

**DEĐIŐKEN SUPAP ZAMANLAMASININ MOTOR PERFORMANSINA
ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

Fuat GÜN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2006
ANKARA**

Fuat Gün tarafından hazırlanan DEĞİŞKEN SUPAP ZAMANLAMASININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç.Dr.Atilla KOCA
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalından Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr.Veli ÇELİK

Üye : Prof.Dr.M.Sahir SALMAN

Üye : Doç.Dr.Atilla KOCA

Üye : Doç.Dr.H.Serdar YÜCESU

Üye : Doç.Dr.Yakup İÇİNGÜR

Tarih : 05.06.2006

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 orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Fuat GÜN

**DEĞİŞKEN SUPAP ZAMANLAMASININ MOTOR PERFORMANSINA
ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Fuat GÜN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2006**

ÖZET

Bu çalışmada sabit supap zamanlaması ile değişken supap zamanlamasının farklılıkları incelenmiştir. Bunu sağlayabilmek için değişken supap zamanlamasına sahip bir taşıt motorunun motor üzerinde başka hiçbir değişiklik yapılmadan devre dışı bırakılması ile sabit supap zamanlaması elde edilmiş, değişken supap zamanlaması ve sabit supap zamanlamasının motor momentine, motor gücüne, tekerlek çıkış gücüne, kayıp güce ve özgül yakıt tüketimine etkileri incelenmiştir. Deneysel sonuçları değişken supap zamanlamasının sabit supap zamanlamasına göre motor momentini, motor gücü, tekerlek çıkış gücü ve özgül yakıt tüketiminde iyileşme olduğunu göstermiştir.

Bilim Kodu : 708.3.026
Anahtar Kelimeler : Motor performansı, VVT, Supap zamanlaması
Sayfa Adedi : 96
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Atilla KOCA

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE EFFECTS OF THE VARIABLE
VALVE TIMING TO THE ENGINE PERFORMANCE**

(M.Sc. Thesis)

Fuat GÜN

**GAZİ ÜNİVERSİTY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2006

ABSTRACT

In this research paper, The differences between the constant valve timing and variable valve timing have been studied. To obtain this, shutting down the VVT system, without any changing on the engine of a vehicle that has a variable valve timing, the engine that has a constant valve timing was obtained. In addition the effects of the constant valve timing and variable valve timing against to the engine torque, engine power, wheel output power, power lost and specific fuel consumption have been discussed. In the results of the experiment the variable valve timing has more good effects on the engine torque, engine power, wheel output power and specific fuel consumption than constant valve timing have been showed.

Science Code : 708.3.026
Key Words : Engine performance, VVT, Valve timing
Page Number : 96
Thesis Administrator : Doç. Dr. Atilla KOCA

TEŞEKKÜR

Tez alıŐmalarım boyunca yakın ilgi ve desteğini esirgemeyen, değerli bilgilerinden istifade ettiğim danıŐmanım sayın Doç. Dr. Atilla KOCA'ya ve çeşitli konularda yardımını esirgemeyen Doç. Dr. Serdar YÜCESU'ya içtenlikle teŐekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca uygulamaya dönük çalıŐmalarım sırasında, deney ortamını sağlayan DOğUŞ OTOMOTİV A.Ő. yetkililerine ve Doğuş Otomotiv personeli olan saygı değer arkadaŐım Hakan AYDOğAN'a teşekkür ederim. Ayrıca tez çalıŐmam boyunca hiçbir zaman beni yalnız bırakmayan ve manevi desteğini esirgemeyen eŐime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1.GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	4
2.1. Giriş	4
2.2. Volumetrik Verim	4
2.2.1. Doldurma verimi	5
2.2.2. Süpürme oranı	6
2.2.3. Dolgu tutma verimi	7
2.3. Voumetrik Verimi Etkileyen Faktörler	7
2.3.1. Port ve monifold dizaynı	12
2.3.2. Kam konstrüksiyonu	14
2.3.3. Supap geometrisi	15
2.3.4. Emme supapları	16
3.SUPAP ZAMANLAMASI	18

Sayfa

3.1. Değişik Supap Açılıp Kapanma Zamanlarının Basınç-Hacim Diyagramı Üzerine Etkileri.....	19
3.1.1. Emme ve egzoz supap zamanlamasının beraberce 30° (KA) rötara alınmasının etkileri.....	19
3.1.2. Sadece egzoz supabı zamanlamasının 30° (KA) rötara alınmasının etkileri.....	22
3.1.3. Sadece emme supabı zamanlamasının 30° (KA) avansa alınmasının etkileri.....	24
3.2. Supabın Açılması ve Kapanmasındaki Mekanik Hususlar.....	26
4. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	28
4.1. Değişken Supap Zamanlama Mekanizmalarının Sınıflandırılması.....	32
4.1.1. Kam fazını kaydıran mekanizmalar.....	32
4.1.2. Kam fazını değiştiren mekanizmalar.....	41
4.1.3. Kam fazını hem kaydıran hemde değiştiren mekanizmalar.....	53
5. MATERYAL VE METOD.....	65
5.1. Deney Yeri	65
5.2. Deney Aracı	65
5.3. Deneyde Kullanılan Ölçü Aletleri	66
5.3.1. Şasi dinamometresi	66
5.3.2. Diagnostik test cihazı	67
6. DENEYSEL BULGULAR	68
6.1. Motor Momenti	68
6.2. Motor Çıkış Gücü	71

	Sayfa
6.3. Kayıp Güç.....	73
6.4. Tekerlek Çıkış Gücü	74
6.5. Özgül Yakıt Tüketimi	76
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
KAYNAKLAR.....	82
EKLER.....	85
EK-1	86
EK-2.....	92
EK-3.....	93
EK-4.....	94
EK-5.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	96

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. İYM' de doldurma verimi değerleri	6
Çizelge 4.1. Nissan Neo Vvl mekanizması çalışma şartları.....	48
Çizelge 4.2. Mivec çalışma modları	50
Çizelge 4.3. 2ZZ-GE motorunda Vvtl-i ile zamanlama ve kalkma karakteristikleri	54
Çizelge 4.4. i-Vtec sistemi çalışma şartları.....	60
Çizelge 5.1. Deney aracının motorunun teknik özellikleri	66

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Emme sistemindeki basınç kayıpları	9
Şekil 2.2. Buji ile ateşlemeli, 4 silindirli bir motora ait emme sistemi kayıplarının motor hızına bağlı değişimi.....	10
Şekil 2.3. Motor hızına bağlı olarak volumetrik verime etki eden parametreler.....	11
Şekil 2.4. Dört silindirli tek karbüratörlü motor için emme manifold dizaynı.....	13
Şekil 2.5. Krank mili açısına göre emme supabı kalkma eğrisi.....	14
Şekil 2.6. Supap geometrisi parametreleri	15
Şekil 2.7. Supap kalkma miktarının bir fonksiyonu olarak tipik bir emme supabı için akış katsayısı	16
Şekil 3.1. Supap zamanlaması diyagramı.....	22
Şekil 3.2. Kısmi yüklerde 30° rötarlı emme ve egzoz supap zamanlaması ile standart supap zamanlamasının karşılaştırılması	20
Şekil 3.3. Kısmi yüklerde 30° rötarlı egzoz supap zamanlaması ile standart supap zamanlamasının karşılaştırılması	23
Şekil 3.4. Kısmi yüklerde 30° avansa alınmış emme supap zamanlaması ile standart supap zamanlamasının karşılaştırılması.....	25
Şekil 3.5. İki farklı kalkma miktarı, hız ve ivme grafikleri	26
Şekil 4.1. Tam gaz kelebek açıklığında emme supabı kapanmasının birim hava dolgu miktarına etkisi	28
Şekil 4.2. Emme supabı zamanlamasının motor devrine bağlı olarak motor momentine ve motor gücüne etkileri.....	29
Şekil 4.3. Farklı kamların volumetrik verim üzerindeki etkisi	31
Şekil 4.4. Emme fazının sürekli kaydırılması.....	33

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. Toyota VVT-i Mekanizması.....	35
Şekil 4.6. VW değişken supap zamanlama mekanizması.....	36
Şekil 4.7. Rölanti modu supap ayar diyagramı.....	37
Şekil 4.8. Çıkış gücü modu supap ayar diyagramı	37
Şekil 4.9. Tork modu supap ayar diyagramı	38
Şekil 4.10. Egzoz gazı devirdaimi modu supap ayar diyagramı	39
Şekil 4.11. Kanat hücreli ayarlayıcı.....	39
Şekil 4.12. VW değişken supap zamanlamasının çalışma prensibi	40
Şekil 4.13. Emme fazının değiştirilmesi	41
Şekil 4.14. Honda Vtec tiplerinin supap kalkma eğrileri.....	43
Şekil 4.15. Honda üstten tek eksantrikli Vtec sistemi.....	44
Şekil 4.16. Honda üstten tek eksantrikli Vtec sisteminin çalışması.....	45
Şekil 4.17. Üç adımlı Honda Vtec sistemi.....	46
Şekil 4.18. Nissan Neo Vvl mekanizması.....	47
Şekil 4.19. Bmw Valvetronic mekanizması.....	48
Şekil 4.20 Bmw Valvetronic mekanizması.....	49
Şekil 4.21. Mivec ile pompalama kayıplarının azaltılması.....	51
Şekil 4.22. Mitsubishi Mivec sistemi.....	52
Şekil 4.23. Hidro mekanik mekanizmalara ait kalkma profilleri	53
Şekil 4.24 Toyota Vvtl-i mekanizmasının faz değiştirme işlemi.....	55
Şekil 4.25. Porsche Variocam Plus sistemi	56
Şekil 4.26. Variocam Plus uygulanmış Porsche motoru.....	57
Şekil 4.27. i-Vtec sistem şeması.....	58

Şekil	Sayfa
Şekil 4.28. Honda İ-Vtec sistemdeki kanat hücreli ayarlayıcının çalışması	59
Şekil 4.29. i-Vtec sistemi çalışma şartları.....	59
Şekil 4.30. Elektromanyetik supabın çalışma prensibi	62
Şekil 5.1. 5052 Diagnostik test cihazı.....	67
Şekil 6.1. Supap zamanlamasının motor devrine bağlı olarak motor momentine etkileri	69
Şekil 6.2. Supap zamanlamasının taşıt hızına bağlı olarak motor momentine etkileri.....	70
Şekil 6.3. Supap zamanlamasının motor devrine bağlı olarak motor gücüne etkileri	71
Şekil 6.4. Supap zamanlamasının taşıt hızına bağlı olarak motor gücüne etkileri	72
Şekil 6.5. Supap zamanlamasının motor devrine ve taşıt hızına bağlı olarak motorun harcadığı kayıp güce etkileri.....	73
Şekil 6.6. Supap zamanlamasının motor devrine bağlı olarak tekerlek çıkış gücüne etkileri.....	74
Şekil 6.7. Supap zamanlamasının taşıt hızına bağlı olarak tekerlek çıkış gücüne etkileri.....	75
Şekil 6.8. Supap zamanlamasının motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimine etkileri	76
Şekil 6.9. Supap zamanlamasının taşıt hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimine etkileri	77

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. BMW'nin Vanos sistemi.....	34
Resim 4.2. Çift Vanos sistemi.....	34
Resim 4.3. Bmw'nin Elektromanyetik kontrollü değişken supap zamanlama mekanizması.....	63
Resim 5.1. Deney yeri.....	65

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
η_v	Volumetrik Verim, %
m_{hg}	Silindire alına gerçek hava kütlesi, kg
m_{ht}	Silindire alınması gereken teorik hava kütlesi
ρ_h	Dolgunun yoğunluğu, kg/m ³
V_h	Strok hacmi, m ³
n	Motor devri, d/d
η_d	Doldurma verimi, %
η_{so}	Süpürme oranı, %
η_{dr}	Dolgu tutma verimi, %
L_v	Supap kalkması, mm
D_v	Supap başı çapı, mm
w	Oturma yüzeyi kalınlığı, mm
A_{min}	Minimum akış alanı, mm ²
β	Supap oturma yüzeyi açısı (°)
Z	Emme mach indeksi
u	Ses hızı, m/s
a	Emme supabından geçen gaz hızı, m/s
P	Motor Gücü, kW

Kısaltmalar	Açıklama
İYM	İçten yanmalı motorlar
ÜÖN	Üst Ölü Nokta
AÖN	Alt Ölü Nokta
E_mSA	Emme supabı açılması
E_mSK	Emme supabı kapanması
E_gSA	Egzoz supabı açılması
E_gSK	Egzoz supabı kapanması
VVT	Variable Valve Timing (Değişken Supap Zamanlaması)
ECU	Elektronik Kontrol Ünitesi
VTEC	Variable Valve Timing and Lift Electronic Control (Değişken supap zamanlı ve açılmalı elektronik kontrol sistemi)
FSI	Fuel Stratified Injection (Kademeli Yakıt Enjeksiyonu)

1. GİRİŞ

Otomotiv sektörünün hızlı gelişimi, petrol rezervlerinin azalması, dünyadaki hava kirlilik oranlarının artmasından dolayı egzoz emisyonlarının azaltılması, fayda-maliyet analizleri ve arz talep dengeleri vb. faktörlerden dolayı içten yanmalı motorların keşfedilmesinden itibaren bu motorlar sürekli geliştirilmiştir. Bu geliştirme çalışmaları motor performansını etkileyen parametrelerin önceden ihmal edilen yada sınırlayıcı unsur olarak görülen detayların da inceleme kapsamına alınmasını sağlamıştır.

İçten yanmalı motorlarda supaplar kam mili yardımıyla açılıp kapanmakta, emniyetli ve güvenilir bir supap performansı sağlamaktadır. Bu sistemde, yakıt ekonomisi, çevreye atılan kirlenici oranları, maksimum tork çıkışı gibi parametreler optimize edilecek şekilde supap zamanlaması, piston hareketine bağlı olarak bir kez ayarlandıktan sonra motorun çalışma koşullarına göre değiştirilmesi imkânsızdır. Sabit supap mekanizmasına sahip motorlarda seçilen supap zamanlaması, volumetrik verimi motorun en çok çalıştığı devir aralığına göre optimize eder. Motor bu devir aralığının altında veya üstünde volumetrik verim açısından düşük verim değerleri ile çalışır. Yani ayarlanan bu devir aralığı, yüksek devirlere göre yapılırsa düşük devirlerde motorun ihtiyacı olan rölanti kararlılığı ve düşük devirlerde daha fazla ihtiyaç duyulan motor momenti azalır, aynı şekilde düşük devirlere göre ayarlansa bu seferde yüksek devirlerde gerekli motor gücü azalır. Motorun düşük ve yüksek devirlerinde birbirleriyle zıt özelliklere sahip olan parametreleri elde edebilmek için motorun çalıştığı tüm devir aralıklarında silindir içine alınan dolgu miktarını, tasarım sonucu ortaya çıkan belli bir devir aralığındaki dolgu miktarına yakın değerlere getirmek gerekir.

Motorun performansını arttırmak için yukarıdaki nedenlerden dolayı supaplar üzerine çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalar sırasıyla, supapların çalışması sırasında oluşan kayıpları ortadan kaldırmak için kullanılan çoklu supap teknolojisi ile başlar. Bu sayede her bir silindir için iki yada daha fazla

emme ve egzoz supabı kullanılarak karışımdan maksimum verim sağlanması hedeflenmektedir. Daha sonra yapılan çalışmalar da supap mekanizmaları üzerinde durularak supapların açılma ve kapanma zamanlamalarının değişken olmasını sağlamaya yönelik olmuştur. Motor devri arttıkça piston hızı, piston hızına bağlı olarak da içeri alınan dolgunun hızı ve kinetik enerjisi sürekli değişeceğinden supap zamanlamasının da sürekli değişmesi gerekmektedir.

Bunu sağlayabilmek için günümüz motorlarında değişken supap zamanlaması diye adlandırılan motorun devir özelliklerine göre supap zamanlamasını ve açılma parametrelerini değiştiren mekanizmaya sahip sistemler kullanılır. Bu sistemin çalışması yanma özelliklerinin mevcut motor çalışma koşullarını alabildiğince mükemmel bir uyum sağlamasına imkân vererek hem yüksek performans hem de yüksek verim sağlayabilir.

Değişken supap zamanlaması sağlayan mekanizmalarda, çoğunluk olarak hidro mekanik ve kısmen de elektromanyetik sistemler tercih edilir. Elektro hidrolik mekanizmalar; motor hızına göre kam milini döndürerek, kam fazını rötara ve avansa kaydırma yada supap kalkmasını değiştiren mekanizmalar olarak ikiye ayrılır. Bu iki mekanizmayı birleştirerek daha esnek ve karmaşık değişken supap mekanizması da elde edilmiştir. Bu sistemlerin tasarımına göre supabın açılma miktarı, açık kalma süresi, açılma-kapanma zamanlaması değişken olabilmektedir. Bu değişkenler, birbirinden bağımsız yada birlikte değiştirilerek, motor çalışma koşullarına göre optimize edilebilmektedir.

Kabul edilebilir maliyet, dayanıklılık ve güvenilirlikle yeterli derecede esnekliğe sahip değişken supap zamanlaması yada değişken supap zamanlı ve açılmalı elektronik kontrol sistemi mekanizmalarını tasarlamak çok zor olduğu için üreticiler değişken supap zamanlaması sunan mekanizmaların bütün yada bir kısım avantajlarını verebilen daha basit yöntemleri tercih ederler. Bunlarda genellikle emme supaplarının erken açılması ve emme

supaplarının erken kapatılmasını kontrol eden yani fazı kaydıran mekanizmalardır. Değişken supap zamanlaması mekanizmasını araştıran tasarımcılar düşük hız torkunun ve rölanti kararlılığının değişken supap zamanlaması yoluyla iyileşmesinin yakıt tüketimi yada yüksek hız torkundaki olası herhangi bir gelişmeden daha önemli olacağını vurgulamıştır.

Bu çalışmada; değişken supap zamanlaması mekanizmasına sahip bir taşıtın, şasi dinamometresinde aynı taşıtta ve aynı şartlarda, supap zamanlama mekanizması devre dışı bırakılarak, tork, güç ve özgül yakıt tüketimlerinin değişimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Giriş

Bu bölümde; içten yanmalı motorların (İYM) çalışmasında bilinmesi gereken ve bu tezin kapsadığı temeller üzerine irdeleme yapılacaktır. İçten yanmalı buji ile ateşlemeli motorlarda değişken supap zamanlaması kullanılmasının en büyük nedeni volumetrik verimi motorun en çok çalıştığı devir aralığıyla birlikte, düşük ve yüksek devirlerde de optimize edebilmektir. Değişken supap zamanlama sistemlerinin neden gerekli olduğunu daha iyi kavrayabilmek için volumetrik verimi etkileyen bazı kuramsal temel parametrelerinin incelenmesi gerekir.

2.2. Volumetrik Verim

Volumetrik verim; motorun emme zamanında içeriye aldığı gerçek dolgu miktarının, alması gereken teorik dolgu miktarına oranına volumetrik verim denir. Teorik alınması gereken dolgu miktarı ise pistonun boşalttığı hacim olarak kabul edilir [1].

$$\eta_v = m_{hg} / m_{ht} = m_{hg} / \rho_h \cdot V_h \quad (2.1)$$

Burada;

η_v = volumetrik verim (%)

m_{hg} = silindire alınan gerçek hava kütlesi (kg)

m_{ht} = silindire alınması gereken teorik hava kütlesi (kg)

ρ_h = dolgunun yoğunluğu (kg/m^3)

V_h = kurs hacmi (m^3)

Motorun birim zamandaki teorik hava kütlesi;

$$\dot{m}_{ht} = (n / 60.a) \cdot V_h \cdot \rho_h \quad (\text{kg/s}) \quad (2.2)$$

şeklinde verilir.

Burada;

n = motor devri (d/dak)

a = 2 (4 zamanlı motorlar)

= 1 (2 zamanlı motorlar)

V_h = toplam kurs hacmi (m^3)

Görüldüğü gibi volumetrik verimin tanımında silindir veya çevrim başına mutlak hava kütlesi kullanabileceği gibi birim zamandaki hava kütlesi de esas alınabilir. Böylece dört zamanlı İYM için;

$$\eta_v = 120 \cdot m_{hg} / V_h \cdot \rho_h \cdot n \quad (2.3)$$

olarak yazılabilir. Burada ρ_h değeri; ρ_{atm} yada giriş manifoldundaki ρ_h değeri olarak alınabilir.

2.2.1. Doldurma verimi

Silindirde net olarak kalan taze dolgunun teorik dolgu kütlesine oranına doldurma verimi denilmektedir [1].

Genellikle supap kesişmesi (supap superpozisyonu) büyük olan dört zamanlı motorlar ve egzoz portundan kaçakları olan iki zamanlı İYM için kullanılır.

Doldurma verimi;

$$\eta_d = m_{ds} / m_h = m_{ds} / V_h \cdot \rho_d \quad (2.4)$$

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

m_h : V_h kurs hacminde ρ_d yoğunluktaki teorik dolgu kütlesini (kg) göstermektedir.

Egzozuna az dolgu kaçıran 4 zamanlı motorlarda;

$$\eta_d = \eta_v \text{ olarak yazılabilir.}$$

Normal emişli motorlarda atmosferik şartlar $\rho_d = \rho_a$

Aşırı doldurmalı motorlarda kompresör ile silindir arası ρ_d seçilmelidir.

Çizelge 2.1. İYM'de doldurma verimi değerleri [1]

Otto	0,70 - 0,85
Yavaş dizel	0,90 - 0,95
Hızlı dizel	0,80 - 0,92

2.2.2. Süpürme oranı

Dört zamanlı motorlarda supap kesişmesi anında, 2 zamanlı İYM'de egzoz penceresinden çok miktarda taze dolgu kaybedebilir. Bu İYM'de bir miktar soğutmayı da amaçlayan bu süpürme işleminden dolayı volumetrik verim yerine süpürme oranı tabiri kullanılır [1].

$$\eta_{so} = (m_{ds} + m_{dk}) / m_h \quad (2.5)$$

Burada;

m_{ds} = silindirdeki taze dolgu kütlesi (kg)

m_{dk} = egzozu kaçan taze dolgu kütlesi (kg)

m_h = V_h kurs hacminde ρ_d yoğunluktaki teorik dolgu kütlesini göstermektedir.

2.2.3. Dolgu tutma verimi

Dolgu tutma verimi, süpürme oranı kullanılan yani egzozuna taze dolgu kaçırılan motorlarda kullanılır [1].

$$\eta_{dr} = m_{ds} / (m_{ds} + m_{dk}) = \eta_d / \eta_{so} \quad (2.6)$$

Burada da;

m_{ds} = silindirdeki taze dolgu kütlesi (kg)

m_{dk} = egzozu kaçan taze dolgu kütlesi (kg)

η_d = doldurma oranı (%)

η_{so} = süpürme oranı (%)

olarak ifade edilir.

2.3. Volumetrik Verime Etkileyen Faktörler

Volumetrik verimin arttırabilmesi, bu verimi etkileyen unsurlara bağlıdır. Bu unsurlardan bahsedildiğinde içten yanmalı motorların çalışmasını etkileyen birçok parametre bu kapsama girmektedir. Burada bu parametreler maddeler halinde yazılacak fakat alakalı olanlara açıklama getirilecektir.

Volumetrik verimi etkileyen faktörler genel olarak şunlardır;

1. Yakıtın cinsi, buharlaşan yakıtın yüzdesi
2. Yakıt- Hava oranı

3. Karışımın sıcaklığı, buharlaşma ısı ve cidarlara olan ısı transferi
4. Sıkıştırma oranı
5. Motor hızı
6. Egzoz basıncının emme basıncına oranı
7. Komşu silindirin müşterek manifold da hasıl ettiği tedirginlik
8. Tasarımsal faktörler
 - a. Port ve manifold dizaynı
 - b. Kam kontriksüyonu
 - c. Supap geometrisi
 - d. Emme supapları
9. Supap zamanlaması

İçten yanmalı motorlarda dolgu; kanallar, portlar, supaplar ve odalardan geçerken sürtünme, basınç ve atalet kuvvetleri dolguyu etkiler. Dolgu bu bahsedilen yerlerden geçerken, bu yerler arasındaki önem hız, pürüzlülük, büyüklük, tasarım gibi parametrelerle değişir. Bu sebeple emme ve egzoz manifold-port ve supaplarındaki değişiklikler volumetrik verimi etkileyen birçok faktörü üzerinde taşır.

Atmosferden silindir içine dolgu akışı esnasında her noktada basınç biraz düşer ve bu hızın karesi ile doğru orantılıdır. İçten yanmalı motorların yapıları gereği Şekil 2.1'de görülen emme sisteminde basınç düşüşlerine neden olan elemanlar mevcuttur. Bu elemanlar hava filtresi, manifold gövdesi, ventüri, gaz kelebeği, portlar, emme ve egzoz supapları ile susturucudur [2,3].

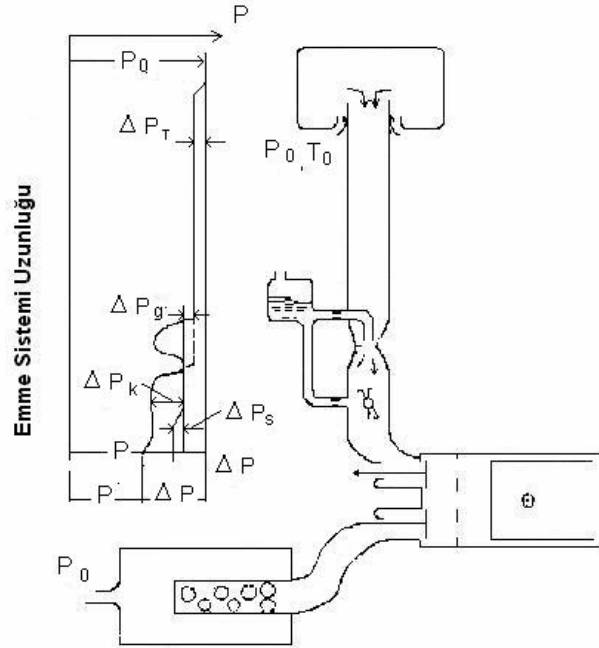
Burada;

Δp_T = Taze havanın basınç kaybı,

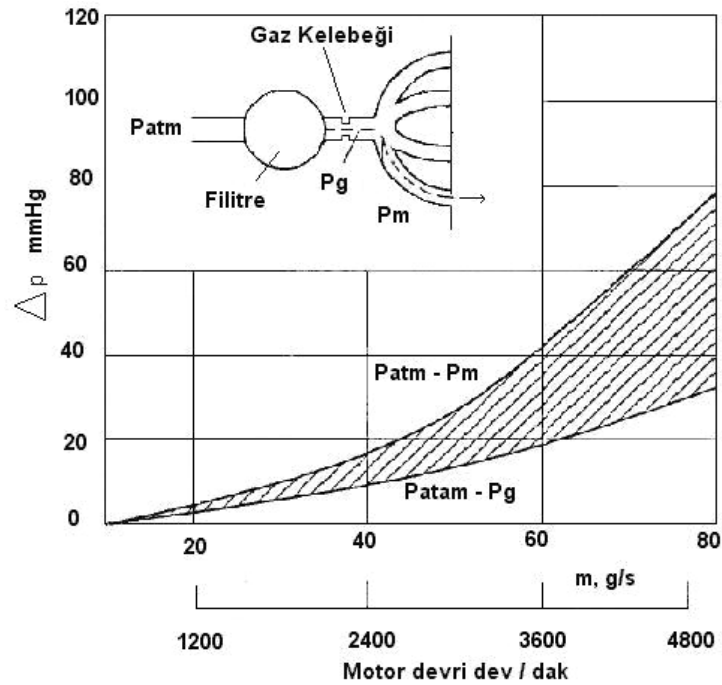
Δp_g = Ventürideki basınç kaybı,

Δp_k = Gaz kelebeğindeki basınç kaybı,

Δp_s = Supaplarda oluşan basınç kaybını ifade eder.



