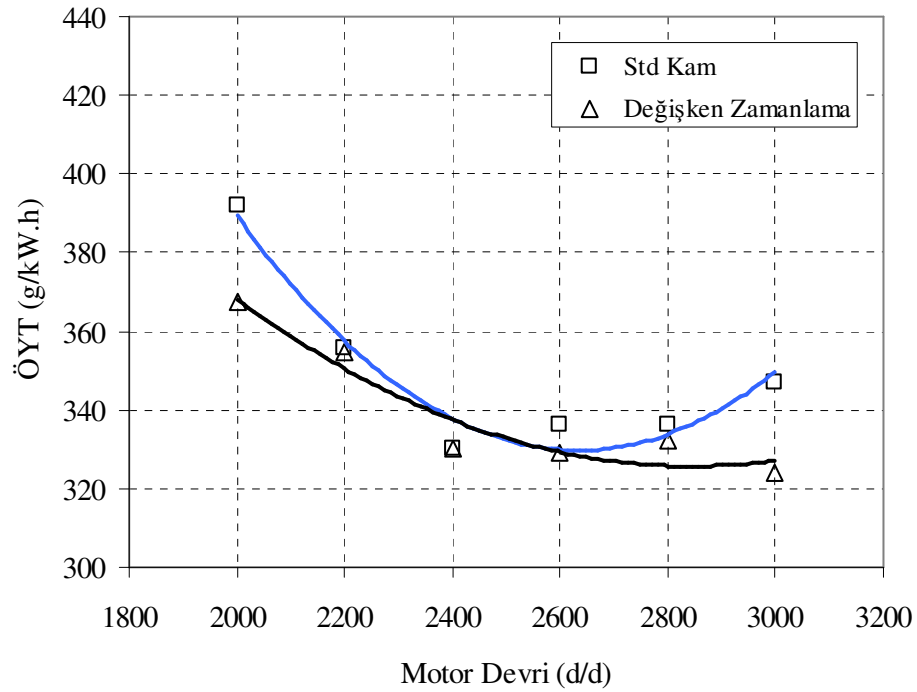
Şekil 5.7. Motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin değişimi

Düşük motor devirlerinde emme supabı kapanma zamanı kademeli olarak rötara alındığında ise, özgül yakıt tüketimi motor gücündeki düşüğe bağlı olarak standart zamanlama ile elde edilen özgül yakıt tüketimi eğrisinin üzerine çıkmaktadır. 2800 d/d motor devrinden yüksek devirlerde ise özgül yakıt tüketimi eğrisi motor gücündeki artış ile birlikte standart emme supabı kapanma zamanında elde edilen eğrinin altına düşmektedir.

2200 d/d'da standart emme supabı kapanma zamanında elde edilen özgül yakıt tüketimi 355,909 g/kWh iken, kapanma zamanı 20° KMA rötara alındığında 389,171 g/kWh olmakta ve %9,34' lük bir artış görülmektedir.

Şekil 5.8'de ölçüm yapılan her motor devrinde en düşük özgül yakıt tüketimini veren emme kam profili kullanılarak elde edilen özgül yakıt tüketimi eğrisi ve standart supap zamanlaması ile elde edilen özgül yakıt tüketimi eğrileri motor devrine bağlı olarak verilmiştir.

Şekilde görüldüğü gibi 2000 d/d motor devrinde değişken supap zamanlaması mekanizması ile özgül yakıt tüketiminde %6,2'lik bir düşüş sağlanmıştır. 3000 d/d motor devrinde ise emme supabı kapanma zamanı 30° KMA rötara alındığında özgül yakıt tüketimi 323,946 g/kWh olmakta ve aynı devirdeki standart emme supabı zamanlamasında ölçülen özgül yakıt tüketimine göre %6'lık bir azalma meydana gelmektedir.

