

**DEĞIŞKEN ZAMANLAMALI SUPAP KONTROL  
SİSTEMİ TASARIMI, İMALATI VE  
PERFORMANSA ETKİLERİ  
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**2012  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**Fatih UYSAL**

**DEĞİŞKEN ZAMANLAMALI SUPAP KONTROL SİSTEMİ TASARIMI,  
İMALATI VE PERFORMANSA ETKİLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**Fatih UYSAL**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2012**

Fatih UYSAL tarafından hazırlanan “DEĞİŞKEN ZAMANLAMALI SUPAP KONTROL SİSTEMİ TASARIMI, İMALATI VE PERFORMANSA ETKİLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU

Tez Danışmanı, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/ 06/ 2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Bahattin ÇELİK (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN (KBÜ)

...../...../2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Fatih UYSAL

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **DEĞİŞKEN ZAMANLAMALI SUPAP KONTROL SİSTEMİ TASARIMI, İMALATI VE PERFORMANSA ETKİLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**Fatih UYSAL**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Yrd. Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU**

**Haziran 2012, 78 Sayfa**

Bu çalışmada, tek silindirli dört zamanlı buji ile ateşlemeli bir motorun emme supabının düşük, klasik ve yüksek kam için supap kalkma miktarı ve motor devir aralıkları sırasıyla düşük kam 3,7 mm-1600-2200 d/d, klasik kamı 5,7 mm-2200-3400 d/d ve yüksek kam 7,7 mm-3400-4000 d/d aralıklarda açılıp kapatılabilmesi için elektro pnömatik külbütör mekanizması ve kam mili hazırlanmış ve imal edilmiştir. Plancırların kamları sırasıyla tahriki için 6 bar basınçlı hava kompresörü kullanılmıştır. Kontrol panosu ile plancırlar tahrik edilerek istenilen devir aralıklarında supap kalkma miktarları değiştirilerek motorun volümetrik verim, tork, güç, özgül yakıt tüketimine etkileri incelenmiş ve klasik kam mekanizmasıyla karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Sözcükler** : Değişken supap zamanlama, VTEC, VVT.

**Bilim Kodu** : 914.1.03

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **DESIGN AND MANUFACTURING OF VARIABLE VALVE TIMING MECHANISM AND ITS EFFECTS ON ENGINE PERFORMANCE**

**Fatih UYSAL**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Selami SAĞIROĞLU**

**June 2012, 78 Pages**

In this study, an electro pneumatic rocker mechanism (plunger) and a cam shaft have been designed and manufactured for intake valve lifts in the revolution range of 3,7 mm/1600-2200 rpm, 5,7 mm/2200-3400 rpm and 7,7 mm/3400-4000 rpm for low lift, normal lift and high lift, respectively in a single-cylinder four-stroke spark ignition engine. An air compressor with a pressure of 6 bars has been used to drive plungers. The lifts have been changed in the range of required values by driving plungers with control panel, effects of the lifts on volumetric efficiency, torque, power and specific fuel consumption of the engine has been investigated and compared with normal cam mechanism.

**Keywords** : Variable valve timing, VTEC, VVT.

**Science Code** : 914.1.033



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her türlü desteği sunan ve kıymetli zamanını benim için ayıran, bilimsel bilginin üretilmesi ve değerlendirilmesi konusunda yeni bir bakış açısı kazandıran değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU'na, deneyler sırasındaki yardımlarından dolayı Arş. Gör. Oğuzhan DOĞAN'a, teşekkürlerimi sunarım.

Değişken supap zamanlamalı kontrol sisteminin hazırlanması sırasında karşıma çıkan olumsuzlukları aşmamda yılların verdiği tecrübesiyle yapıcı öneriler getiren ve bunların uygulanmasında yardımcı olan babam Eşref UYSAL'a, kontrol sisteminin hazırlanması sırasında değerli vaktini ayıran ağabeyim Nihat UYSAL'a, bu yoğun çalışmalar esnasında sabırla beni destekleyen eşime ve çocuklarıma da sonsuz teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xvi
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	5
LİTERATÜR TARAMASI.....	5
BÖLÜM 3 .....	9
DEĞİŞKEN ZAMANLAMALI SUPAP KONTROL SİSTEMLERİ.....	9
3.1. AVANS AYARLARINI DEĞİŞTİREREK DEĞİŞKEN SUPAP ZAMANLAMA .....	12
3.1.1. Paletli Avans Ayarlarını Değiştiren Değişken Supap Zamanlama .....	12
3.1.2. Kanatlı Hücreli Avans Ayarlarını Değiştiren Değişken Supap Zamanlama .....	13
3.2. SUPAP KALDIRMA MİKTARINI DEĞİŞTİREREK DEĞİŞKEN SUPAP ZAMANLAMA .....	14
3.2.1. Supap Kaldırma Miktarının Kademeli Olarak Değiştirilmesi İle Değişken Supap Zamanlama.....	15
3.2.2. Üstten Çift Kamlı Motorlarda Kademeli Supap Kaldırma Miktarı Değiştirilmesi (DOHC VTEC).....	15
3.2.3. Üstten Tek Kamlı Motorlarda Kademeli Supap Kaldırma Miktarı Değiştirilmesi (SOHC VTEC) .....	17

## **Sayfa**

3.2.4. Ekonomi Amaçlı Supap Kaldırma Miktarının Değiştirilmesi (VTEC-E).....	18
3.2.5. Üç Kademeli Supap Kaldırma Miktarının Değiştirilmesi.....	19
3.2.6. Supap Kaldırma Miktarının Sürekli Değiştirilmesi İle Değişken Supap Zamanlama.....	20
3.2.6.1. TOYOTA Valvematic .....	21
3.2.6.2. BMW Valvetronic .....	23
3.2.6.3. Nissan VVEL.....	25
3.3. KARMA SİSTEM DEĞİŞKEN SUPAP ZAMANLAMA .....	27
3.3.1. TOYOTA VVTL-i .....	27
3.3.2. Porsche Variocam Plus.....	29
3.3.3. Honda i-VTEC .....	30
3.3.4. Audi Valvelift.....	31
3.3.5. Rover VVC Sistemi.....	32
3.3.6. Fiat Multiair Elektrohidrolik Supap Kontrol Sistemi.....	35
BÖLÜM 4 .....	40
MATERYAL VE METOT .....	40
4.1. MATERYAL.....	40
4.1.1. Deney alanı.....	40
4.1.2. Test Motorları.....	41
4.1.2.1. Referans Motor .....	42
4.1.2.2. Deney Motoru.....	42
4.1.3. Deney Motorunun Hazırlanması .....	43
4.1.3.1. Kamlar .....	43
4.1.3.2. Kam Mili .....	45
4.1.3.3. Külbütörler .....	46
4.1.3.4. Külbütör Mili.....	47
4.1.3.5. Plancır.....	49
4.1.3.6. Silindir Üst Kapağı .....	51
4.1.3.7. Karbüratör Ara Parçası .....	52
4.1.3.8. Triger Kayış Sistemi.....	53
4.1.4. Motor Testlerinde Kullanılan Ölçüm Cihazları .....	54

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.1.4.1. Dinamometre .....	54
4.1.4.2. Egzoz Gaz Analiz Cihazı.....	55
4.1.4.3. Kronometre.....	56
4.1.4.4. Vakummetre .....	56
4.1.4.5. Termometre .....	57
4.1.5. Kontrol Panosu.....	57
4.2. METOT .....	59
4.2.1. Motor Efektif Momenti ve Yüğü .....	60
4.2.2. Yakıt Tüketiminin Ölçülmesi ve Özgül Yakıt Tüketimi Hesabı.....	61
4.2.3. Hava Tüketimi ve Volümetrik Verim .....	62
4.2.4. Hava Fazlalık Katsayısı ( $\lambda$ ) ve Egzoz Emisyonları.....	65
BÖLÜM 5 .....	66
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	66
5.1. VOLÜMETRİK VERİM.....	66
5.2. HAVA FAZLALIK KATSAYISI ( $\lambda$ ) .....	67
5.3. MOTOR MOMENTİ .....	68
5.4. MOTOR GÜCÜ .....	69
5.5. ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ.....	70
BÖLÜM 6 .....	72
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	72
KAYNAKLAR .....	74
EK AÇIKLAMALAR A. TEST MOTORLARI DENEY SONUÇLARI.....	77
ÖZGEÇMİŞ .....	78

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Supap açık kalma süresinin zamana göre değişimi .....	10
Şekil 3.2. Paletli tip değişken supap zamanlamasının yapısı . .....	12
Şekil 3.3. Paletli tip değişken supap zamanlamasının çalışması. ....	13
Şekil 3.4. Kanat hücreli ayırıcılı dohc VVT .....	13
Şekil 3.5. Kanat hücreli ayırıcının yapısı . .....	14
Şekil 3.6. Kanat ayırıcılı değişken supap zamanlamasının şematik gösterimi ve parçaları . .....	14
Şekil 3.7. DOHC VTEC yüksek kam avare durumda. ....	16
Şekil 3.8. DOHC VTEC yüksek kamın kilitlemesi. ....	17
Şekil 3.9. SOHC VTEC motor üzerinde külbütörlerin görünümü. ....	18
Şekil 3.10. VTEC-E sistemi. ....	19
Şekil 3.11. Üç kademeli VTEC kamları ve külbütörleri. ....	20
Şekil 3.12. Üç kademeli VTEC kilitleme sistemi.....	20
Şekil 3.13. Toyota valvematic. ....	21
Şekil 3.14. Değişken yükseklik ayarlama mekanizması. ....	22
Şekil 3.15. Valvematic çalışma sistemi: düşük kaldırma miktarı. ....	22
Şekil 3.16. Valvematic çalışma sistemi: yüksek kaldırma miktarı.....	23
Şekil 3.17. Valvetronic'in motor üzerindeki görünümü.....	23
Şekil 3.18. Valvetronic çalışma sistemi. ....	24
Şekil 3.19. Nissan VVEL'in motor üzerindeki görüntüsü. ....	25
Şekil 3.20. Nissan VVEL düzeneği .....	26
Şekil 3.21. Nissan VVEL çalışma sistemi.....	26
Şekil 3.22. Toyota VVLT-i avans değiştirme sistemi. ....	28
Şekil 3.23. Toyota VVLT-i supap kaldırma yüksekliği değiştirme sistemi. ....	29
Şekil 3.24. Porsche variocam plus sistemi. ....	30
Şekil 3.25. Honda i-VTEC. ....	31
Şekil 3.26. Audi valvelift.....	32
Şekil 3.27. Rover VVC supap açılma açıları.....	33
Şekil 3.28. Rover veriable valve control (VVC). ....	34

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 3.29. Rover VVC.....	35
Şekil 3.30. Fiat multiair.....	36
Şekil 3.31. Fiat multiair supap açılma miktarları.....	39
Şekil 4.1. Deney düzeneğinin genel görünümü.....	41
Şekil 4.2. Test motorları.....	42
Şekil 4.3. Yüksek kam.....	44
Şekil 4.4. Normal kam.....	44
Şekil 4.5. Düşük kam.....	44
Şekil 4.6. Egzoz kamı.....	45
Şekil 4.7. Kam mili.....	45
Şekil 4.8. Egzoz ve emme külbütörü.....	46
Şekil 4.9. Avare külbütör.....	47
Şekil 4.10. Sağ külbütör mili.....	48
Şekil 4.11. Sol külbütör mili.....	49
Şekil 4.12. Piston.....	50
Şekil 4.13. Piston gövdesi.....	51
Şekil 4.14. Silindir üst kapağı.....	51
Şekil 4.15. Silindir üst kapağı montajlı.....	52
Şekil 4.16. Karbüratör ara parçası.....	53
Şekil 4.17. Triger kayış sistemi.....	54
Şekil 4.18. Dinamometre ve kontrol ünitesi.....	54
Şekil 4.19. Yük hücresi ve indikatör.....	55
Şekil 4.20. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.....	55
Şekil 4.21. Orifis.....	56
Şekil 4.22. Eğik manometre.....	57
Şekil 4.23. Termometre.....	57
Şekil 4.24. Pano şematik görünüm.....	58
Şekil 4.25. Kompresör.....	59
Şekil 4.26. Hava akış orifisi.....	63
Şekil 5.1. Emme supabının farklı kalkma miktarının motor hızına bağlı olarak ....	67
Şekil 5.2. Emme supabının farklı kalkma miktarının motor hızına bağlı olarak $\lambda$ üzerine etkileri.....	68

**Sayfa**

Şekil 5.3. Emme supabının farklı kalkma miktarının motor hızına bağlı olarak moment üzerine etkileri.....	69
Şekil 5.4. Emme supabının farklı kalkma miktarının motor hızına bağlı olarak motor gücü üzerine etkileri. ....	70
Şekil 5.5. Emme supabının farklı kalkma miktarının motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi üzerine etkileri.....	71

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 4.1. Test motorlarının teknik özellikleri. ....	41
Çizelge 4.2. Deney motorunun teknik özellikleri. ....	43
Çizelge 4.3. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı teknik özellikleri.....	56
Çizelge Ek A. 1. Test motorları deney sonuçları .....	77



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

- B : Yakıt tüketimi (kg/h)  
b<sub>e</sub> : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)  
CO : Karbonmonoksit  
CO<sub>2</sub> : Karbondioksit  
d<sub>0</sub> : Orifis yarıçapı (mm)  
HC : Hidrokarbon  
H /Y : Hava - yakıt oranı  
l : Motor moment kolu uzunluğu (m)  
M<sub>e</sub> : Motor moment (Nm)  
N<sub>e</sub> : Efektif güç (kW)  
NO<sub>x</sub> : Azotoksit  
V<sub>h</sub> : Silindir Hacmi (lt)  
ε : Sıkıştırma oranı  
λ : Hava fazlalık katsayısı  
n : Motor hızı (d/d)  
g : Yerçekimi ivmesi (m/s<sup>2</sup>)