Şekil 2.1. Emme sistemindeki basınç kayıpları



Şekil 2.2. Buji ile ateşlemeli, 4 silindirli bir motora ait emme sistemi kayıplarının motor hızına bağlı değişimi

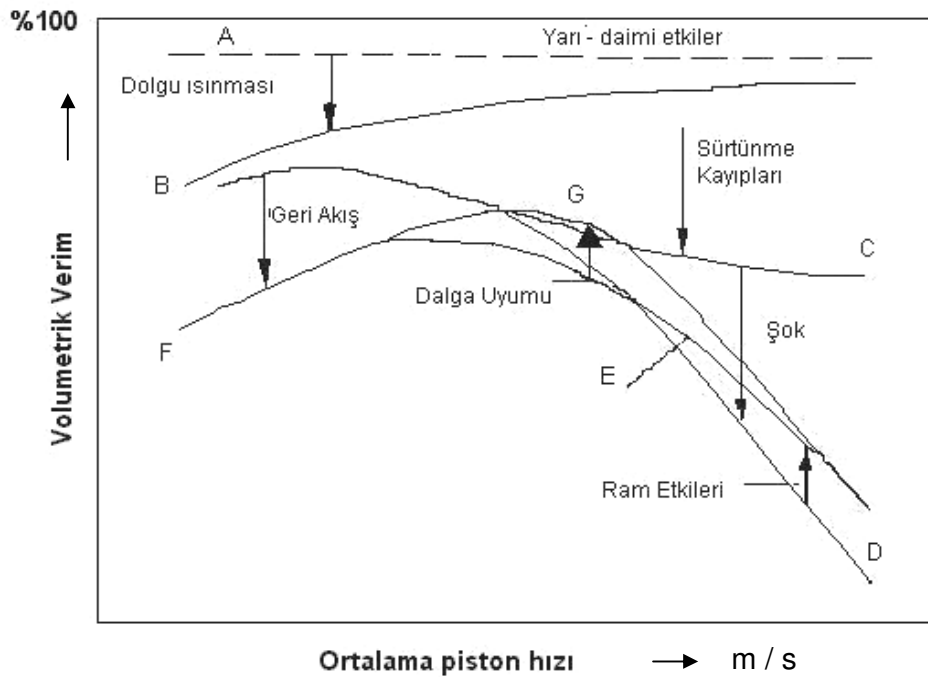
Emme sisteminde oluşan kayıplar motor hızına orantılı olarak değişir. Şekil 2.2'de emme sistemine ait deneysel kayıplar verilmiştir [3].

Emme sistemi kayıplarından bahsedildiği zaman dolgunun maruz kaldığı dinamik etkilerden bahsetmek gerekir. Dinamik etki denildiği zaman; piston hızı, supap, akış kesit alanının değişim ve geometrik şekli sonucu meydana gelen sürekli olmayan akışa bağlı basınç değişimleri akla gelir. Bu zamana kadar yapılan araştırmalarda volumetrik verimi etkileyen esas basıncın emme supabı kapanmasına yakın olan zaman dilimindeki basınç değeri olduğu gösterilmiştir. Yüksek motor hızlarında emme supabı kapanma hareketi sırasında dolgu hızı azalma temayülü gösterince giriş portunda yığılma olmakta ve basınç artmaktadır. Supap arkasında olan bu yığılmadan istifade etmek için emme supabının kapanması geciktirilirse silindire dolgu girişi hızlanır ve volumetrik verim artar. İçeriye hava girdikçe basınç dengesi sağlanır ve giriş yavaşlar. Tam bu denge konumunda emme supabı kapanmalıdır.

Fakat supap ayarı yada kam profil tasarımı yüksek hızlardaki bu durumdan istifade edilecek şekilde yapılırsa düşük devirlerde söz konusu basınç farkı yüksek olmayacağından silindirdeki taze dolgu piston AÖN'yi geçtikten sonra manifolda kaçar ve volumetrik verim düşer.

Yukarıda bahsedilenlerden motor hızına göre ortaya iki durum çıkmaktadır. Bu sabit supap zamanlamasının neden olduğu düşük ve yüksek devirler arasındaki uyum problemidir. Yüksek devirlerde dolgu verimini arttırmak için supap kapanması geciktirilen İYM'nin düşük devirlerinde dolgu kaçağından dolayı volumetrik verimi düşer. Düşük devirlerde dolgu kaçırmayacak bir supap kapanma değerinde ise yüksek devirlerdeki manifold basıncından yeterince istifade edilemez ve volumetrik verim düşer. Araştırmacılar bu handikabı yenebilmek için değişken supap zamanlaması üzerine çalışmışlardır.

Aynı zamanda dolgu akışı esnasında volumetrik verimi etkileyen bir başka faktör emme sisteminin dalga uyumu halidir. Silindire giren dolgunun oluşturduğu genişleme dalgaları emme manifoldundan geri yansır ve silindire doğru hareketlenirler. Eğer bu dalgaların zamanlaması iyi yapılırsa yani alternatif basıncın maksimum değeri uygun supap pozisyonunda sağlanırsa emme basıncı nominal değerinin üzerine çıkar ve volumetrik verim artırılabilir.



Şekil 2.3. Motor hızına bağlı olarak volumetrik verime etki eden parametreler

Şu ana kadar bahsedilen volumetrik verimi etkileyen parametreler motor hızına göre değiştiği düşünüldüğünde üst üste konulup değerlendirme yapılabilir. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi volumetrik verimin yarı daimi etkilerin tümüyle değerlendirilmiştir [3]. Buna göre volumetrik verim %100'den itibaren hıza bağlı olmayan etkiler nedeniyle A eğrisine inmiştir. Dolgunun ısınması A eğrisini B'ye düşürür. Sürtünme kayıpları dikkate alındığında B eğrisi C'ye düşer. Bu etki özellikle yüksek hızlarda olur. C eğrisinin üzerine düşük hızlardaki emmeye geri akış ve yüksek hızlarda supap geçiş alanındaki hızın çok artmasıyla oluşan şok etkileri konulursa F ve D eğrileri elde edilir. Dikkat

edilirse en düşük değere sahip D eğrisi dinamik etkilerle dalga uyumu etkileri olumlu yönde kullanıldığında biraz yükselir ve sonuçta F-G eğrisi bu motorun volumetrik verim eğrisi olarak verilir.

Volumetrik verim etkileyen kısımların, motor hızının oluşturduğu karmaşadan dolayı dizayn ve konstrüksiyonundan bahsedilmesi gerekir. Burada bahsedilecek kısımlar olarak port-manifold, kam, supap geometrisi kastedilmektedir.

2.3.1 Port ve manifold dizaynı

Uzun emme borularının belirli hızlarda yüksek volumetrik verim sağladığı önceki araştırmalarda bulunmuştur. Bu etkileşim silindirdeki ve emme manifoldundaki gaz ataletleri ve gaz elastikiyetinden kaynaklanmaktadır. Emme manifoldunun çapı ve uzunluğunun volumetrik verime etkisi üzerinde yapılan testler sonucunda şu ilişkiler ortaya çıkmıştır [3,4].

1. Viskosite etkenlerinin önemsenmeyecek kadar az olduğu düşünülürse ve benzer motorlar benzer emme sistemlerine sahipler ise, diğer değişkenler sabit olmak kaydıyla emme dinamiğinin volumetrik verime etkisi aynı piston hızında aynı olacaktır.

2. Emme sonundaki emme portu dinamik basıncı, bir önceki kurstan kalma dalgalardan ve emme zamanında oluşan geçici dalgalardan meydana gelir.

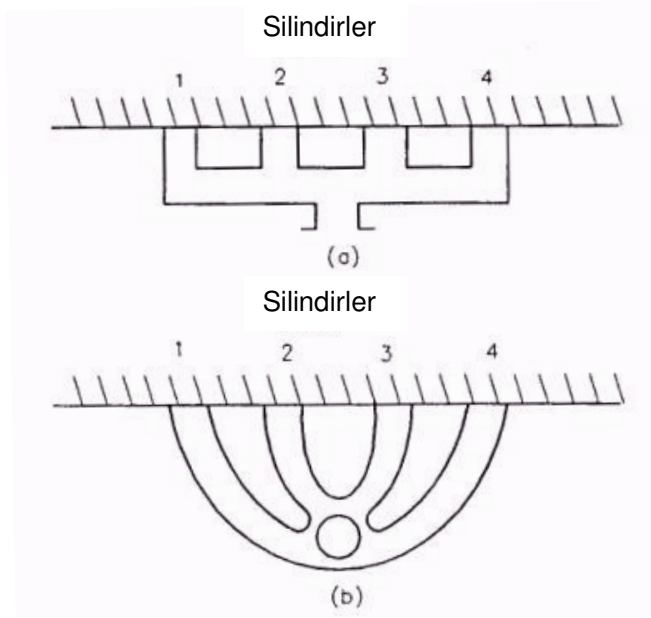
3. Emme manifoldundaki ani basınç değişimleri, motor devrine bağlı incelendiğinde volumetrik verimde ani değişimler meydana getirmez.

4. Düşük manifold çapı/silindir çapı oranlarında uzun borular düşük piston hızlarında yüksek volumetrik verim verirler. Çünkü emme sonunda borunun supaba yakın yerlerinde yüksek kinetik enerji oluşur. Oysa yüksek piston hızlarında akış kısılmalarından dolayı volumetrik verim düşer.

5. Yüksek manifold çapı/silindir çapı oranlarında ise uzun borular ortalama piston hızlarında boruda oluşan kinetik enerjiye bağlı olarak yüksek volumetrik verim sağlarlar. Yüksek hızlarda ise bu tip borulardaki hava kütlelerinin ataletleri düşüktür dolayısıyla volumetrik verim düşmektedir.

Emme manifoldu birden fazla silindire bağlandığı zaman manifold tasarımı zorlaşır, özellikle karbüratörlü motorlarda sıvı yakıt hava içerisinde üniform bir dağılım gösteremez. Bu nedenden dolayı karbüratörlü motorlarda manifoldlar daha farklı ölçü ve tasarımı gerektirir [5].

Şekil 2.4.a'da gösterilen manifold tasarımı düşük volumetrik verim verir ancak bu kesit üniform karışım için daha uygundur. Şekil.2.4.b ise yüksek volumetrik verim verir fakat üniform karışım için uygun değildir [6].



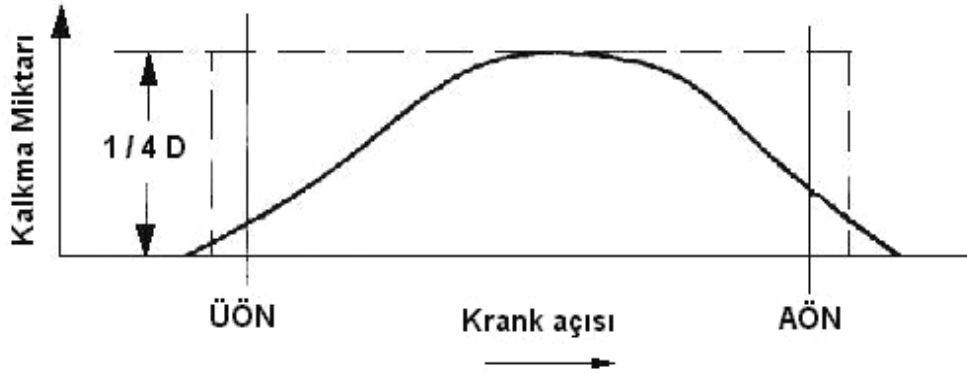
Şekil 2.4. Dört silindirli tek karbüratörlü motor için emme manifold dizaynı

Çok silindirli motorlarda manifold uzunluklarından dolayı silindirlerin hepsi aynı karışım oranına sahip olmamaktadırlar. Bu ise düzgün olmayan bir çalışma, güç kaybı ve silindirler arasında ısınma ve emisyon farklılıkları

oluşturur. Manifoldun ısıtılması bu probleme karşı tedbir olmakla birlikte mükemmel bir karışım temin etmez. Kaldı ki bu tedbirin vuruntuyu arttırmak ve volumetrik verimi düşürmek gibi istenmeyen bir sonucu da vardır [7].

2.3.2. Kam konstriksiyonu

Kam yüzeyinin şekli ve kamın hareket seyri incelendiğinde daha öncede vurgulandığı gibi, supaptan maksimum akış sağlayacak profillerin seçimi önemlidir. Bu bakışla Şekil 2.5'de kesik çizgilerle gösterilen ve emme supabının aniden açılıp kapanması daha iyi gibi gözükebilir. Ancak bu tür hareket seyri mekanik olarak imkansız olduğu gibi pistonun alt ve üst noktadaki hareketi yavaş olduğu için gereksizdir [3,6].

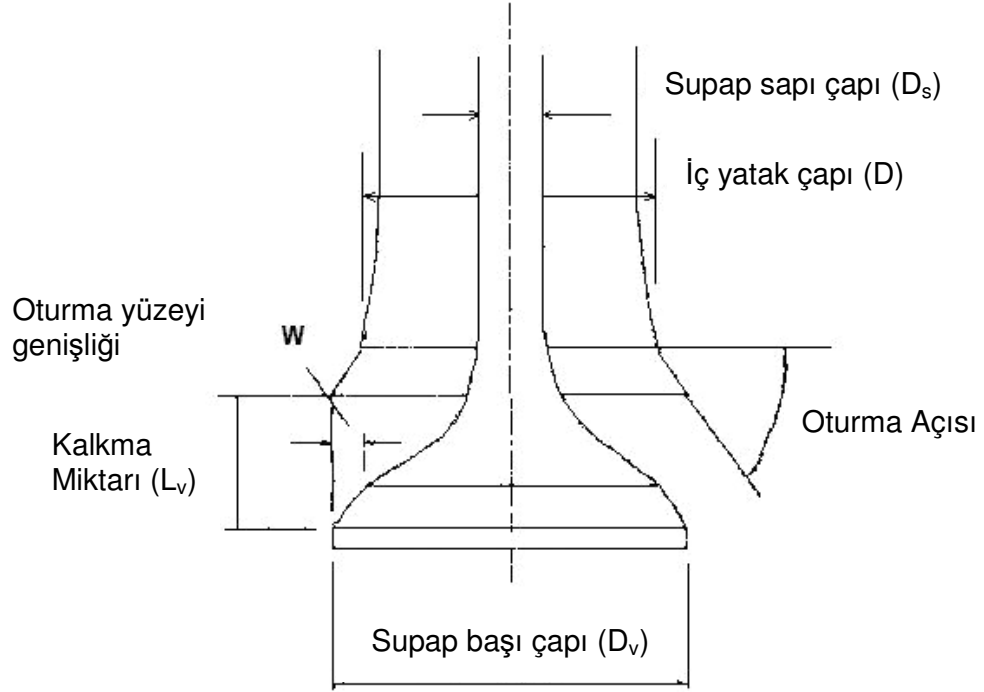


Şekil 2.5 Krank mili açısına göre emme supabı kalkma eğrisi

Pratikte supap açılma eğrisi şekildeki devamlı çizgiye çok yakındır ve kesik çizgiye yaklaştırılarak fazla kazanç sağlanamaz. Supap açılma eğrisinin genel formu da kam profili mekanizma tasarımı açısından pratik bir yaklaşımdır.

2.3.3. Supap geometrisi

Şekil 2.6'da supabın ve oturma yüzeyinin temel tasarımsal parametreleri gösterilmiştir.

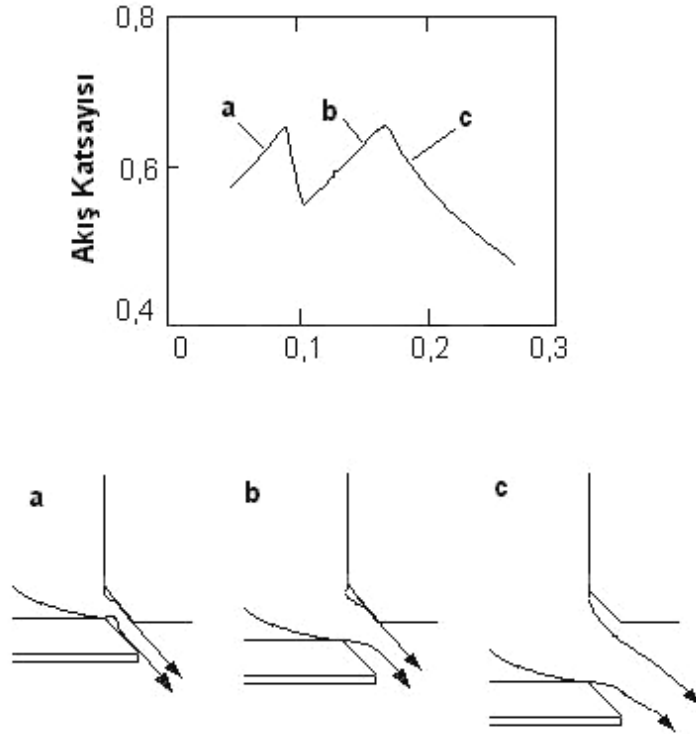


Şekil 2.6. Supap geometrisi parametreleri [8]

Egzoz supabının oturma yüzeyinin düzgünlüğü ve supap sapının mümkün olduğunca kısa olması ısı transferinin iyi olması için şarttır. Emme supabında ise supabın soğumasında giren dolgu etkili olduğundan böyle bir kısıtlama yoktur fakat genellikle dairesel veya dairesele yakın olan emme kanalının kesit alanı istenen motor momentini sağlayacak büyüklükte olmalıdır. İYM'de yanma odası tasarımına göre supap başı ölçüleri değişmekte, ayrıca volumetrik verimi artırabilmek için büyük supap başı ölçüsü veya birden fazla emme supabı gibi konstriksiyonlar kullanılmıştır [8].

2.3.4. Emme supapları

Şekil 2.7'de supap oturma yüzeyindeki keskin köşelerden tipik bir emme tasarımı üzerinde sürekli akış deneylerinin sonuçları gösterilmiştir. Supap hareket alanına ($A = \pi \cdot D_v \cdot L_v$) bağlı olan akış katsayısı, supap kalkma miktarının, çapa oranının (L_v/D_v) sürekli olmayan bir fonksiyonudur.



Şekil 2.7. Supap kalkma miktarının bir fonksiyonu olarak tipik bir emme supabı için akış katsayısı [8]

Kalkma miktarı çok az durumdayken akış, supap başı ve oturma yüzeyine temas ettiğinden dolayı akış katsayısı yüksektir. Kalkma miktarı orta seviyelerdeki akışta, akış supap başından ve supap oturma yüzeyinin iç köşesinden ayrılır. Şekil 2.7.b'de akış supap başından ayrılmış olarak gösterilmiştir. Bu noktada akış katsayısında aniden azalma olur fakat supap kalkma miktarının artışı ile akış katsayısı yeniden artar. Yüksek kalkma

miktarında meydana gelen akışta ise; akış oturma yüzeyinin iç kenar sınırından ayrılır. L_v/D_v nin maksimum değeri 0.25 tir [9].

Normal şartlarda çalışan bir motorun supabının dinamik akış şartlarında, Şekil 2.7'deki örnekte verilen sürekli akış verilerini verip veremeyeceği önemli bir problem olarak karşımıza çıkmıştır. Burada farklı akış rejimleri arasındaki değişik noktalar kanıt olarak Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Farklı supap kalkma miktarlarında dinamik akışta ve sürekli akış şartlarında çok az bir değişiklik olmaktadır. Ancak, Şekil 2.7'de görüldüğü gibi farklı akış rejimlerinin farklı yönlerinin olduğunu gösteren deliller vardır. Bu durum sürekli akış şartlarından ziyade, dinamik çalışma şartları altındaki supabın çok büyük açıklıklarında ortaya çıkar. Bunların dışında supabın üst tarafındaki basınç emme süresince önemli değişiklikler arz eder. Bununla birlikte motorun normal devir aralığında makul doğrulukla dinamik performansını belirlemek için sürekli akış şartlarında emme supabı akış katsayısı kullanılmıştır [10,11].

Emme supabı için supap çevresinden silindire akan gazların hızı emme mach indeksi ile tayin edilmiştir.

$$Z = u / a \quad (2.7)$$

olarak hesaplanır.

Burada;

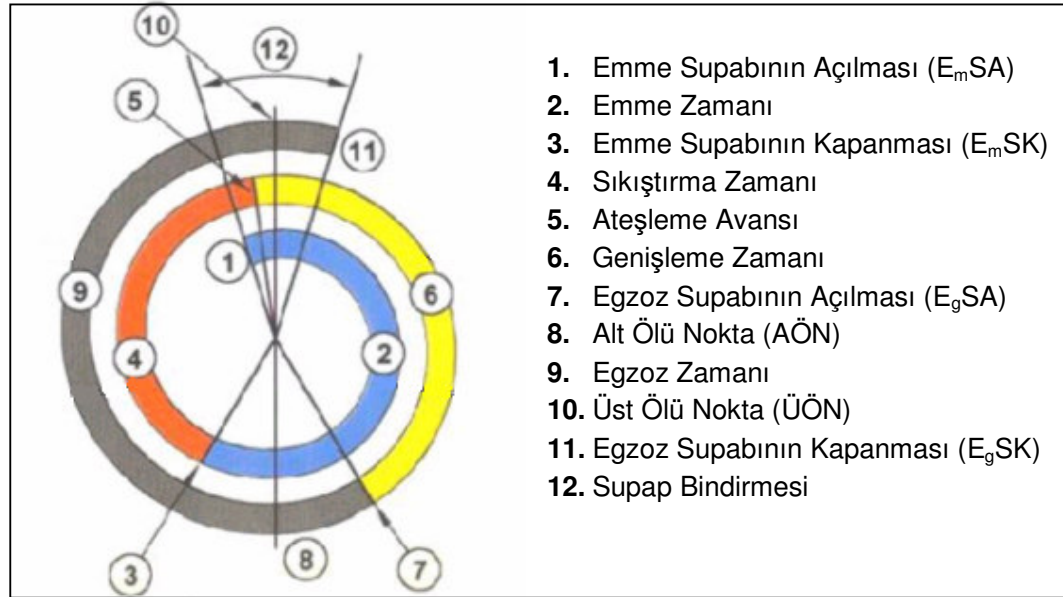
u = Emme supabı çevresinden geçen gaz hızı (m/s)

a = Ses hızıdır (m/s).

Emme mach indeksi iyi bir volumetrik verim için 0,6 – 0,25 arasında ve 0,4 civarında olmalıdır [12].

3. SUPAP ZAMANLAMASI

Emme ve egzoz supaplarının açılma ve kapanma zamanlarının dört zamanlı İYM'nin performansına büyük etkisi vardır. Emme supabının görevi, emme zamanı süresince mümkün olduğu kadar çok hava yakıt karışımının 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 [13].



Şekil 3.1. Supap zamanlaması diyagramı

Genel bir supap zamanlamasında emme supabı, ÜÖN'den $10^\circ-25^\circ$ KA (krank açısı cinsinden) önce açılır (Emme supabı açılması). Bu zamanlama noktası motor performansı açısından çok önemlidir. İçeriye istenilen dolgunun alınabilmesi için motor devrine bağlı olarak uygun nokta seçilmelidir. Emme supabı genellikle AÖN'den $40^\circ-60^\circ$ sonra kapanır (Emme supabı kapanması). Dolayısıyla teorikte 180° süren emme zamanı pratikte

240°-260° civarlarına ulaşmaktadır. Bu uzun emme zamanı silindirlere maksimum dolgunun alınmasını sağlar.

Egzoz supabı genellikle genişleme zamanının bitiminde AÖN'den 40°-60° önce açılır. Silindir ve egzoz sistemindeki basınç farkından dolayı AÖN'ye doğru silindirdeki yanmış gazlar boşalmaya başlar. AÖN'den sonra pistonun ÜÖN'ye doğru hareketi ile silindirdeki yanmış gazlar süpürülür. Egzoz supabı kapanması ÜÖN'den 15°-30° sonra ve emme supabı açılması ÜÖN'den 10°-20° öncedir. Her iki supabında birlikte açık olduğu bu periyoda supap bindirmesi denir.

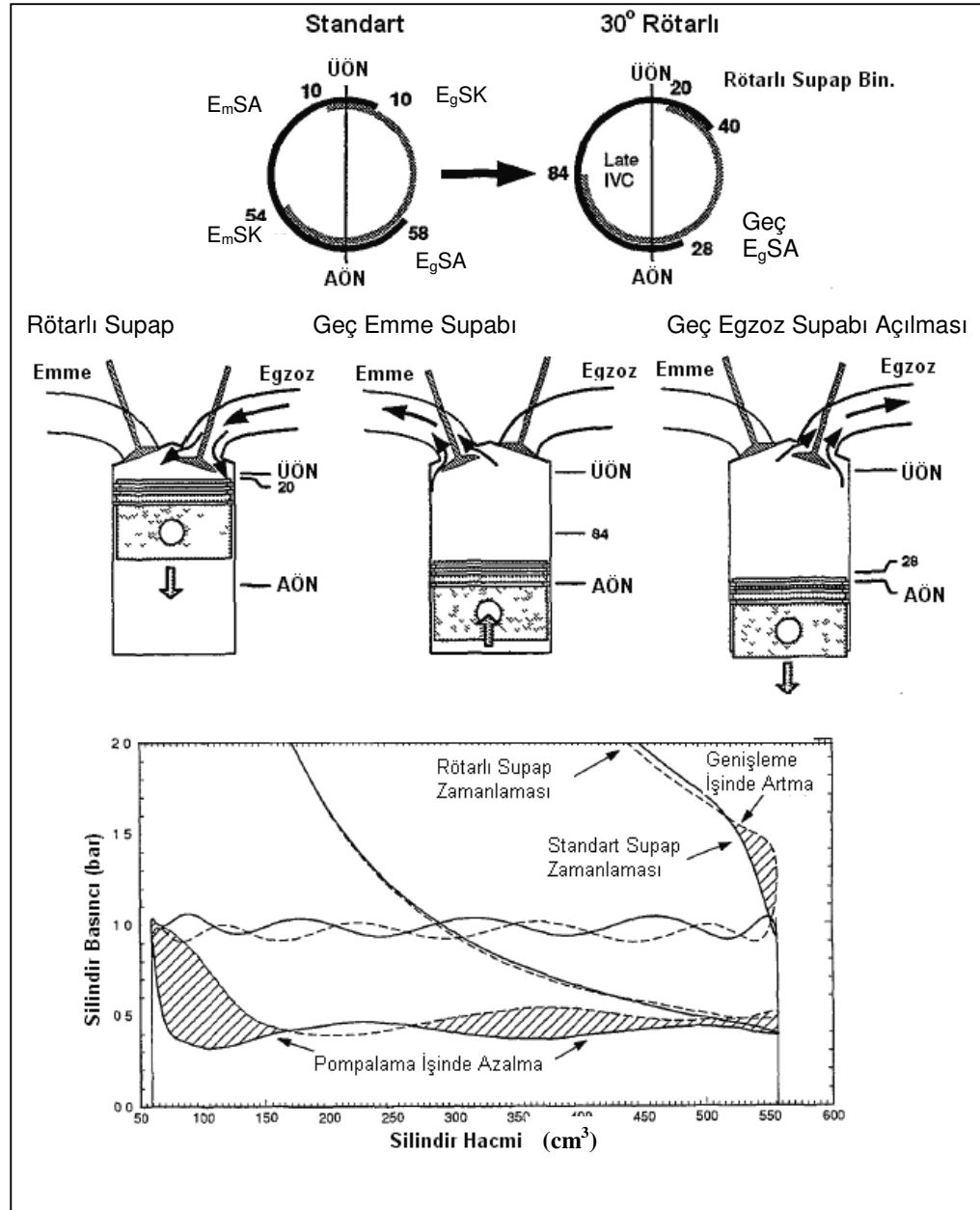
3.1. Değişik Supap Açılıp Kapanma Zamanlarının Basınç-Hacim Diyagramı Üzerinde Etkileri

Emme ve egzoz supabı açılıp kapanma zamanlarının değiştirilmesi içten yanmalı normal emişli motorlarda; pompalama işi, genişleme işi, NOx üretiminin kontrol edilmesi gibi parametrelerde etkilidir. Supap zamanlamasını değiştiren mekanizmalar genelde kam milini krank milinin dönüşünden bağımsız döndürerek zamanlamayı avans ve rötara alırlar. İYM tam yük ve rölanti çalışma aralığından çok kısmi yüklerde çalışırlar. Dolayısıyla kısmi yüklerde İYM'nin çalışmasına değişik supap zamanlamalarının etkileri Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'deki basınç-hacim diyagramlarında gösterilmiştir [14].