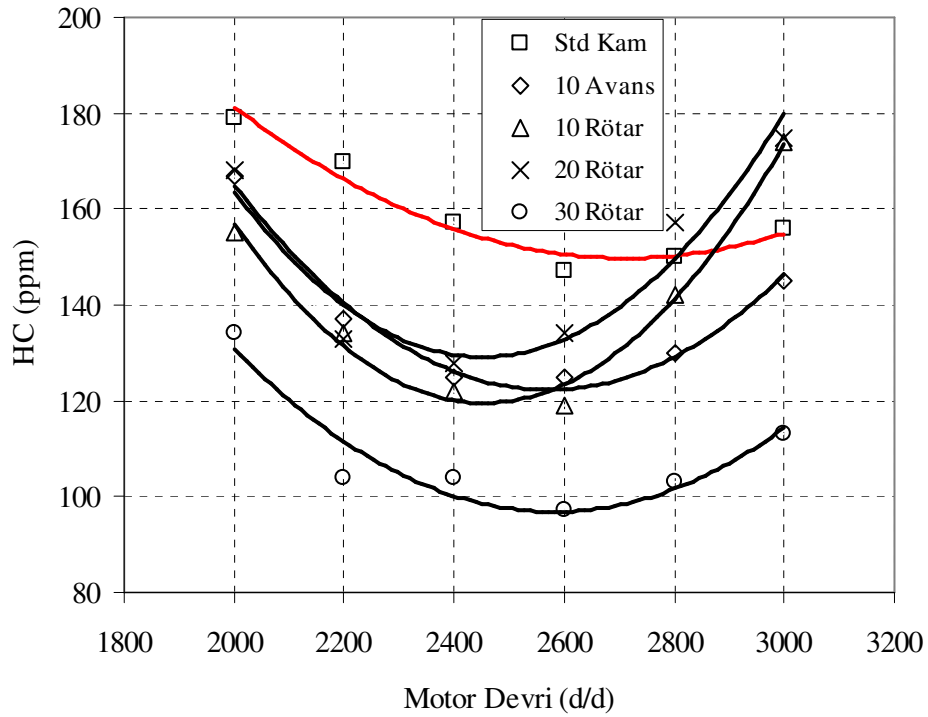


Şekil 5.8. Değişken ve standart supap zamanlaması mekanizmaları ile elde edilen motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi

5.5. Egzoz Emisyonları

5.5.1. Hidrokarbon (HC) emisyonları

Şekil 5.9’da emme supabının 5 farklı kapanma zamanı için motor devrine bağlı olarak HC emisyonlarının değişimi görülmektedir.



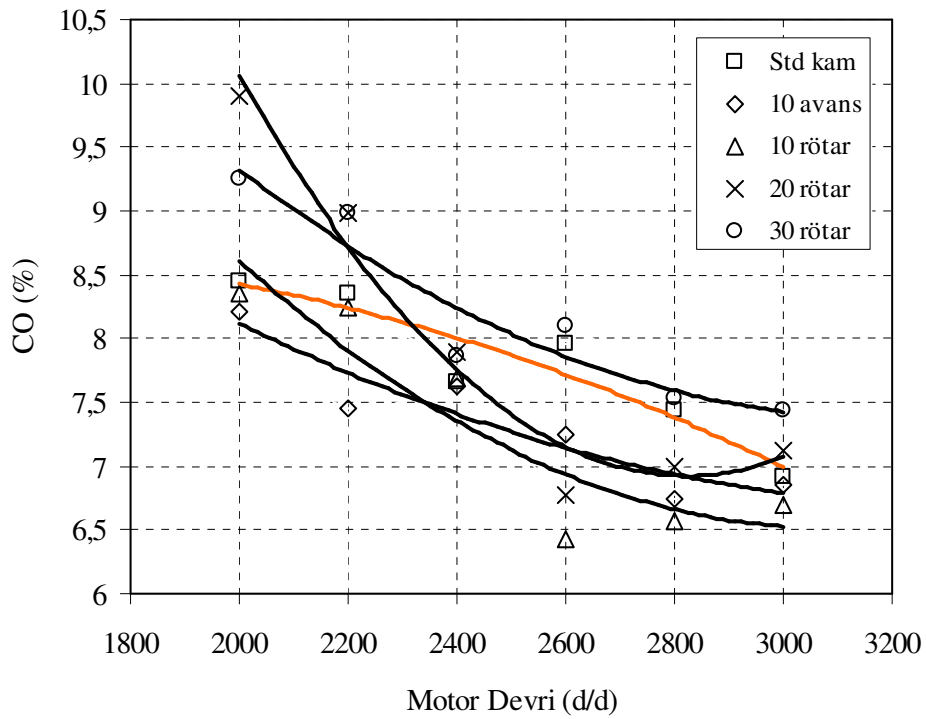
Şekil 5.9. Motor devrine bağlı olarak HC emisyonlarının değişimi