### KISALTMALAR

- AÖN : Alt Ölü Nokta  
DOHC : Üstten Çif Kam Milli (Dual Over Head Cam Shaft)  
EgAA : Egzozda Açılma Avansı  
EgKG : Egzozda Kapanma Gecikmesi  
EmAA : Emmede Açılma Avansı  
EmKG : Emmede Kapanma Gecikmesi  
HFK : Hava Fazlalık Katsayısı

- KMA : Kam Mili Açısı
- kg : Kilogram
- lt : Litre
- ÖYT : Özgül Yakıt Tüketimi
- SOHC : Üstten Tek Kam Milli (Single Over Head Cam Shaft)
- ÜÖN : Üst Ölü Nokta
- VTEC : Değişken Zamanlamalı Supap ve Supap Yüksekliğinin elektronik kontrolü (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control)
- VTEC-E : Ekonomi Amaçlı Değişken Zamanlamalı Supap ve Supap Yüksekliğinin elektronik kontrolü (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control for Economy)
- VVT : Değişken Zamanlamalı Supap Kontrolü (Variable Valve Timing)
- VVT-i : Akıllı Değişken Zamanlamalı Supap Kontrol (Variable Valve Timing-Intelligent)
- VVTL-i : Akıllı Değişken Zamanlamalı Supap ve Yükseklik Kontrolü (Variable Valve Timing and Lift-Intelligent)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Elektronik ve bilgisayar dünyasındaki son derece hızlı gelişmeler, otomotiv endüstrisini de etkilemiştir. Bunlardan birisi de değişken supap zamanlama sistemi (VVT) ve benzeri sistemlerdir. 20. yüzyılda elektronik dünyasındaki bunca gelişmeye rağmen motorlardaki kam mekanizmasına uzun yıllar dokunulmamıştır. Kam mili mekanizmasının basit mekanik yapısı ile supapları açma/kapama görevini yumuşak bir şekilde ortalama bir hız için yerine getirmesi, tasarımcıların bu alanı bir problem olarak görmesine engel olmuştur. Problem olarak görülmeyen bir durum için buluş yapmak olası değildir [1].

Galloni and Fontana (2009) yaptığı bir çalışmada küçük bir buji ateşlemeli motorda yakıt ekonomisini iyileştirmek için değişken supap zamanlama (VVT)'nin potansiyelini araştırmıştır. Kısmi yüklerde motor performansı ve yakıt tüketimini iyileştirmeyi hedeflemiştir. 1-D ve 3-D modellerini baz alarak nümerik bir yaklaşımla VVT sisteminin, kısmi yükte pompalama kayıplarını ve özgül yakıt tüketimini azaltma etkisini analiz etmiştir. VVT stratejisi ile klasik kamlı mekanizmaya göre özgül yakıt tüketiminde yaklaşık %5-6 iyileşme, pompalama kayıplarında %47 azalma sağlanmış ve EGR (Egzoz Gazı Resirkülasyonu) ile yanma kalitesinden bir düşüş meydana gelmeden NO<sub>x</sub> miktarında azalma tespit etmiştir [2].

Yakıt ekonomisi, zaman ekonomisi, çevre kirliliğine karşı toplumun hassas olması ve üretim anlayışının müşteri memnuniyetine göre şekillenmesi, devletin emisyon standartlarını daha aşağılara çekmesi, tasarımcıları egzoz emisyonlarını düzeltmeye, kam mekanizmasını geliştirmeye yöneltmiştir. Özellikle Amerika ve Avrupa'daki emisyon standartlarının aşağılara çekilmesi ve yok edici rekabet şartları, otomobil firmalarını ve üniversiteleri kam mekanizması üzerinde araştırma geliştirme çalışmalarına itmiştir. Araştırmalar emme ve egzoz supaplarının açılma/kapanma

zamanları üzerinde yoğunlaşmıştır. Çünkü motor yanma odalarında yakıt atomlarının oksijen atomları ile birleşmemesi, yanmanın iyi olmamasına dolayısıyla da egzozdan insan sağlığına zararlı, kanserojen maddeler olan azot oksitler (NO<sub>x</sub>), karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbon (HC) vb. emisyonlarına sebep olmaktadır.

İçten yanmalı motorlarda karışımın silindire giriş ve çıkışını kontrol eden, aynı zamanda sızdırmazlık sağlayan emme ve egzoz supaplarının zamanlaması ve kalkma miktarının motorun bütün devir ve yük aralıkları için optimize edilmesi ile başta volümetrik verim olmak üzere, motor momenti, çıkış gücü, egzoz emisyonları ve yakıt ekonomisi iyileştirilmekte, ayrıca motorun kullanılabilir devir aralığı arttırılmaktadır [3,4,5].

İçten yanmalı motorlarda volümetrik verim, yanma performansına etki eden parametrelerin başında gelmektedir. Diğer parametreler ise motor momenti, çıkış gücü, yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonlarıdır. Motorun bütün devir aralıklarında silindirlere alınan dolgu miktarını arttırmakla yani değişken supap zamanlama ile volümetrik verim iyileştirildiği takdirde bundan diğer parametreler de olumlu yönde etkileneceklerdir.

Volümetrik verim birçok faktörden etkilenmektedir. Bunlar; motor dışında atmosferik şartlar, motor içinde ise termodinamik şartlar, silindir hacmi, yakıt-hava karışımının akış alanı, motor hızı, emme/egzoz supaplarının açılma/kapanma zamanlaması ve supap kalkma (açılma) miktarı, silindir içindeki basınç değişimleri, vb.dir.

Klasik supap zamanlamasının motorun ortalama çalışma devirlerine göre optimize edildiği, ancak bu devirlerin altında ve üzerindeki çalışmalarda volümetrik verimin düştüğü dikkate alınır, son yıllardaki motorun tüm çalışma devirleri için volümetrik verimi optimize etme çalışmalarının gereği ortaya çıkmaktadır [6].

Son zamanlarda, yakıt ekonomisi ve zararlı egzoz emisyonlarını daha da azaltma ihtiyacı, motor tasarımcılarını klasik supap mekanizmasını değiştirmeye ve alternatif

supap mekanizmaları üzerinde düşünmeye zorlamıştır. Bunun üzerine yapılan araştırmalar neticesinde birçok kam mili ve supap mekanizması geliştirilmiştir. Bu mekanizmalardaki temel prensip aynıdır ve günümüzde yaygın olarak araçlar üzerinde kullanılmaktadır. Elektromekanik, elektromanyetik, elektrohidrolik, elektro pnömatik supap mekanizmaları bir takım sorunlara sahiptir ve bu alandaki çalışmalar halen devam etmektedir.

Sağıroğlu tarafından yapılan bir çalışmada elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasının supapları tahrik etmesi esnasında elektronik kontrol ile diskin ve supabın sıçramasına engel olunamaması sebebiyle supap mekanizmasının yüksek hızlarda karışım oranının bozulduğu görülmüştür. Emme supabı açma özellikle de kapama esnasında karşı dayanma yüzeyine çarpma, sıçrama ve sıkıştırma zamanı başlangıcında emme manifolduna karışımın geri kaçması ve yüksek gürültü sorunlarıyla karşılaşılmıştır [7].

Motorun bütün çalışma devri aralığında daha yüksek performans değerleri ile daha düşük özgül yakıt tüketiminin gerçekleşebilmesi için sabit supap açılma miktarı ve zamanlaması yerine düşük motor devirlerinde emme supabı açılma miktarının azaltılması ve açılma zamanının avansa alınması, yüksek motor devirlerinde ise emme supabı açılma miktarının arttırılması ve kapanma zamanının rtara alınmasını gerçekleştirecek bir mekanizmaya ihtiyaç bulunmaktadır [8,9].

Bu araştırmanın amacı, aynı kam mili üzerinde klasik kam çıkıntısına ek olarak düşük ve yüksek devirlerde düşük ve yüksek kam çıkıntısını devreye sürecek, VTEC modeline benzer pnömatik tahrikli supap mekanizmasının tasarımı ve imalatının yapılması ve bu sistemin motor performansına etkilerinin ortaya çıkarılmasıdır.

Klasik kam mekanizmalı bir motorda motorun ortalama devri esas alınarak volümetrik verim ve hava yakıt oranı ideal olacak şekilde tasarımı yapılmaktadır. Halbuki düşük devirlerde pompalama kayıpları artmaktadır. Yüksek devirlerde ise sabit kam mekanizması nedeniyle silindirlere istenen lde karışım alınamamakta, tork eğrisi aşağıya doğru azalmaktadır. Bu problemleri önlemek ve tork eğrisini yatay hale getirmek için düşük devirlerde supapların daha az açılması, yüksek

devirlerde ise daha fazla açılması gerekmektedir. Bunun için değişken supap zamanlamaya ihtiyaç vardır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR TARAMASI

Gün tarafından yapılan 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 momenti, motor gücü, tekerlek çıkış gücü ve özgül yakıt tüketiminde iyileşme olduğunu göstermiştir [10].

Doğan tarafından yapılan çalışmada, dört zamanlı, tek silindri, üstten supaplı buji ile ateşlemeli bir motorda supap zamanlaması değiştirilmeksizin, emme supabını krank mili dönüş açısına bağlı olarak elektro-manyetik olarak tahrik etmek suretiyle, motor performans değişkenlerinin ve egzoz emisyonlarının değişimi geleneksel haliyle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, elektro-mekanik supaplı sistemde, geleneksel supap sistemine göre, güç ve momentte bir artış, özgül yakıt tüketiminde iyileşme görülmüştür. Ayrıca, bütün hız aralıklarında karbonmonoksit ve karbondioksit emisyonlarındaki iyileşmeler dikkat çekerken, hidrokarbon emisyonları bütün hız aralıklarında artış göstermiş ancak hız artışı ile orantılı olarak azalmıştır. Azot oksit emisyonları ise düşük motor hızları dışındaki bütün aralıklarda artış göstermiştir [11].

Akgün tarafından yapılan çalışmada, emme supabı kapanma zamanının standart zamanlamadan farklı olarak  $10^\circ$  krank mili açısı (KMA) avans ve  $10^\circ$ - $20^\circ$ - $30^\circ$  KMA rötör olmak üzere beş farklı zamanlama değerinde değişimini sağlayacak bir değişken supap zamanlaması mekanizmasının tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Egzoz

supabı açılma ve kapanma zamanları ile emme supabı açılma zamanı ve kalkma miktarı sabit tutulmuştur. Deneylede, tek silindirli, dört zamanlı, buji ile ateşlemeli bir motor kullanılmıştır. Beş farklı emme supabı kapanma zamanlaması için yapılan deneylede, motor devrine bağılı olarak, moment, volümetrik verim, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının değışimi incelenmiştir. Değışken emme supabı zamanlaması ile motor momenti, düşük motor devirlerinde %10, yüksek devirlerde %4,6 artmıştır. Özgül yakıt tüketimi ise düşük ve yüksek motor devirlerinde %6 azalmıştır. Ayrıca, HC emisyonlarında azalma sağlanmıştır [12].

Sağıroğlu tarafından yapılan bir çalışmada, tek silindirli dört zamanlı bir buji ile ateşlemeli motorun emme supabının istenilen zamanda açılıp kapatılabilmesi için elektromanyetik bir mekanizma hazırlanmış ve prototipi yapılmıştır. Elektromanyetik supap mekanizmasını çalıştırmak için 42 voltluk bir gerilim kaynağı, emme supabının açılıp kapanmasını kontrol etmek için Hall etkili sensörlerden gelen sinyallerle çalışan PIC16F84A mikro denetleyici kullanılmıştır. Motor üzerinde Hall etkili sensörlerin yerleri değıştirilerek çeşitli supap açılma ve kapanma zamanlarının motorun volümetrik verim, tork, güç, özgül yakıt tüketimine etkileri incelenmiş ve klasik kam mekanizmasıyla karşılaştırılmıştır. Emme supabının açılmasındaki gecikme ile supap ve diskin sıçramasından dolayı elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasının yüksek hızlarda volümetrik verim, tork ve gücün azalmasına sebep olduğu ve karışım oranının kötüleştiğı görülmüştür [7].

Arslan tarafından yapılan bir çalışmada dinamik parametrelerden biri olan supap zamanlamasının volümetrik verim üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Orijinal kam miline ilave olarak kam profili değışmeyen ancak supap açma ve kapama dereceleri değıştirilen on üç adet kam mili üretilmiştir. Bütün kam milleri ayrı ayrı denenerek supap zamanlamasının değıştirilmesinin volümetrik verime etkileri deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Emme açılma avansı verilen kamların açılma değışimleri aynı kamdaki egzoz açısındaki değışime bağılı olarak volümetrik verimi arttırdığı görülmüş, aynı zamanda emme açılması geciktirilen kamlar ile egzozu kapanması çok öne alınan kamlarda hissedilir bir verim düşüşü gözlenmiştir. Çalışmada supap zamanlamasının dört parametresinin (EmAA, EmKG, EgAA, EgKG) bağımsız



olarak değiştirilmemiş olması, yani kam profili sabit kalarak supap açık kalma periyodu ile supap kalkma miktarları değiştirilmemiştir. Eğer bu parametrelerde değişiklik yapılabilseydi özellikle yüksek devirlerde volümetrik verimin artması beklenebilirdi [13].

Akbaş tarafından yapılan bir çalışmada, değişken supap zamanlaması sistemlerine alternatif bir sistem prototipi hazırlanmış, emme supabı açılma miktarı ve zamanlaması değiştirilerek motor performansına etkileri incelenmiştir. Deney motorunun orijinal supap zamanlamasına göre 100 KMA aralıklarla  avans ve  rtar olmak üzere değişken emme supabı zamanlaması deneyleri yapılmıştır. Aynı zamanda motorun orijinal emme supabı kalkma miktarı 0,5 mm aralıklarla azaltılarak 8 değişken emme supabı kalkma miktarı deneyleri yapılmış ve motorun volümetrik verimi, torku, gücü özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Emme supabı kalkma miktarı azaldıkça düşük devirlerde daha iyi performans değerleri elde edilmiştir. Emme supabı zamanlaması, avansa alındığında düşük devirlerde, rtara alındığında ise yüksek devirlerde orijinal zamanlama değerinden daha iyi performans değerleri vermiştir [8].