3.1.1. Emme ve egzoz supap zamanlamasının beraberce 30° (KA) rötara alınmasının etkileri

Her iki supap zamanlamasının eşit olarak rötara alınması üstten çift kam mili olan motorlarda kullanılabilir fakat üstten tek kam mili motorlara daha uygundur. Kısmi yüklerde kam milinin geciktirilmesinin en önemli nedenleri, artık gazı artırabilmek için supap bindirmesinin geciktirilmesi, pompalama

işinin azaltılması için emme supabı kapanması ve genişleme işinin artırılması için geç egzoz supabı açılmasıdır.



Şekil 3.2. Kısmi yüklerde 30° rötarlı emme ve egzoz supap zamanlaması ile standart supap zamanlamasının karşılaştırılması

Kam milinin 30° rötara alınması ile supap bindirmesi de 30° geciktirilmiştir. Standart supap zamanlamasındaki emme zamanının başlangıç noktası, zamanlamanın 30° (KA) rötara alınması ile örtüştüğü noktada sadece egzoz supabı açıktır ve emme supabı henüz açılmamıştır. Pistonun aşağı hareketiyle artık gaz egzoz manifoldundan silindir içine geri döner. Bu olgunun kısmi yüklerde standart kam zamanlamasına göre üç faydası vardır.

Bunlar;

1. Silindir içindeki seyreltici etki yapan artık gaz arttığından NO_x azaltılır.
2. Egzoz zamanının son kısmında yüksek oranda yanmamış HC silindir içine dönüp daha sonraki yanma olayında yakıldığından yanmamış HC oranı azaltılır[15].
3. Egzoz zamanında silindir içine dönen artık gaz emme zamanının ilk bölümlerinde silindir basıncının artmasını sağlayarak pompalama işini azaltır ve belirli yük durumlarında iç artık gazların artması yüksek manifold mutlak basıncı (MAP) gerektirir. Yüksek MAP sonucunda emme zamanında pompalama işi azalır [14].

Kam milinin 30° rötara alınması ile emme supabı da geç kapatılmıştır. Düşük motor devirlerinde Şekil 3.2'de gösterilen standart emme supabı kapanmasına göre gecikmiş emme supabı kapanması (E_mSK) ile AÖN'den sonra emme supabı çok fazla açık tutulmuş böylece karışımın ataleti karşılanıp ram etkisi azaltıldığından sıkıştırma zamanının ilk mertebelerinde daha fazla taze dolgu emme manifolduna kaçmıştır.

İYM'de supap zamanlamasında en önemli nokta emme supabının kapanma zamanıdır. Emme supabı kapanma zamanı İYM'nin moment eğrisine çok fazla etki etmektedir. Bunun oluşum nedeni ram etkisinin motor devrine bağlı

olan değişimidir. Motor hızı arttıkça ram etkisi artar. Yani emme supabı yüksek devirlerde geç, düşük devirlerde daha erken kapanmalıdır [14].

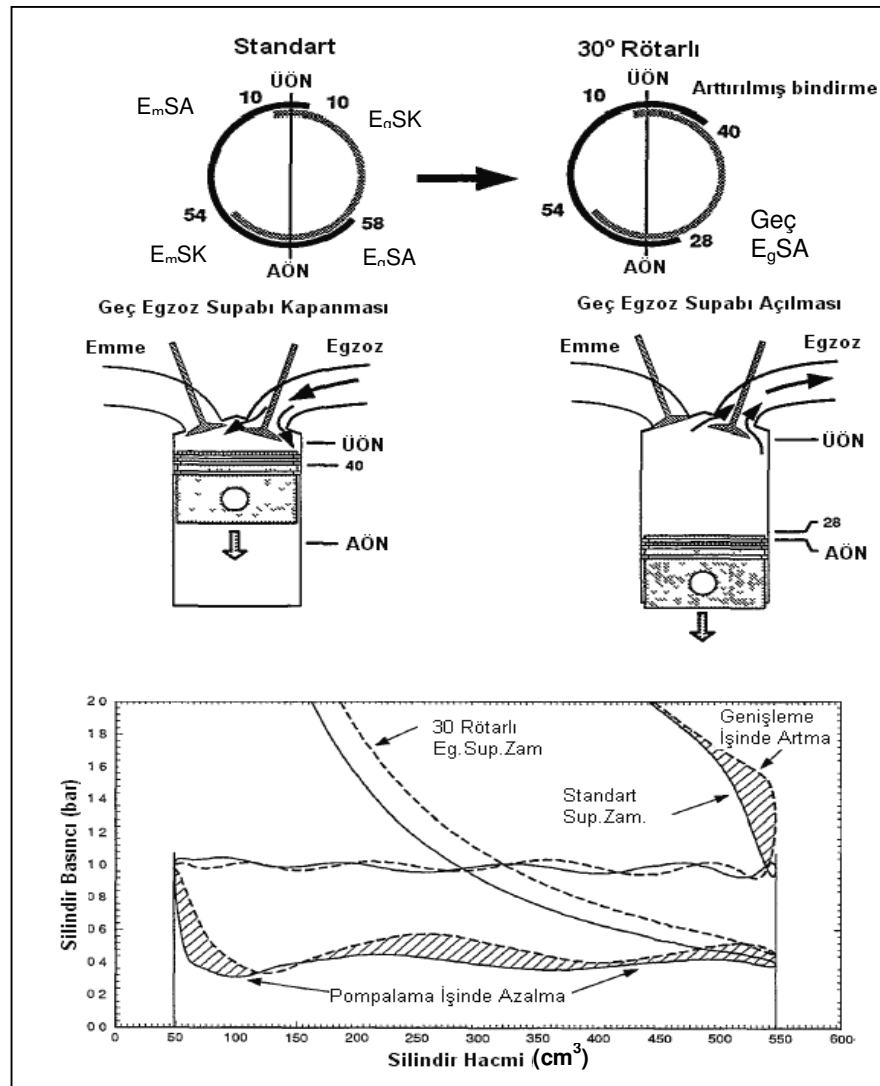
Şekil 3.2'de gösterildiği diğer önemli nokta egzoz supabı açılma (E_gSA) zamanıdır. Sabit supap zamanlamasındaki egzoz supabı açılma zamanı düşük motor hızlarındaki genişleme işi ve yüksek motor hızlarındaki egzoz geri basıncı arasında optimizasyonu sağlayacak şekilde seçilir. Şekil 3.2'de genişleme işinde sabit supap zamanlaması ile 30° (KA) rötara alınması arasındaki fark E_gSA kaybı olarak isimlendirilmiştir ve yakıt tüketimine etkisi efektif basınç üzerinden belirlenebilir. Geç egzoz supabı açılması genişleme işini arttırır. Aynı zamanda genişleme zamanında oksidasyon tam olduğu için HC miktarı azaltılmıştır [14].

1.1.2. Sadece egzoz supap zamanlamasının 30° (KA) rötara alınmasının etkileri

Sadece egzoz supap zamanlamasının kaydırılması üstten tek kam milli motorlara uygulanamadığı için üstten çift kam milli motorda uygulanmıştır. Şekil 3.3'de görüldüğü gibi kısmi yüklerde egzoz zamanlamasının önemli bir oranda geciktirilmesi ile supap bindirmesi emme zamanı içinde genişletilmiştir. Dolayısıyla emme zamanı başlamasına rağmen egzoz supabı büyük oranda hala açıktır. Bu esnada pistonun aşağı hareketiyle egzoz manifoldundan silindir içine artık gaz geri döner ve aynı zamanda emme manifold vakumunun yüksek olmasıyla artık gazlar emme supabı üzerinden emme manifolduna geçer. Standart supap zamanlamasına göre sadece egzoz kam milinin rötara alınmasının her iki supap zamanlamasının eşit miktarda rötara alınmasında olduğu gibi üç önemli faydası vardır. Bunlar;

1. NO_x azaltılır çünkü silindir içindeki seyreltici etki yapan artık gaz arttırılmıştır,

2. Yanmamış HC oranı azaltılır çünkü egzoz zamanının son kısmında yüksek oranda yanmamış HC silindir içine dönüp daha sonraki yanma olayında yakılmıştır,



3. Egzoz zamanında silindir içine dönen artık gaz emme zamanının ilk bölümlerinde silindir basıncının artmasını sağlayarak pompalama işini azaltır ve belirli yük durumlarında iç artık gazların artması yüksek manifold mutlak

basıncı (MAP) gerektirir. Yüksek MAP sonucunda emme zamanında pompalama işi azalır.

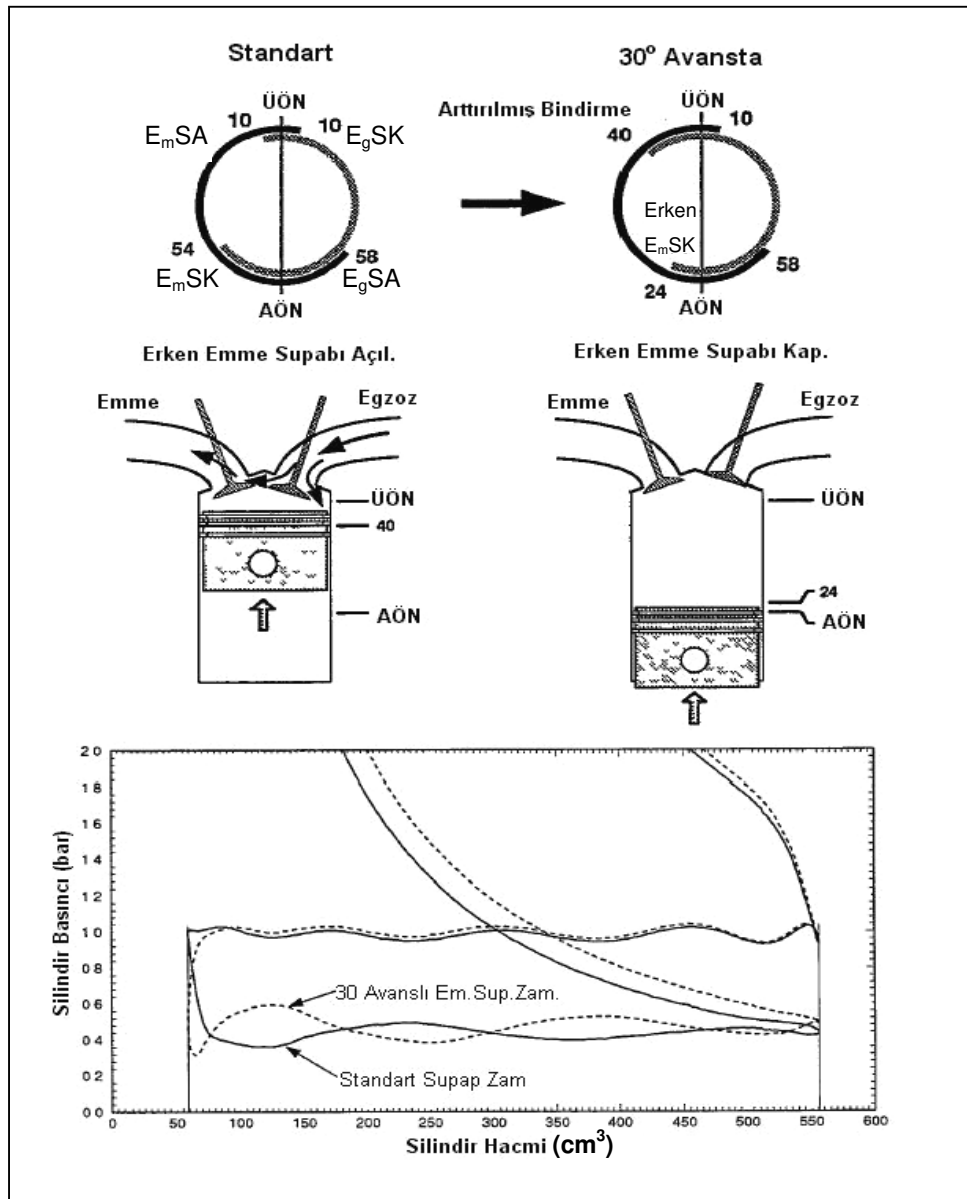
Şekil 3.3'de görüldüğü standart supap zamanlamasına göre egzoz supabının geç kapatılması silindir basıncının düşürmesi nedeniyle emme zamanındaki pompalama işinin azalmasına neden olmuştur. Egzoz supabının geç kapatılması iç EGR olarak da kullanılmıştır yani silindir içindeki artık gaz oranını artırarak NO_x oranını azaltmıştır. Bir diğer husus olan geç egzoz supabı açılması ile kısmi yüklerde yanma sonucu oluşan basıncın pistonun üzerine daha fazla etki yapmasından dolayı daha fazla genişleme işi elde edilmiştir.

1.1.3. Sadece emme supap zamanlamasının 30° (KA) avansa alınmasının etkileri

Sadece emme supap zamanlamasının değiştirilmesinde emme kam mili önemli ölçüde avansa alınmıştır. Kısmi yüklerde kam milinin avansa alınmasının birinci hedefi silindir içindeki artık gaz miktarını arttırmak için supap bindirmesini genişletmektir. Şekil 3.4'de gösterildiği gibi standart supap zamanlamasına göre emme supap zamanlaması krank mili açısı cinsinden 30° avansa alınmıştır.

Emme olayının avansa alınmasıyla, supap bindirmesi egzoz zamanı içinde genişlemiştir. Egzoz zamanının sonlarına yakın emme supabı açılmaya başlar ve emme manifoldu düşük basınçta. Böylece egzoz manifoldundan egzoz gazları silindir içine oradan da emme portuna girer. Bu egzoz gazları daha sonra emme zamanında tekrar silindir içerisine alınırlar. Silindir içindeki egzoz gazları seyreltici etki yaptığından her iki zamanlamanın geciktirilmesinde ortaya çıkan faydalar gene sağlanır. Kısmi yüklerde supap bindirmesinin artması emisyonu yarar sağlamıştır fakat Şekil 3.4'de gösterilen basınç hacim diyagramı incelendiğinde erken emme supabı kapanması yarar sağlamamıştır. Bunun sebebi sıkıştırma zamanında emme supabı erken kapandığı için taze dolgu kaybedilerek emme manifolduna geri

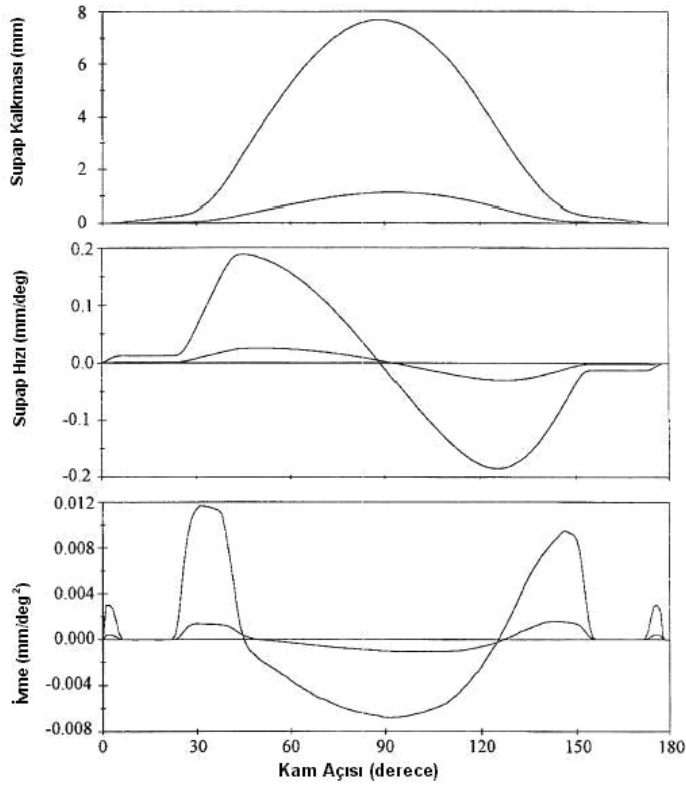
itilmiştir. Bu eğilim supap bindirmesinin fazla olması ile içeriye alınmış artık gazın MAP'a etkisine karşı gelir. Ancak erken emme supabı kapanmasının MAP üzerindeki oldukça küçük etkisi iç artık gazların etkisi tarafından dengelenir. Bu nedenle pompalama işinde standart supap zamanlamasına yakın bir sonuç elde edilmiştir [14].



Şekil 3.4. Kısmi yüklerde 30° avansa alınmış emme supap zamanlaması ile standart supap zamanlamasının karşılaştırılması

3.2. Supapların Açılması ve Kapanmasındaki Mekanik Hususlar

Gerçek supap kalkma eğrisi, hareket iletme elemanlarının elastikiyetinden, kam milinin kendisinden ve tahrik şekilleri gibi mekanik etmenlerden dolayı teorik kalkma eğrisinden daha farklıdır. 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 hesapla bulunan değere göre daha kısa açı ile daha yüksek hızlanma (ivmelenme) ve yavaşlama meydana gelir [16].



Şekil 3.5. İki farklı kalkma miktarı, hız ve ivme grafikleri [16]

Şekil 3.5'de iki farklı kalkma miktarına sahip supap da oluşan kalkma eğrisi, hız ve ivme grafikleri gösterilmiştir. Teorik supap kalkma eğrisinde kam profilinin supabı hareket ettirmesiyle supap hızı sıfır değerinden maksimum değerine çıkar. Bu aralıkta ivme grafiğinden de görüleceği gibi ivme pozitifdir.

Pozitif ivmenin oluşturduğu eylemsizlik supabın kam profiline sürekli temas etmesini sağlar. Daha sonra supabın hızı maksimumdan sıfıra ininceye kadar geçen süreçte ivme bu sefer negatiftir yani yavaşlama ivmesidir. Hareket halinde olan elemanların atalet kuvvetlerinden dolayı bu elemanlar kam profilinden uzaklaşmaya çalışır fakat kuvvetli supap yayı bunu engeller. Supap maksimum açıklığına eriştikten sonra ya bir müddet bu durumda kalır yada kapanma evresine geçer. Kapanma evresinde de ivmenin negatif veya pozitif olduğu aralıklarda açılma sürecinde olduğu gibi mekanik etmenler oluşur [17].

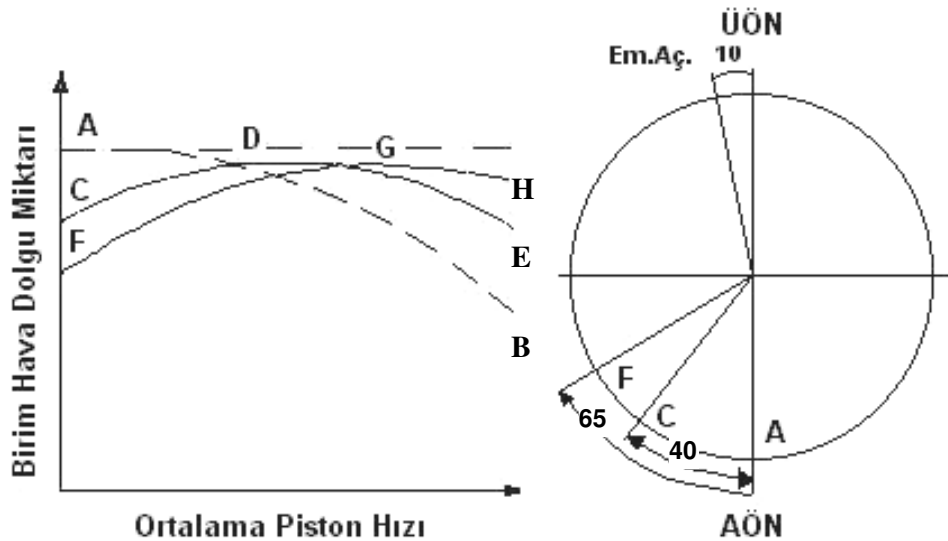
Gerçek supap kalkma eğrisinde iki önemli nokta mevcuttur. Bunlardan birincisi kamın tepe noktası ikincisi ise supap oturma anıdır. Şekil 3.5'de görüldüğü gibi kam tepe noktasına ulaştığında negatif ivme maksimumdur. Atalet kuvvetlerini dengelemeye çalışan supap yayı bu noktada gerekeni sağlayamaz. Supap kamın tepe noktasında sıçrar, tekrar kamın üzerine oturur ve tahrik elemanlarını sıkıştırmış olur. İkinci önemli nokta ise supabın yuvasına oturmasıdır. Bu anda oluşan darbe oldukça fazladır ve yuva yay tesiri yaparak supabı sıçratır. Bu iki durumda supaplarda istenmeyen durumdur. Supapların açılıp kapanmasında teorik ile pratik arasında bu farklılıkları azaltmak için;

- Kütleler nispeten küçük ve dayanıklı olmalıdır.
- Kam mili burulmaya ve eğilmeye dayanıklı olmalı, yatak yerleri salgı yapmamalıdır.
- Kam mili, supap tahrik sistemi küçük elastikiyete sahip olmalıdır [9].

Supaplar yüksek kalkma miktarında açıldığında mekanik problemlerin daha etkili olduğu Şekil 3.5'de görülmüştür. Kalkma miktarı azaldığında supap üzerinde oluşan ivme azalmış dolayısıyla atalet kuvvetleri de azalmıştır. Böylece daha düşük kalkma miktarlarında, hesaplanarak bulunan kalkma eğrisine çok daha yakın bir kalkma eğrisi elde edilebilir.

4. KAYNAK ARAŞTIRMASI

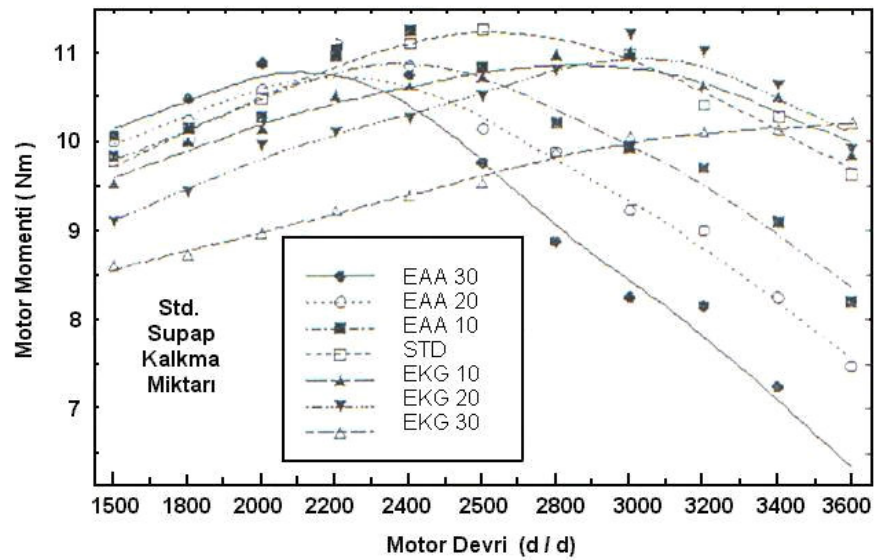
Şalfun R. [18] tarafından yapılan çalışmada emme supabı üç farklı noktada kapanması sağlanarak içeriye giren dolgu miktarının değişimi incelenmiştir. Emme supabının açılması sabit olduğu için ÜÖN'den 10° önce açılmış böylece içeriye giren dolguya etkisi azaltılmaya çalışılmıştır. Şekil 4.1'de gösterildiği gibi ilk deneyde emme supabı tam AÖN'de kapatılmış buna bağlı olarak dolgu miktarı piston hızı arttığında azalmaya başlamış ve AB eğrisini oluşturmuştur.



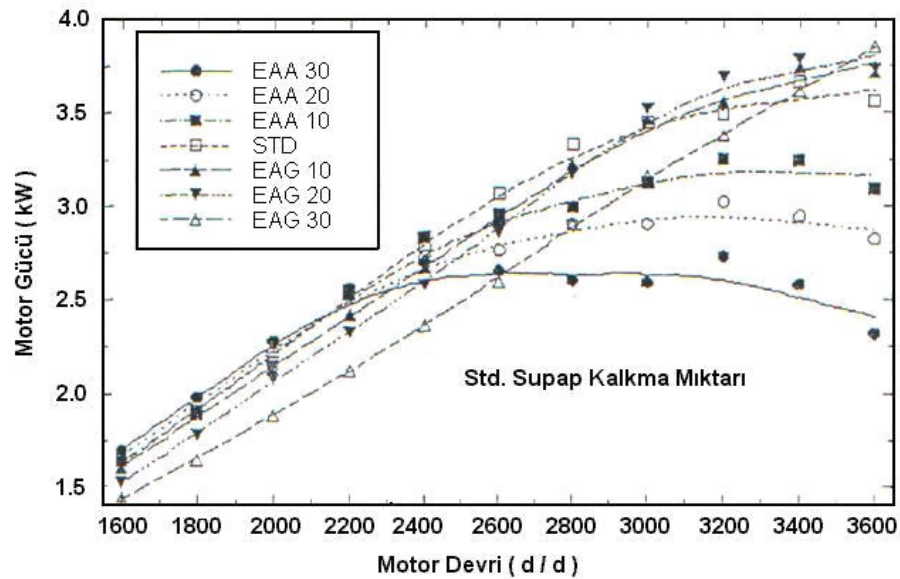
Şekil 4.1. Tam gaz kelebek açıklığında emme supabı kapanmasının birim hava dolgu miktarına etkisi [18]

İkinci deney de ise emme supabı AÖN'den 40° sonra kapatılmıştır. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi düşük devirlerde içeriye giren dolgu miktarı azalmış, piston hızı arttıkça CD eğrisinde olduğu gibi dolgu miktarı artış göstermiştir. Bunun sebebi düşük devirlerde piston yukarı doğru hareket eder iken açık olan emme supabından dolgunun geri kaçmasıdır. Piston hızı arttıkça giren dolgunun kinetik enerjisi arttığından piston yukarı çıksa bile içeriye giren dolgu miktarı artış göstermiştir. D noktasından sonra ise yine birim dolgu miktarı azalmıştır. Son deneyde ise emme supabı AÖN'den 65° sonra kapatılmıştır. Bu durumda ise düşük piston hızlarında birim dolgu miktarı

azalmış ve daha yüksek hızlarda maksimum dolgu girişi artarak G noktası elde edilmiştir. Yüksek hızlara çıktığında emme supabının kapatılması geciktirildiğinde DE eğrisi GH eğrisine dönüşmüştür [18].



a



b

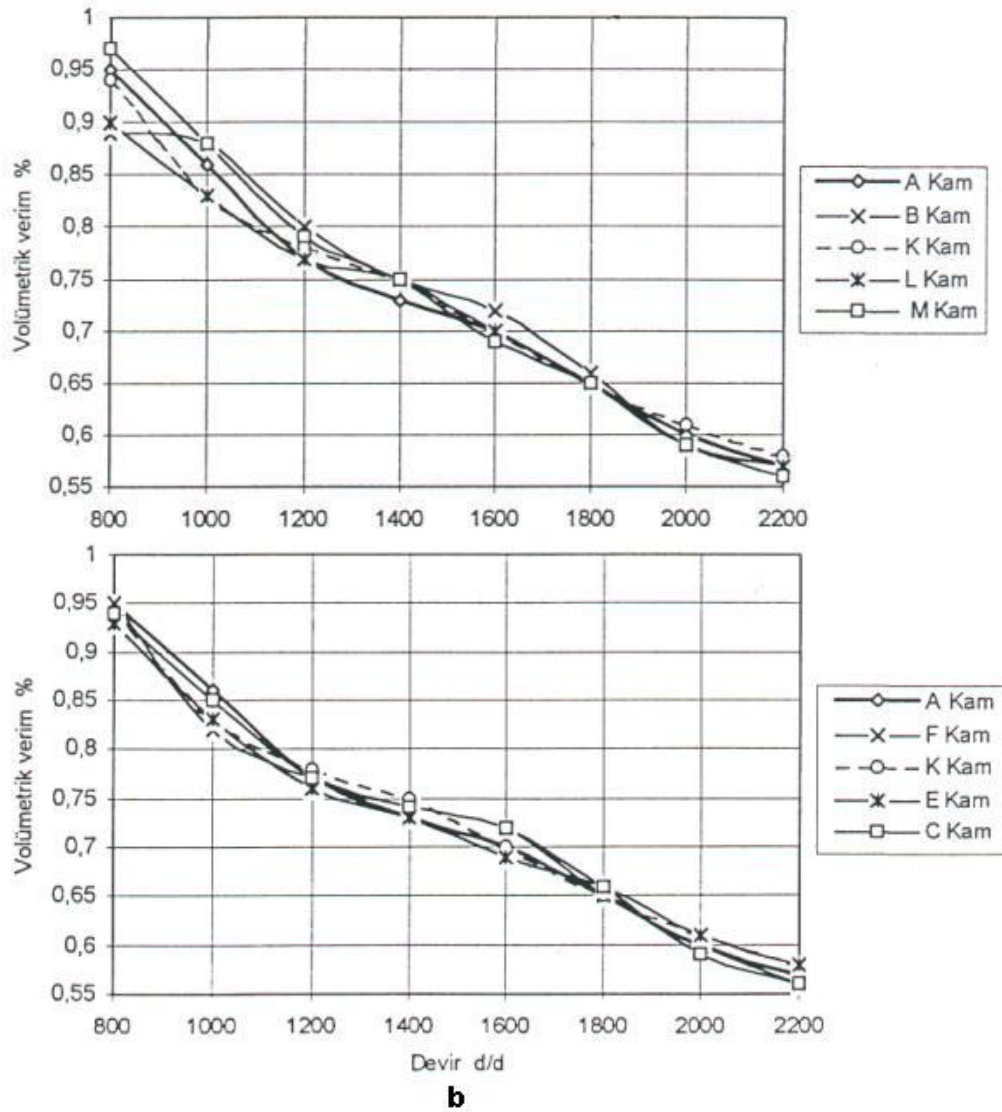
Şekil 4.2. Emme supabı zamanlamasının motor devrine bağlı olarak motor momenti ve motor gücüne etkileri [19]

Akbaş, A.[19] tarafından yapılan çalışmada emme kamının orijinal açılıp kapanma değerleri sabit tutularak 2,5 mm'den 6,5 mm'ye kadar 8 değişik emme supabı kalkma miktarında ve supap kalkma miktarı sabit tutularak 10° KA aralıklar ile 10° - 20° - 30° avans ve rötör değerlerinde deneyler yapılmış, supap zamanlamasının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi araştırılmıştır.