Emme supabı kapanma zamanı kademeli olarak rötara alındığında HC emisyonları silindir içerisindeki yanmanın iyileşmesine bağlı olarak azalmaktadır. 2000 d/d motor devrinde standart emme supabı kapanma zamanı için yapılan deneyde HC emisyonları 179 ppm iken, emme supabı kapanma zamanı 30° KMA rötara alındığında 134 ppm’e düşmektedir. 2800 d/d motor devrinin üzerindeki devirlerde emme supabı kapanma zamanının 10° ve 20° KMA rötär durumu için HC emisyonları standart emme supabı kapanma zamanında elde edilen eğrinin üzerine çıkmaktadır. Emme supabı kapanma zamanı standart zamanlamaya göre 30° KMA rötara alındığı durumda ise 3000 d/d motor devrinde ölçülen HC emisyonları standart

emme supabı kapanma zamanında ölçülen HC emisyonlarından %27,5 daha düşüktür.

5.5.2. Karbonmonoksit (CO) emisyonları

Şekil 5.10'da emme supabının 5 farklı kapanma zamanı için motor devrine bağlı olarak CO emisyonlarının değişimi görülmektedir.



Şekil 5.10. Motor devrine bağlı olarak CO emisyonları değişimi

Şekil 5.10'da da görüldüğü gibi CO emisyonları motor devrine bağlı olarak önce azalmakta orta motor devirlerinden sonra tekrar artmaktadır. Değişken emme supabı kapanma zamanlaması kullanılarak silindir içerisine alınan dolgu miktarında artış sağlanmakta ve buna bağlı olarak gerçek sıkıştırma oranının artışı ile birlikte yanmada iyileşme meydana gelmektedir. CO emisyonları yanma verimindeki artışa bağlı olarak bir miktar azalmaktadır. 2000 d/d motor devrinde standart emme supabı kapanma zamanı için CO emisyonları %8,44 iken emme supabı kapanma zamanı 10° KMA avans durumuna alındığında %8,21'e düşmektedir. Emme supabı kapanma

zamanı 20° ve 30° KMA rötara alındığı durumlarda düşük ve yüksek devirlerde CO emisyonları standart emme supabı kapanma zamanlaması ile elde edilen CO emisyonlarının üzerine çıkmaktadır. 3000 d/d motor devrinde ise standart emme supabı kapanma zamanlaması ile elde edilen CO emisyonları %6,92 iken emme supabı kapanma zamanı 10° KMA rötör durumuna alındığında %6,70 olmaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tek silindirli, dört zamanlı, buji ile ateşlemeli bir motorda, emme supabı kapanma zamanının 10° KMA avanstan başlayıp 10° KMA aralıklarla 30° KMA rötara kadar değişimini sağlayan bir değişken supap zamanlaması mekanizmasının tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Beş farklı emme supabı kapanma zamanı için, tam gaz kelebek açıklığında yapılan deneylerde, motor devrine bağlı olarak moment, volumetik verim, güç, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının değişimi incelenmiştir.

Düşük devirlerde emme supabı kapanma zamanı standart kapanma zamanına göre avansa alındığında silindir içersine alınan dolgu miktarındaki artışa bağlı olarak volumetrik verimde, buna bağlı olarak da motor momenti ve gücünde artış olduğu görülmüştür. Bu artış 2000 d/d motor devri için moment ve güçte %10 kadardır. Ayrıca, düşük motor devirlerde volumetrik verim ve güçteki artışa bağlı olarak özgül yakıt tüketiminde de %6'lık bir iyileşme meydana gelmiştir.

Yüksek motor devirlerinde ise emme supabının açılma zamanı sabit tutulup kapanma zamanı kademeli olarak rötara alındığında emme zamanının genişletilmesi ve silindirlere alınan dolgunun kinetik enerjisinden de faydalanılarak daha fazla yakıt/hava karıymışı silindirlere alınmıştır. Buna bağlı olarak yüksek motor devirlerinde volumetrik verim de %5,46, moment ve güçte %4,6 ve özgül yakıt tüketiminde %6,6 iyileşme olduğu görülmüştür. Emme supabı kapanma zamanı rötara alındığında düşük motor devirlerinde silindire alınan karışımın hızının düşmesine bağlı olarak volumetrik verimde azalma görülmüştür.