ınar tarafından yapılan bir çalışmada motor işletme parametresinin en önemlilerinden bir olan emme supabı zamanlamasının motor performansına etkileri incelenmiş, kam profili sabit kalmak şartıyla emme supabı açılma ve kapanma zamanları, motorun orijinal supap zamanlamasına göre  $10^0$ - $20^0$ - $30^0$  KMA avans ve  $10^0$ - $20^0$ - $30^0$  KMA rtara alınarak 7 değişik zamanlama değeri için deneyler yapılmıştır. bu amaçla tek silindirli, dört zamanlı, buji ile ateşlemeli bir motor kullanılmış ve bu motorun kam mili özel olarak bu deneyler için imal edilmiştir. Herhangi bir supap zamanlaması için değişik motor devirlerine göre başta volümetrik verim olmak üzere buna bağlı olarak motor momenti, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarında büyük değişiklikler grlmştir. Araştırma sonucunda düşük motor devirlerinde emme supabının erken kapatılmasını, yüksek motor devirlerinde ise geç kapatılmasını gerçekleştirecek bir mekanizmaya ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkmıştır [9].

Demirtaş ve Bayrakçeken tarafından yapılan bir araştırmaya göre; değişken supap zamanlamalı motorlar, aynı özelliklere sahip klasik kam mekanizmalı motorlara göre üretilen güç ve tork bakımından daha iyi sonuçlar vermektedir. Değişken supap zamanlamalı mekanizmalar, egzoz emisyonlarında ve özgül yakıt tüketiminde iyileşmeler sağlamakta, yanmayı iyileştirerek performans artışı gerçekleştirmektedir [5].

Dinçel tarafından yapılan bir araştırmaya göre; supap aralıkları, supapların açık kalma sürelerini belirleyen önemli değerlerdir. Yüksek devirlerde emme ve egzoz işlemleri için gerekli olan süre azalır. Dolgu değişimini daha verimli hale getirmek için supapların açık kalma süreleri arttırılmalıdır. Aralık değeri azaldığından supap daha erken açılır ve daha geç kapanır. Supaplara verilen aralık değerleri motor sıcaklığının yükselmesi ile ortadan kalkmadığı gibi motorun çalışma parametrelerine ve malzeme özelliklerine bağlı olarak farklı neticeler verebilmekte ve bu durum motor performansını önemli ölçüde etkilemektedir [14].

Kapancı tarafından yapılan bir araştırmaya göre; değişken supap zamanlama sistemiyle motorlardaki emme ve egzoz supaplarının açılma ve kapanma açıları değiştirilerek motor performansında bir artış sağlanmıştır. Supapların bu açılma ve kapanma açılarının değiştirilmesi motordaki dolgu değişim prosesine yapılan müdahaledir; bu da az veya çok güç ve tork açısından motor performansını etkilemektedir [15].

Taşlyol tarafından yapılan bir çalışmada; emme supabı elektro-manyetik şekilde tahrik edilerek kam mili dönüş açısına bağlı olarak supap zamanlaması değiştirilmiştir. İki farklı devir (1200 d/d ve 3600 d/d) için motor orijinal açılma ve kapanma avansları elektromekanik supap sistemine uyarlanmaktadır. Orijinal avans değerlerinin altında ve üstünde farklı avans değerleri ile farklı besleme gerilimlerinde elektro-mekanik supap sistemi tahrik edilmiştir. Her açılma ve kapanma avans değerleri ve supap konumu karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Düşük devirlerde supap sistemi besleme geriliminin daha düşük olduğu ve devir yükseldikçe besleme geriliminin de yükselmesi gerektiği sonucuna varılmıştır [16].

## BÖLÜM 3

### DEĞİŞKEN ZAMANLAMALI SUPAP KONTROL SİSTEMLERİ

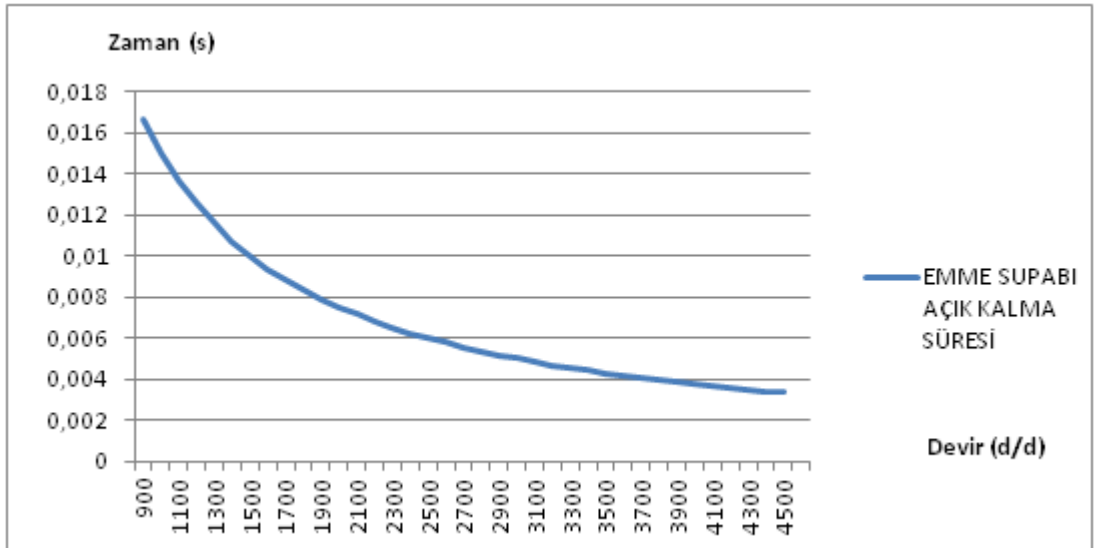
Pistonun ÜÖN'dan AÖN'ya hareketi esnasında silindir içerisindeki basınç ( $P_s$ ) daima açık hava basıncından ( $P_0$ ) küçüktür ve hava, hava filtresinden, karbüratör boğazından, emme manifoldundan vb. yerlerden geçerek yakıt hava karışımı şeklinde silindir içine dolar. Pistonun AÖN'dan ÜÖN'ya tekrar hareketi ile  $P_s$ , silindir içindeki karışımın sıkışması ve dışarıdan gelen karışım sebebiyle artmaya başlar. Bu hareketin devamı süresince  $P_0$ 'a eşitlenerek yükselmeye devam eder.  $P_s$ 'nin  $P_0$ 'a eşit olduğu noktada emme supabının kapatılması, dolgunun tekrar emme manifolduna kaçmasını engeller. Bu durumu sağlayabilmek benzinli motorlar için istenen bir durumdur. Klasik kamlı motorlarda sadece bir devir için bu durum sağlanabilir. Değişken supap zamanlama sisteminin amacı farklı devirler için de bu şartları sağlayabilmektir.

Motorun emme hattı üzerinde bulunan, supap, manifold, karbüratör boğazı, hava filtresi boru çapları vb. yapılar motorun en yüksek gücüne göre boyutlandırılmaktadır. Bu şartlar altında motor düşük devirlerde çalışırken emme hattı içerisinde düşük hızlarda laminere yakın bir akış olmakta, devir miktarı arttıkça emme hattı içerisindeki hızda artmaktadır. Emme hattı içerisindeki hız arttıkça karışımın homojenliği de artmakta ve buna bağlı olarak da yanma verimi artmaktadır. Supap açılma miktarının devre bağlı olarak değiştirilmesi, düşük devirlerde azaltılması, yüksek devirlerde artırılması, silindir içerisine alınan karışımın homojenliğini artırarak yanma verimini iyileştirmektedir.

Değişken supap zamanlama sistemleri benzinli araçlar için tasarlanmaktadır. Bu konudaki ilk uygulama Honda firması tarafından supap açılma miktarının yüksek devirlerde artırılması şeklinde uygulanmış daha küçük motor hacimlerinde daha yüksek güç elde etmek amaçlanmış ve buna bağlı olarak da motor devri arttırılmıştır.

Motorun kullanım şartlarına göre motor devri ile birlikte silindirdeki sıcaklık, basınç, yanmaya harcanan zaman, yanma odasına alınan dolgu miktarı, soğutma suyu sıcaklığı başta olmak üzere pek çok parametre değişmektedir. Tüm değerler değişirken supap zamanlamasının sabit kalması olumlu sonuçlar vermemektedir. Bundan dolayı motorun çalışma şartlarına göre supap zamanlamasının doğru şekilde ayarlanması çok önemlidir [8,13].

Klasik kamlı motorda devir yükseldikçe supap açık kalma süresi de azalmaktadır (Şekil 3.1). Bu sistemlerde supap açılma miktarı da değiştirilmediğinden sistem sadece bir devir için ideal hale getirilmekte (hava fazlalık katsayısı, moment, özgül yakıt tüketimi) bu devirde optimum sonuçları vermektedir. Değişken supap zamanlama sistemleri ile motorun optimum sonuçlara yaklaştığı devir sayısı artırılarak yanma verimi artırılmakta, buna bağlı olarak motor çıkış gücü ve momenti artmakta, özgül yakıt tüketiminde azalma sağlanmakta ve egzoz emisyonları da iyileşmektedir.



Şekil 3.1. Supap açık kalma süresinin zamana göre değişimi.

Değişken supap zamanlamalı sistemler, emme supabını ya direkt kam milini çevirerek (izafi çevirme) ya da doğrudan supaplara basan külbütörlere müdahale ederek kontrol etmektedir. Bunlardan farklı olarak her iki mekanizmanın birlikte kullanıldığı durum da söz konusudur. Burada birinci olarak bahsedilen sistem, kam

fazını kaydırarak görevini icra etmektedir. Bu modelde sadece emme supabı ya da hem emme hem de egzoz supabı açık kalma süresi değişmemekte, sadece supabın açıldığı ve kapandığı yerler değişmektedir. Motor devir ve yüküne göre kam fazı kaydırılmaktadır. İkinci olarak bahsedilen sistem ise benzer işi supapları daha fazla ya da daha az açarak yapmaktadır. Burada supapların açık kalma süreleri de değişmektedir. Fakat tıpkı kam fazını kaydıran sistemlerde olduğu gibi burada da yalnızca emme supabına ya da hem emme hem de egzoz supabına birden müdahale eden mekanizmalar bulunmaktadır. Bahsedilen bu iki sistemin birleşmesiyle oluşan üçüncü sistem ise değişen devir ve yüke göre hem supabın açılma yüksekliğini değiştirebilmekte hem de kam fazını kaydırabilmektedir [17,18].

Değişken zamanlamalı supap kontrol mekanizmaları şüphesiz motorda iyileştirilmeler sağlamaktadır. Ancak bu mekanizmaların kullanıldığı araçlarda parça sayısı ve motorun ihtiyaç duyduğu güç miktarı da artmaktadır. Bu sistemler sürekli yük altında çalışan ve devre dışı kalmaları durumunda motorun çalışmasını engelleyen parçalar içermektedir. Bu yüzden bu sistemlerin tasarımında da kullanılan bütün parçaların ömürlerinin motor ömrü ve/veya bakım süresi kadar dayanıklı olmaları zorunludur. Ayrıca parçaların değişim maliyetleri de kullanıcılara tasarruf sağlayacak yönde olmalıdır. Tüketiciye sağlanan yakıt tasarrufunun, bozulan parça maliyetleri ile tüketicinin cebinden çıkması durumunda sisteme olan talep azalacaktır. Müşteri memnuniyetinin birinci sırada olduğu günümüzde motora konulan ilave parçaların arızaları arttırması da bu motora olan talebi azaltacaktır.

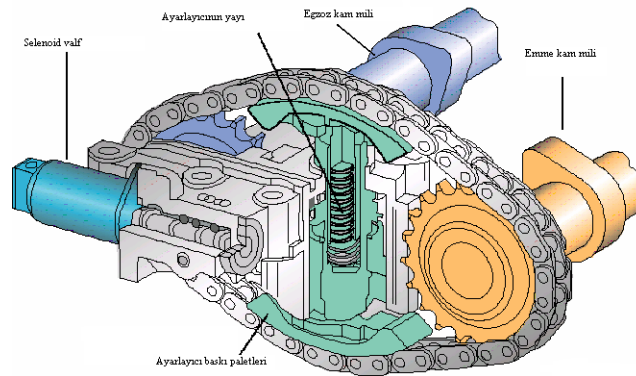
Yeni geliştirilen değişken zamanlamalı supap kontrol sistemlerinin kaliteli malzemelerden imal edilmiş parçalar gerektirmesi bu sistemlerin şimdilik yüksek fiyatlı araçlarda kullanılmasına yol açmaktadır. Bu tür araçlarda tercih edilmesinin temel sebeplerini de daha küçük hacimde daha yüksek güç üretmeleri ve böylece aracın harcayacağı gücü arttırmadan araca sağlanan gücün arttırılması, araç performansını geliştirmesi ve aracın hızını yükseltmesi şeklinde sıralayabiliriz.