Her iki deneyde de tam gaz kelebek açıklığında, motor devri 1200 d/d'dan 3600 d/d'ya kadar 200 d/d aralıklarla 13 farklı noktada motor performans değerleri ve egzoz emisyonları elde edilmiştir. Şekil 4.2.a ve b'de ikinci deneyin motor momentine ve motor gúcüne etkisini gósteren eğriler verilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, dúřuk motor devirlerinde orijinal supap zamanlamasına góre emme supabı açılma avansı arttıkça motor momenti ve gúcü artmıştır. Yüksek devirlere doğru çıkılması ile emme supabının erken açılması motor momentinin ve gúcünün azalmasına neden olmuştur. Emme supabı zamanlaması kademeli olarak rötara alındığında ise dúřuk devirlerde orijinal supap zamanlamasına góre tork ve gúc dúřümüř, yüksek devirlere çıkıldıkça ise içeriye alınan dolgunun artmasıyla tork ve gúcte artış meydana gelmiştir [19].

Arslan, R.[20] tarafından yapılan çalışmada, supap zamanlamasının volumetrik verim üzerindeki etkileri teorik ve deneysel olarak araştırılmıştır. Tek silindirli dizel motoruna ait mevcut kam mili ve buna bağlı olarak üretilen 13 adet farklı açılarda işlenmiş kam mili kullanılmış böylece farklı emme ve egzoz açılma ve kapanma parametreleri elde edilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi motor devrine góre standart kam mili (A kam) ile daha iyi verim alınan kam milleri karşılaştırılmıştır ve grafikler Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Farklı kamların volumetrik verim üzerindeki etkisi [20]

Volumetrik verim eğrileri grafikte incelendiğinde emme açılma avansının artırılması (kam M, orijinal kam A'ya göre yaklaşık 9° önce emmeyi başlatmış ve supap bindirmesi 32° den 42° ye çıkmıştır) ile düşük ve orta devirlerde volumetrik verimi artırdığı görülmüştür. Ayrıca emme supabı açılması geciktirilen kamlar ile egzoz kapanması çok öne alınan kamlarda kayda değer bir volumetrik verim düşüşü görülmüştür [20].

Günümüzdeki teknoloji düzeyi yüksek motorlarda kullanılan değişken supap zamanlama mekanizmaları incelendiğinde; üreticilerin en çok kullandığı prensip açısından üç farklı değişken supap zamanlaması olduğu görülmüştür. Bunun sebebi; kabul edilebilir maliyet, dayanıklılık ve güvenilirlikle yeterli derecede esnekliğe sahip değişken supap zamanlama mekanizmalarını tasarlamamanın çok zor olmasından ileri gelmektedir. Araştırmacılar bu teknolojiyi kullandıkları prototip amaçlı motorlarda, kompleks yapıya sahip değişken supap zamanlama mekanizmalarından iyi sayılabilir veriler elde etmişlerdir. Ama bu prototipler uygulamaya yansımamıştır.

4.1. Değişken Supap Zamanlama Mekanizmalarının Sınıflandırılması

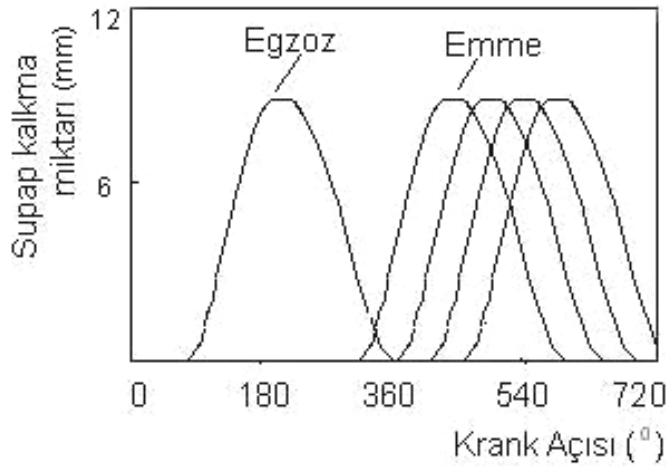
Bu kısımda araştırmacıların yaptıkları çalışmalardan sonra üreticilerin taşıt motorlarında kullandığı değişken supap zamanlama mekanizmaları ortaya konmuştur. Dolayısıyla bu çalışma, değişik sistemlerin motor performansına etkisi ve sistemin kabiliyetleri hakkında bir öngörü vermez. Külbütör ve kam milindeki tipik varyasyonlar her grup için ayrıca gösterilmiştir. Karmaşıklık derecesinin artmasına göre gruplar şöyledir.

- Kam fazını kaydıran mekanizmalar
- Kam fazını değiştiren mekanizmalar
- Kam fazını hem kaydıran hem de değiştiren mekanizmalar

4.1.1 Kam fazını kaydıran mekanizmalar

Bu mekanizmalar motor devrine bağlı olarak emme kam fazını en fazla rötardan en fazla avansa doğru sürekli değiştirmeyi arz eder. Emme kam mili için kullanılan mekanizma egzoz kam miline de konarak daha iyi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Sürekli faz kaydırabilme yeteneğine sahip mekanizmalar karmaşık ve esnek mekanizmalara göre basit ve ucuzdur. Çünkü her kam mili için bir tane hidrolik kanat hücreli ayarlayıcıya ihtiyaç

duyulur. Diğer sistemlerde her silindire ait supaplara hükmeden mekanizmalara gerek vardır.

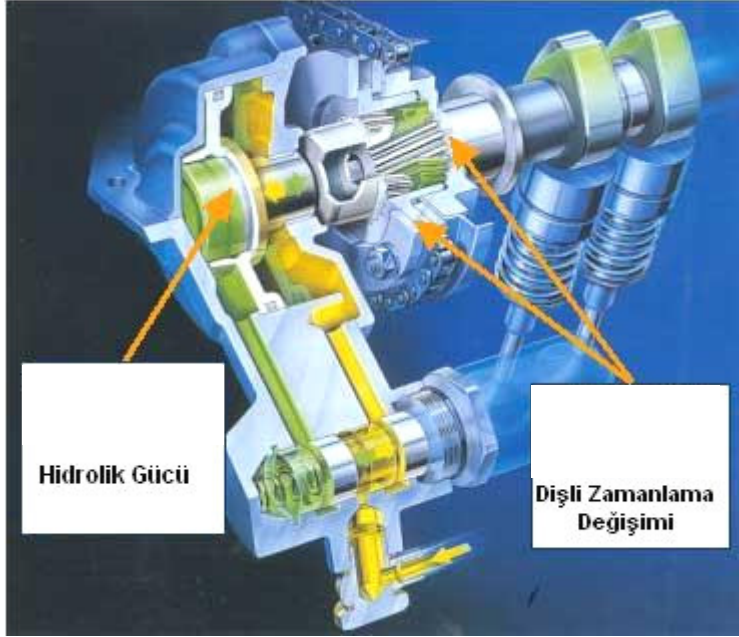


Şekil 4.4. Emme fazının sürekli kaydırılması

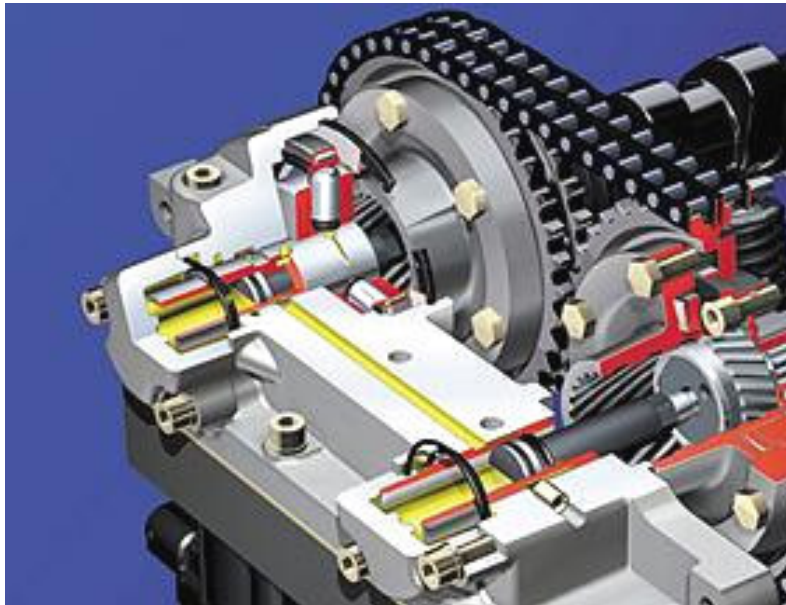
Temel olarak bu mekanizmalar kam milinin açısını değiştirerek supap zamanlamasını değiştirir. Örnek olarak; Yüksek devirlerde emme kam milini döndürerek 30° öne alır, böylece aynı anda erken emme yapılmasına olanak verir. Bu hareket ihtiyaca göre motor yönetim sistemi tarafından kontrol edilir ve hidrolik kanat hücreli ayarlayıcı tarafından harekete geçirilir. Dikkat edilirse bu mekanizmalar supabın açık kalma süresini değiştirmezler. Sadece supabın açılmasını erken yada geç yaparlar.

Resim 4.1.'de görülen Bmw'nin Vanos sisteminde kam milinin ucuna üzeri yivli olan bir dişli eklenmiştir. Bu yiv sayesinde kam mili krank mili dönüşünden bağımsız olarak dönüş yönünde ve ters yönde hareket ettirebilir. Çünkü bu yiv kam mili eksenine paralel değildir, çapraz kanallar şeklindedir. Motor devri arttığında dış kapaktaki piston kam miline doğru itilirse kam mili avansa alınır. Motor devri azaldığında ise benzer şekilde piston diğer yönde itilirse kam mili eski haline gelir. Dış kapaktaki pistonun bu hareketini önünde ve arkasında bulunan basınç odaları sağlar. Basınç

odalarına gönderilen yağ basıncı elektronik kontrol ünitesinin elektromanyetik supaba motor çalışma şartlarına göre hükmetmesiyle kontrol edilir.



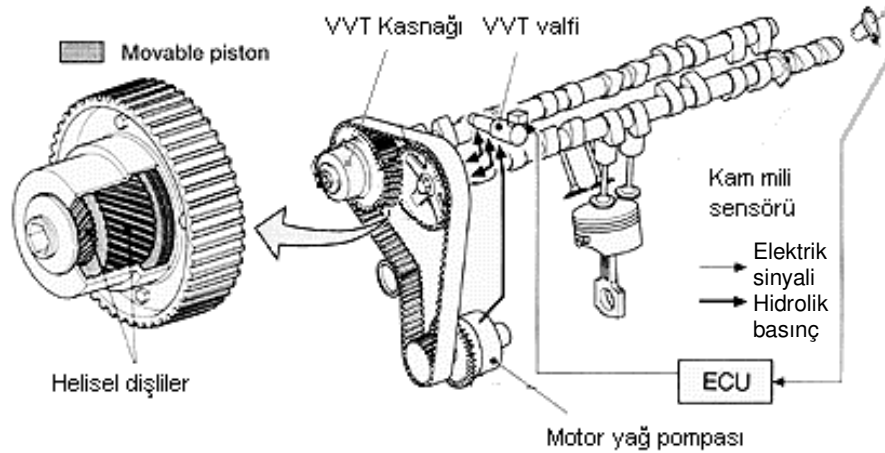
Resim 4.1. BMW'nin Vanos sistemi [21]



Resim 4.2. Çift Vanos sistemi [21]

Bmw' nin bu mekanizmasının emme kam mili için değişim aralığı maksimum 40° dir. Bmw emme kam miline uyguladığı bu mekanizmayı egzoz kam miline de uygulamıştır. Resim 4.2.'de gösterilen uygulama ile birlikte mekanizmanın adı Çift Vanos olmuştur. Çift Vanos sisteminin çalışması da Vanos mekanizması ile aynıdır. Fakat faz kaydırma açıları emme ve egzoz için farklıdır. Emme kamının fazı en fazla rötardan en fazla avansa azami 60° kaydırılabilir. Egzoz kamının fazı da 40° (KA) kaydırılabilir [21].

Bu mekanizma vasıtası ile yüksek hız aralığında güç kaybı olmaksızın düşük ve orta hız aralığında torkda artış sağlanmış ve daha az supap bindirmesi neticesinde rölantide daha az yanmamış artık gazlar biriktiğinden, rölanti hız karakteristikleri iyileşmiştir [21].

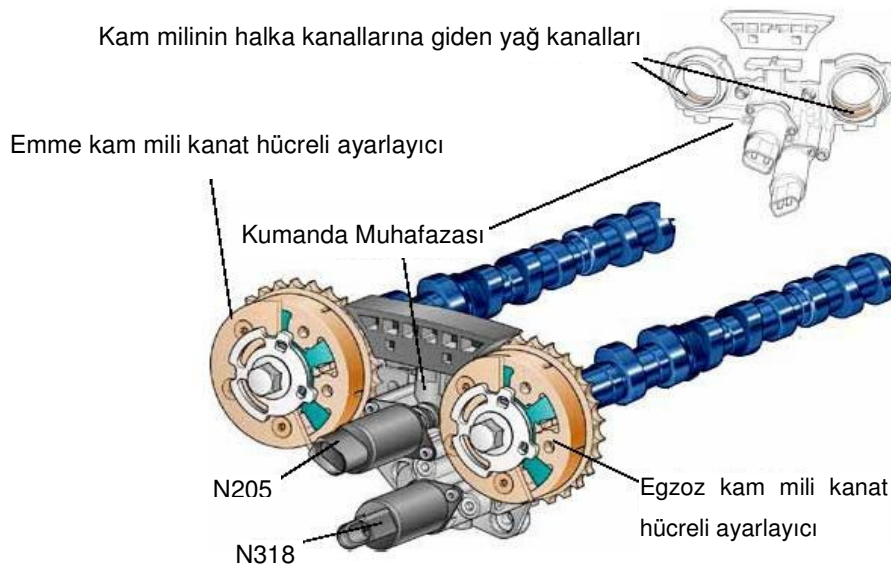


Şekil 4.5. Toyota VVT-i Mekanizması [22]

Toyota'da Şekil 4.5'deki VVT (variable valve timing) olarak isimlendirdiği sisteminde emme kamının fazını bir uçtan diğer uca 60° (KA) sürekli değiştirmeyi hedeflemiştir. Bu mekanizmada VVT kasmağı emme kam milinin önünde yer almıştır. Bu mekanizmada bulunan yağ kontrol supabı (VVT valfi), elektronik kontrol ünitesi komutuna göre VVT kasmağına uygulanan ve motor yağ pompası tarafından oluşturulan yağ basıncının kontrolünü sağlar. Motor devri arttığında; yağ kontrol supabı elektronik kontrol ünitesinin

gönderdiği sinyal ile yağ geçişine izin vererek VVT kasmağının içinde bulunan dişli pistonu hareket ettirir. Böylece kam mili avansa veya rötara alınarak çalışma şartlarına uygun supap zamanlaması sağlanır.

Bu mekanizma sayesinde NOx emisyonları %40, HC emisyonları %10 azaltıldığı ve yakıt ekonomisinde yaklaşık %6 iyileşme sağlandığı (Japonya çevrim standartlarına göre) iddia edilmiştir [22].



Şekil 4.6. VW değişken supap zamanlama mekanizması [23]

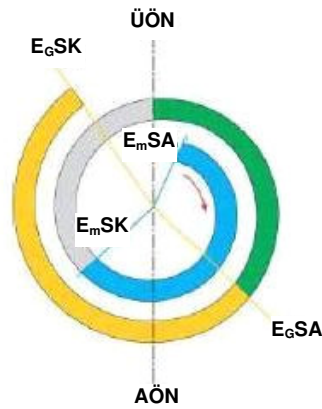
Volkswagen ise V5 ve V6 motorları için değişken supap mekanizması geliştirmiştir. Bu mekanizmada emme fazı sürekli değiştirilmekte, egzoz fazı ise 2 adımlı olarak değiştirilmektedir. Dört silindirli motorlarında ise sadece emme fazını sürekli kaydıran mekanizma kullanmıştır. Bu mekanizma ile diğer mekanizmalar arasında benzerlikler vardır. Fakat sistemin çalışması daha belirgin olduğu için sürekli faz kaydırmalı mekanizmaların anlaşılabilmesi için üzerinde durmaya değerdir.

Volkswagen' nın uyguladığı bu sistemin sağladığı iddia edilen faydalar, emisyon kontrol kabiliyeti ve motor performansının geliştirilmesini içerir. Bu

faydaları sağlayabilmek için elektronik kontrol ünitesine kaydedilmiş olan haritalardan yararlanır. Bu haritada ise motor çalışması modlara ayrılmıştır. Bu modlar aşağıda supap ayar diyagramları ile gösterilmiştir [23].

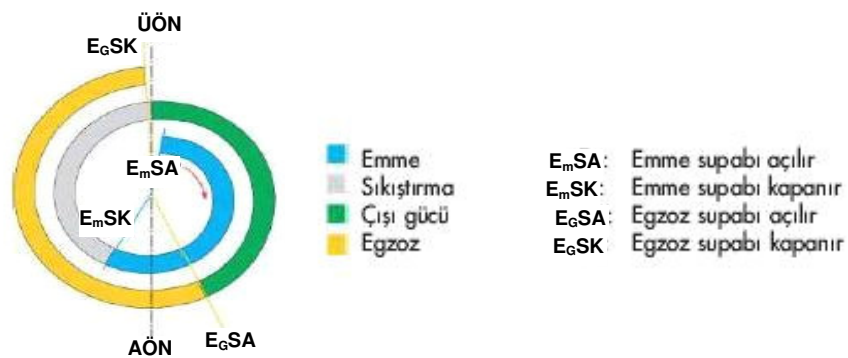
Rölanti

Rölantide emme kam mili geç açılacak ve dolayısıyla geç kapanacak konuma ayarlanmıştır. Egzoz kam mili ÜÖN'den çok önce kapanacak şekilde ayarlanmıştır. Yanma esnasında gaz atığının en az seviyede olması düzenli bir rölanti elde edilebilir.



Şekil 4.7. Rölanti modu supap ayar diyagramı

Çıkış Gücü

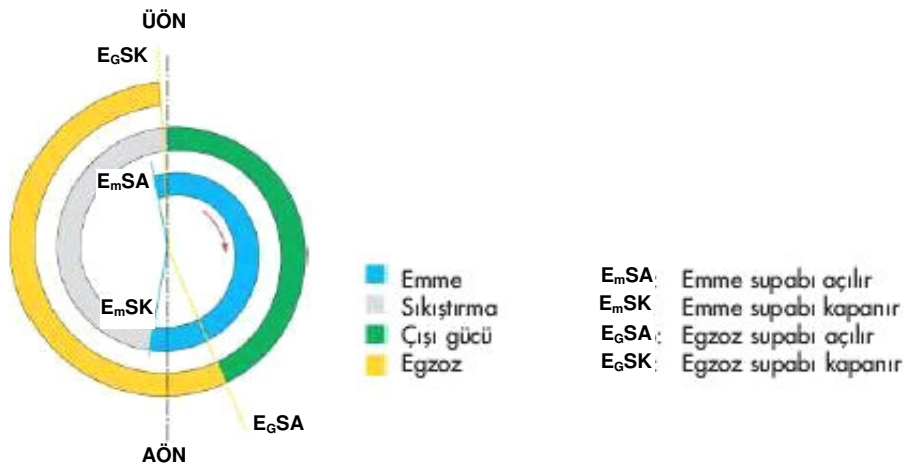


Şekil 4.8. Çıkış gücü modu supap ayar diyagramı

Yüksek devirlerde yüksek çıkış gücüne ulaşabilmek için egzoz supapları geç açılır. Yanan gazın genişmesi pistonu etki eder. Emme supabı ÜÖN'den sonra açılacak ve AÖN'den sonra geç kapanacaktır. Bu yüzden içeri giren dolgunun dinamik ilave yük etkisi çıkış gücünün artmasında kullanılır.

Tork

Maksimum torka ulaşabilmek için yüksek hacimsel etkiye ulaşılması gerekir. Bundan dolayı emme supabı erken açılmalıdır. Erken açılmadan dolayı da yine erken kapanır ve yanmamış gazın çıkışı önlenir. Egzoz kam mili ÜÖN'den kısa süre önce kapanır.

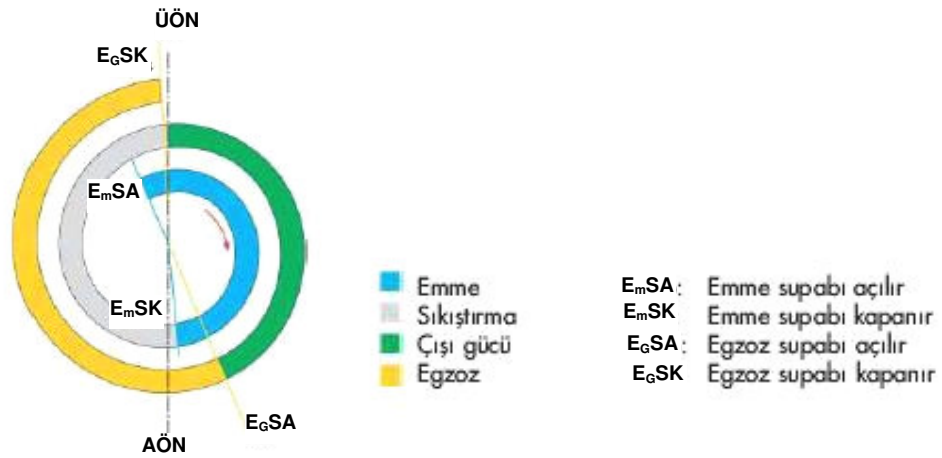


Şekil 4.9. Tork modu supap ayar diyagramı

Egzoz Gazı Devir Daimi

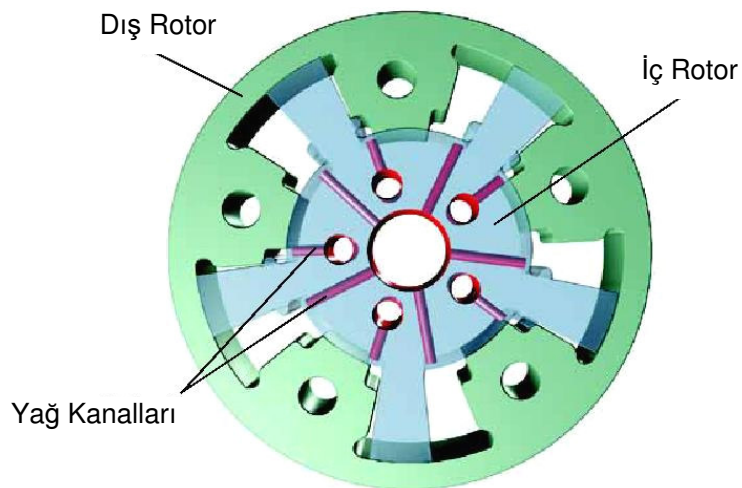
Dahili egzoz gazı devir daimi emme ve egzoz kam millerinin ayarlanmasıyla elde edilir. Bu işlemde egzoz gazı egzoz kanalından emme kanalına akarken emme ve egzoz supaplarının ikisi de açıktır. Supapların açıklığı devir daimdeki egzoz gazı miktarına bağlıdır. Supapları, emme kam mili ÜÖN' den hemen önce açacak, egzoz kam mili ise ÜÖN' den hemen önce kapatacak

şekilde ayarlanmıştır. Emme ve egzoz supapları açık olduğunda egzoz gazı devir daimdedir.



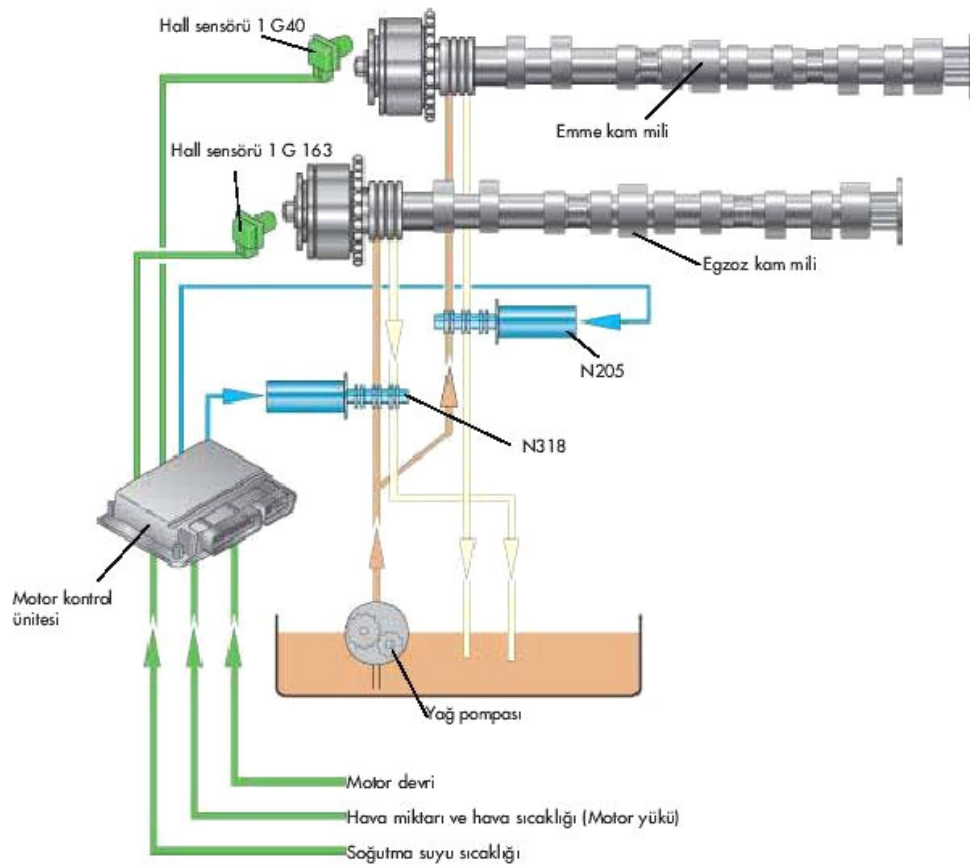
Şekil 4.10. Egzoz gazı devir daimi modu supap ayar diyagramı

Dış egzoz gazı devir daimine karşın iç egzoz gazı devir daiminin avantajı sistemin hızlı reaksiyonu ve geri dönen egzoz gazlarının iyi bir şekilde eşit dağılımıdır. Bu mod sayesinde NO_x oluşumu engellenmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.11. Kanat hücreli ayarlayıcı [23]

Emme kam milinin ayarlanması için kullanılan Şekil 4.11'deki kanat hücreli ayarlayıcı doğrudan emme kam milinin üzerine takılmıştır. Emme kam milini motor kontrol ünitesinden gelen sinyale göre ayarlar. Her iki kanat hücreli ayarlayıcı hidrolik olarak çalışır ve motor yağ devir daim devresine bağlı kumanda muhafazasının üzerindedir.