HC emisyonları 2800 d/d motor devrinin altındaki devirlerde emme supabı kapanma zamanının 10° , 20° , 30° KMA rötara alındığı durumlarda standart emme supabı kapanma zamanıyla yapılan deneylerde elde edilen eğrinin altına düşmüştür. 3000 d/d motor devrinde emme supabı kapanma zamanı 30° KMA rötara alındığında HC emisyonlarında %27,5 azalma meydana gelmiştir. CO emisyonları ise emme supabı kapanma zamanı standart emme supabı kapanma zamanına göre 10° KMA rötara ve

10° KMA avansa alındığı durumlarda standart emme supabı zamanlaması ile elde edilen eğrinin altına düşmektedir.

Sonuç olarak, motorun bütün devir aralıklarında daha yüksek performans değerleri ile daha düşük özgül yakıt tüketiminin gerçekleştirilmesi için supap zamanlamasında sabit emme supabı kapanma zamanı yerine devre bağlı olarak sürekli değişen emme supabı kapanma zamanı sistemi kullanılmalıdır. Bunun gerçekleştirilmesi için düşük motor devirlerinde emme supabı kapanma zamanını standart emme supabı zamanlamasına göre avansa, yüksek devirlerde ise rötara alınmasını sağlayacak bir mekanizmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Moriya, Y., "A Newly Developed Intelligent Variable Valve Timing System-Continuously Controlled Cam Phasing as Applied to a New 3 Liter Inline Engine", *SAE Paper*, No: 960579, 92-97, (1996).
2. Sekmen, Y., "Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranının Değiştirilebilir Hale Getirilmesi ve Performansa Etkisinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-5, (2003).
3. Çelik, M. B., "Buji ile Ateşlemeli Bir Motorun Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 34-49, (1999).
4. Seiffert, U., Walzer, P., "Automobile Technology of the Future", *SAE Press*, 34-36, (1990).
5. Aman, A., Charles, A., "The Automotive Engine- A Future Perspective", *SAE Paper*, No: 891966, 1127-1128, (1989).
6. Maekawa, K., Ohsawa, N., "Development of a Valve Timing Control System", *SAE Paper*, No: 890680, 1297-1303, (1989).
7. Safgönül, B., "İçten Yanmalı Motorlar", İTÜ Makine Fakóltesi Otomotiv Anabilim Dalı, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 72-74, (1999).
8. Dresner, T., Barkan, P., "A Review and Classification of Variable Valve Timing Mechanisms", *SAE Paper*, No: 890674, 1275-1280, (1989).
9. Ahmad, T., Theobald, M. A., "A Survey of Variable Valve Actuation Technology, General Motors, *SAE Paper*, No: 891674, 872-879, (1989).
10. Gray, C., "A Review of Variable Engine Valve Timing", *SAE Paper*, No: 88038, 759-763, (1988).
11. Heywood, J. B., "Internal Combustion Engine Fundamentals", *McGraw-Hill Publishing Company*, New York, U.S.A., 122-136, (1988).
12. Bensinger, W. D., "Motor Konstrüksiyonu (Gaz Kumanda Elemanları)", *Güven Kitabevi*, Ankara, 49-55, (1974).
13. Binark, H., "Motor Konstrüksiyonu", *Marifet Matbaası*, İstanbul, 270-330, (1960).