### 3.1. AVANS AYARLARINI DEĞİŞTİREREK DEĞİŞKEN SUPAP ZAMANLAMA

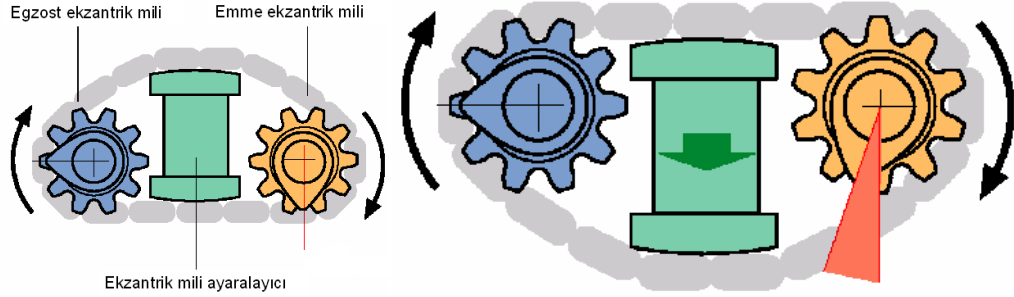
Düşük devirlerde yakıt/hava karışımının silindir içine dolması için yeterli zaman vardır ve piston AÖN'ya ulaştığında emme supabının kapatılması, karışımın tekrar emme manifolduna kaçmasını engeller. Ancak yüksek devirlerde emme supabının açık kaldığı süre azaldığı için karışımın silindir içine dolması için yeterli süre olmaz ve piston AÖN'dan ÜÖN'ya doğru harekete geçmesine rağmen silindir içine karışım dolmaya devam edebilir. Bu durumda emme supabının geç kapatılması yüksek devirlerdeki yanma verimini arttıracaktır. Bu sorunu gidermek ve yüksek devirlerdeki motor yanma verimini iyileştirmek için avans ayarlarını değiştiren değişken supap zamanlama sistemleri geliştirilmiştir.

#### 3.1.1. Paletli Avans Ayarlarını Değiştiren Değişken Supap Zamanlama

Paletli tip avans ayarlarını değiştiren supap zamanlama sisteminde, hidrolik silindirle tahrik edilen zincir paletlerini kontrol eden bir sistem bulunmaktadır (Şekil 3.2). Motor kontrol ünitesinden gelen verilere göre selenoid valf motor hidroliğini, hidrolik silindire yönlendirerek, silindirin aşağı yukarı hareket etmesini sağlamaktadır (Şekil 3.3). Paletin hareketi esnasında kam mili normal dönme hareketinden bağımsız izafi hareket yaparak supapların açılma ve kapanma avanslarını değiştirmektedir [19].



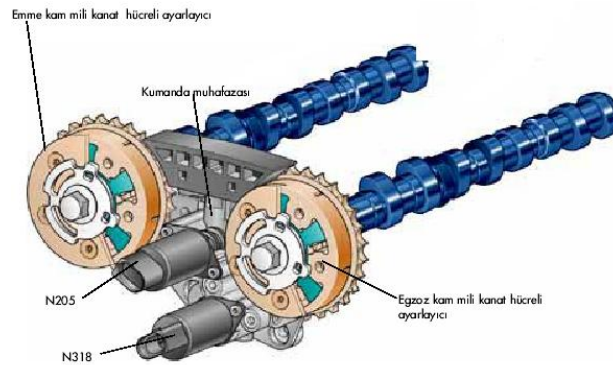
Şekil 3.2. Paletli tip değişken supap zamanlamasının yapısı [19].



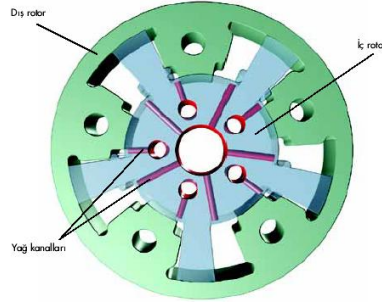
Şekil 3.3. Paletli tip değişken supap zamanlamasının çalışması [19].

### 3.1.2. Kanatlı Hücreli Avans Ayarlarını Değiştiren Değişken Supap Zamanlama

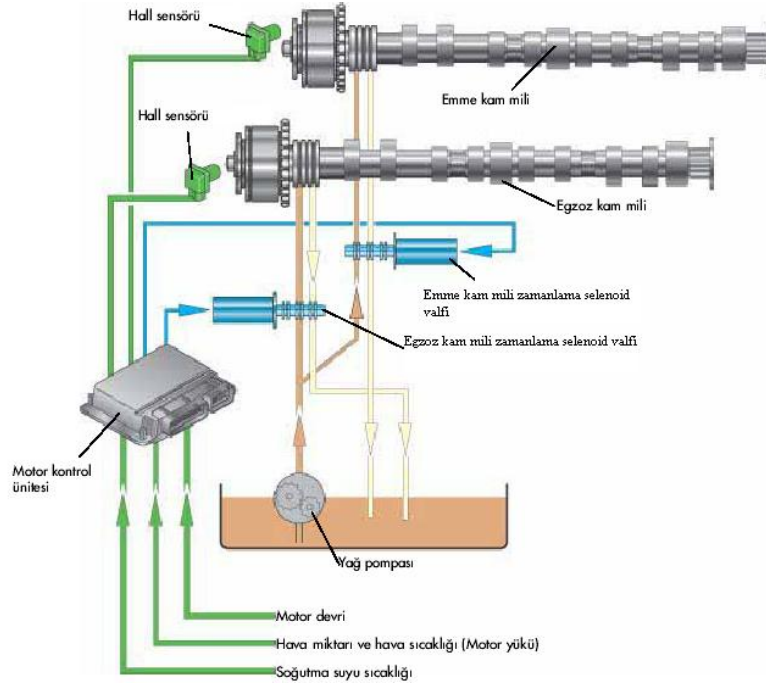
Kanatlı hücreli avans ayarlarını değiştiren değişken supap zamanlama sistemi, emme ve egzoz kam milleri için kullanılabilir bunun için kam miller üzerine hidrolik bir aktüatör monte edilir (Şekil 3.4). Bu aktüatörler bir çeşit hidrolik doğrusal motorun dairesel şekilde tasarlanmış şeklidir. Aktüatör içinde bir adet iç rotor ve bir adet dış rotor bulunur (Şekil 3.5). İç rotor kam miline, dış rotor triger kayışına veya zincir dişliye bağlıdır. İç ve dış rotor kanatları arasındaki açı farkı kadar kam mili normal dönüş yönünden bağımsız izafi hareket yaparak kam mili avans ayarlarını değiştirebilir. İç rotor ve dış rotor arasındaki boşluklara yağ doldurularak veya boşaltılarak supapların açılma ve kapanma avansları değiştirilir. Motordaki elektronik kontrol ünitesi motordan gelen verilere göre selenoid valfler aracılığıyla hidrolik yağın aktüatörün istenen kısmı yönlendirilmesini sağlar (Şekil 3.6). Böylece kam milinin izafi hareketi gerçekleştirilir.



Şekil 3.4. Kanat hücreli ayırıcılı DOHC VVT [10].



Şekil 3.5. Kanat hücreli ayırıcının yapısı [10].



Şekil 3.6. Kanat ayırıcılı değişken supap zamanlamasının şematik gösterimi ve parçaları [10].

### 3.2. SUPAP KALDIRMA MİKTARINI DEĞİŞTİREREK DEĞİŞKEN SUPAP ZAMANLAMA

Motor devri düştükçe hava yakıt karışımının silindir içine alınması için geçen süre artmakta ve karışımın hızı düşmektedir. Karışım hızı düştükçe karışımın heterojen yapısı artmaktadır. Motor devri yükseldikçe de karışımın silindir içine alınması için geçen süre azalmakta ve karışımın hızı da yükselmektedir. Karışım hızı arttıkça pompalama kayıpları da hızın karesi ile orantılı olarak artış göstermektedir. Birbiriyle çakışan bu iki durumun uyumlu hale getirilebilmesi için supap açılma



miktarının devre bağılı olarak değiştirilmesi doğru bir harekettir. Devir düştükçe supap açılma miktarını azaltmak, silindir içine alınan karışımın hızını artırarak daha homojen hale gelmesini sağlayacak ve daha iyi yanma verimi ortaya koyacaktır. Devir yükseldikçe de supap açılma miktarının artması, silindir içine alınan karışım miktarını arttıracak dolayısıyla yüksek devirlerde motorun torkunu ve gücünü yükseltecek, motorun daha yüksek devirlere çıkmasını sağlayacaktır.

### **3.2.1. Supap Kaldırma Miktarının Kademeli Olarak Değiştirilmesi İle Değişken Supap Zamanlama**

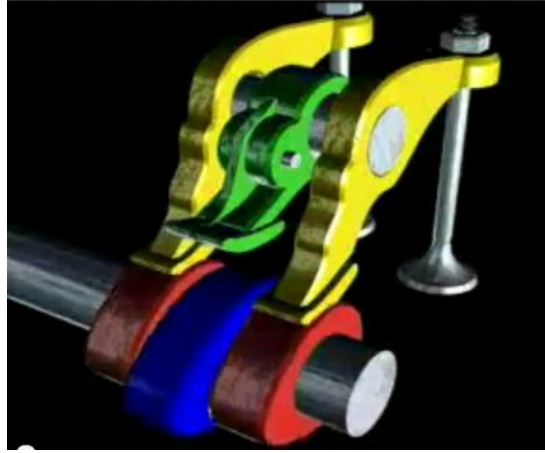
Supap kaldırma miktarının kademeli olarak değiştirilmesi ilk defa 1989 yılında HONDA firmasının spor arabalarının motorlarında uygulana yüksek supap açılma miktarını normal araçlara da uygulaması ile ortaya çıkmıştır. Bu sistemde üç adet kam profili bulunmaktadır. Dıştaki iki profiller motorun normal çalışma modunda supapların normal derecede açılmasını sağlar. Ortadaki kam profili motor 6000 d/d'yı geçtikten sonra devreye girer. Bunun için motor devrini ölçen ve karar veren elektronik bir kontrol ünitesi bulunmaktadır. Bu kontrol ünitesi motor 6000 d/d'ya ulaştığında elektrohidrolik valflere komut göndererek ortadaki yüksek profil içinde bulunan pime yağ gönderilmesini ve pimin kenarlardaki profillere geçmesini sağlar. Böylece kenardaki iki kam profili boşa çıkararak ortadaki kam profili supapların açılmasını sağlamaya başlar. Bu şekilde supapların daha çok açılması ve silindir içine alınan dolgu miktarının ve motor devrinin artması sağlanır. Kademeli supap kaldırma miktarı, uygulanan motorun türüne ve uygulama şekline göre farklı şekillerde isimlendirilmektedir [20].

### **3.2.2. Üstten Çift Kamlı Motorlarda Kademeli Supap Kaldırma Miktarı Değiştirilmesi (DOHC VTEC)**

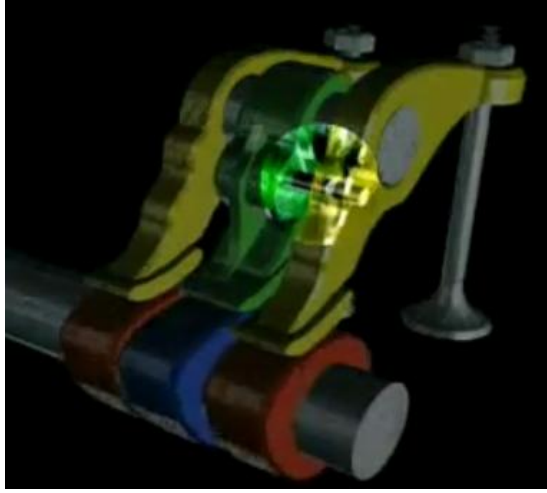
16 supaplı bazı motorlarda emme ve egzoz supaplarının kontrolü için motorun üstünde iki ayrı kam mili kullanılır. Bu durum İngilizce olarak Dual Over Head Cam Shaft (DOHC) olarak isimlendirilmektedir. Bu şekilde olan motorlarda supapların kademeli kaldırma miktarı hem egzoz hem de emme supapları için ayrı ayrı veya sadece emme supabı için kontrol edilebilir. Bu uygulama ilk defa HONDA firması

tarafında 1989 yılında normal araçlara uygulanmıştır. Supap açılma miktarının fazla açılması yüksek performans gerektiren spor arabalarda tercih edilmekteydi. Ancak Honda firması bu kullanımı farklı şekilde değerlendirerek ilk defa sivil kullanım için olan bir araçta iki kademeli bir VTEC uygulaması yaparak aracın devrini ve gücünü yükseltti.

Bu sistemde araç 5500 d/d'ya kadar normal kamları kullanmaktadır (Şekil 3.7). Bu şekilde normal araçların yakıt ve performans durumunu göstermektedir. Ancak araç 5500 d/d'nın üzerine çıktığı zaman elektronik denetleme ünitesi elektrohidrolik valfi açarak itici pime yağ göndermekte ve yüksek kam külbütörü üzerinde bulunan itici pimi normal külbütörlere kilitleyerek normal külbütörleri boşa çıkarmakta ve supapları yüksek kam profiline göre açmaktadır (Şekil 3.8). Bu şekilde supapların açılma miktarları ve açık kalma süreleri artmakta, böylece silindir içine alınan dol miktarı yükselmektedir. Silindir içine alınan yüksek dolgu yüksek devirlerde motorun momentini ve gücünü arttırmaktadır [21].



Şekil 3.7. DOHC VTEC yüksek kam avare durumda.



Şekil 3.8. DOHC VTEC yüksek kamın kilitlemesi.

### 3.2.3. Üstten Tek Kamlı Motorlarda Kademeli Supap Kaldırma Miktarı Değiştirilmesi (SOHC VTEC)

Bazı motorlarda emme ve egzoz supaplarının kontrolü için motorun üstünde tek kam mili kullanılır. Bu durum İngilizce olarak Single Over Head Cam Shaft (SOHC) olarak isimlendirilmektedir. Bu şekilde olan motorlarda supapların kaldırma miktarı kademeli olarak sadece emme supabı için kontrol edilebilir. Bu tip motorlarda yer darlığından dolayı egzoz supaplarının kademeli kaldırılması için yer mevcut değildir.