Şekil 4.12. VW değişken supap zamanlamasının çalışma prensibi [23]

Eksantrik mili ayarının kontrolü motor kontrol ünitesi tarafından yapılır. Eksantrik mili ayar bilgisi motor devir sayısı, motor yükü, motor sıcaklığı ve eksantrik millerinin pozisyonu verilerinin işlenmesi sonucu hesaplanır. Eksantrik milinin ayarlanması için motor kontrol ünitesi N205 ve N318 solenoid supaplarını çalıştırır. Kumanda muhafazasındaki yağ kanallarını açar. Motor yağı kanat hücreli ayarlayıcıya kumanda muhafazası ve eksantrik

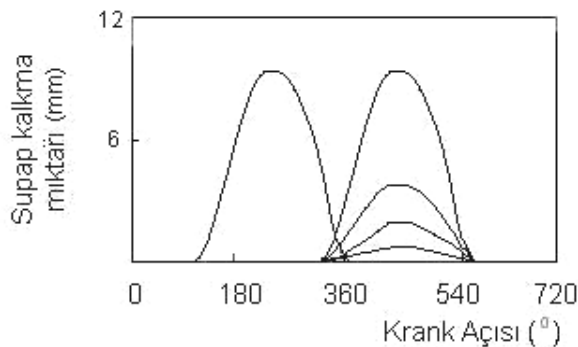
milinden geçerek ulaşır. Kanat hücreli ayarlayıcı döner ve eksantrik milini motor kontrol ünitesindeki değerlere göre ayarlar.

Emme kam mili fazı motor kontrol ünitesi tarafından motorun tüm devir aralığı için ayarlanır. Maksimum ayar değeri 52° krank açısıdır. Değişken supap zamanlaması görevini yerine getiremezse kanat hücreli ayarlayıcı durma pozisyonu olan ÜÖN'den sonra 25° (KA) konuma getirilir. Ayarlama motor kontrol ünitesindeki harita değerlerine bağlı olarak avansa alma ve geciktirme olarak krank milinin dönüş yönünde ve ters yönde gerçekleşir.

Egzoz kam milinin ayarında ise elektronik kontrol ünitesi yalnız normal konum ve rölanti durumlarında ayarlama yapar. Ayar açısı maksimum 22° (KA)'dır. Rölantide ve 1200 d/d'ya kadar egzoz eksantrik mili avans yönünde 1200 d/d üzerindeki motor devirlerinde ise normal konumunda çalışır [23].

4.1.2. Kam fazını değiştiren mekanizmalar

Bu mekanizmalar kam fazını kaydıran mekanizmalara göre daha karmaşık ve esnek yapıya sahiptir. Kam fazını değiştiren mekanizmalar supap kalkma miktarını değiştirirler. Böylece değişken supap zamanlama mekanizmasından beklenen faydalar elde edilmeye çalışılmıştır. Faz değiştiren mekanizmalarda supaplara kumanda etmek için hidro mekanik tertibatlar düzenlenmiştir.



Şekil 4.13. Emme fazının değiştirilmesi

Honda bu sistemi uygulayan ilk üreticilerden biridir. Honda sürekli geliştirdiği bu sisteme değişken supap zamanlı ve açılmalı elektronik kontrol sisteminin (variable valve timing and lift electronic control) kısaltması olan Vtec adını koymuştur. Vtec kullanılan bir motorda her supap farklı şekillerdeki bir dizi kama sahiptir. Bunların hepsi aynı kam mili üzerindedir ve elektronik kullanımı sonucu, hidrolik basınç aracılığıyla motor koşullarına bağlı olarak değiştirilirler; böylece yüksek performans ve yüksek verim elde edilir.

Vtec sisteminin şu ana kadar beş değişik tipi geliştirilmiştir (24). Bunlar;

- Üstten Tek Eksantrikli Vtec
- Üstten Çift Eksantrikli Vtec
- Yeni Vtec
- Üç Aşamalı Vtec
- Vtec-E

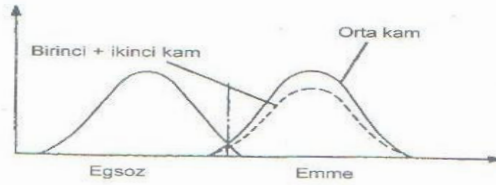
Bu tipler arasında farklar göz önüne konursa;

Üstten tek eksantrikli Vtec'te sadece emme eksantrik mili üzerinde farklı profillere sahip yüksek devir ve düşük devir kamları vardır. Düşük ve orta motor devri aralıklarında, düşük devir kamları devrededir ve her iki emme supabını da eşit miktarda açarak düşük kalkma miktarı sağlarlar. Yüksek devir aralığında ise yüksek devir kamları devreye girer ve her iki emme supabına da yüksek kalkma miktarı sağlarlar.

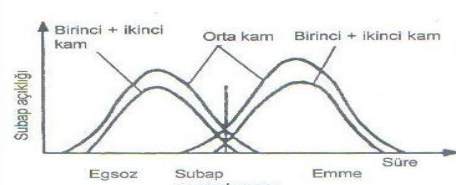
Üstten çift eksantrikli Vtec tipinde ise hem emme hem de egzoz eksantrik mili üzerinde farklı profillere sahip yüksek devir kamları yer alır. Motor koşullarına göre supapları açan kamın seçimi ve çalışma prensibi üstten tek eksantrikli Vtec gibi yapılıdır.

Yeni Vtec'te; üstten tek eksantrikli Vtec'te olduğu gibi emme eksantrik mili üzerinde farklı profillere sahip yüksek ve düşük devir kamları yer alır. Bu

uygulamada neredeyse ikinci emme supapları hareketsiz tutulurken birinci emme supapları silindire dolgu tedarik ederler. Yanma odalarının ve şekillerinin düzeltilmesi sonucu, bu hareket yanmanın daha verimli olarak yapılması için her odada girdap yaratır.



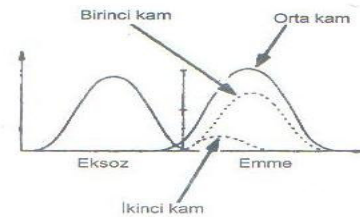
Sohc Vtec Supap Kalkma Eğrileri



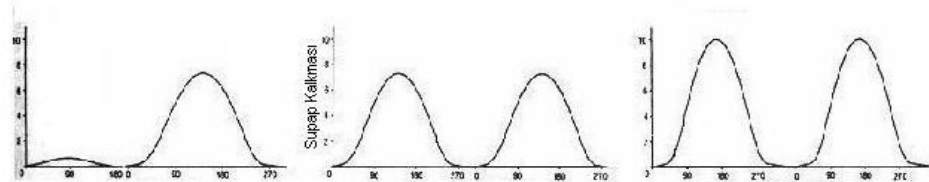
Dohc Vtec Supap Kalkma Eğrileri



Vtec-E Tipi Supap Kalkma Eğrileri



Yeni Vtec Supap Kalkma Eğrileri



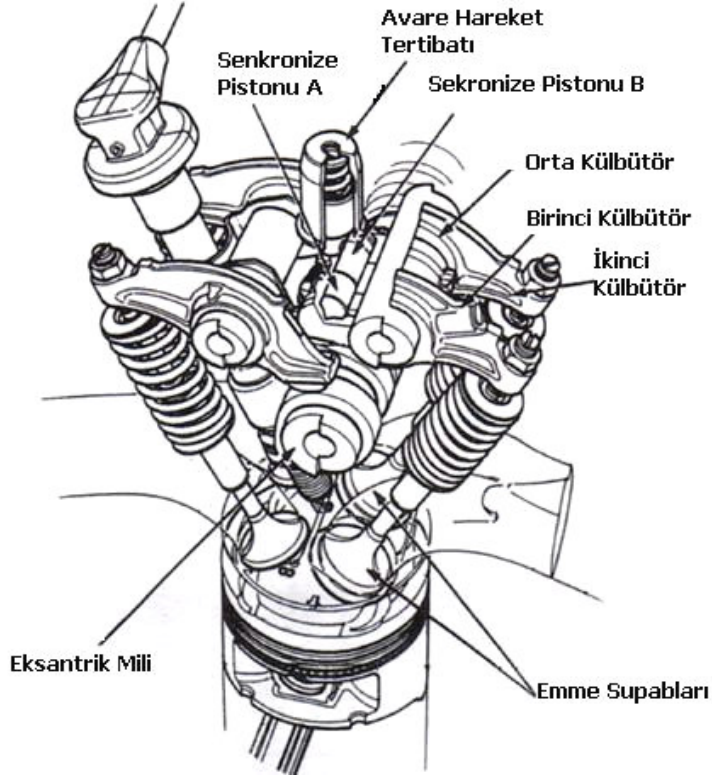
Üç Aşamalı Vtec Supap Kalkma Eğrileri

Şekil 4.14. Honda Vtec tiplerinin supap kalkma eğrileri [24]

Üç aşamalı Vtec sisteminde; yukarıda bahsedilen Vtec sistemlerinden farklı olarak emme supapları üç aşamalı olarak kontrol edilir. Bu aşamalarda; düşük devirlerde bir emme supabı, orta devirlerde ise her iki emme supabı düşük devir kamı tarafından çalıştırılır. Yüksek devirlerde ise supaplar yüksek devir kamı tarafından çalıştırılır.

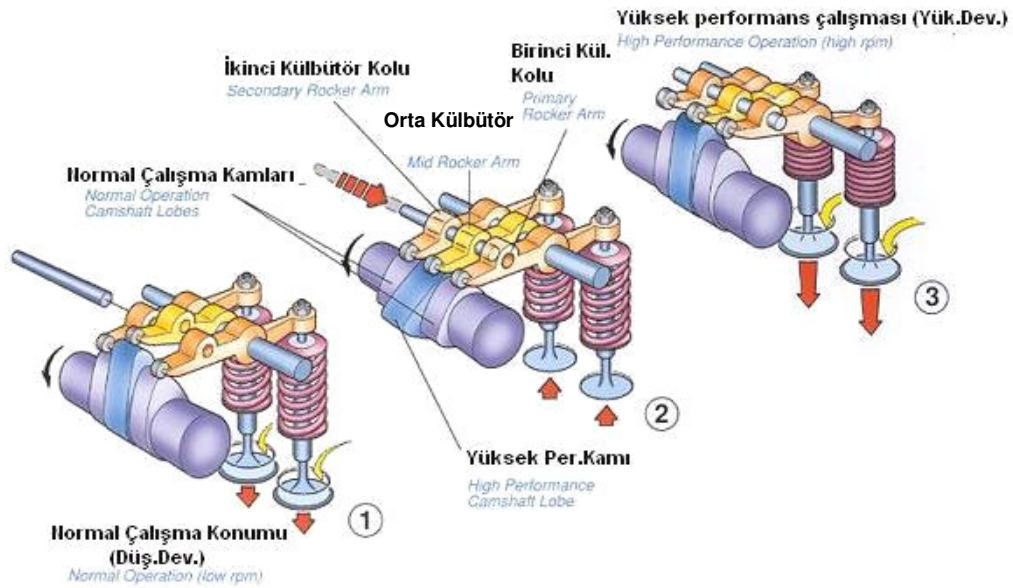
Vtec-E tipi yeni Vtec mekanizmasına benzemektedir. Fakat orta kam yada orta külbütöre sahip değildir. Buna bağlı olarak avare tertibatı da yoktur. Emme supabı eksantrik milinde bağımsız profillere sahip düşük devir ve orta devir kamları bulunur. Düşük devirlerde ikinci supap düşük devir kamı tarafından çalıştırılır. Orta aralıkta ise her iki supapta orta devir kamı ile çalıştırılır.

Yukarıda bahsedilen Vtec tiplerinin hepsi üretici firmanın çeşitli modellerinde kullanılmıştır. Vtec sisteminin anlaşılabilmesi için üstten tek eksantrikli Vtec ile üç adımlı Vtec sistemlerinden bahsedilmesi yeterlidir. Üstten tek eksantrikli Vtec sisteminin külbütör mekanizmasının ve supapların çalışma durumları Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Honda üstten tek eksantrikli Vtec sistemi [25]

Vtec sistemi düşük motor devirlerinde devrede değildir. Yağ kontrol valfi kapalıdır ve külbütörler içindeki senkronize pistonlarına hidrolik basınç uygulanmaz. Buna bağlı olarak her külbütör bağımsız hareket edebilir ve sırasıyla birinci, orta ve ikinci kamlar tarafından çalıştırılırlar. Bu durumda, birinci ve ikinci supaplar, birinci ve ikinci kamların profilleri tarafından belirlenen zamanlama ve açılmaya göre açılıp kapanırlar. Doğal olarak, orta külbütör orta kam tarafından kontrol edilir fakat supaplara hükmedemez ve gürültü yapmaması için avare hareket tertibatının baskısı altında tutulur.

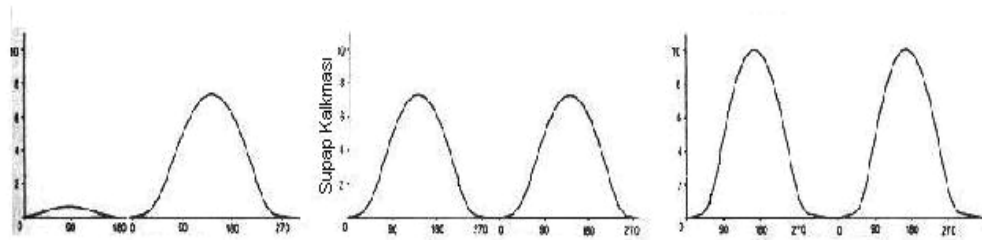


Şekil 4.16. Honda üstten tek eksantrikli Vtec sisteminin çalışması

Motor devri önceden belirlenmiş bir seviyeyi aştığında (Şekil 4.16-2), elektronik kontrol ünitesi yağ kontrol valfine sinyal göndererek bu valfin açılmasına neden olur. Yağ pompasından gelen hidrolik basınç eksantrik mil içindeki yağ pasajından geçip külbütörlere ulaşarak senkronize pistonları yana doğru itmiştir. Bununla birlikte, külbütörlerden herhangi biri o anda kamlardan biriyle temas halindeyse, pistonların hepsi birden tek dizi halinde sıralanamaz. Bu nedenle, hidrolik basınç pistonlar üzerinde etkili olsa da külbütörler hareket etmeye devam ederler. Üç külbütör de kamdan uzaklaştığında pistonlar kaymış ve külbütörler birbirine bağlanmıştır. Bu

durumda, orta külbütör aracılığıyla hem birinci hem de ikinci supap orta kam tarafından çalıştırılmıştır.

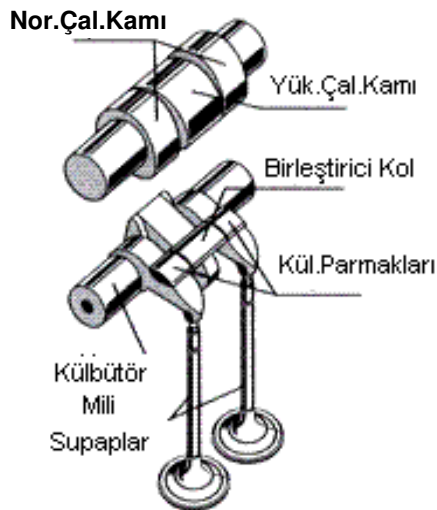
Motor devri düştüğünde, yağ kontrol valfi kapanır ve hidrolik basınç düşer. Durdurucu, pistonları tekrar asıl konumlarına sokmaya çalışır. Önceden olduğu gibi, pistonların tümü tek dizi halinde sıralandığında bu olay gerçekleşir. Bu hareket sonucunda külbütörler birbirlerinden ayrılırlar ve bağımsız hareket etmeye başlarlar [25].



Şekil 4.17. Üç adımlı Honda Vtec sistemi

Şekil 4.19'da görülen üç adımlı Vtec sistemi de geliştirilmiştir. Sisteme iki farklı şekilde hidrolik basınç uygulanır. Motor devri düşük iken külbütörlerin hepsi bağımsız çalışır. Yüksek devir çalışma kamı düşük devirlerde supaplara kumanda edemez. Supaplar üzerlerine denk gelen kamlar vasıtasıyla açılır. Yeni Vtec sisteminde olduğu gibi supabın biri çok az açılır. Bunun sebebi supabın arkasında karışım birikmesini engellemektir. Orta motor devirlerine gelindiğinde yağ kontrol valflerinden üsteki zamanlama

pistonuna kumanda eden yağ kanalı açılır ve sisteme hidrolik basınç uygulanır. Bu zamanlama pistonun kayarak birinci ve ikinci külbütörün birleşmesine neden olur. Bu şekilde hem birinci hem de ikinci supaplar birinci kam tarafından devreye sokulur. Yüksek motor devirlerinde ikinci yağ kontrol valfi açılır ve alttaki zamanlama pistonuna hidrolik basınç uygulanır. Zamanlama pistonu kayarak birinci ve ikinci külbütörü orta kam ile birleştirmiş olur. Yüksek devirlere uygun profilli bu kam, her iki emme supabını da çalıştırır. Zamanlama değişim koşulları motor devrine göre 3000 d/d ve 6000 d/d'dir. Honda Vtec sistemi ile bir önceki kullandığı 3.0 litre hacimli motora göre; maksimum güçte %18'lik artış, düşük devirlerdeki motor momentinde %18'lik artış, sürtünmeye harcanan güçte %8'lik düşüş ve özgül yakıt tüketiminde % 4'lük bir iyileşme elde etmiştir [25].



Şekil 4.18. Nissan Neo V6 mekanizması

Kam fazını değiştiren bir diğer sistem olan mekanizma Şekil 4.18'de gösterilen Nissan Neo V6'dir. Honda Vtec sistemine benzerler fakat sağ ve soldaki kamlar aynı profildedir. Düşük motor devirlerinde külbütör iticisi, düşük devir kamları tarafından bağımsızca hareket ettirilerek düşük kalkma sağlanır. Yüksek hızlarda ise ortadaki kam ile külbütör iticileri hareketlendirilir ve yüksek kalkma sağlanır. Nissan'ın sisteminin Honda'nın sisteminden

farkı; emme supaplarına konulan mekanizma egzoz supaplarına da konmuştur. Böylece mekanizma üç adımlı konuma gelmiştir. Bu adımlar çizelge 4.1'deki gibidir [26].

Çizelge 4.1. Nissan Neo Vvi mekanizması çalışma şartları

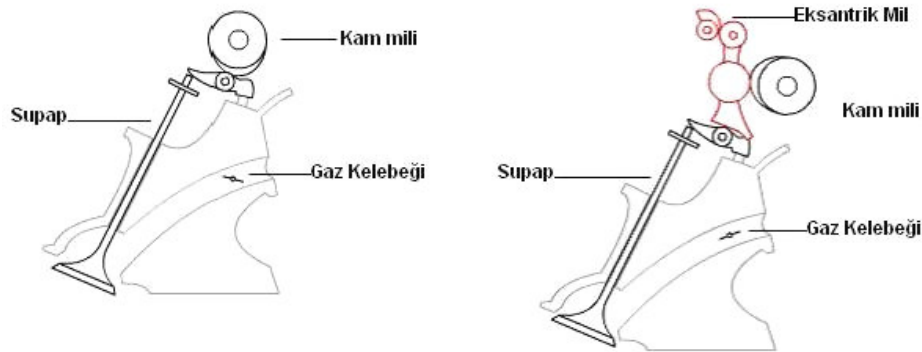
Adım	Çalışma Şartları
1 nci Adım	Düşük motor hızlarında aktiftir. Her iki emme ve egzoz supabı da düşük hız konfigürasyonunda çalışır.
2 nci Adım	Orta motor hızlarında aktiftir. Emme supapları yüksek hız konfigürasyonunda, egzoz supapları da düşük hız konfigürasyonunda çalışır.
3 ncü Adım	Her iki emme ve egzoz supapları da yüksek hız konfigürasyonunda çalışır.

Nisan Neo Vvi mekanizması ile; sabit supap mekanizması bulunan bir önceki motor versiyonuna göre maksimum güçte %13 artış ve düşük motor devirlerinde oluşan motor torkun da ise %8,4 artış elde etmiştir [26].

Bmw Şekil 4.19. ve Şekil 4.20'de görülen Valvetronic olarak isimlendirdiği değişken kalkma sağlayan değişken supap zamanlamasını kullanmıştır. Bu mekanizma diğerlerinden çok farklıdır. Çünkü motor yük kontrolünü gaz kelebeği yerine sürekli değiştirebilir emme supabı kalkması ile sağlamaktadır. Bunu yapabilmek için Şekil 4.19'da görülen kam milinden ayrı olarak kullanılan ve step motor tarafından döndürülen ikinci eksantrik mil kullanır. Bu eksantrik mil ile külbütör iticisi arasına kam milinden hareket alan başka bir itici mekanizması uygulanmıştır.

Enjeksiyon sistemi gaz kelebeği boyunca geçen havanın hacmini kontrol eder ve motora gerekli yakıtın miktarını belirler. Gaz kelebeğinin tam açılması yanma odasına daha fazla dolgu girişini sağlar. Gaz kelebeğinin etrafında akışın az olması, gaz kelebeğinin kısmi veya tama yakın kapalı olmasıyla

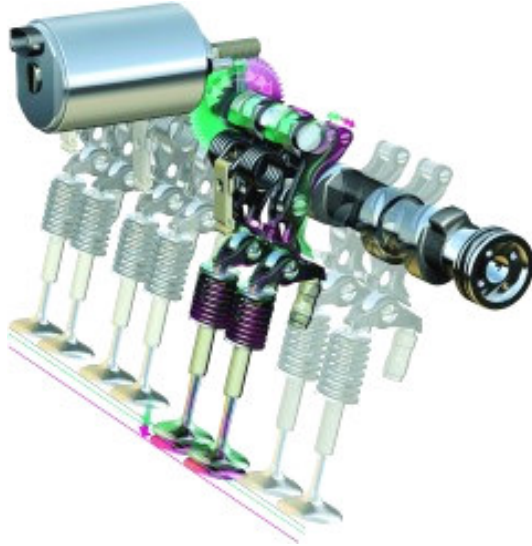
olur. Piston bu esnada kısmi olarak kapalı emme manifoldundan dolgu almaya çalışır. Emme manifoldu gaz kelebeği ile yanma odası arasında kısmi vakuma haizdir. Dolayısıyla bu vakum etkisiyle pistonun emiş ve pompalama hareketine karşı koyar ve pompalama enerjisini zayıflatır. Otomotiv mühendisleri bunu pompalama kaybı olarak isimlendirirler. Motorun düşük devirlerinde; gaz kelebeği daha kapalı olduğundan daha fazla pompalama kaybı meydana gelir. Bmw' nin Valvetronic motorunda gaz kelebeğinin kullanılmaması ile pompalama kaybını minimize etmiş ve yanma odasına daha fazla dolgu girmesini sağlamıştır



Şekil 4.19. Bmw Valvetronic mekanizması [27]

Valvetronic mekanizması vasıtasıyla yakıt hava karışımının kontrolü için gerekli temel sinyal gaz pedalının mekanik hareketinden elde edilir, step motor yardımı ile ikinci eksantrik milinin fazı değiştirilerek emme supabının hareketi modifiye edilmiştir.

Bu sistemde supap kalkması 0 ile 9,7 mm arasında sürekli değiştirilebilir. Bunu sağlayan step motor ise ucundaki sonsuz dişlinin bir uçtan diğer uca döndürülmesini 300 milisaniye gibi kısa bir sürede gerçekleştirir. Orta itici ise 0,008 mm toleransa sahiptir. Bmw bu hassaslıkta sistemini birleştirmiş ve silindir kapağındaki uygun bir pozisyonda bulunan modül içine yerleştirmiştir.



Şekil 4.20. Bmw Valvetronic mekanizması [27]

Bmw bu mekanizmayı üç serisine yerleştirdiği 1.8 litre hacimli dört silindri E46 olarak isimlendirdiği motorunda kullanmıştır. Birkaç yılda 12 silindri motorlarına uygulamıştır. Bmw valvetronic motoruyla; bakım masraflarını azalttığını, soğuk çalışma davranışlarını geliştirdiğini, egzoz emisyonlarını iyileştirdiğini ve düşük devirlerde motorun daha rahat soluk almasından dolayı yakıt tüketiminin %10 azalttığını iddia etmiştir [27].

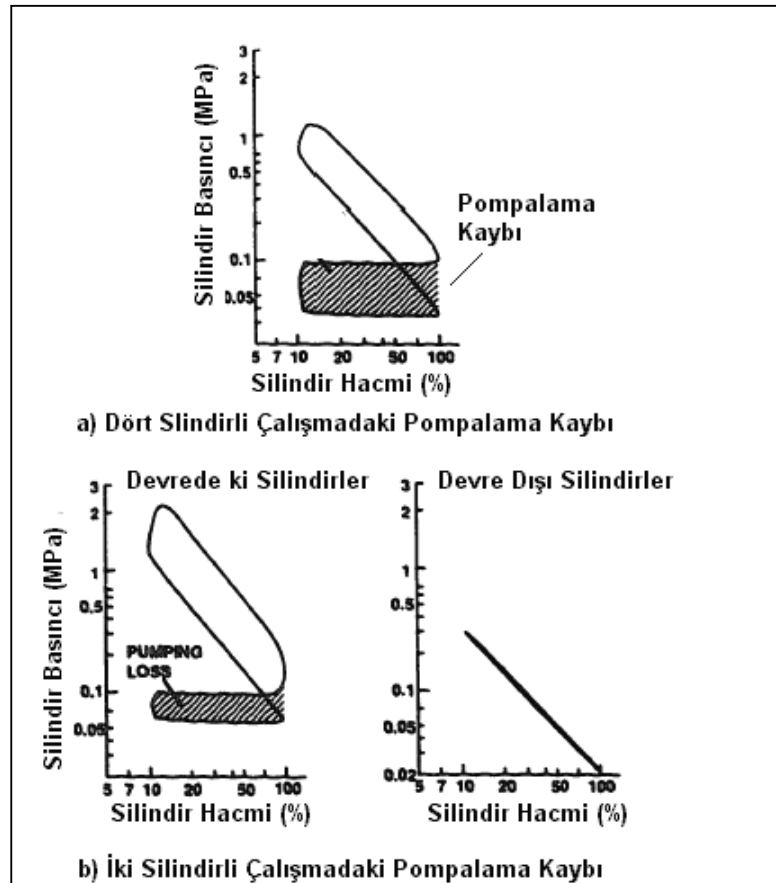
Mitsubishi' nin geliştirmiş olduğu Şekil 4.22'de gösterilen Mivec sistemi diğer mekanizmalardan çok farklıdır. Mivec mekanizması daha iyi çıkış gücü ve yakıt ekonomisi sağlamak için üç modlu bir çalışma kullanmıştır.