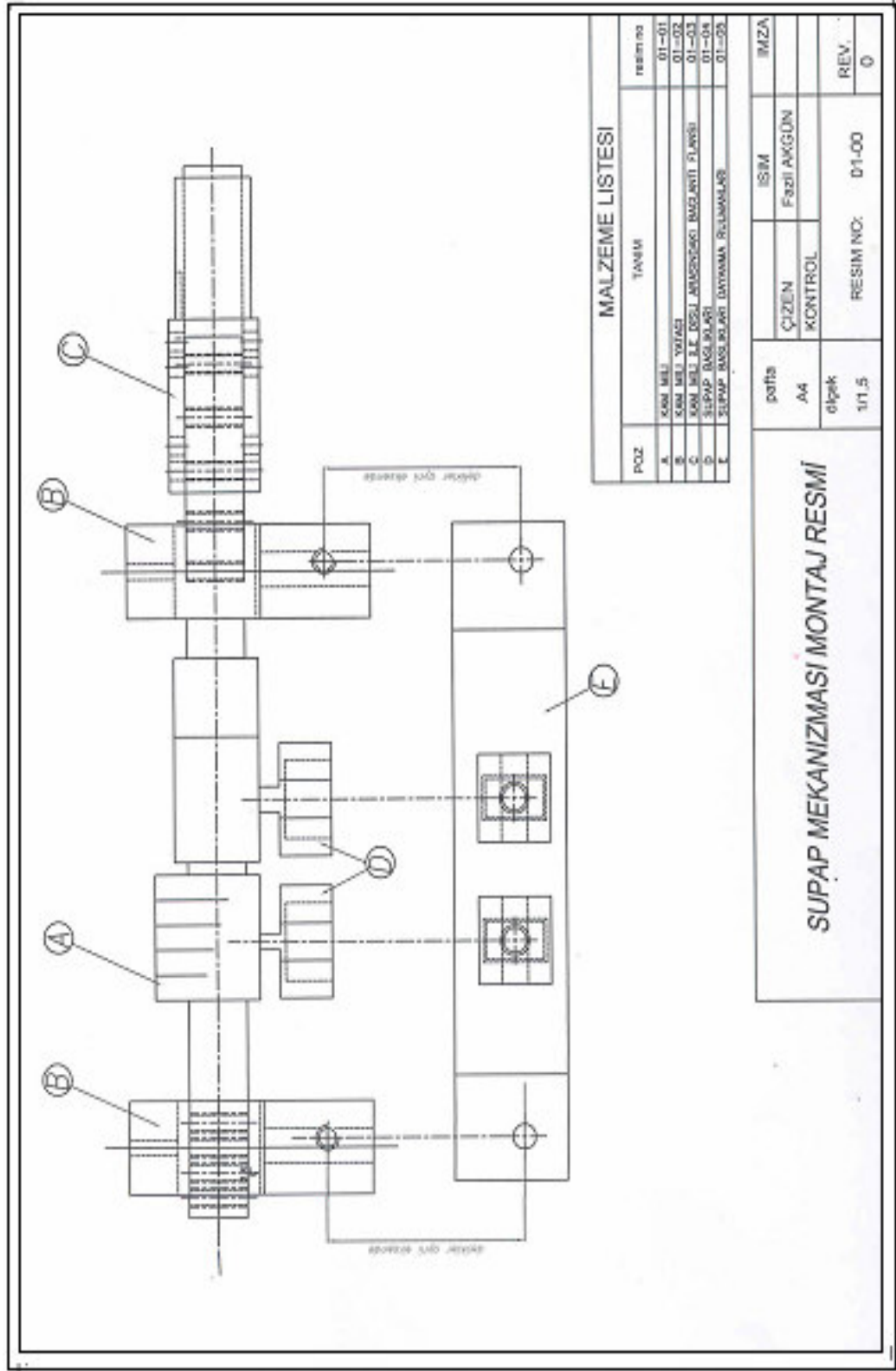
14. Sherman, R. H., Blumberg, P. N., “The Influence of Induction and Exhaust Processes on Emission and Fuel Consumption in the Spark Ignited Engine”, *SAE Paper*, No: 770880, 872-879, (1977).
15. Akbaş, A., “Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Değişken Supap Açıklığının ve Supap Zamanlamasının Motor Performansına Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 13-18, (2000).
16. Tsao, T.C., Tai, C., Stubbs, A., Hanson, A., Stephanopoulou A., “Electrohydraulic Valvetrains for Direct Injection Compression Ignition Camless Engine Operations”, Phase I Project Final Report, *Department of Energy CARAT Program, DOE DEFC02-98EE50540, Chicago*, 1-7, (2000).
17. Liston, J., “Aircraft Engine Design”, *Mc Graw-Hill Book Company*, New York, U.S.A., 176-183, (1942).
18. Asmus, T. W., “Valve Events and Engine Operation”, *SAE Paper*, No: 820749, 2-11, (1982).
19. Çınar, C., “Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Kam Geometrisinin Performansa Etkileri Üzerine Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-27, 42-50, (1998).
20. Arslan, R., Karagöz, İ., Avcı, A., “Emme Supaplarında Debi Katsayısı Değişimlerinin Deneysel İncelenmesi”, *5. Yanma Sempozyumu*, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 244-253, (1997).
21. Taylor, C. F., “The Internal Combustion Engine in Theory and Practice”, *The M.I.T.Press*, Volume 1, U.S.A., 212-218, (1994)
22. Wiedemann, H., Delarbre, P., Engelman, B., Krehl, M., Sigl, L. S., “Recent Developments in P/M Variable-Valve-Timing Systems for Automobiles”, *Sinterstahl GmbH Füssen*, Germany, 2-6, (2003).
23. Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., “İçten Yanmalı Motorlar”, Cilt 1, *D.A.Y.M. Matbaası*, , Ankara, 117-119, (1992).
24. Bassi, A., Arcari, F., Perrone, F., “C.E.M.- The Alpha Romeo Engine Management, System – Design Concept –Trends for The Future”, *SAE-Transaction*, 94(2), 738-768, (1985).
25. Arslan, R., Sürmen, A., Avcı, A., “Dizel Motorlarında Supap Zamanlamasının Volümetrik Verim Üzerine Etkilerinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi”, *5. Yanma Sempozyumu*, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 220-229, (1997).