Bu sistemin çalışması da başlık 3.2.3'de anlatıldığı şekildedir. Şekil 3.9'da motor içinde SOHC VTEC uygulamasının şekli görülmektedir. Ortada külbütörlerin altında kam mili bulunmaktadır. En dış taraftaki iki külbütör (yönleri farklıdır) egzoz külbütörleridir ve herhangi bir kademeli kaldırma kontrolü yoktur. Bu külbütörlerin yanlarında buluna ve yönleri diğer tarafa bakan külbütörler normal emme kamlarını külbütörleridir ve motor normal devir aralığında çalışırken bu külbütörler devrededir. Ortada bulunan ve takip makarası büyük olan külbütör ise yüksek devirlerde devreye giren külbütördür ve diğer iki külbütörün yaptığı işten daha fazla iş yaptığı için de takip makarası ve boyutları büyüktür.



Şekil 3.9. SOHC VTEC motor üzerinde külbütörlerin görünümü.

#### **3.2.4. Ekonomi Amaçlı Supap Kaldırma Miktarının Değiştirilmesi (VTEC-E)**

Supap kaldırma miktarının artırılması motorun devrini yükselterek performansını arttırdığı gibi düşük devirlerde supap kaldırma miktarının azaltılması da motorun yakıt tüketimini azaltmakla beraber düşük devirlerdeki momentini de arttırmaktadır. Bu durumdan yararlanmak için motorun normal devirleri için ayarlanan normal kamdan daha düşük bir kamla supabın açılma miktarını azaltmak, silindir içine karışımın girişi esnasında karışımın hızını ve türbülansını artırarak karışımın daha homojen hale gelmesini ve yanmanın veriminin artmasını sağlamaktadır.

16 supaplı bir motorda silindir başına iki emme iki egzoz supabı dolayısıyla iki kam profili düşmektedir. VTEC-E sistemine sahip olmayan bir motor emme supapları için tek bir kam profiline sahiptir. VTEC-E motorunda ise iki farklı emme kam profiline bulunur. Düşük devirlerde her emme supabı kendi profilini takip eder. Bu profillerden bir tanesi neredeyse sıfır'a yakın miktarda supabı açacak seviyededir. Diğer ise supabı normal şekilde açar. Böylece düşük devirlerde sadece bir emme supabı çalışmaktadır. Emilen dolgu bu supaptan silindire girmekte ve silindir içinde türbülans oluşturmaktadır. Türbülans etkisi dolgunun iyi bir şekilde karışmasını sağlayarak daha fakir karışımların yanmasını kolaylaştırmaktadır. Devir 2500 d/d'yı geçince VTEC sistemi devreye girerek iki külbütörü tek bir ünite gibi çalıştırır. Böylece her iki emme supabı normal kam profiline bağlı olarak hareket etmeye

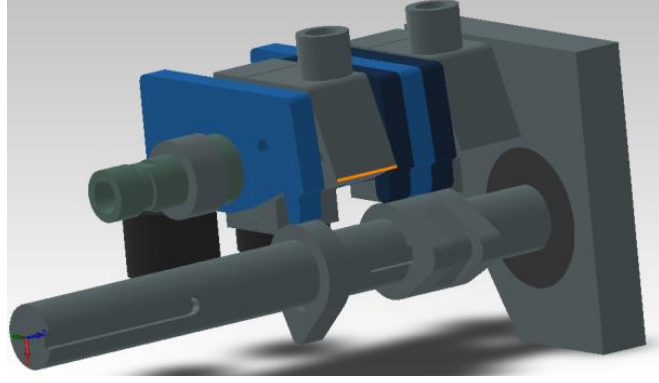
başlar ve neredeyse yuvarlak profile sahip olan kam kullanılmaz [21]. Bir supabın çok az miktarda açılmasının sebebi supap üzerinde yakıt birikmesini engellemektir.



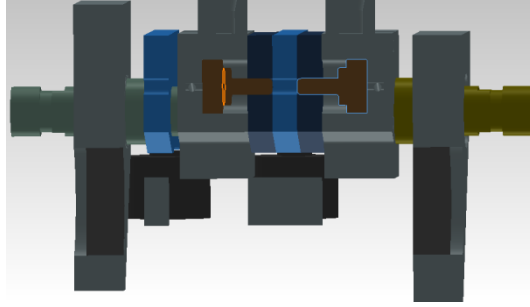
Şekil 3.10. VTEC-E sistemi.

### 3.2.5. Üç Kademeli Supap Kaldırma Miktarının Değiştirilmesi

Üç kademeli supap kaldırma sisteminin amacı, düşük devirlerde yakıt ekonomisi sağlamak, motorun devrini yükseltmek ve yüksek devirlerde performansı arttırmaktır. Bunu sağlamak için emme supabı tarafında üç farklı kam profili kullanılır (Şekil 3.11). Orta kısımda duran düşük devir kamı motoru 2400 d/d'ya kadar çalıştırır. Bu devirden sonra motor kontrol ünitesi normal kamın plancırına yağ geçişini sağlayarak normal kam külbütörünü düşük kam külbütörüne kilitler. Böylece motor normal kamın profiline göre supapları açıp kapatmaya başlar. Motor 4000 d/d'e ulaştığı zaman motor kontrol ünitesi yüksek kamın plancırına yağ geçişini sağlayarak yüksek kam külbütörünü düşük kam külbütörüne kilitler. Bu esnada motor kontrol ünitesi normal kam profilini devre dışı bırakır. Bu devirden sonra emme supabı yüksek kam profiline göre açılıp kapanmaya başlar (Şekil 3.8).



Şekil 3.11. Üç kademeli VTEC kamları ve külbütörleri.



Şekil 3.12. Üç kademeli VTEC kilitleme sistemi.

### 3.2.6. Supap Kaldırma Miktarının Sürekli Değiştirilmesi İle Değişken Supap Zamanlama

İdeal bir değişken zamanlamalı supap kontrol sistemi, supap açılma miktarını devre bağlı olarak sürekli değiştirebilmeli, devir miktarı arttıkça supap açılma miktarını da arttırmalıdır. Orta devirler için ideal hale getirilmiş sabit supap kaldırma sistemi ile karşılaştırıldığında değişken supap zamanlama sistemi (VVL) motorun daha fazla yakıt/hava karışımı emmesini sağlayarak yüksek devirlerde gücü artırır, düşük devirlerde azaltılmış supap kaldırma miktarı hava/yakıt karışımını iyileştirerek hava akışını hızlandırarak, gaz keleşi ihtiyacını ortadan kaldırır ve pompalama kayıplarını da azaltır.

### 3.2.6.1. TOYOTA Valvematic

Toyota supap kaldırma miktarının sürekli değiştirilmesi ile değişken supap zamanlaması işine 2008 yılında kendisinin geliştirdiği Valvematic teknolojisi ile katılmıştır. BMW'nin valvetronic ve Nissan'nın VVEL sistemleri ile kıyaslandığında Toyota'nın Valvematic sistemi bir çok yönden daha iyi görünmektedir. Valvematic, diğerlerine göre daha basit ve daha kopmaktır ve silindir üst kapağında daha fazla yer kaplamaz. Daha da önemlisi bu sistemde atalet ve sürtünme kayıpları azaltılmıştır ve bu yüzden en yüksek güçten ödün verilmez. TOYOTA bu sistemle çıkış gücünü %10 arttırdığını ve düzenli sürüşlerde yakıtta %5-10 arasında yakıt tasarrufu sağladığını iddia eder.



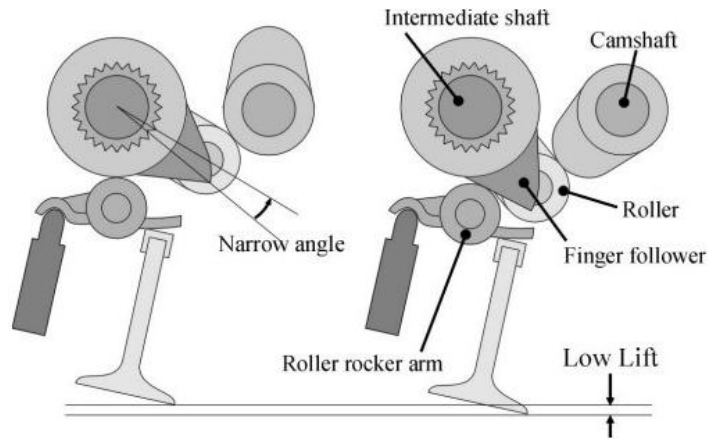
Şekil 3.13. TOYOTA Valvematic [20].

Valvematic, sürekli değişken supap kaldırma yüksekliğini ara şaft aracılığıyla gerçekleştirir (Şekil 3.13). Ara şaft her bir silindir üzerinde değişken yükseklik ayarlama parçasına sahiptir. Değişken yükseklik ayarlama parçaları, iki takip makarasının makaralı yatak üstüne geçirilmesi ile yapılmıştır (Şekil 3.14). Takip makarası ara şaftın sonuna eklenen bir elektrik motoru ve iç dişli dişinin aracılığı ile makara parçasını ilişkilendirerek dönebilir. Makara parçasının dişli dişi ve takip makarası farklı yönlerde dir. Bunun anlamı şaft döndüğünde makara parçası ve takip makarası farklı yönlerde döner ve böylece ya yaklaşrlar veya uzaklaşrlar. Bu şekilde bir elektrik motoru yardımıyla takip makarası ile makara parçası arasındaki aç kademeler olarak değiştirilebilir.



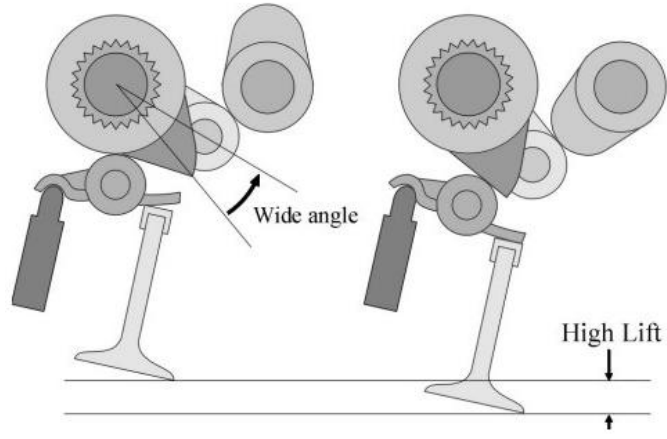
Şekil 3.14. Değişken yükseklik ayarlama mekanizması [20].

Emme supabı, ara şaft aracılığı ile kam şaftı tarafından hareketlendirilir. Daha net açıklamak için, kam mili ara şaftın makara parçasını iterek hareketi iki takip makarası üzerine iletir ve böylece makaralı külbütörün hareket etmesi sağlanır. Sonuçta emme supabı açılır. Takip makarası ile makaralı parça arasındaki açı daraltıldıkça supap kalkma miktarı azalır (Şekil 3.15). Takip makarası ile makaralı parça arasındaki açı arttıkça da supap kalkma miktarı artar (Şekil 3.16). Böylece valvematic, değişken miktarlarda supap kalkma miktarını takip makarası ile makaralı parça arasındaki açıyı ayarlayarak gerçekleştirebilir. İlk defa 2.0 l motorda kullanılan valvematic, motorda supap açılma miktarını 0.97 mm ile 11 mm arasında değiştirebilmektedir. Gaz kelebeği ile çalışan aynı özelliklerdeki motor 143 hp güç üretmesine karşılık valvematic sistemine sahip motordan 158 hp güç elde edilerek %10,4 güç artışı sağlanmıştır [20].



Şekil 3.15. Valvematic çalışma sistemi: Düşük kaldırma miktarı [20].





Şekil 3.16. Valvematic çalışma sistemi: Yüksek kaldırma miktarı [20].

### 3.2.6.2. BMW Valvetronic

İlk olarak 2001 yılında BMW 316ti Compact'ta kullanılan Valvetronic, üretilen ilk supap kaldırma miktarının sürekli değiştirildiği değişken supap zamanlamadır. Valvetronic'in amacı gücü arttırmak yerine yakıt tüketimini azaltmaktır (Şekil 3.17). Gaz pedalının pozisyonuna göre supap kaldırma miktarı ayarlanarak motor çıkış gücünü düzenler. Bu durum geleneksel olarak kullanılan gaz kelebeğine olan ihtiyacı ortadan kaldırarak pompa kayıplarını azaltır. BMW, valvetronic ile yakıt tüketimini %10 azaltmayı başarmıştır.



Şekil 3.17. Valvetronic'in motor üzerindeki görünümü [20].

Geleneksel bir motorla karşılaştırıldığında Valvetronic, kam sistemine bir elektrik motoru, ilave eksantrik mil ve her bir emme supabı için ilave külbütör ekler. Emme kam mili, ara külbütörü külbütör makarasına doğru hareketlendirir. Gaza basıldığında elektrik motoru eksantrik milini döndürür, eksantrik mili de ara külbütörü külbütör üzerine iterek, ana külbütörün supabı daha fazla açmasını sağlar (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Valvetronic çalışma sistemi [20].

Valvetronic, ara yüklerde yakıt tüketimini azaltmada etkin olmasına rağmen en yüksek güçlerde sistemin ilave bileşenlerinden kaynaklanan ilave sürtünme ve atalet kayıplarından dolayı yarar sağlamaz ve motorun ani devir yükseltebilme kabiliyetini sınırlar. Bu yüzden BMW Valvetronic'i yüksek performanslı M-power motorlarına hiçbir zaman uygulamamıştır. Bunun diğer bir dezavantajı ise ebatlarının büyük olmasından dolayı silindir kapağı üzerinde çok fazla yer işgal etmesidir. BMW valvetronic'i inline-4, inline-6, V8 ve V12 motorlarında kullanılmaktadır [20].