Dört silindri, sıralı tip bir İYM'de uygulanan Mivec çizelge 4.2'de görüldüğü gibi rölanti ve düşük devirlerde mod 1 seçeneği kullanır. Böylece 1 ve 4 nolu silindirler emme ve egzoz supapları hiç açılmadığı için devre dışı bırakılmıştır. Mod 1 de sadece 2 ve 3 nolu silindirlerinin emme ve egzoz supapları, düşük hız kamı tarafından kontrol edilmiştir. Düşük motor devirleri ve kısmi yüklerde bütün silindirlerin emme ve egzoz supapları düşük hız kamı ile çalıştırılmıştır. Çalışma şartları sağlandığında (5000 d/d) yüksek hız kamı

devreye girerek emme ve egzoz supaplarının daha uzun açık kalması sağlanmıştır.

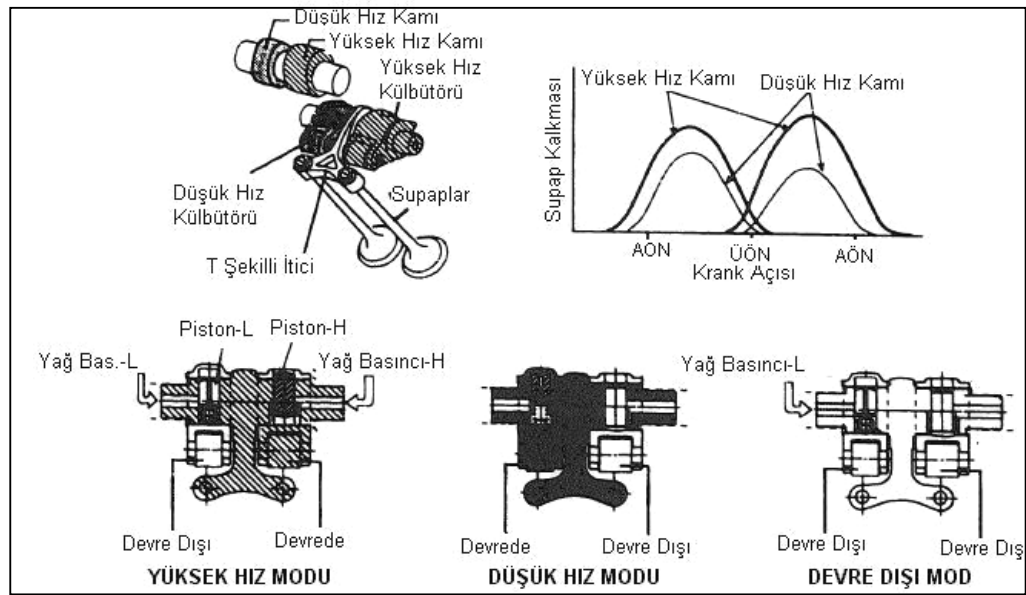
Çizelge 4.2. Mivec çalışma modları

Mod	Silindir	Kam seçimi	
		Düşük hız kamı	Yüksek hız kamı
		<input checked="" type="checkbox"/> Devrede <input type="checkbox"/> Devre dışı	
1	1, 4 nolu Silindirler	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2, 3 nolu Silindirler	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Bütün Silindirler	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Bütün Silindirler	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



Şekil 4.21. Mivec ile pompalama kayıplarının azaltılması [28]

1 ve 4 nolu silindirlerin devre dışı bırakılması sonucu Şekil 4.21'de görüldüğü gibi 60 km/h sabit hızda pompalama kayıpları yarı yarıya azaltılmıştır. Bundan başka iki silindirin devre dışı bırakılması ile daha az artık gaz aktif silindirlerin içine gireceğinden daha kaliteli bir yanma oluşur ve aynı zamanda devre dışı kalmış silindirlere ait supap mekanizmaları da çalışmadığı için mekanik kayıplarda belli oranda azaltılmıştır.



Şekil 4.22. Mitsubishi Mivec sistemi [28]

Şekil 4.22'de gösterilen Mivec mekanizması üstten çift kamlı ve her silindire 4 supap düşen silindir kapağına monte edilmiştir ve motor çalışma şartlarına göre üç çalışma modunu otomatik seçen elektronik kontrol ünitesine sahiptir. İki supaba hükmeden bir mekanizmada ; düşük hız ve yüksek hız profilli iki kam lobu, iki tane bilyeli külbütör parmağı, külbütör miline bağlı T şeklinde itici, külbütör iticilerini külbütör miline bağlayan iki adet hidrolik piston mevcuttur. Yay kuvveti, piston H' de mile doğru çekmeye, piston L' de milin dışına doğru itmeye kurulmuştur. Yüksek hız modunda elektronik kontrol ünitesi elektromanyetik kontrollü yağ kontrol valfine sinyal göndererek yağ basıncını her iki pistonu vermiştir. Böylece yüksek hız kamı ile külbütörler

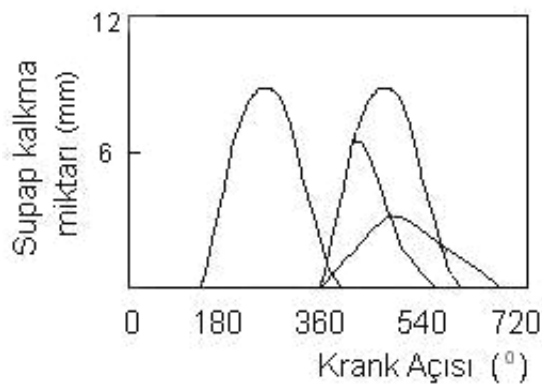
kilitlenir ve supaplar yüksek hız modunda çalışır. Düşük hız modunda her iki pistonu da yağ basıncı verilmemiştir. Normal durumda piston L tarafından külbütörlerle kilitli olan düşük hız kamı supaplara hükmeder. Supapların devre dışı bırakılması modunda yağ basıncı sadece piston L'ye verilmiştir. Piston L yağ basıncının yay kuvvetini yenmesiyle mile doğru itilerek külbütörleri T şeklindeki iticiden ayırır. Böylece supaplar da kapalı kalır.

Mitsubishi, Mivec mekanizması ile sabit mekanizmaya sahip bir önceki motoruna göre yakıt ekonomisini %16 iyileştirmiştir (Japon sürüş çevrimlerine göre). Aynı zamanda maksimum gücü de % 20 arttırmıştır [28].

4.1.3. Kam fazını hem kaydıran hem de değiştiren mekanizmalar

Bu mekanizmalar değişken kalkma miktarı, süre ve faz verebilirler. Üreticiler kam fazını kaydıran ve kam fazını değiştiren mekanizmaları; pik gücü arttırmak ve motorun her devri süresince esnekliği sağlayabilmek için birleştirilmişlerdir fakat ortaya karmaşık bir mekanizma çıkmıştır. Şu anda bu mekanizmayı Toyota, Porsche ve Honda üreticileri kullanmıştır. Bu mekanizmalar kullandıkları güce göre hidro mekanik ve elektromanyetik olmak üzere sınıflandırılabilir.

Hidro mekanik mekanizmalar



Şekil 4.23. Hidro mekanik mekanizmalara ait kalkma profilleri

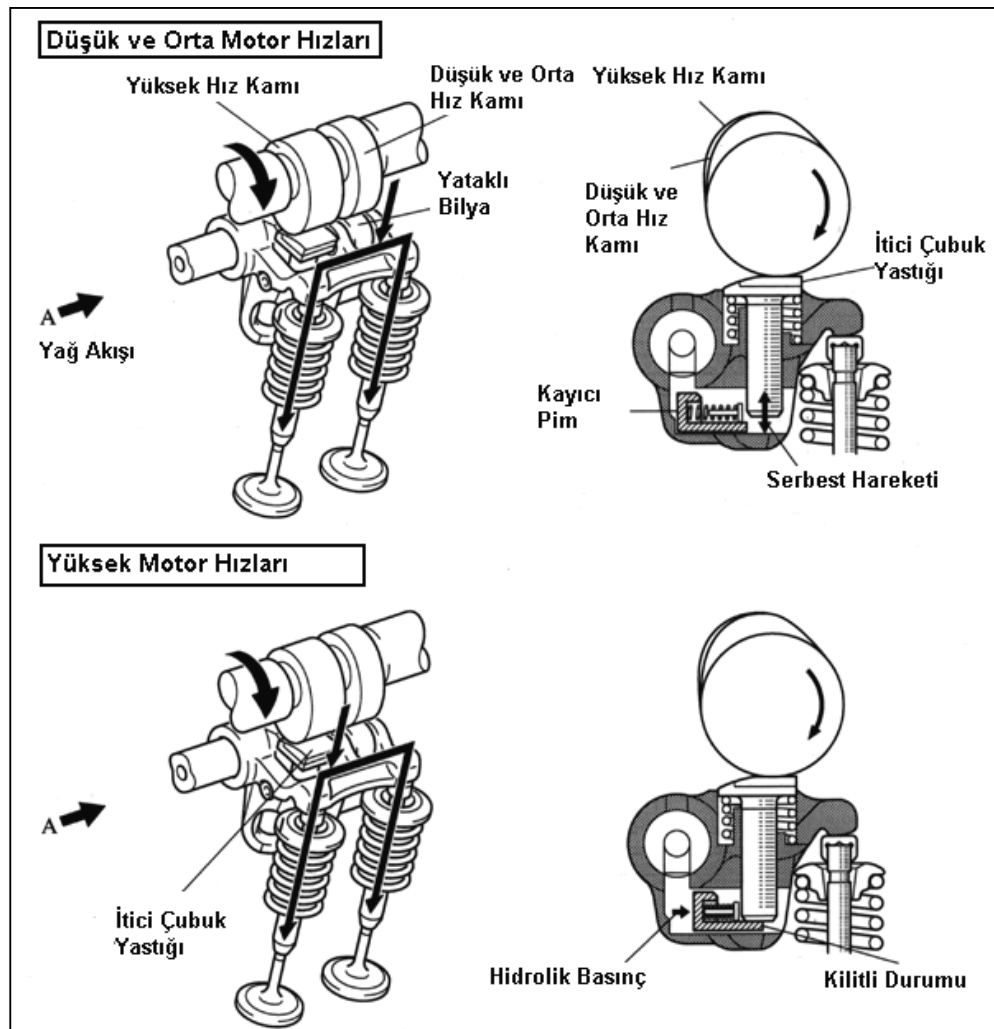
Bu mekanizmalara ilk örnek Toyota ve Honda mühendislerinin ortak çalışmasıyla doğmuştur. Bu sistem Toyota Vvt-i ile Honda Vtec mekanizmalarının kombinasyonu ile ortaya çıkmış olsa bile değişken kalkma kısmı Honda Vtec'ten farklı bir mekanizmaya sahiptir. Faz kaydırma kısmı Vvt-i mekanizmasında olduğu gibi kam milinin ucuna takılan hidrolik kanat hücreli ayarlayıcının kam milini avansa veya rötara alması ile meydana gelir. Fazın kaydırılması, motor çalışma şartlarına göre motor yönetim sistemi tarafından hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. 2ZZ-GE motorunda Vvtl-i ile zamanlama ve kalkma karakteristikleri [29]

Normal Emme Supabı Açılması	10° ÜÖN'den önceden - 33° ÜÖN'den sonraya
Yüksek Hızda Emme Supabı Açılması	15° - 58° ÜÖN'den sonra
Normal Emme Supabı Kapanması	58° - 15° AÖN'den sonra
Yüksek Hızda Emme Supabı Kapanması	97° - 54° AÖN'den sonra
Normal Egzoz Supabı Açılması	34° AÖN'den önce
Yüksek Hızda Egzoz Supabı Açılması	60° AÖN'den önce
Normal Egzoz Supabı Kapanması	14° ÜÖN'den sonra
Yüksek Hızda Egzoz Supabı Kapanması	36° ÜÖN'den sonra
Normal Emme Supabı Kalkma Miktarı	7,25 mm (0,29")
Yüksek Hızda Emme Supabı Kalkma Mik.	11,2 mm (0,44")
Normal Egzoz Supabı Kalkma Miktarı	7,25 mm (0,29")
Yüksek Hızda Egzoz Supabı Kalkma Mik.	10,00 mm (0,39")

Şekil 4.24'de gösterilen VVTL-i isimlendirilen sistemde her iki emme supabı için tek külbütör tertibatı vardır. Aynı anda farklı profildeki iki kam lobuda külbütör mekanizmasına hareket verir. Düşük ve orta hızlarda; kısa çalışma

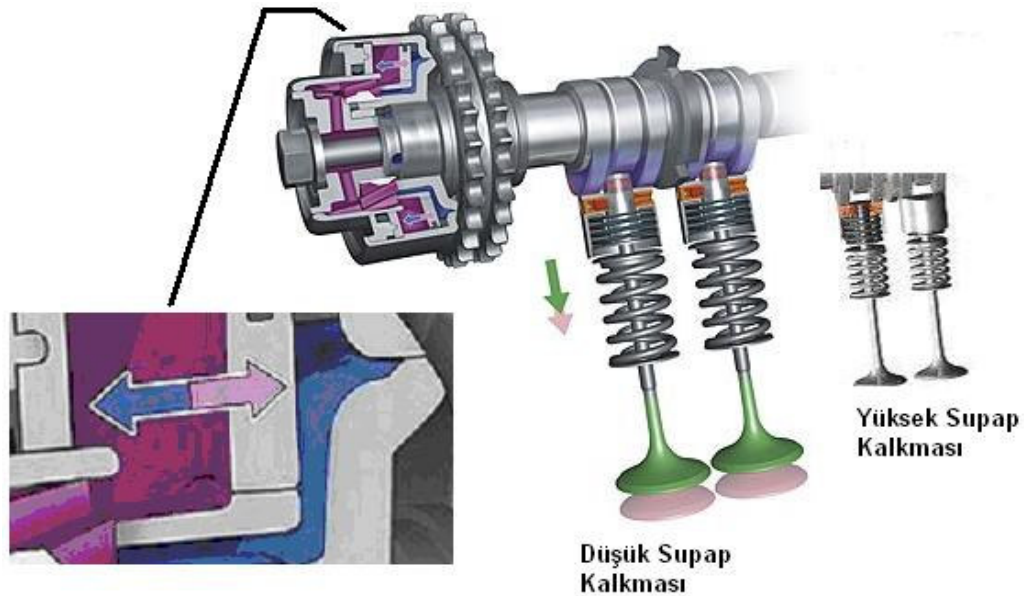
kamı külbütör üzerindeki yataklı bilyeye hareket vererek supaplara kumanda etmiştir. Yüksek hız kamı da itici çubuk yastığı vasıtasıyla külbütöre basar fakat itici çubuğun altına kayıcı pim girmediği için supaplara kumanda edemez. Yüksek devirlere çıkılıp hız değişim başlangıcına gelindiğinde (6000 d/d) kayıcı pim, itici çubuğun altına girer ve supaplar yüksek hız kamından hareket almaya başlarlar. Böylece supaplar çizelge 4.3'de gösterilen değerlere göre uzun açık kalkma süresi sağlarlar [29].



Şekil 4.24. Toyota VVTL-i mekanizmasının faz değiştirme işlemi [29]

Toyota bu mekanizmaya sahip 2ZZ-GE motoruyla; bir önceki versiyon olan 1ZZ-FE motoruna göre maksimum güçte 33 kW'lık ve maksimum torkta ise 10 Nm'lik artış elde etmiştir. Ayrıca bu motor Japonya emisyon çevrimlerine göre daha düşük (0,06 g/km NO_x, 0,06 g/km HC ve 0,67 g/km CO) emisyon değerleri vermiştir [29].

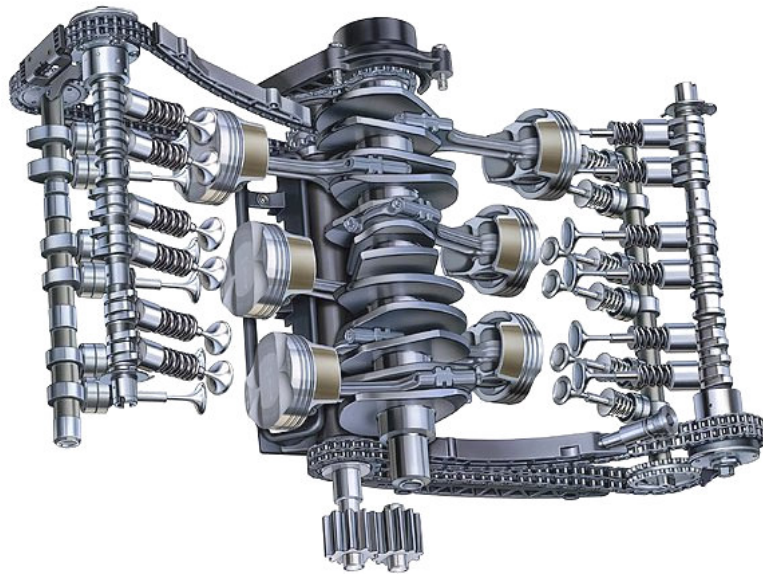
Şekil 4.25'de gösterilen Porsche Variocam plus sisteminde değişken hidrolik iticiler kullanılmıştır. Variocam Plus, motorun tüm hızlarında güç, tork ve yakıt tüketimi konularını geliştirmek için supap zamanlamasını kaydırma ile supap kaldırma değişkeninin birleşimini kullanır. Esas olarak sistem bir bütün olarak iki motor önerir: ilki düşük hızda şehir içi kullanım için ve ikincisi maksimum performans içindir. Bu iki konfigürasyon arasında olağanüstü farklar olmasına rağmen, VarioCam Plus son elektronik motor yönetimi teknolojisi sayesinde iki mod arasında kolayca geçiş sağlar. Değişken supap kaldırma sistemi bir elektro hidrolik valf tarafından çalıştırılan ayarlanabilir supap iticilerinden oluşur.



Şekil 4.25. Porsche Variocam Plus Sistemi

Şekil 4.25' de gösterildiği gibi her supaba üç kam hizmet etmektedir. Ortadaki kam 3 mm kalkma sağlar ve supap açılmasını kısa tutar. Diğer iki kam tam olarak aynıdır, hızlı zamanlama yüksek yani 10 mm kalkma sağlarlar. Kamların seçimi değişken itici tarafından yapılır. Değişken supap iticileri bir biri içine geçmiş iki itici ihtiva eder ki bunlar hidrolik olarak çalışan bir mil tarafından birbirine kilitlenebilirler. İç itici daha küçük bir kam lobuyla bağlıyken, dış itici daha büyük iki adet kam lobuyla bağlıdır. Eğer iç ve dış iticiler hidrolik basınç yardımı ile birbirine kenetlenirse supaplara dış iticiler hükmeder ve yüksek kalkma ile çalışırlar. Iticiler kenetlenmezse supaplara orta kam hükmeder ve düşük kalkma meydana gelir. Supap zamanlamasının kaydırılmasında bir hidrolik aktuatör kullanılarak zamanlamayı rötara veya avansa alınabilir. Ayarlayıcı da elektro-hidrolik olarak çalıştırılmaktadır.

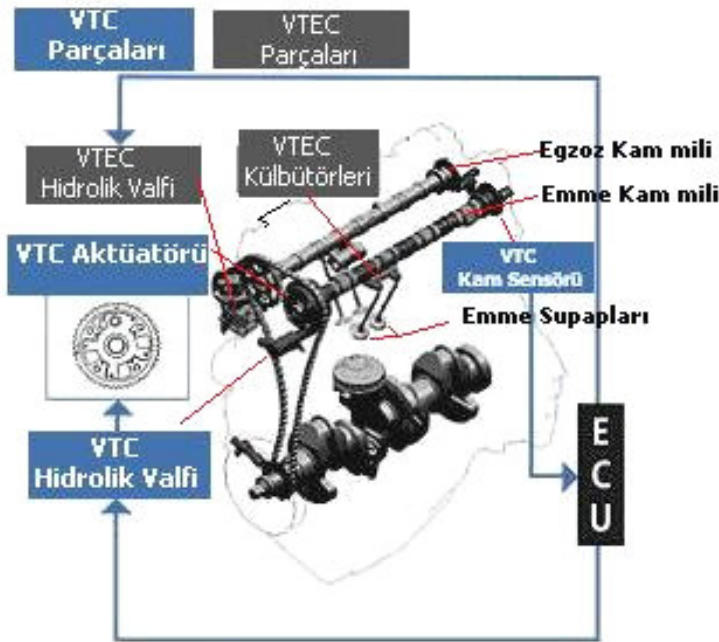
Bu sistemde Şekil 4.26'da görüldüğü gibi değişken kalkma iki adımlı gerçekleşir. Zamanlamanın kaydırılması sürekli ve motor devrine bağlı olarak emme kam miline uygulanmıştır. Sistemin daha da karmaşık hale gelmemesi için egzoz kam miline sürekli faz kaydırma uygulanmamıştır.



Şekil 4.26. Variocam Plus uygulanmış Porsche motoru

VarioCam Plus, soğuk durumda ilk çalışmaya başladığı zaman önemli faydalar sunar. Motor ısınmaya başlarken, daha iyi yanma ile egzoz çıkışını dikkate değer ölçüde azaltır. Motoru rölantiye alma daha yumuşaktır ve yakıt tüketimi düşer. Kısmi gaz kelebeği açıklığındaki çalışma sırasında, yakıt tüketiminin azaltılması için yanma odasında bir miktar egzoz gazı gerekir. Bunu yapmak için, VarioCam Plus yüksek örtüşmeyi düşük supap kalkması ile birleştirir ve egzoz sisteminden egzoz gazı çekilmesi için yeterli zaman kazandırır. Yanma odasında egzoz gazı yanmaya yardımcı olur ve nitrojen oksit çıkışını azaltır. Tam gaz çalışma sırasında VarioCam Plus ciddi bir performans sunar. Supap iticisi 2700 d/d kadar düşük bir motor hızından 4600 d/d'ya kadar maksimum torka ulaşmak için supap kalkması yükseltir.

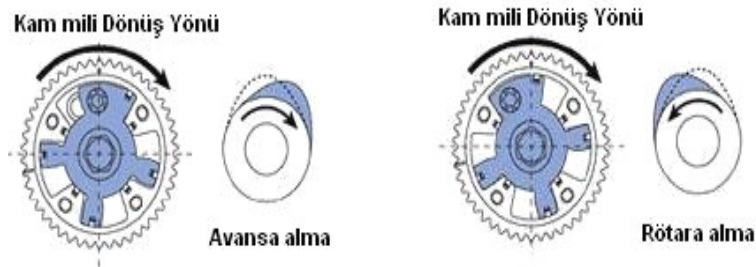
i-VTEC SİSTEMİ



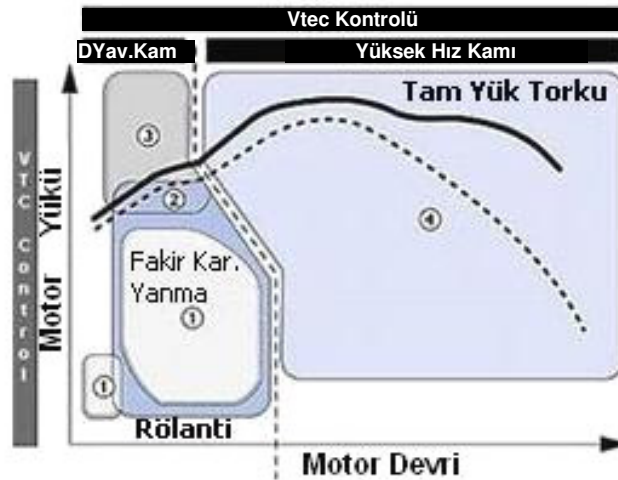
Şekil 4.27. i-Vtec sistem şeması [24]

Honda firması Şekil 4.27'de gösterilen i-Vtec sistemini; supap açılma miktarını değiştiren Vtec sistemiyle supap profilini motor devrine göre kaydıran Vtc sistemini birleştirerek geliştirmiştir. Bu geliştirilen sistem değişik

sensörlerden, Vtec ve Vtc parçalarından oluşmaktadır. Fazı değiştiren mekanizmalar kısmında Vtec'ten bahsedildiği için bu kısımda sadece i-Vtec sisteminin fazını değiştiren (Vtc) kısmından söz edilecektir.



Şekil 4.28. Honda i-Vtec sistemdeki kanat hücreli ayarlayıcının çalışması



Şekil 4.29. i-Vtec sistemi çalışma şartları

Vtc mekanizmasında yağ pompası tarafından basılan motor yağı Vtc filtresinden geçerek Vtc solenoidine ulaşır. Solenoid elektronik kontrol ünitesinden gelen sinyale göre Şekil 4.28'deki Vtc kanat hücreli ayarlayıcısına yağ geçişine izin verir. Elektronik kontrol ünitesi avans durumuna karar verirse solenoide bir sinyal yollar. Böylece solenoid avans tarafı kanalını açar ve yağ kanat hücreli ayarlayıcının avans odacıklarına gider. Yağın basıncı ayarlayıcının kanatlı parçacığını avans yönünde iter.

Eğer elektronik kontrol ünitesi rötar durumuna karar verirse selonoidde bir sinyal yollar, Selonoid de rötar tarafı kanalını açar ve yağ rötar odacıklarına gider. Yağ basıncı vasıtasıyla ayarlayıcının kanatlı parçacığını rötar yönünde iter.

Honda'nın elektronik kontrol ünitesi motorun bütün çalışma koşullarının kaydedildiği haritaya göre i-Vtec sistemini kontrol eder. Elektronik kontrol ünitesi ise motorun çalışma şartlarını Şekil 4.29'daki gibi 1-4 arasında mod belirlemiştir ve bu modlar Çizelge 4.4'de açıklanmıştır (24).

Çizelge 4.4. i-Vtec sistemi çalışma şartları

Şartlar	Vtc Kontrolü	Detay
1-Rölanti veya Fakir Karışım	Maksimum Rötar	Emme kamı, dengelenmiş fakir karışımlı yanma ve motor performansını sağlamak için maksimum rötara alınır.
2-Düşük Motor Devri	Rötar	Vtc sistemi, emme monifolduna geri dönen egzoz miktarını azaltarak, dengelenmiş yanmayı sağlamak için supap bindirmesini azaltır ve kam milini rötara alır.
3-Orta –Yüksek Motor Devri	Avans	Vtc sistemi, EGR etkisini arttırmak ve sıkıştırma kayıplarını azaltmak için supap bindirmesini artırır ve avans yönünde kam milini döndürür.
4-Yüksek Motor Devri	Avans veya Rötar	Vtc sistemi maksimum rötar performansı için optimum supap bindirmesini sağlamak amacıyla kam fazını avansa veya rötara esnek olarak çevirir.

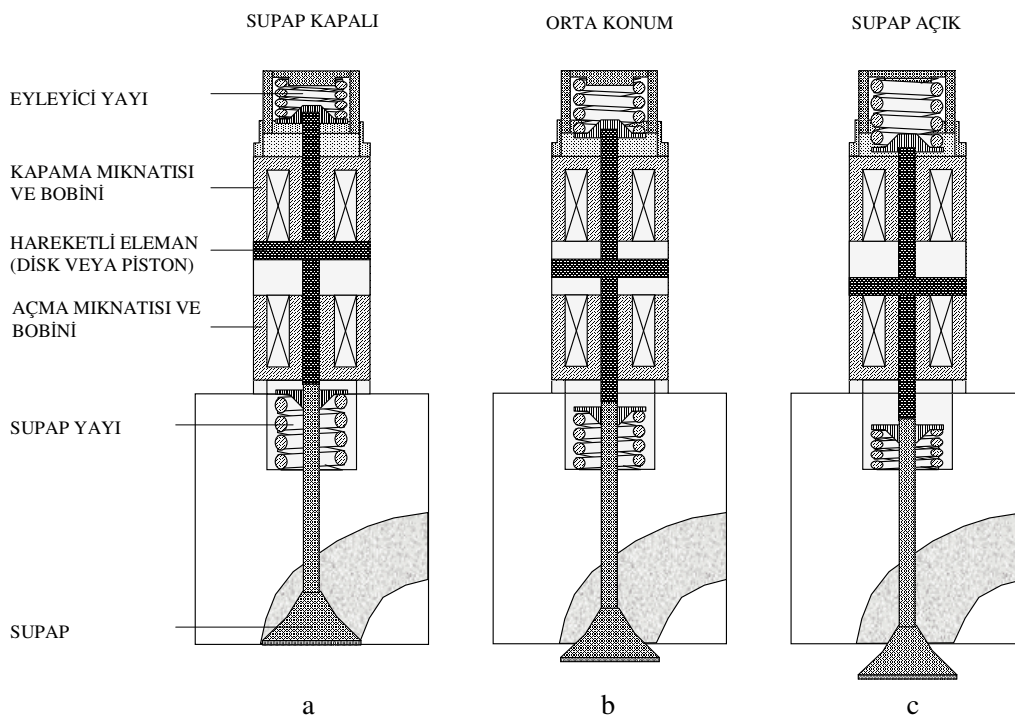
Elektromanyetik mekanizmalar

Elektromanyetik supap mekanizmalarının kullanılması ile kam mili mekanizması gibi mekanik elemanlardan vazgeçilmiş böylece kam milinin oluşturduğu sürtünme kayıpları da bertaraf edilmiştir. Ayrıca supapların açılma ve kapanma zamanlarını manyetik bobinler tayin ettiği için elektronik kontrolü daha kolay olmuştur. Bunun sonucunda, emme ve egzoz supabının açılma ve kapanma zamanlaması her türlü motor çalışma şartlarına göre optimum olarak ayarlanabilmiş ve elektronik ateşleme zamanı ve yakıt püskürtmesi ile yanma değişkenleri optimize edilebilmiştir.