26. Knecht, A., Stephan, W., Hannibal, W., “VaneCAM- The Third Generation of Camshaft Adjustment System”, *Motortechnische Zeitschrift Worldwide*, 63, 15-18, (2002).
27. Leone, T. G., Christenson, E. J., Stein, R. A., “Comparasion of Variable Camshaft Timing Strategies at Part Load”, *SAE Paper*, No: 960584, 664-674, (1996).
28. “Honda Servis Eğitim Notları”, Honda Eğitim Yayınları, İstanbul, 4-47, (1995).
29. Hosaka, T., Hamazaki, M., “Development of Variable Valve Timing and Lift (VTEC) Engine for the Honda NSX”, *SAE Paper*, No: 910008, 1-6, (1991).
30. TOFAŞ Eğitim Merkezi Yayınları, “Teknolojik Gelişmeler”, Ankara, 9-17, (1994).
31. Titolo, A., “The Variable Valve Timing System-Application on a V8 Engine”, *SAE Paper*, No: 91009, 7-11, (1991).
32. İcingür, Y., “Elektronik Kumandalı Supap Mekanizmaları”, *Endüstriyel Teknoloji Dergisi*, Ankara, 1(1): 21-24, (1994).
33. Scott, D., Yamaguchi, J., “International Viewpoints”, *Automotive Engineering*, 120-124, (1980).
34. Sellnau, M., Rask, E., “Two-Step Variable Valve Actuation for Fuel Economy, Emissions, and Performance”, *SAE Paper*, No: 2003-01-0029, 2-7, (2003).
35. Murata, S., Tanaka, H., Inoue, S., Inoguchi, T., Oka, T. ve Kutsuna, Y., “Development of New 2.4 L. Four-Cylinder MIVEC Engine”, *New Technologies*, 15: 59-62, (2003).
36. Pierik, J. R., Burkhard, F. J., “Design and Development of a Mechanical Variable Valve Actuation System”, *SAE Paper*, No: 2000-01-1221, 1-3, 6-8, (2000).
37. Haltenberger, S., “Vorrichtung zur Ventilverstellung”, Patent No. DE 368 775, (1918).
38. Kamış, Z., Yüksel, E., “Elektromekanik Supap Mekanizmalarında Tasarım Parametrelerinin İncelenmesi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Bursa, 9(2), 45-53, (2004).
39. Bohac, S. V., Assanis, D. N., “Effect of Exhaust Valve Timing on Gasoline Engine Performance and Hydrocarbon Emissions”, *SAE Paper*, 01-3058, 1-13, (2004).