### 3.2.6.3. Nissan VVEL

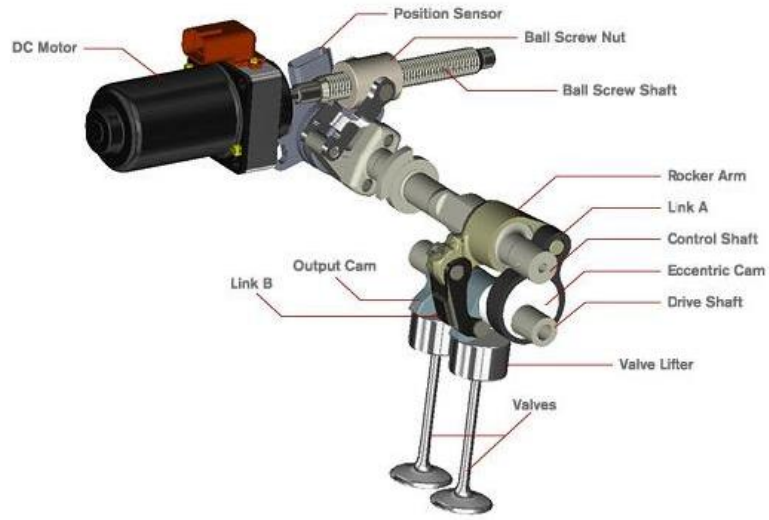
İkinci olarak 2007 yılında Nissan, Skyline Coupe aracının VQ37VHR V6 motorunda supap kaldırma miktarının sürekli değiştirildiği değişken supap zamanlamasını kullanmıştır. BMW'nin valvetronic'i ile karşılaştırıldığında Nissan'ın sistemi daha kompakttır, daha az parça içerir ve daha az enerji kaybı olur (Şekil 3.19). Bu yüzden yüksek performanslı motorlar için uygundur.



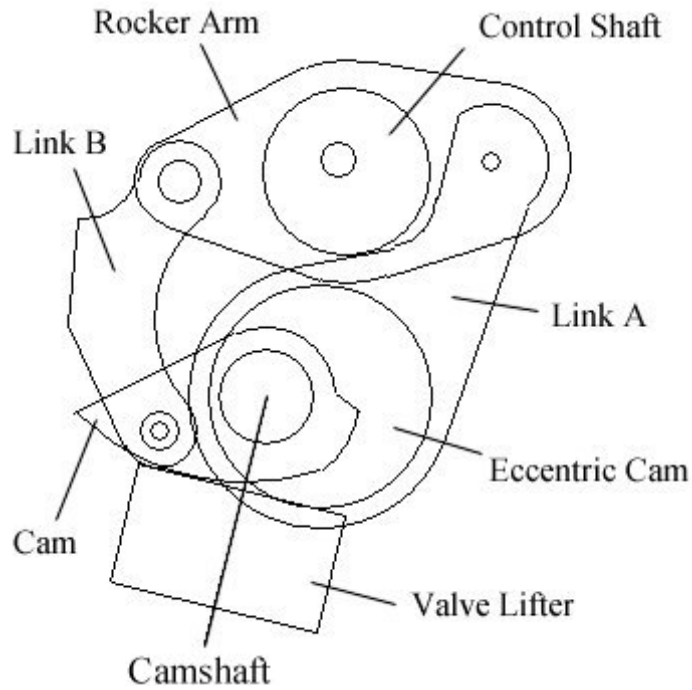
Şekil 3.19. Nissan VVEL'in motor üzerindeki görüntüsü [20].

VVEL sistemi daha az parça içermesine rağmen karmaşık bir tasarımı vardır ve anlaşılması zordur. Bu sistem geleneksel supap sistemine benzemez ve geleneksel kam milini kullanmaz. Her supap dönen kam mili tarafından hareket ettirilen bir kam tarafından hareket ettirilir. Geleneksel kamlar kam mili etrafında dönerken, VVEL kamı, yukarı-aşağı doğru salınım yapar. Bu yüzden de iki yüzü simetrik olan bir profile ihtiyacı yoktur. Hareketi birçok bileşen yardımı ile kam mili tarafından sağlanır. Örnek bileşenler eksantrik kam, link A, külbütör ve link B'dir.

VVEL'nin supap kaldırma miktarını değiştirmesi, külbütörün içindeki eksantrik kontrol mili ile sağlanır. Eksantrik kontrol milinin dönmesi ile Link A ve Link B'nin geometrisi (Şekil 3.20) değişirken külbütörün pozisyonu da değişir, daha sonra kamın salınım açısı değişir. Kamın salınım açısı supap kaldırma miktarını belirler (Şekil 3.21).



Şekil 3.20. Nissan VVEL düzeneği.



Şekil 3.21. Nissan VVEL çalışma sistemi.

Nissan, VVEL sisteminin düşük yüklerde gaz keleşinin rolünün azaltılmasından dolayı %10 yakıt tasarrufu sağladığını söylemiştir. Fakat beygir gücünde ne kadar kazanım olduğunu belirtmemiştir. VQ37VHR V6, VVEL sistemi olmayan VQ35HR modeline göre %8 daha fazla beygir gücü üretir. Salınım yer değiştirmeyi ve sıkıştırma oranını artırır ve en yüksek gücün artmasına biraz katkıda bulunduğu görülür. Bu katkının az olmasının sebebi, volümetrik verimden kaynaklanan güç

kazancının çoğunun VVEL parçalarının motora getirdiği ilave sürtünme tarafından harcanmasıdır. Yinede VQ37VHR motoru 7500 d/d'ya çıkararak, performansının BMW Vavletronic gibi olmadığını ispatlamaktadır. Nissan VVEL, geliştirilmiş yüksek devirlerdeki gücü, gaz keleşinin devre dışı bırakılması ile yakıt ekonomisi sağlanması gibi avantajlarla, karmaşık mekanizması, hantal yapısı ve yüksek maliyeti gibi dezavantajlarla karşımıza çıkmaktadır [20].

### **3.3. KARMA SİSTEM DEĞİŞKEN SUPAP ZAMANLAMA**

Karma sistem değişken supap zamanlaması, supap kaldırma yüksekliğinin değiştirilmesi ve avans ayarlarının değiştirilmesi ile yapılan değişken supap zamanlama sistemlerinin birleştirilmesi ile yapılır. Silindir üst kapağı içine yerleştirilen supap yüksekliğini değiştiren sistemin yanı sıra kam mili başına da supap avanslarını değiştiren kasnak yerleştirilerek bu sistem kurulur.

Karma sistem değişken supap zamanlaması, bütün devir aralıklarında en yüksek güç ihtiyacını ve güç kullanım esnekliğini sağlamasına rağmen çok karmaşık bir sistemdir. Şu anda birkaç firmanın spor arabalarında kullanılan bir sistem olmasına rağmen önümüzdeki günlerde daha fazla spor araç bu sistemi kendi motorlarına uygulayacaklardır [20].

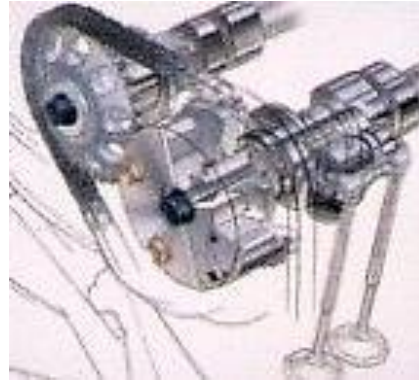
#### **3.3.1. TOYOTA VVTL-i**

Karma sistem değişken supap zamanlamasını şu anda en iyi uygulayan firma TOYOTA'dır. TOYOTA VVTL-i, motoru en güçlü fonksiyonları içerir:

- Sürekli avans değiştirebilen sistem.
- İki adımlı supap kaldırma yüksekliğini değiştirebilen sistem.
- Yukarıdaki iki madde emme ve egzoz supapları içinde kuruludur.

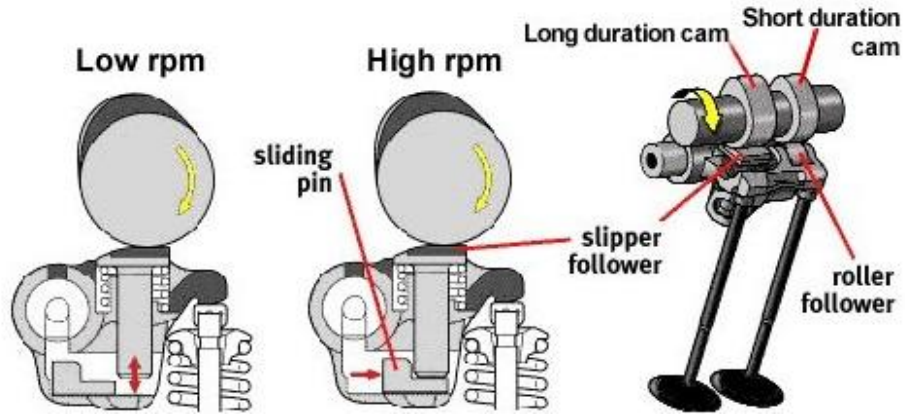
Bu sistem VVT-i ve Honda VTEC sistemlerinin birleşimi gibi görünmesine rağmen supap kaldırma sistemi Honda VTEC'ten farklıdır. VVTL-i sisteminde de avans ayarlarının değiştirilmesi VVT-i'de olduğu gibi kam milinin sonuna eklenen hidrolik

aktüatörün kam milini ileri geri izafi döndürmesi sonucunda gerçekleşmektedir (Şekil 3.22). Supap zamanlaması, elektronik kontrol ünitesi (ECU) tarafından devir, hız değişimi, rampa çıkılması veya rampa inilmesi gibi faktörler göz önüne alınarak hesaplanmaktadır. Avans ayarlarının değiştirilmesi  $60^0$  gibi çok geniş bir açı aralığında sürekli yapılabilmektedir. Bu da sistemin şimdiye kadar yapılanların en iyisi olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.22. Toyota VVTL-i avans değiştirme sistemi [20].

VTEC’de olduğu gibi TOYOTA VVTL-i sistemi de iki emme supabını hareket ettirmek için tek külbütör makarası kullanır. Bu külbütör makarası üzerinde kam milini iki farklı kam profili vardır. Bu profillerden düşük olan düşük hızlarda, yüksek olanı yüksek hızlarda devreye girer. Düşük hızlarda düşük kam makaralı yatak aracılığı ile sürtünme kayıplarını azaltmak için külbütör makarası hareketlendirilir, yüksek kamın altındaki hidrolik iticinin altındaki boşluk sebebi ile yüksek kam külbütör makarası üzerinde etkili değildir (Şekil 3.23). Motor devri kam değişim devrine (eşik devre) ulaştığı zaman kayar pim hidrolik basıncı tarafından itilerek yüksek kam altındaki hidrolik iticinin altındaki boşluk yağ ile dolar ve böylece yüksek kam etkin hale gelir. Böylece supap kalkma miktarı artar. Honda VTEC ve buna benzer tasarımlar olan Mitsubishi ve Nissan değişken zamanlamalı supap kontrol sistemleri ile karşılaştırıldığında TOYOTA VVTL-i, düşük ve orta devirlerde daha başarılı bir sistemdir. Bu sistemde düz bir moment grafiği ve doğrusal artan bir güç grafiği elde edilebilir. Ancak bu sistemin karışık ve imalat maliyetinin yüksek olması en yüksek dezavantajıdır [20].



Şekil 3.23. Toyota VVLT-i supap kaldırma yüksekliği değiştirme sistemi [20].

### 3.3.2. Porsche Variocam Plus

Porsche'nin Variocam Plus, ilk defa 1991 yılında kullanılan 968 motor modelinde kullanılan Variocam değişken supap zamanlama sisteminden referans alınarak geliştirildiği söylenir. Ancak bu iki sistemin çok fazla ortak yanı yoktur. Variocam sistemi değişken supap zamanlama için bir kam zinciri kullanır ve bu kam zinciri yardımıyla üç farklı şekilde avans ayarı yaparak değişken supap zamanlama sağlamaktadır. Bu sistem eşsiz ve patentlidir. Fakat bu sistem diğer araç üreticileri tarafından tercih edilen hidrolik avans ayarlama sistemlerine göre daha alt derecededir ve özellikle bu sistem geniş aralıkta avans ayarlamasına müsaade etmemektedir. Bu yüzden Variocam Plus da otomotiv endüstrisindeki yenilikleri takip ederek hidrolik avans ayarlama sistemlerini kullanmıştır. Aynı zamanda daha fazla etkili olması için sisteme supap kaldırma yüksekliğini değiştiren bir yapı da eklenmiştir. Bu uygulama değişken hidrolik iticilerle gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.24). Bu sistemde üç kam profili bulunmaktadır. Düşük devirlerde kullanılan düşük kam supapları 3 mm açmakta ve supabın daha kısa süre açık kalmasını sağlamaktadır. Dış taraflarda buluna diğer iki kam profili birbirinin aynısı olup supapları 10 mm kaldırmaktadır. Yüksek kamlar hidrolik iticili bir pim yardımıyla devreye girmektedir. Böylece supaplarda daha yüksek miktarda ve daha uzun süre açık kalmaktadır. Bu sistem az yer kaplar, iticilerinin ağırlığı diğer iticilere göre daha azdır ve birbiri içine girmiş olduğu için çok fazla boşluğu yoktur. Ancak sistem yinede çok karışık ve maliyeti yüksektir [20].



Şekil 3.24. Porsche Variocam Plus sistemi [20].