Otomotiv İYM için geliştirilen elektromanyetik supap mekanizmaları üzerinde yapılan çeşitli çalışmalarda birbirlerine göre biraz farklılık arz eden tasarım yapıları görülmüş fakat bugüne kadar geliştirilmiş olanlar temelde birbirine benzemiştir. Şekil 4.30.a'da görüldüğü gibi bir elektromanyetik supap mekanizmasının temel elemanları; açma ve kapama olmak üzere iki adet mıknatıs devresi ve bobini, iki adet yay ve supap ile birlikte hareket eden disk veya piston biçiminde bir hareketli elemandır. Hareketli eleman da mıknatıs elemanları gibi ferro mıknatıs bir malzemeden yapılmış olup, iki mıknatıs elemanı arasında gidip gelme hareketi yapmaktadır. Hareketli elemanın hareketi, yayların sağladığı kinetik enerji ile mıknatıs enerjisi veya kuvvetine bağlıdır [30].

Elektromanyetik supap mekanizmasının çalışma ilkesi Şekil 4.30'da verilmiştir. Elektronik denetim biriminden gönderilen denetim sinyaline göre bobinlerden biri ilettime, diğeri kesime sokularak supap açılıp kapanmaktadır. Burada hareketli elemanı ivmelendirmek için yay kuvvetinden yararlanılmaktadır. Elektromıknatıs kuvveti hareketli elemanı ve buna bağlı olan supabı açık veya kapalı konumda tutmak için devreye girmektedir. Her iki bobine de akım uygulanmadığı zaman hareketli eleman yaylar vasıtasıyla denge konumunda tutulmaktadır. Supabın kapanması için kapama (üst) mıknatıs devresine akım uygulanır. Motorun sürekli çalışması sırasında,

supabı açık konumda tutan açma (alt) mıknatısının sağladığı mıknatıs kuvvetidir. Supabın açık konumdan kapalı konuma sokulması ise, kapama (üst) mıknatısının iletme açma (alt) mıknatısının kesime sokulması ile gerçekleştirilmektedir. Bu durumda mıknatıs kuvveti yay kuvveti ve egzoz/emme manifoldu ve silindir arasındaki basınç farkının oluşturduğu değişken gaz kuvvetlerini yenebilecek büyüklükte olmalıdır [31].



Şekil 4.30. Elektromanyetik supabın çalışma prensibi

Supabın sürekli çalışmasında yayların önemi çok büyüktür. Hareketli eleman, hareketinin büyük bir kısmını yayların depoladığı enerji yardımıyla tamamlamaktadır. Sistemin dinamik davranışını incelerken dikkat edilecek bir nokta yay kuvvetinin iletme sokulan mıknatıs devresi için hareket mesafesinin yarısına kadar mıknatıs kuvvetine yardımcı ve bu noktadan sonra ise karşı kuvvet olduğudur. Bu durumda elektromanyetik supap mekanizması tasarımında yayların seçimi kritik olmaktadır [31].



Resim 4.3. Bmw'nin elektromanyetik kontrollü değişken supap zamanlama mekanizması

Genelde otomobil motorlarında kullanılan supapların toplam hareket mesafesi 7-8 mm civarındadır. Bu değer, bir supabın belli bir supap alanında bu mesafede açıldığında yeterli yakıt-hava karışımını sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Supap mekanizmalarında kullanılabilecek boyutlarda bir elektromıknatis için bu hareket mesafesi oldukça büyük kalmıştır. Dolayısıyla çekim kuvveti supabı uygun bir hızda açıp-kapamaya yeterli olmayacaktır. Ayrıca egzoz supabı açısından durum daha da kritiktir. Çünkü egzoz aşamasında oluşan gaz basıncı supap üzerinde oldukça büyük kuvvetler (350-400 N gibi) oluşturur. Bu kuvvetin 8 mm'lik bir mesafeden elektromıknatisin sağladığı kuvvet yardımı ile yenilmesi çok güçtür [8].

Ele alınan tasarım yapısına göre bu tür bir elektromanyetik supap mekanizmasında büyük hareket mesafelerinde, mıknatis kuvvetinin yetmediği durumlarda yay enerjisinden yararlanmak gerekmektedir. Burada yay enerjisi, supap kolu, yaylar, tutucular ve disk veya piston elemanından

ibaret hareketli kütlenin ivmelenmesini sağlamak ve yüksek cevap hızları elde etmek amacı ile kullanılmaktadır. Bu yayların biri eyleyici (actuator), diğeri de supap yayı olup bazı uygulamalarda her iki yay için aynı yay sabiti kullanılırken, bazı uygulamalarda ise eyleyicide daha sert buna karşılık supapta daha yumuşak yay kullanılmaktadır. Kullanılan elektromıknatıslar ise daha çok hareketin tamamlanmasına yardımcı olmak ve supabı açık veya kapalı konumda tutmak için kullanılırlar [8].

Sonuç olarak elektromanyetik sistemlerin dinamik performansı göz önünde bulundurulduğunda, en kritik parametrelerden birisinin yay sabiti olduğu görülmektedir. Yay sabitinin seçimi elektromanyetik devrenin boyutlarına etki etmektedir. Buna göre yay ne kadar sert olursa sistemin cevap hızı o oranda yüksek olmakta, fakat buna karşılık da mıknatısın boyutları büyümektedir. Mıknatısın boyutları büyüyünce gerekli güç talebi artmakta ve aynı zamanda sistemin cevap hızı da düşmektedir. Ek olarak sistemin sıcaklık hassasiyeti de dikkatli bir şekilde incelenmelidir.

Şimdiye kadar değinilen sistemler de değişken supap zamanlamasına bağlı teknik problemler ve faydaların realistik bir değerlendirmesi objektif bir şekilde yapılarak sistematik olarak yeniden değerlendirilebilir. Birçok durumda faydaların niteliksel iddiaları güvenilir değildir. Kalite görüşlerinden dolayı nispi olarak basit sistemler olan 2 konumlu fazı değiştiren ve sadece emme supabına uygulanmış sürekli fazı kaydıran sistemler daha faydalıdır. Bunlar, gelişmiş rölanti kararlılığını ve daha yüksek maksimum hızı kapsar. Daha kompleks ve daha esnek sistemler için kalite faydaları tamamen keşfedilememiştir.

5. MATERYAL VE METOD

5.1.Deney Yeri

Deneyler Doğuş Otomotiv Genpar Eğitim Merkezi test laboratuvarında yapılmıştır. Deney yeri ve tesisatı Resim 5.1'de gösterilmiştir.



Resim 5.1. Deney yeri ve tesisatı

5.2.Deney Aracı

Deney aracı olarak üzerinde 2000 cm³ hacimli FSI (Fuel Stratified Injection – Kademeli Yakıt Enjeksiyonu) motor bulunan 2006 model VW Jetta kullanılmıştır. Test aracının motorunda kullanılan değişken supap zamanlaması, emme supaplarına kumanda eden ve sürekli faz kaydırabilen mekanizmaya sahiptir. Bu motorun teknik özellikleri izelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney aracının motorunun teknik özellikleri

Motor Düzeni	4 silindirli sıralı motor
Hacim [cm ³]	1984
Çap [mm]	82,5
Kurs [mm]	92,8
Silindir başına supap	4
Sıkıştırma oranı	11,5
Maksimum Güç	6000 d/d'da 110 kW
Maksimum Tork	3500 d/d'da 200 Nm
Motor işletim sistemi	Bosch Motronic Med 9.5.10
Yakıt	98 Oktan kurşunsuz Super Plus (daha az güç indirgemesinde 95 Oktan kurşunsuz süper)
Egzoz gazı devri daimi	NO _x depolayıcı katalitik konvertörü ve 2 ön katalitik konvertör
Egzoz gazı normu	EU 4
Yakıt püskürtmesi	Direkt püskürtme
Supap zamanlaması	Emme'de sürekli değişkenlik

5.3. Deneyde Kullanılan Ölçü Aletleri

5.3.1.Şasi dinamometresi

Deneylerde Resim 5.1'de gösterilen Sun Ram 2000 şasi dinamometresi kullanılmıştır. Ram 2000 dinamometresi renkli ekranlı bir iletişim kabini ve bilgisayar klavyesi, bir kızıl ötesi uzaktan kumanda ve bir makara seti içermektedir. İletim kabinine bağlı bir hava soğutma fanı uzaktan kumanda ile çalıştırılabilir. Makara seti, bir araba kaldırıcı fuko akımı freni ve kaplama düzlemleri ile donatılmıştır.

Bu dinamometre 260 km/saat'e kadar test hızlarında veya yolcu taşıtları için 260 kW, kamyonlar için 300 kW ve motosikletler için 260 kW teker çıkış gücüne sahip taşıtların testine imkân verir.

5.3.2.Diagnostik test cihazı

Deneylerde Şekil 5.2'de gösterilen VAS 5052 diagnostik test cihazı kullanılmıştır. Bu test cihazı elektronik araçların test edilmesinde kullanılan mobil bir teçhiz cihazıdır. Üzerinde 12 Voltluk besleme kaynağından enerji alır. Dokunmatik bir TFT ekrana sahiptir. VAS 5052 elektronik araç sistemlerinin arabirimlerinin kullanılmasını sağlamak ve teşhisini yapmak, kontrol ünitesi parametrelerinin gözlemlenmesini, değiştirilmesini ve program güncellemesine olanak verir.



Şekil 5.2. 5052 Diagnostik test cihazı

6. DENEYSEL BULGULAR

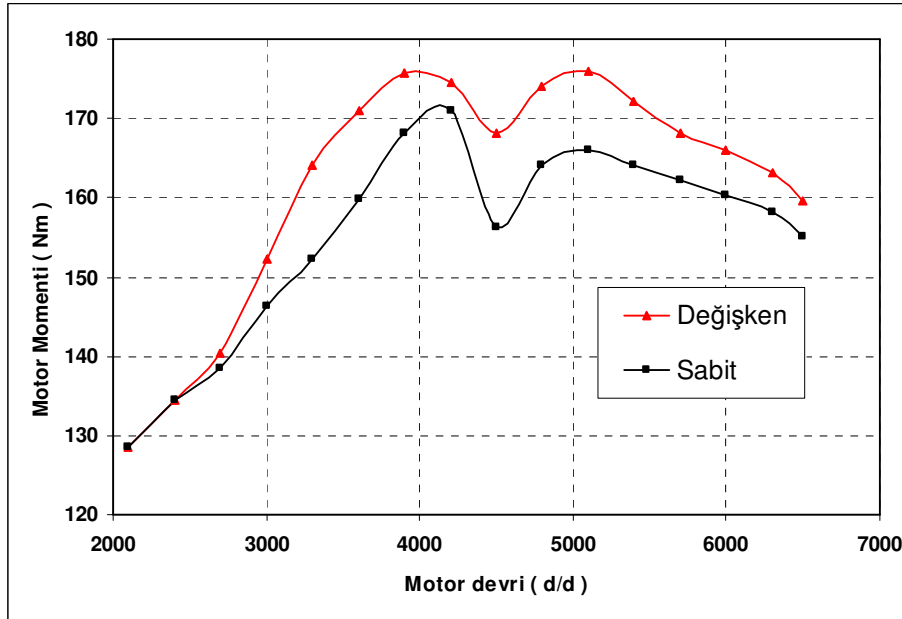
Yapılan deneyler iki kısımdan oluşmuştur. Bunlardan birincisi test aracı motorunda bulunan değişken supap zamanlama mekanizması devrede iken şasi dinamometresi üzerinde prizdirek konumunda yapılmıştır. Diğer test ise değişken supap zamanlaması devre dışı bırakılarak ve başka hiçbir değişiklik olmadan aynı şartlarda yapılmıştır. Ayrıca her iki test esnasında 95 oktan kurşunsuz benzin kullanılmıştır. Dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise deneyler şasi dinamometresinde yapıldığından düşük motor ve taşıt hızlarında dinamometreden ve sürücünden kaynaklanan hatalar oluşmuş ve düşük hızlarda güvenilir veriler elde edilememiştir. Buna bağlı olarak düşük hızlardaki veriler gözlem dışı bırakılmıştır.

Değişken supap zamanlamasının devreye girmesi motor hızına, motor yüküne ve motor sıcaklığı verilerine bağlıdır. Bu veriler sensörler tarafından motor kontrol ünitesine aktarılır. Motor kontrol ünitesi de kam miline kumanda eden hidrolik kanat hücreli ayarlayıcıya yağ geçişini sağlayan selonoid valfe sinyal gönderir. Böylece selonoid valf yağ geçişine izin vererek kam milinin krank milinin dönüşünden bağımsız olarak döndürülmesini sağlar. Selonoid valfin sinyali kaybolduğunda; yağ basıncı hidrolik kanat hücreli ayarlayıcıya etki edemez ve hidrolik kanat hücreli ayarlayıcı kilitletir. Bu sayede emme supapları klasik supap zamanlamasına uygun bir biçimde çalışır. Taşıt motorunun bu özelliği vasıtasıyla her iki deney karşılaştırılmış ve yapılan tek değişiklik olan değişken supap zamanlamasının motor performansına etkisi görülmüştür. Yakıt tüketimi ölçmek için 5052 test cihazı araca bağlanmış her iki durumda da test standartlarına göre ölçülmüştür.

6.1.Motor Momenti

Şekil 6.1'de değişken supap zamanlaması ile sabit supap zamanlamasının motor devrine bağlı olarak motor momenti üzerine etkisi gösterilmiştir. Şekilde 6.1'de görüldüğü gibi 2800 d/d'ya kadar sabit supap zamanlaması ile

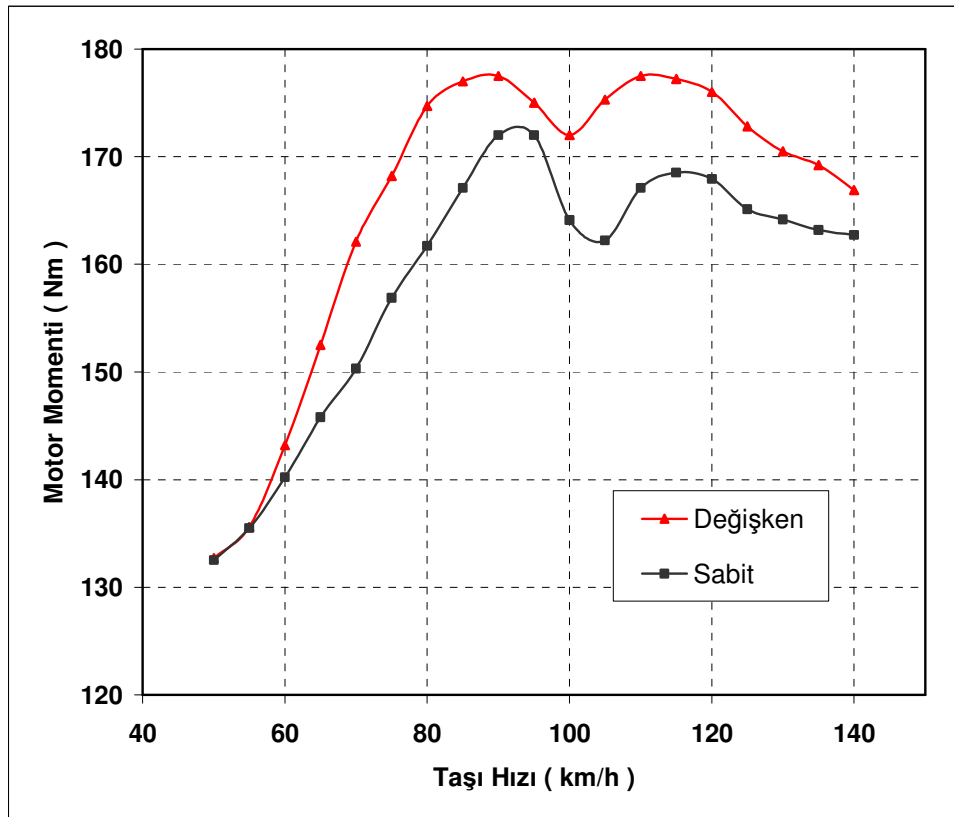
değişken supap zamanlaması ile elde edilen değerler birbirine yakındır. Bu devir noktasına kadar değişken supap zamanlaması etkili değildir. Her iki supap zamanlaması ile aynı tork değerleri elde edilmiştir. Bu motor devri noktasından sonra üretilen motor torku değerleri farklılaşır.



Şekil 6.1. Supap zamanlamasının motor devrine bağlı olarak motor momentine etkileri

Değişken supap zamanlaması ile motor 3000 d/d'da 152,3 Nm tork üretir. Aynı devirde sabit supap zamanlaması ile motor 146,3 Nm tork sağlar. 3000 d/d'da değişken supap zamanlamasının motor torkuna katkısı 6 Nm olmuştur. Motor devri 3300 d/d'ya geldiğinde bu fark 11,8 Nm'ye çıkmış ve sağladığı tork artışı % 8 olmuştur. Sabit supap zamanlamasının 171 Nm maksimum tork ürettiği 4200 d/d'luk motor devrinde değişken supap zamanlaması 174,5 Nm tork değeri üreterek sabit supap zamanlamasının tork eğrisinin üzerinde kalmıştır. Şekil 6.1'de görüldüğü gibi her iki tork eğrisinde de 4500 d/d'da bir çukurlaşma olmuştur. Aslında bu çukurlaşmanın tork eğrisinde olmaması gerekir. Test edilen FSI motor tam bu devirlerde çalışma modunu değiştirdiğinden bu çukurluk meydana gelebilir. Aynı

zamanda kam mili profilinden ve yakıt enjeksiyon sisteminin güç devresinin devreye girmesiyle de olduğu sanılmaktadır. Tork eğrisindeki bu çukurlukta da iki eğri arasında 11,9 Nm'lik bir fark oluşmuştur. Dolayısıyla 4500 d/d'da değişken supap zamanlaması ile % 8'lik iyileşme kaydedilmiştir. Değişken supap zamanlaması ile tork eğrisinde 3900 d/d ve 5100 d/d motor devri noktalarında 176 Nm maksimum tork değeri elde edilmiştir. Motor devri 6600 d/d'ya ulaşana kadar değişken supap mekanizması ile motor daha yüksek tork değerleri elde etmiştir.

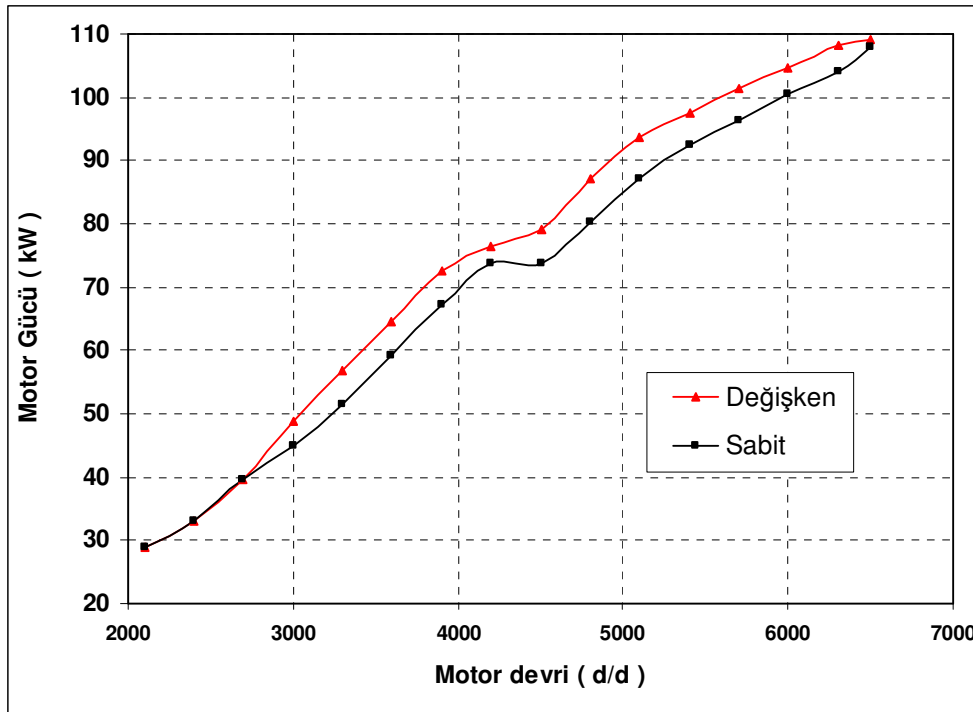


Şekil 6.2. Supap zamanlamasının taşıt hızına bağlı olarak motor momentine etkileri

Şekil 6.2'de supap zamanlamasının taşıt hızına bağlı olarak tork eğrisinde meydana getirdiği değişim gösterilmiştir. Her iki tork eğrisi de 60 km/h taşıt hızına kadar üst üstedir. Bu noktadan sonra değişken supap

zamanlamasının tork eğrisinde diğer tork eğrisine göre daha fazla artış oluşmuştur. 80 km/h taşıt hızında mekanizma devrede iken 174,7 Nm, mekanizma devre dışı iken 161,7 Nm tork üretilmiştir. Bu hız noktasında iki eğri arasındaki fark 13 Nm olmuştur. 85 km/h taşıt hızında sırasıyla 177 Nm ve 167 Nm tork üretilmiştir. Bu hız noktasındaki fark ise 10 Nm olmuştur. 90 km/h taşıt hızından sonra iki eğri de düşüş olmasına rağmen mekanizma devrede iken diğerine göre yüksek tork eğrisi oluşmuştur. Buna bağlı olarak 125 km/h taşıt hızına kadar iki eğri arasında ki fark ortalama 10 Nm olmuştur. 105 km/h taşıt hızında mekanizmanın sağladığı tork artışı % 8 olmuştur.

6.2.Motor Çıkış Gücü



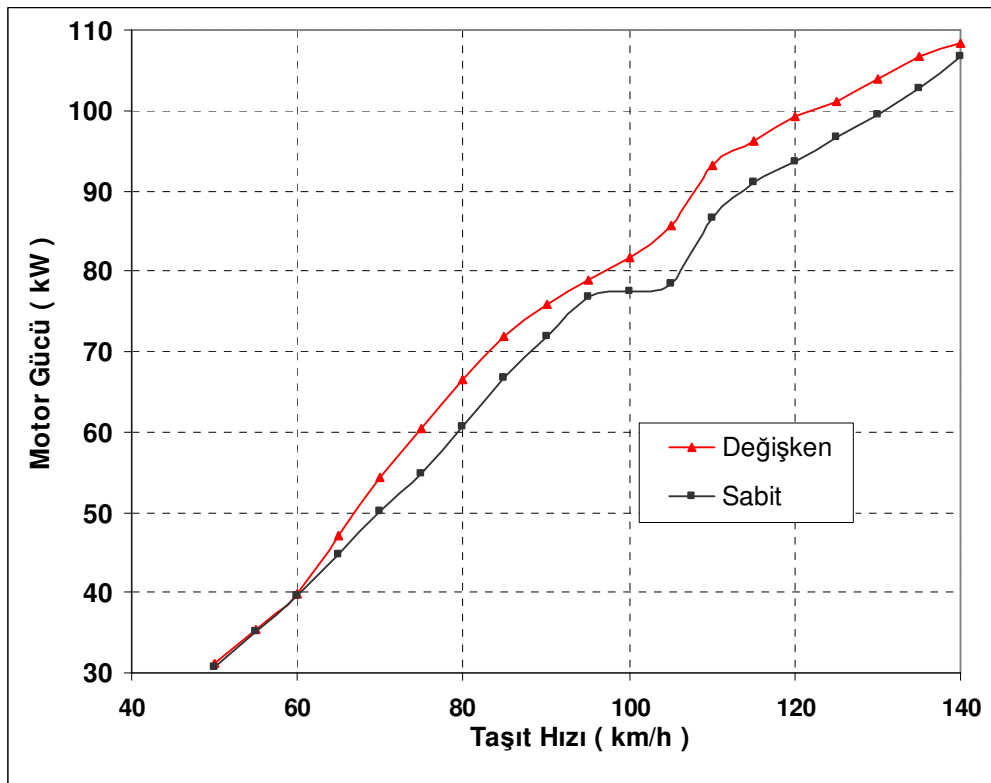
Şekil 6.3.Supap zamanlamasının motor devrine bağlı olarak motor gücüne etkileri

Şekil 6.3'de değişken supap zamanlaması ve sabit supap zamanlamasının motor devrine bağlı olarak motor çıkış gücüne etkileri gösterilmiştir. Deneyler

şasi dinamometresinde yapıldığı için düşük devirlerdeki motor çıkış gücü değerleri görülememiştir. 2800 d/d'ya kadar elektronik kontrol ünitesinin seçtiği supap zamanlaması, mekanizma devre dışı bırakıldığında oluşan sabit supap zamanlamasındaki supap açılıp kapanma noktalarına yakın değerler olduğundan her iki testte de motor çıkış gücü değerleri birbirine yakın olmuştur. 3000 d/d'dan sonra mekanizmanın devre dışı kalması sonucu kullanılan sabit supap açılıp kapanma zamanları ile elde edilen motor çıkış gücü değerlerine göre mekanizmanın devrede olması ile elektronik kontrol ünitesi motor devrine, sıcaklığına ve yüküne göre uygun supap açılıp kapanma zamanları seçmiş böylece daha yüksek motor çıkış gücü değerleri elde edilmiştir. Şekil 6.3'de görüldüğü gibi 3000 d/d'da zamanlamanın değişken olması ile 48,79 kW motor çıkış gücü, zamanlamanın sabit olması ile 44,83 kW motor çıkış gücü elde edilmiştir. 3000 d/d'da uygun supap zamanlaması seçilmesinin faydası 3,96 kW olmuştur. Bu fayda 3300 – 3900 d/d motor devir aralığında 5,2 kW olarak gerçekleşmiştir. Motor momentinde de bahsedildiği gibi 4500 d/d'da oluşan çukurluk Şekil 6.3'de motor çıkış gücü eğrilerinde görülmüştür. 4500 d/d ile 5200 d/d motor devir aralığında zamanlamanın değişken olmasının faydası 6,5 kW olmuştur. 5200 d/d'dan sonra motor devrinin artmasıyla supap zamanlamaları birbirine yaklaştığından elde edilen motor çıkış gücü değerleri birbirine yaklaşmıştır. Test taşıtının motoru değişken supap zamanlaması vasıtasıyla 6600 d/d'da 109,5 kW maksimum güç, zamanlama sabitlendiğinde ise 6510 d/d'da 108 kW maksimum güç üretmiştir.