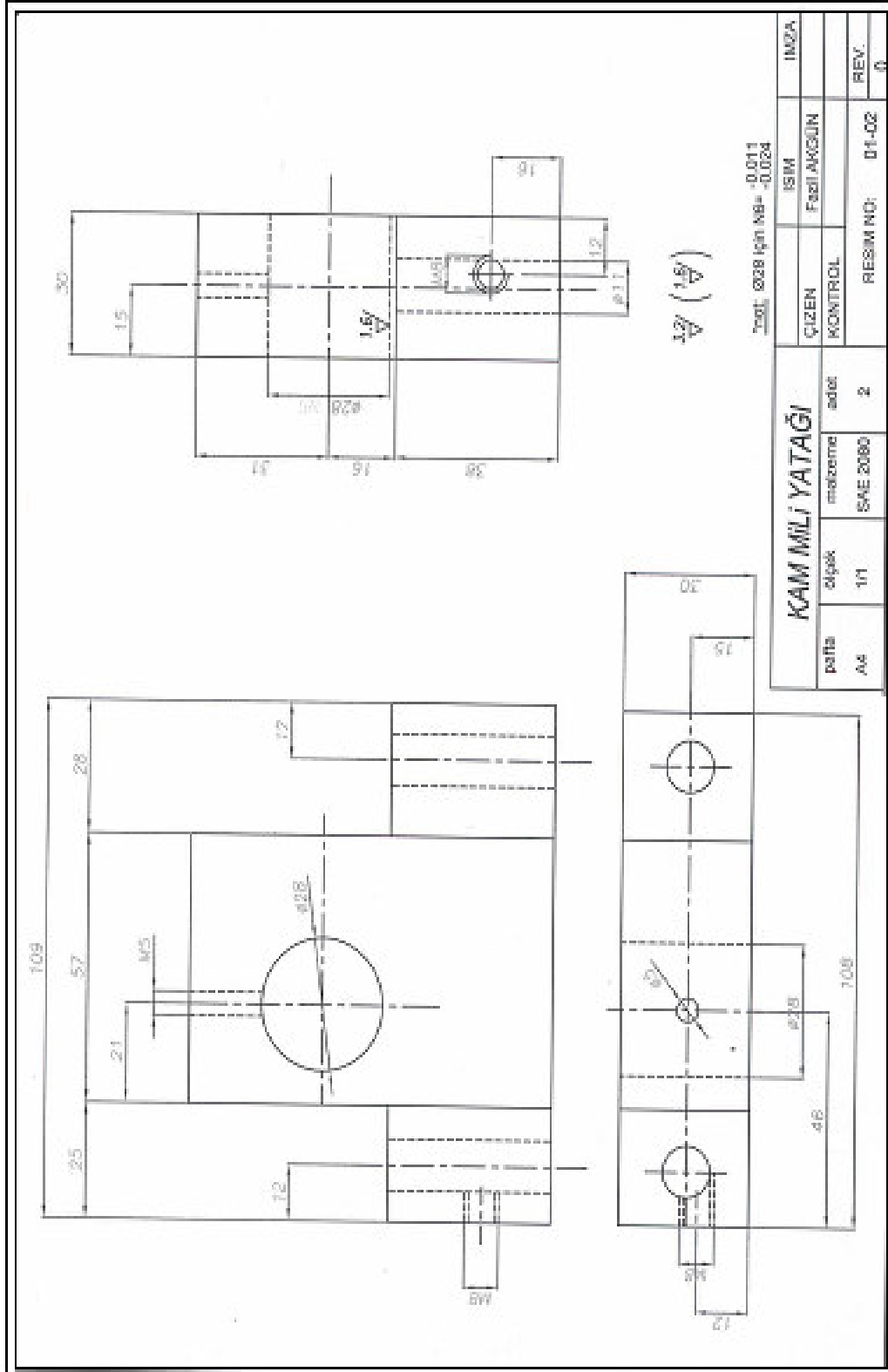
40. Kim, D. S., Cho, Y. S., "Effects of Cam Phase and Spark Retard to Increase Exhaust Gas Temperature in the Cold Start Period of an SI Engine", *International Journal of Automotive Technology*, 6(6), 585-590, (2005).
41. Nagaya, K., Kobayashi, H., Koike, K., "Valve Timing and Lift Control Mechanism for Engines", *Mechatronics*, 16, 121-129, (2006).
42. Li, L., Su, Y., Wang, Y., Tao, J., Xiao, M., "Development of an Electrical Control VVT System for High Speed SI Engines", *International Journal of Automotive Technology*, 115-119, (2001).
43. Cussons Ltd., "Instruction Manuel Technical Service Department", U.K., October 22, (1994).