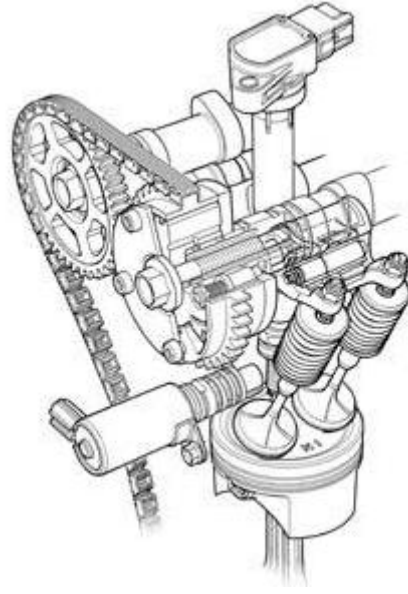
### 3.3.3. Honda i-VTEC

Honda i-VTEC sistemi, Honda'nın VTEC sistemi ile Toyota'nın VVT-i sistemlerinin birleşimi bir sistemdir. Bu sistemde sürekli avans ayarı değiştirilmesi, iki adımlı supap kaldırma yüksekliğinin değiştirilmesi ve bu ikisinin de hem emme supapları hem de egzoz supapları üzerinde uygulaması vardır.

Kam mili üzerinde VTEC sistemine benzer şekilde iki farklı kam bulunmaktadır. Bu kamlar iki farklı supap kalkma yüksekliği ve supap zamanlaması uygulamaktadır. Aynı zamanda kam milinin sonundaki hidrolik aktüatör de supap avanslarını değiştirebilmektedir (Şekil 3.25). Böylece ihtiyaç duyulan supap zamanlaması bu değişken zamanlamalı supap kontrol sistemine göre ayarlanmaktadır.

i-VTEC uygulaması ilk defa Stream MPV modelinde sadece emme supaplarını kontrol eden kam miline uygulanmıştır. Teorik olarak bu sistemi hem emme hem de egzoz supaplarına uygulanabilmektedir [20].





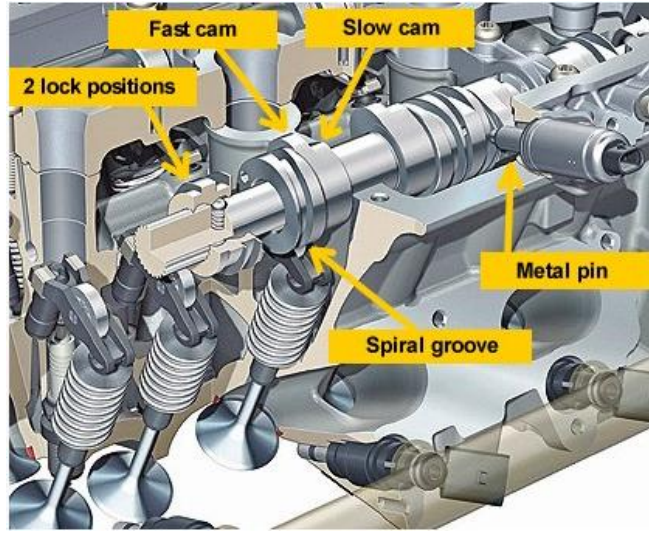
Şekil 3.25. Honda i-VTEC [5].

#### 3.3.4. Audi Valvelift

Audi Valvelift 2.8 l direkt enjeksiyonlu motorlarda kullanılmaya başlanmıştır. Honda veya Toyota'nın sistemleri ile kıyaslandığı zaman Audi Valvelift, daha basit ve etkili görünmektedir ve yakıt ekonomisi açısından daha uygundur. Audi Valvelift, supap açılma yüksekliğini değiştirmek için karmaşık ara parçalar (hidrolik kilitlenebilir külbütör vb.) kullanmaz. Böylece boşluk ihtiyacı, sürtünme kayıpları, ağırlık azalır, verim artar. Audi Valvelift değişken supap yüksekliğini ve avans ayarlarının değiştirilmesini kamları boylamasına (kam mili üzerinde) hareket ettirerek sağlar (Şekil 3.26).

Her bir emme supabı hızlı kam (yüksek devir için) veya alçak kam tarafından hareket ettirilir. Yüksek kam supabı 11 mm açar, alçak kam emme supaplarının birin 5.7 mm diğerini 2 mm açar. Supaplar daha az açılınca hava emişi sırasında girdap oluşarak hava yakıt karışımının düşük hızlarda da daha homojen hale gelmesi sağlanır. Bir kam parçasına iki kam montajlıdır. Makaralı kam takipçisi üzerinde hareketlendirilen kam doğrusal pozisyonda kam parçasına bağlıdır. Bu, kam yüzeyine birleşik bir çift metal pim tarafından kontrol edilir. Kam içinde spiral yuvarlak yiv vardır. Metal pim alçaltıldığında kam milindeki spiral yive bağlanarak kam parçasını 7 mm doğrusal olarak hareket ettirir. Yaylı kilit kam parçasını yeni pozisyonunda kilitlet.

Böylece çalışan kam değiştirilerek bir kamdan diğerine geçilmiş olur. Eski kama geri dönmek için diğer metal pim spiral pime karşı basınç uygular ve kam parçası ilk pozisyonuna geri döner. Kam parçası yine yaylı kilit tarafından kilitlenir. Bir kamdan diğer kama geçmek bir veya iki yanma çevriminde tamamlanır. Audi iki kam arasındaki değişimi düzeltmek için ateşlemeyi ve elektronik gazı programladığı için, değişimi anlamak çok zordur [20].

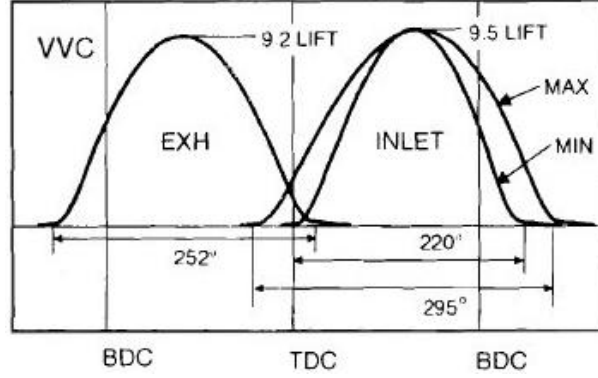


Şekil 3.26. Audi Valvelift [20].

### 3.3.5. Rover VVC Sistemi

Rover firması kendine ait değişken zamanlamalı supap kontrol sistemini 1995’de MGF modelinde Variable Valve Control (VVC) ismi ile sunmuştur. VVC sistemi emme supabı açıklığını en az  $220^{\circ}$ ’den (krank açısı) en fazla  $295^{\circ}$ ’ye kadar sürekli olarak değiştirebilmektedir. Bu sistem diğer avans değiştirme sistemlerinden farklı olarak (diğer avans değiştirme sistemlerinde supap açılma ve kapanma noktaları ileri geri değiştirilmektedir) bu sistemde sadece supap açılma kapanma noktaları farklı yönlerde değiştirilebilmektedir. Sonuç olarak VVC yüksek devirlerde yanma odalarına daha fazla karışım alınmasını sağlar ve en yüksek güç çıkışını artırır. Diğer sistemlerden başka bir farkı da supap açıklık süresi sürekli olarak ayarlanabilmekte, böylece orta devir torkunu optimize edebilmektedir (Şekil 3.27).

Bu durum bu sistemi güç ve esneklik uyumu açısından diğer sistemlerden daha iyi kılmaktadır [20].



Şekil 3.27. Rover VVC supap açılma açıları [20].

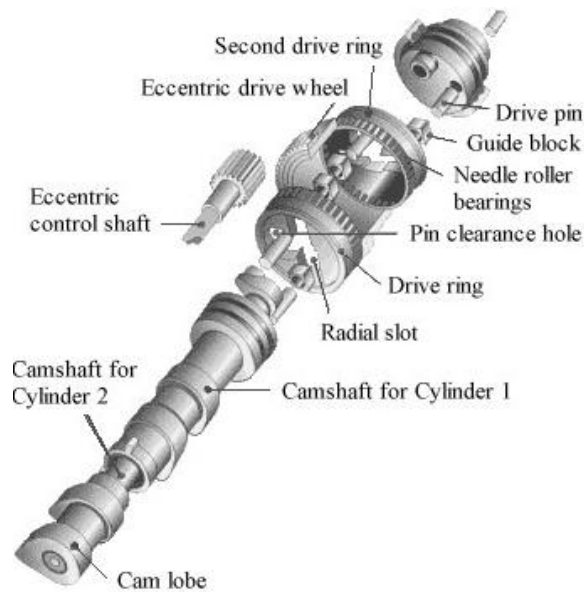
Sürekli çift yönlü avans değiştirebilen bu sistem teknik anlamda büyük bir meydan okumadır. Yüksek devirlerde emme supabının kapanma süresi kısaltılırken emme supabının açıklık süresi uzatılabilir. Bu yüzden emme kam mili üzerindeki kam çıkıntısı emme supabını harekete geçirdiğinde emme kam mili daha yavaş dönmek zorundadır. Supap kapatıldığında kam mili supap kapanma süresini kısaltmak amacı ile hızlanmalıdır. Bir sonraki çevrimde emme supabı açıldığında kam mili tekrar yavaşlamalıdır. Böyle sabit olamayan, titreyen bir kam mili dönmesi şöyle gerçekleştirilmektedir:

VVC,'yi uygulayabilmek için çok karmaşık bir mekanizmaya ihtiyaç vardır. Anlaşılması zordur. Fakat esas itibarı ile eksantrik tahrik dişlisinin özelliğinin kullanır. Çünkü eksantrik bir tahrik dişlisi merkezden kaçık bir milin etrafında döner. Eğer bu dişlinin dış tahrik halkasını sabit bir hızla çevirirseniz mil sabit olmayan titreyen bir davranışla döner (Şekil 3.28). Hız farkı mil ile dişli merkezi arasındaki mesafeye bağlıdır. Örnek olarak mesafe ne kadar uzun olursa dönme hızı da o kadar farklı olur. VVC, bu mesafeyi ve hız farkını değiştirmek için bir kayar mil kullanmaktadır.

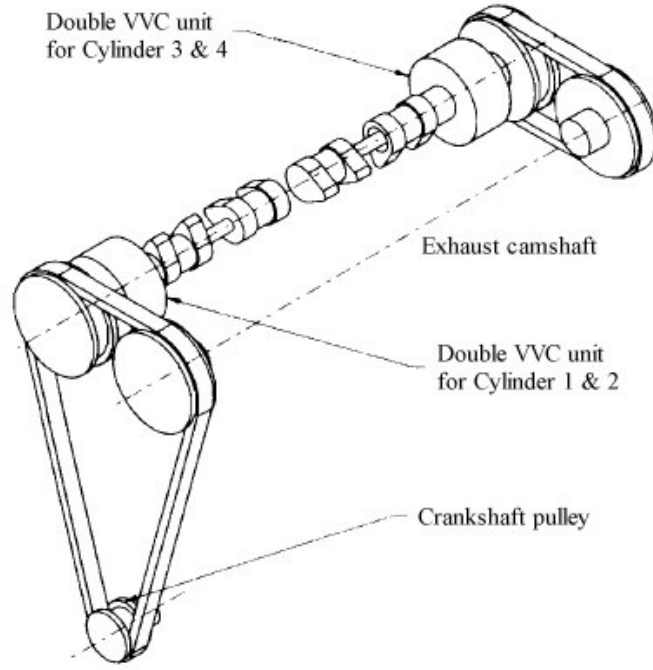
Buradaki en büyük problem bir kam milinin birden fazla silindiri çalıştırması ve VVC sisteminin bir turda değişken zamanlamayı ayrı ayrı açılarda yapmak zorunda olmasıdır. Örnek olarak diğer silindirlerin emme supapları kapalıyken 1 nolu silindir

emme konumunda çalışır. Motorun yüksek devirde çalıştığı varsayılırsa 1 nolu silindir emme kam milinin daha yavaş bir dönmesini gerektirir. Bu arada diğer silindirler için daha hızlı bir dönme gerekir. Sonuç olarak VVC geleneksel motorlardaki gibi tek bir emme kam miline uygulanamaz. Aslında 4 silindirli bir motor için 4 tane kam mili gerekir. Yukarıdaki resmin sağ tarafı iki grup halinde düzenlenmiş 4 tane kam milini göstermektedir. Her bir grup içi boş kam milinde çalışan rijit bir kam miline sahiptir. Her bir grup iki tane kam milini hareketlendirmek için iki tane tahrik halkasına sahip olan bir çift VVC aktüatörü ile tahrik edilir. Çünkü bu iki grup kam milleri birbirine bağlı değildir, ek bir tahrik kayışı kullanır. Yer ve ağırlıktan kazanabilmek için Rover basit olarak diğer emme kam mili grubunu tahrik etmek için egzoz kam mili kullanmaktadır (Şekil 3.29).

VVC, çok karmaşık mühendislik bilgisi ve deneyimi gerektirmektedir. VVC olan bir motor, aynı özelliklerde VVC olmayan bir motor ile karşılaştırıldığında çıkışı 120 HP'den 145 HP'ye çıkmış, en yüksek tork ise 122 lbf'ten (90 Nm) 128 lbf'e (94,4 Nm) çıkmıştır. Zayıf yönü ise sistemin karmaşık ve maliyetinin yüksek olmasıdır. Dört silindirli bir motor için iki tane VVC aktüatör gerekir. Bir V6 motoru da dört tane VVC aktüatör gerektirir. Bu yüzden VVC'de daha karmaşık kam milleri, aktüatörler ve tahrik kayışları vardır. Bu olumsuzluklar bunun yaygın olmasını engeller. Rover'in el değiştirmesi ile birlikte VVC'de sona ermiştir [20].



Şekil 3.28. Rover Variable Valve Control (VVC) [20].