Şekil 6.4'de değişken ve sabit supap zamanlamasının taşıt hızına bağlı olarak motor çıkış gücüne etkileri gösterilmiştir. Şekil 6.4'de görüldüğü gibi 60 km/h taşıt hızına kadar elektronik kontrol ünitesinin seçtiği zamanlama ile sabitlenen zamanlama birbirine yakın olduğundan elde edilen motor çıkış gücü değerleri birbirine yakın olmuştur. 70 km/h taşıt hızından sonra uygun supap zamanlamasının silindir içerisine daha fazla hava doldurmasından dolayı, değişken supap zamanlamasının faydası kayda değer oranda artmıştır. 70 km/h taşıt hızından 90 km/h taşıt hızına kadar ortalama 5,5 kW

motor çıkış gücü artışı elde edilmiştir. 90 km/h ile 100 km/h taşı hızı aralığında motor çıkış gücü değerleri birbirine yaklaşmıştır. 100 km/h ile 135 km/h taşıt hızı aralığında değişken supap zamanlaması seçilmesinin faydası 5,3 kW olmuştur. Değişken supap zamanlaması ile maksimum güç 141 km/h taşıt hızında 109,5 kW, zamanlama sabit olduğunda 148 km/h taşıt hızında 108 kW olmuştur.

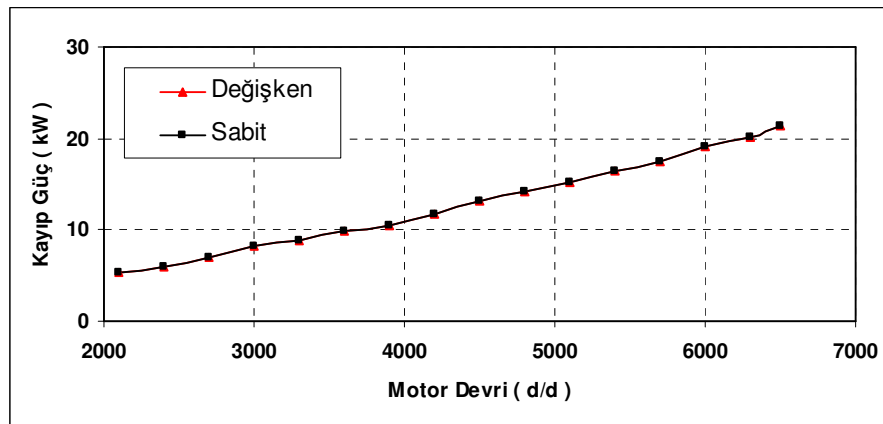


Şekil 6.4. Supap zamanlamasının taşıt hızına bağlı olarak motor gücüne etkileri

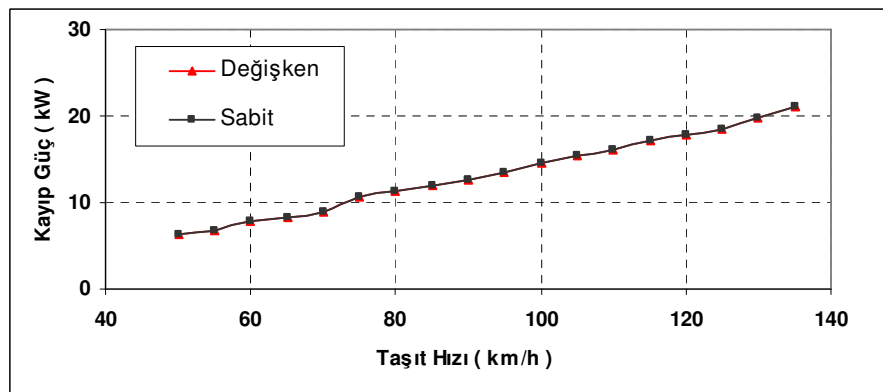
6.3. Kayıp Güç

Şekil 6.5'de supap zamanlamasının sürtünme gücüne etkisi gösterilmiştir. Deneyde kullanılan değişken supap zamanlaması sağlayan mekanizma literatür de bahsedildiği gibi sürekli faz kaydırabilen tiptedir. Sürekli faz kaydırabilen mekanizmalar kam milini rötara veya avansa yada diğer bir

deyişle krank milinin dönüş yönünün tersine veya dönüş yönünde (krank milinin dönüşünden bağımsızca) kam milini döndürerek emme supaplarının açılma ve kapanma zamanlarını motor devrine, yüküne ve sıcaklığına göre değiştirirler. Dolayısıyla bu mekanizmalar Şekil 6.5'de görüldüğü gibi motorun sürtünmeye harcadığı gücü değiştirmezler. Motor devri ve taşıt hızı arttıkça kayıp güç artmaktadır. Motorun 6600 d/d'da kayıp gücü 21,37 kW'dır.



(a)

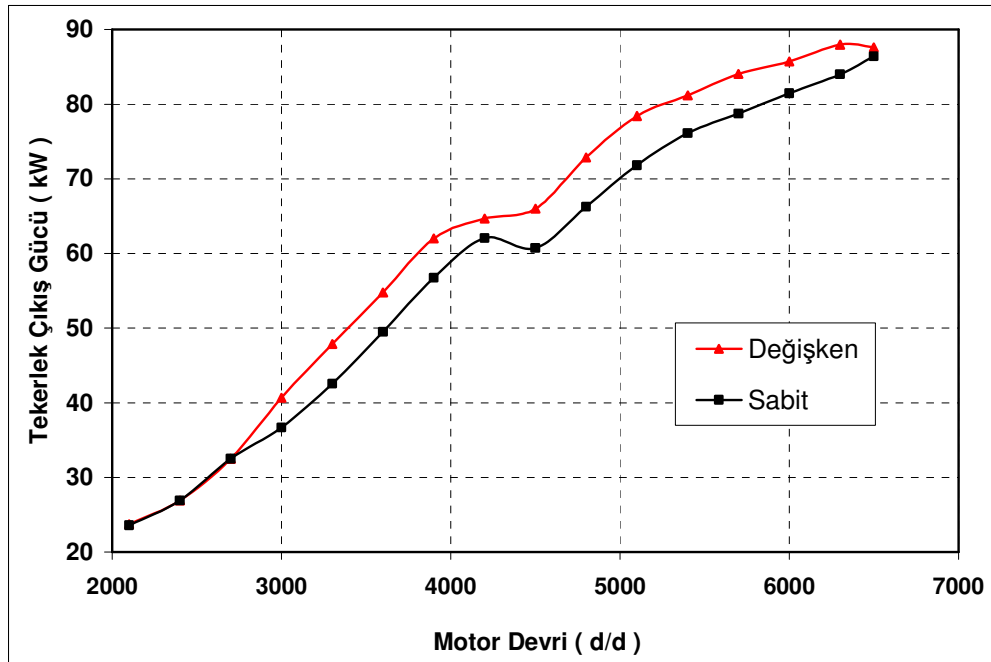


(b)

Şekil 6.5. Supap zamanlamasının motor devrine ve taşıt hızına bağlı olarak motorun harcadığı kayıp güce etkileri

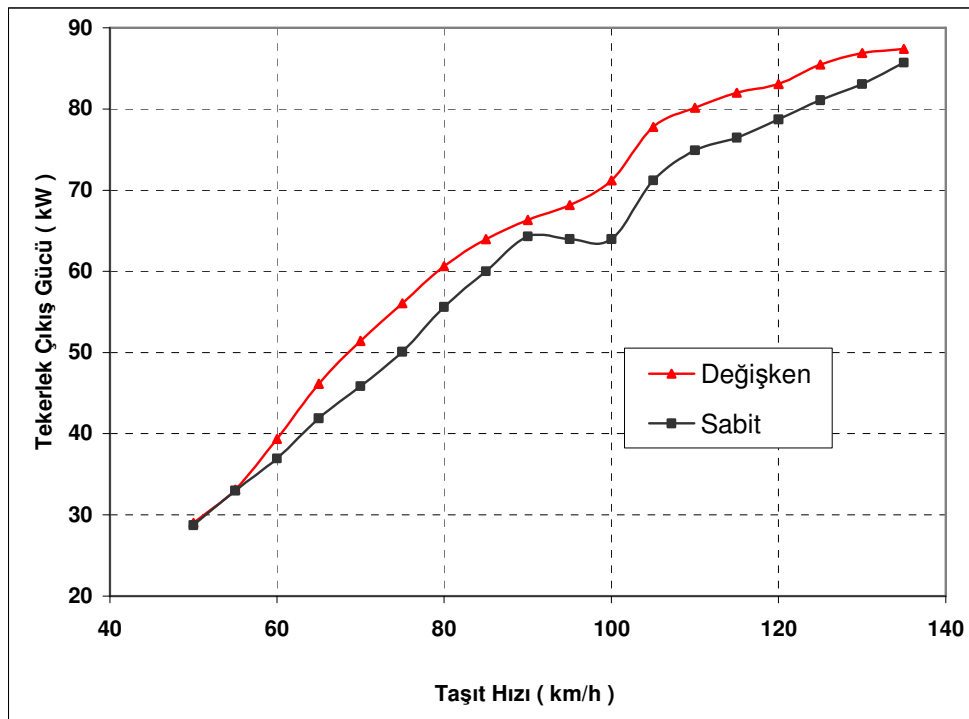
6.4.Tekerlek Çıkış Gücü

Şekil 6.6'da değişken ve sabit supap zamanlamasının motor devrine bağlı olarak tekerlek çıkış gücüne etkileri gösterilmiştir. Deneyler şasi dinamometresinde yapıldığından düşük devirlerdeki tekerlek çıkış gücü değerleri görülememiştir. 2800 d/d'ya kadar sabitlenen supap zamanlaması ile elektronik kontrol ünitesinin değiştirdiği supap zamanlaması arasında emme supabı açılıp kapanma değerleri açısından yakın değerler seçildiği için motor çıkış gücünde olduğu gibi, tekerlek çıkış gücünde de kayda değer bir fark olmamıştır. Değerler irdelendiğinde; motor çıkış gücü değerlerinden sürtünme gücü değerleri çıkarıldığında tekerlek çıkış gücü değerleri de bulunabilir. 3000 d/d'dan sonra elektronik kontrol ünitesinin seçimi vasıtasıyla sabit zamanlamaya göre daha yüksek çıkış gücü değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6.6.Supap zamanlamasının motor devrine bağlı olarak tekerlek çıkış gücüne etkileri

3000 d/d'da zamanlamada değişkenlik olması ile 40,66 kW, sabit olması ile 36,7 kW tekerlek çıkış gücü elde edilmiştir. Bu devir noktasında uygun supap zamanlamasının seçilmesinin faydası 3,96 kW olmuştur. Bu fayda 3300 – 3900 d/d motor devri aralığında 5,2 kW olarak gerçekleşmiştir. 4500 – 5200 d/d motor devri aralığında gerçekleşen fayda ise 6,5 kW olmuştur. 5200 d/d'dan sonra motor devrinin artmasıyla her iki durumdaki supap açılıp kapanma değerleri birbirine yaklaşmış ve böylece tekerlek çıkış gücü arasındaki farklar azalmıştır.



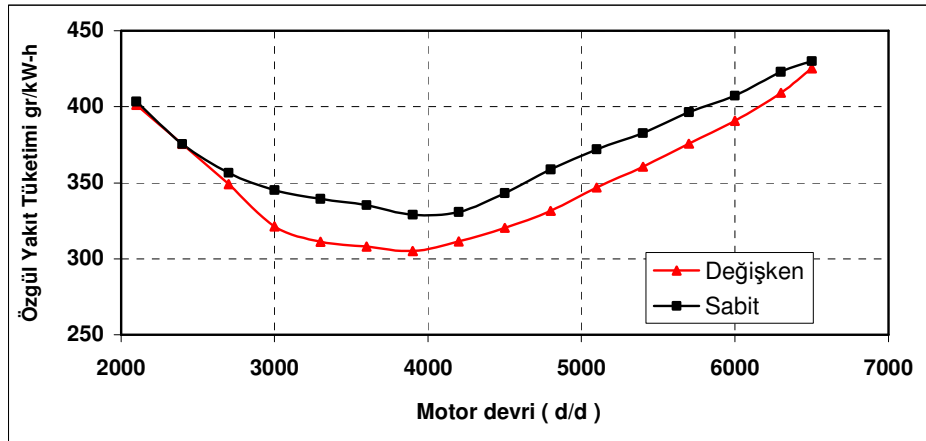
Şekil 6.7. Supap zamanlamasının taşıt hızına bağlı olarak tekerlek çıkış gücüne etkileri

Şekil 6.7'de değişken ve sabit supap zamanlamasının taşıt hızına bağlı olarak tekerlek çıkış gücüne etkileri gösterilmiştir. Her iki zamanlama testinde pirizdirek konumunda ölçümler yapılmıştır. 60 km/h'a kadar elektronik kontrol ünitesinin seçtiği zamanlama ile sabitlenen zamanlama birbirine yakın olduğundan elde edilen tekerlek çıkış gücü değerleri birbirine yakın olmuştur.

70 km/h taşıt hızından sonra uygun supap zamanlamasının silindir içerisine daha fazla hava doldurmasından dolayı, değişken supap zamanlamasının faydası kayda değer oranda artmıştır. 70 km/h – 90 km/h taşıt hızları arasında değişkenliğin sağladığı fayda ortalama 5,5 kW olmuştur. 90 km/h – 105 km/h taşıt hızları arası tekerlek çıkış gücü değerleri birbirine yaklaşmıştır. 100 km/h taşıt hızından 135 km/h taşıt hızına kadar değişken supap zamanlaması seçilmesinin faydası ortalama 5,3 kW olmuştur. 100 km/h taşıt hızından itibaren hızın artmasıyla her iki zamanlama sonucu üretilen değerler birbirine yaklaşmaya başlamış hatta son ölçüm noktası olan 140 km/h taşıt hızında bu fark 1,7 kW olarak gerçekleşmiştir.

6.5.Özgül Yakıt Tüketimi

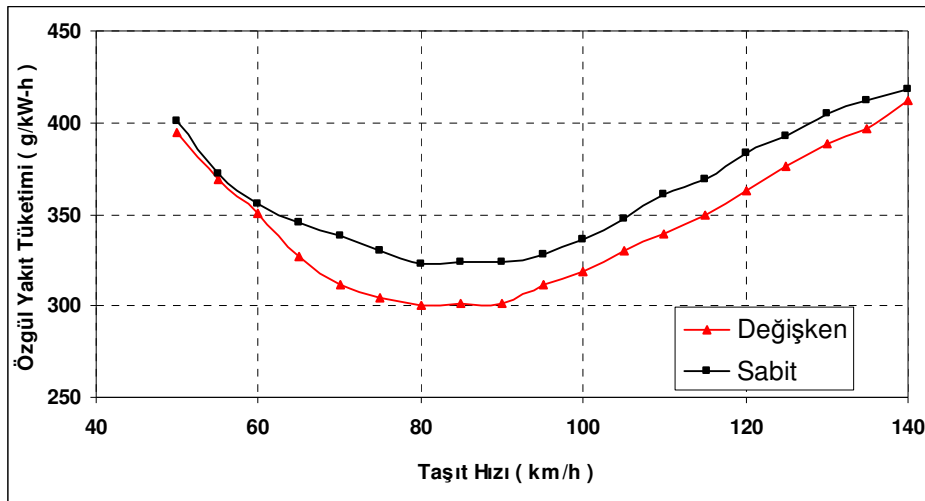
Şekil 6.8'de değişken ve sabit supap zamanlamasının motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimine etkileri gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Supap zamanlamasının motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimine etkileri

Şekil 6.8'de görüldüğü gibi 2500 d/d motor devrine kadar değişken ve sabit supap zamanlamasında; silindir içerisine alınan hava miktarı ve silindir içerisine püskürtülen yakıt miktarı birbirine yakın olmasından dolayı elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri birbirine yakın olmuştur. Bu motor devir

noktasından sonra elektronik kontrol ünitesinin seçmiş olduğu ve sürekli değişen supap zamanlaması vasıtasıyla içeriye daha fazla hava alınmış böylece daha fazla motor çıkış gücü değerleri elde edilmiştir. Her iki test durumunda püskürtülen yakıt neredeyse aynı olmuştur. Bu iki özellikten dolayı özgül yakıt tüketiminde sürekli değiştirilen zamanlama sayesinde daha düşük değerler elde edilmiştir. Sabit ve değişken supap zamanlaması ile en düşük özgül yakıt tüketim aralığı 3000 d/d ile 5000 d/d arasındadır. 3000 d/d'da zamanlamanın değişkenliği ile 321,3 gr/kw-h, sabit zamanlama ile 345,2 gr/kw-h özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir. 3900 d/d'da en düşük özgül yakıt tüketim değerleri olan değişken zamanlama ile 305,1 gr/kw-h, sabit zamanlama ile 329 gr/kw-h verileri elde edilmiştir. Bu devir noktası için özgül yakıt tüketiminde % 7,2'lik iyileşme gerçekleşmiştir. 5000 d/d'dan sonra her iki zamanlama çeşidi arasında elde edilen değerler devir arttıkça birbirine yaklaştırmaya başlamıştır. 6500 d/d'da değişken supa zamanlaması ile 425,3 gr/kw-h, sabit supap zamanlaması ile 430,1 gr/kw-h özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6.9. Supap zamanlamasının taşıt hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimine etkileri

Şekil 6.9'da değişken ve sabit supap zamanlamasının taşıt hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimine etkileri gösterilmiştir. 60 km/h taşıt hızına kadar her iki zamanlama çeşidi ile elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri birbirine çok yakındır. Bunun sebebi olarak her iki zamanlama çeşidinde seçilen supap açılıp kapanma zamanlamalarının aynı olmasıdır. Değişken ve sabit supap zamanlamasının her ikisinde de en düşük özgül yakıt tüketim aralığı 70 km/h ile 100 km/h arasındadır. 70 km/h taşıt hızında değişken zamanlama ile 311,5 gr/kw-h, sabit zamanlama ile 338,1 gr/kw-h özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir. 80 km/h taşıt hızında değişken ve sabit supap zamanlamaları ile en düşük özgül yakıt tüketim değerleri elde edilmiştir. Bu değerler değişken zamanlama için 300,3 gr/kw-h, sabit zamanlama için 323,1 gr/kw-h'dir. 80 km/h taşıt hızında değişken supap zamanlamasının ile özgül yakıt tüketiminde % 7,1 lik iyileşme gerçekleşmiştir. 110 km/h taşıt hızından sonra değişken ve sabit supap zamanlama değerleri birbirine yaklaşılmaya başlamıştır. 140 km/h taşıt hızında değişken supap zamanlaması ile 418,1 gr/kw-h sabit supap zamanlaması ile 411,6 gr/kw-h özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; test aracının motorundaki emme supabı fazını sürekli kaydırabilen bir mekanizma ile elde edilen değişken supap zamanlaması ve bu mekanizmanın devre dışı bırakılması ile elde edilen sabit supap zamanlamasının motor momentine, gücüne, özgül yakıt tüketimine, tekerlek çıkış gücüne ve kayıp güce etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler şasi dinamometresinde yapılmış ve sadece supap zamanlamasının motor performans parametrelerine etkisinin görülmesi için taşıtta, taşıt motorunda ve deney şartlarında başka hiçbir değişiklik yapılmamıştır. Yapılan deneyler sonucunda şu sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Değişken supap zamanlaması ile düşük devirlerden 2700 d/d'ya kadar tork eğrilerinde bir değişim olmamıştır. Bunun nedeni supap zamanlamaları birbirine yakın olduğu için içeriye alınan dolgu miktarının aynı olmasıdır. Daha yüksek devirlere veya hızlara çıkıldığında değişken supap zamanlaması ile daha yüksek tork değerleri elde edilmiştir. Bunun sebebi ise daha iyi bir emme supabı zamanlaması ile içeriye daha fazla dolgunun alınmasıdır. Deneyler sonucu elde edilen tork değerleri arasındaki fark 3900 d/d ile 5100 d/d motor devirlerinde maksimuma ulaşmıştır. Değişken supap zamanlaması ile maksimum torkun üretildiği 5100 d/d'da değişken supap zamanlamasının faydası %6 olmuştur. Tork eğrilerinin tam ortasında oluşan çukurluk dikkate değerdir. İlk kısımda tork eğrisi 2000 d/d motor devirlerinden itibaren artmış ve 4000 d/d motor devrinden itibaren düşüşe geçmiştir. Bu normal bir motorda oluşan tork eğrisidir ve devir yükseldikçe bu düşüş devam eder. Ancak test edilen bu motorda; motor devri 4500 d/d civarına geldiğinde yakıt enjeksiyon sisteminin güç devresinin devreye girmesiyle tork eğrisi tekrar yükselmeye başlamış böylece bu çukurluk oluşmuştur. Tork değerleri incelendiğinde düşük ve yüksek motor devirleri yada taşıt hızlarında tork değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmüş fakat orta devirlerde veya hızlarda ise değerler arasındaki farklar artmıştır.

Motor gücü değerlerine bakıldığında 2700 d/d'ya kadar bir değişim olmamıştır. Bu devir ve hızdan sonra değişken supap zamanlaması ile güç değerlerinde dikkate değer bir yükseliş oluşmuştur. Özellikle 4500 d/d'dan 5700 d/d'ya kadar aradaki fark ortalama 5,7 kW olmuştur. Pik güçte ise 1,5 kW lık bir güç artışı oluşmuş buda yüzde olarak ifade edilirse %1,38 artış anlamına gelmiştir.

Değişken supap zamanlaması devrede iken özgül yakıt tüketimi değerleri incelendiğinde motorun ihtiyacına göre daha iyi bir supap zamanlaması sağlandığı için daha düşük özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir. 3000–5000 d/d motor devirleri arasında her iki zamanlama değerleri minimuma inmiştir. Her iki zamanlama değerleri de minimum olduğunda değişken supap zamanlaması ile özgül yakıt tüketimi % 7,2 oranında iyileşmiştir. Aynı şekilde taşıt hızına göre bu aralık 70 km/h – 100 km/h arasındadır. Taşıt hızına göre her iki zamanlama değerlerinin minimuma indiği noktada elde edilen iyileşme % 7,1'dir.

Değişken supap zamanlamasının motor sürtünmesinde herhangi bir artış oluşturmadığı kayıp güç değerlerinden anlaşılmaktadır. Çünkü iki test durumunda da yapılan tek değişiklik supap zamanlamasıdır, diğer hiçbir değişkenle oynanmamıştır. Bütün motor devirlerinde değişken supap zamanlaması ile sabit supap zamanlaması değerleri üst üste binmiştir.

Bu konuda çalışacakların supap kalkmasını değiştiren mekanizmaları analiz etmeleri ve aracı yol testine tabi tutarak hava tüketimini de ölçmelerinin daha faydalı bir yaklaşım olacağı söylenebilir.

KAYNAKLAR

1. Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., "İçten Yanmalı Motorlar, Cilt 1" **Teknik Eğitim Vakfı Yayınları-2**, Ankara, 133-140 (1995).
2. Nelson, M. T., Elrod, A. C., "Continious-Camlobe Phasing; An Advanced Valve Timing Approach", **SAE Transactions**, New York, 96 (4):758-767 (1987).
3. Taylor, C. F., "The İnternal Combustion Engine in Theory and Practice", **Mit press**, Volume 2, U.S.A, 157-161 (1997).
4. Rogowski, A. R., "Elements of Internal Combustion Engines", **Mc.Graw Hill Book Co**, New York, 321-324 (1953).
5. Vizard, D., "Theory and Practice of Cylinder Head Modification", **The Amadeus Press Ltd**, Detroit, 758-760 (1991).
6. Stone, R., "Introduction to Internal Combustion Engine", **Mc Millan Publishing**, U.S.A., 256 (1985).
7. Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., "İçten Yanmalı Motorlar, Cilt 2" **Teknik Eğitim Vakfı Yayınları**, Ankara, 96-97 (1995).
8. Heywood, J. B., "Internal Combustion Engine Fundamentals", **Mc. Graw Hill Publishing Company**, Newyork, 102-104 (1988).
9. Bensinger, W. D., "Motor Kontrüksiyonu (Gaz Kumanda Elemanları)", **Güven Kitabevi**, Ankara, 48-49 (1974).
10. Amann, C. A., "The Automotive Engine-A Future Perspective", **SAE paper**, 891666: 945-946 (1986).
11. Arslan, R., Karagöz, İ., Avcı, A., "Emme Supaplarında Debi Katsayısı Değişimlerinin Deneysel İncelenmesi", **5 nci Yanma Sempozyumu**, Bursa, 345-353 (1997)
12. Taylor, C. F., "The Internal Combustion Engine in Theory and Practice", **The M.I.T. Press**, Volume 1, U.S.A, 652-653 (1994).
13. Özdamar, İ., Yelken, B., "Benzin Motorları", **Milli Eğitim Basımevi**, İstanbul, 86-88 (1995).
14. Leone, T. G., Christenson, J., Stein, R. A., "Comprasion of Variable Camshaft Timing Strategies of Part Load", **SAE Paper**, 960584: 49-54 (1996).

- 15.Tabaczynski, R., "Time-Resolved Measurements of Hydrocarbon Mass Flow Rate in the Exhaust of a Spark Ignition Engine", **SAE Paper**, 720112: 96-97 (1972).
- 16.Riley, M. B., McElwee, M., Wakeman, R., "A Mechanical Valve System with Variable Lift, Duration and Phase Using a Moving Pivot" , **SAE Paper**, 970334: 35-37 (1997).
- 17.Binark, H., "Motor Kontriksüyonu", **Marifet Matbaası**, İstanbul,101-103 (1960).
- 18.Şalfun, R., "Effects of Cam Profiles on Performance of Internal Combustion Engine for the Devolopment of Locally Manufactured Diesel Engine", M.Sc.Thesis, **METU Graduate School of Natural Applied Sciences.**, Ankara, 82-83 (1986).
- 19.Akbaş, A., "Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Değişken Supap Açıklığının ve Supap Zamanlamasının Motor Performansına Etkisi", Yüksek Lisans tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 82-85 (2000).
- 20.Arslan, R., Sürmen, A., Avcı, A., "Dizel Motorlarında Supap Zamanlamasının Volumetrik Verim Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi", **5 nci Yanma Sempozyumu**, Bursa, 299-311 (1997)
- 21.Borusan Otomotiv, "Vanos Sistemlerinin Çalışma Modülleri", **Borusan Otomotiv Eğitim Merkezi Yayınları**, İstanbul, 92-99 (2000).
- 22.Yoshita, M., Watanabe, A., Uda, H., Kawamura, H., Yoshioka, M., Adachi, M., "A Newly Devoloped İntelligent Variable Valve Timing System – Continuosly Controlled Cam Phasing as Applied to a New 3 liter Inline 6 Engine", **SAE Paper**, 960579: 1-5 (1996).
- 23.Doğuş Otomotiv, "Kendi Kendine Çalışma Programı 322", **Volkswagen Eğitim Notları**, İstanbul, 1-23 (2001).
- 24.Honda A.Ş., " VTEC Tiplerinin Çalışması" **Honda Eğitim Merkezi**, İzmit, 1-30 (1998).
- 25.Fukuo, K., Iwata, T., Sakamoto, Y., Imai, Y., Nakaharo, K., Lantz, K.A., "Honda 3.0 Liter, New V6 Engine" **SAE Paper**, 970916: 13-17 (1997).
- 26.Maekawa, K., et al., "Devolopment of a Valve Timing Control System" **SAE paper**, 890680: 1234-1236 (1989).
- 27.Melcher, T., "The Valvetronic System of Bmw 3 Series Compact Engine" **BMW AG**, 15-17 (2001).

28. Hatano, K., Iida, K., Higashi, H., Murata, S., "Development of a New Multi-Mod Variable Valve Timing Engine", **SAE Paper**, 930878: 137-140 (1993).
29. Sihidika, T., Nakamura, Y., Nakakuba, T., Kawase, H., "Development of the High Speed 2ZZ-GE Engine", **SAE Paper**, 2000-01-0671: 2-8 (2000).
30. Seale, J., "Magnetic Analysis by a Flux-Centered Approach Part 1: Choosing Flux Linkage As An Independent Variable" **Magnesense LIC Gorham**, California, 4-12 (2003).
31. Bergstrom, G., "Taming the Electromagnetic Solenoid: Building a System that Achieves a Soft Landing", **SAE Toptec Conference**, Detroit, 18-20 (2000)