EKLER

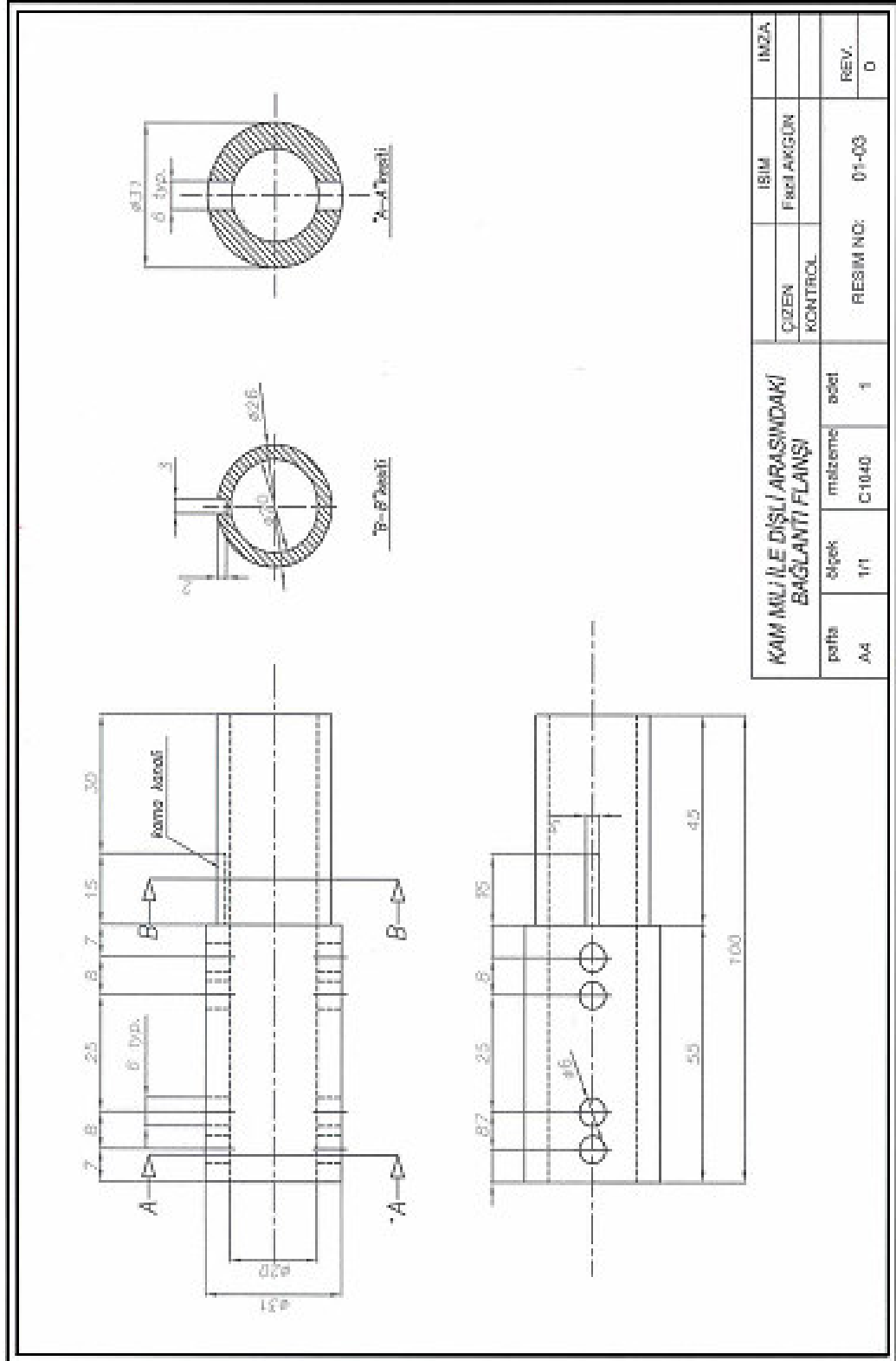
EK-1 Değişken supap mekanizması imalat resimleri



EK-1 (Devam) Değişken supap mekanizması imalat resimleri



EK-1 (Devam) Değişken supap mekanizması imalat resimleri



[illegible]

SUPAP BAŞLIKLARI				ISIM	İNZA
çizim	ölçek	malzeme	adet	ÇİZİM	
A4	1/1	SAE2080	1 er adet	KONTROL	
				RESİM NO:	REV.
				01-04	0

[illegible]

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKGÜN, Fazıl
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 26.03.1981 Balıkesir
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (555) 707 66 11
Faks :
E-mail : fazilakgun@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Eğitimi Bölümü	2003
Lise	Balıkesir Merkez Endüstri Meslek Lisesi	1997

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004 -2005		
Bahar Dönemi	Gazi Üniversitesi Atatürk MYO	Öğretim Görevlisi
2005 – 2006	Gazi Üniversitesi Atatürk MYO	Öğretim Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Futbol, Bilgisayar teknolojileri, Basketbol, Evcil hayvanlar