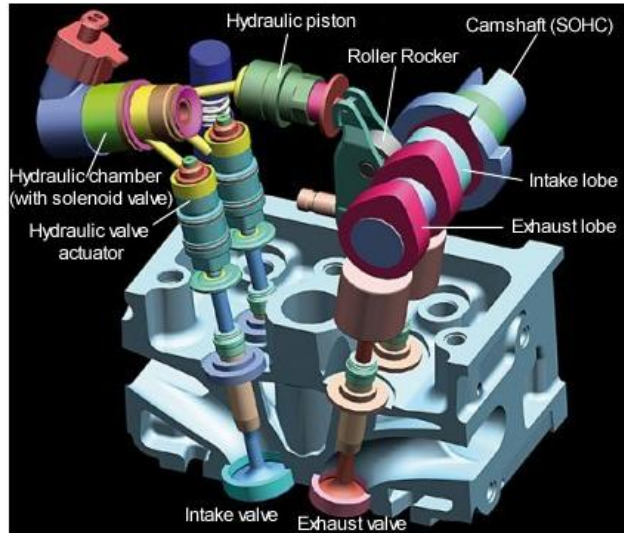


Şekil 3.29. Rover VVC [5].

### 3.3.6. Fiat Multiair Elektrohidrolik Supap Kontrol Sistemi

BMW Valvetronic, Nissan VVEL ve TOYOTA Valvematic, gibi bazı değişken supap kontrol sistemleri supap kaldırma miktarın ihtiyaca göre değiştirme imkanına sahiptirler. Sürekli avans değiştirebilen sistemlere ek olarak yukarıda sayılan sistemler çok başarılı görülmektedir. Bununla birlikte bu sistemler hale mükemmelden uzaklar. İdeal bir supap kontrol sistemi, istenen yanma verimini sağlayabilmek için supap stratejisinin (herhangi bir zamanda herhangi bir supap kaldırma miktarı) limitsiz esnekliğine izin vermelidir. Hiçbir mekanik sistem bu fonksiyonu yerine getiremez. Bu yüzden uzmanlar ve tedarikçiler tam elektromanyetik supap sistemleri üzerinde çalışmaktadırlar. Bununla birlikte bu teknoloji hala büyüklük-ağırlık, maliyetler, dayanıklılık ve enerji tüketimi gibi üstesinden gelinmesi zor teknik problemlerle yüz yüzedir. Bunu yerine Fiat grubunun Arge mühendisleri daha pratik fakat hala yeterli miktarda esnek bir değişken supap kontrol mekanizması çeşidini geliştirmişlerdir. Buna “Multiair” demektirler. İlk uygulaması 2000 yılında 1.4 fire motorunda kullanılmıştır. Daha sonra bunu yeni bir 900 cc iki silindirli bir motor takip etmiştir.

Tartışmasız olarak Multiair, şu ana kadarki VVT sistemlerinin en esnek olanıdır. Şekil 3.30'da görülebileceği gibi bu sistem farklı çalışma şartlarını sağlayabilmek için en az 5 farklı emme supap zamanlama çeşidini sağlamaktadır. Supap açık kalma süresinin kısa olması ile uzun olması ve supap kaldırma yüksekliğinin değiştirilmesi arasındaki geçiş için geleneksel kullanılan sistemde farklı olarak bu sistem ayrıca geç supap açılmasını, erken supap kapanmasını ve emme zamanı esnasında çoklu supap kaldırmalarına müsaade eder.



Şekil 3.30. Fiat Multiair [20].

Multiair ilk olarak SOHC-4 supap yapısı ile çalışır. Çünkü onun ek elektrohidrolik bileşenleri emme kam milinden kalan alanı işgal ederler. Geleneksel yöntemde tek kam mili egzoz supabını direkt olarak çalıştırırken bu sistem emme supabını bir seri bileşenler aracılığıyla çalıştırır: Bileşenleri makaralı kollar, hidrolik pistonlar, hidrolik odalar (elektronik kontrollü selenoid valfler), hidrolik supap aktüatörleridir. Hareket, mekanik ve hidrolik parçaların bileşimi ile sağlanır.

Normal olarak selenoid valfin enerjisi kesilip kapandığında yağ hidrolik odaya giremez. Bu yüzden direkt olarak hidrolik pistondan supap aktüatörüne akar. Bu hidrolik bağlantı katı bir gövde olarak görülebilir. Çünkü yağın kaçabileceği hiçbir yer yoktur. Bu yüzden emme supabı hareketi emme kam milinin çıkıntısını takip eder. Emme kam profili yüksek güç (örnek olarak yüksek kaldırma miktarı ve uzun

açıklık süresi) üretmek için tasarlandığında bu strateji yüksek devirli çalışmalarda uygundur (Şekil 3.31a).

Selenoid valfe elektrik geldiğinde valf açılır ve yağın odaya akmasına müsaade eder. Sonuç olarak yağ, valf aktüatörüne gitmez. Böylece emme supabı yerine getirme yayının gücü ile kapanır. Bu yolla Multiair herhangi bir anda emme supaplarını kapatabilir (Şekil 3.31c, d).

Emme supabının bir anlık kapandığı varsayılırsa hidrolik odanın selenoid valfi tekrar kapanır. Bu durumda yağ tekrar direk olarak valf aktüatörüne akar. Böylece emme supabı kam profilini takip eder ve açılır. Ancak bazı zamanlarda ve selenoid valf açıldığında yağ miktarı azaldığında (hidrolik odada) valf kaldırma miktarı azalacaktır. Azalma derecesi selenoid valf kapanma zamanına bağlıdır. Selenoid valf ne kadar geç kapanırsa valf kaldırma miktarı da o kadar düşük olacaktır. Bu yolla Multiair kaldırma miktarını ve emme supaplarının açıklık süresini değiştirebilir (Şekil 3.31b).

Sistemin çalışması Şekil 3.31’de gösterilmiştir:

- Şekil 3.31a yüksek devirli çalışmalar içindir.
- Şekil 3.31b düşük yüklü çalışmalar içindir. Bunun geç supap açılması yanma odasında parçalı bir vakum oluşturur. Düşük valf kaldırma miktarına ek olarak emme hava akışı hızlıca artar. Türbülans oluşturur ve hava yakıt karışımını daha homojen hale getirir. Bu da yakıt ekonomisini ve emisyonunu iyileştirir.
- Şekil 3.31c geniş aralıktaki parçalı yüklerdeki çalışmalar için uygundur. Güç gereksinimine göre hava miktarı emme supaplarının erken kapanması ile kontrol edilebilir. Bu durum gaz keleşi ihtiyacını ortadan kaldırır (BMW valvetronic gibi) ve pompalama kayıpların %10’a kadar azaltır.

- Şekil 3.31d arttırılmış düşük devirli hızlanmalar için tasarlanmıştır. Şekil 3.31b ve Şekil 3.31c ile karşılaştırıldığında daha fazla emme hava hacmini sağlarken erken supap kapanması ile emme stroğunun sonunun emme manifoldlarına geri hava akışını engeller. Düşük devirli çalışma ve hızlı supap zamanlamanın bileşimi geri akışa yol açabilir. Bu yüzden Multiair düşük devirlerde supapları erken kapatmak zorundadır. Diğer bu durum yoktur. Çünkü onlar ya değişken avans değiştirmeyi ya da uyumlumu kam zamanlamayı kullanmaktadırlar.
- Şekil 3.31e multilift modu olarak adlandırılır ve çok küçük devirli çalışmalar için tasarlanmıştır. Şekil 3.31b ve Şekil 3.31c'nin stratejilerini ve yararlarını birleştirir. Yararları; düzenli tüketim iyileştirilmiş hava yakıt karışımıdır.

Bu modların bileşimi ile Fiat, en yüksek gücü %10, düşük devirli torku %15 ve yakıt ekonomisini %10 iyileştirdiğini rapor eder. Hatta soğuk çalışma emisyonları, egzoz gazı geri dönüşümüne bağlı olarak %40-%60 azaltılmıştır. Bu teknoloji aynı zamanda dizel motorlar ile de uyumludur. Bu da önemli miktarda yakıt tasarrufu manasına gelmektedir.

Buna rağmen Multiair'in zayıf yönleri de vardır: şu anda büyük hacimli mekanizmasından dolayı sadece SOHC motorları ile uyumludur. Bu sistem emme supapları için değişken zamanlama ve supap kaldırmaya müsaade ederken egzoz supaplarında herhangi bir değişiklik yapmaz. Avans değişikliğinin eklenmesi Dodge Viper 8.4'de de kullanıldığı gibi karmaşık bir kam içinde kam mekanizması gerektirir. SOHC tasarımı ve karmaşık elektrohidrolik mekanizması ekstra sürtünme oluşturabilir. Bu yüzden yüksek performans motorlarında devir yükselmesi için uygun değildir. Bu BMW valvetronic ile birlikte paylaşılan ortak bir problemdir. Seri üretim motorları ve devirli turbolu motorlar için daha uygundur. Son olarak elektrohidrolik mekanizma bakımı zorlaştırır ve dayanıklılık sorunlarını arttırır [20].





a) Tam supap kalkma.



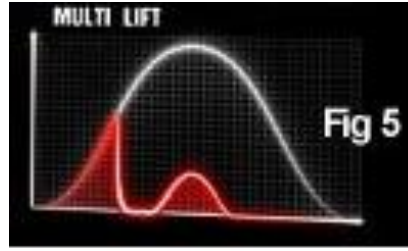
b) Düşük supap kaldırma



c) Kısmi Supap kaldırma



d) Kısmi yükler için supap kalkma miktarı



e) Çoklu supap kalkma

Şekil 3.31. Fiat Multiair supap açılma miktarları [20].

## **BÖLÜM 4**

### **MATERYAL VE METOT**

Bu bölümde deneylerde kullanılan materyaller ve yapılan çalışmaların metotları verilmiştir.

#### **4.1. MATERYAL**

Deneyel çalışmada kullanılan materyaller aşağıda sırasıyla şekil, resim ve çizelgelerle gösterilmiştir.

##### **4.1.1. Deney alanı**

Motor testleri, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Anabilim Dalı motor test laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1’de deney düzeneğinin genel görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.1. Deney düzeneğinin genel görünümü.

#### 4.1.2. Test Motorları

Testlerde iki adet LONCİN marka, G200F(D) model, dört zamanlı, tek silindirli, elektronik ateşlemeli, benzinli motor kullanılmıştır. Kullanılan motorun teknik özellikleri aşağıdaki Çizelge 4.1’de verilmiştir. Test motorları Şekil 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Test motorlarının teknik özellikleri.

Markası	LONCİN MARKA 4 zamanlı, benzinli
Modeli	G200F(D)
Silindir Sayısı	1
Piston Kursu (mm)	54
Silindir Çapı (mm)	68
Kurs Hacmi (cm <sup>3</sup> )	196
Ateşleme	Elektronik Ateşleme
Emme Supabı Kalkma Miktarı (mm)	5,7



Şekil 4.2. Test motorları.

#### 4.1.2.1. Referans Motor

Motorlardan bir tanesi orijinal haliyle referans değerlerin elde edilmesi ve daha sonra doğrulanması amacıyla muhafaza edilmiştir. Referans testleri bu motor üzerinde yapılmıştır.

#### 4.1.2.2. Deney Motoru

Motorların ikincisi üzerinde revizyonlar yapılmış ve üç farklı yükseklikte supap açılma miktarı elde edilmiştir.

Çizelge 4.2. Deney motorunun teknik özellikleri.

Markası	LONCİN MARKA 4 zamanlı, benzinli
Modeli	G200F(D)
Silindir Sayısı	1
Piston Kursu (mm)	54
Silindir Çapı (mm)	68
Kurs Hacmi (cm <sup>3</sup> )	196
Ateşleme	Elektronik Ateşleme
Klasik kam emme supabı kalkma miktarı (mm)	5,7
Düşük kam emme supabı kalkma miktarı (mm)	3,7
Yüksek kam emme supabı kalkma miktarı (mm)	7,7

#### 4.1.3. Deney Motorunun Hazırlanması

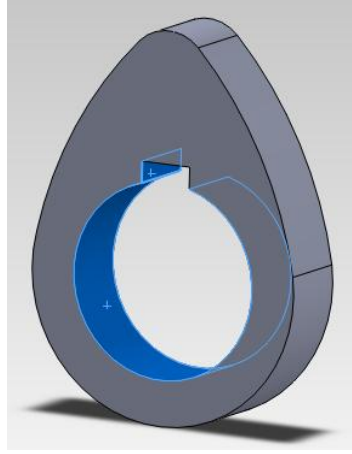
Orijinal motorun kam mili, karter içerisinde bulunmakta ve krank milinden dişli çark mekanizması ile tahrik olmaktadır. Kam mili hareketleri itici çubuklarla silindir üst kapağına iletilmektedir. Külbütörler saplama üzerine yerleştirilmiştir ve saplama üzerindeki vida mekanizması sayesinde supap ayarları yapılabilmektedir.

Deney motorunun hazırlanması da kam mili silindir üst kapağı üzerinde yeniden tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu aşamada itici çubuklar devre dışı bırakılmış, motor kapağı açılmayıp orijinal kam karter içinde avare olarak bırakılmıştır.

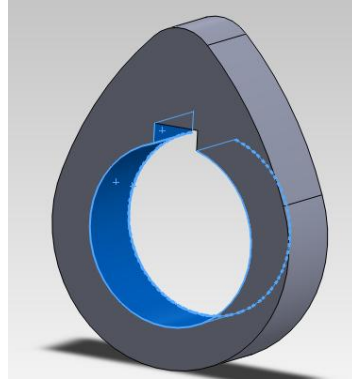
##### 4.1.3.1. Kamlar

Orijinal kamların yarıçapları ve eksen uzaklıkları ölçülerek yeni kamlar bunlara göre tasarlanmış ve imal edilmiştir. Öncelikle orijinal emme kamına uygun bir emme kamı (Şekil 4.4) imal edilmiştir. Emme kamından 2 mm daha yüksek kurs oluşturabilecek olan emme kamı yüksek kam (Şekil 4.3) olarak imal edilmiştir. Normal emme kamından 2 mm daha düşük kurs oluşturabilecek düşük kam

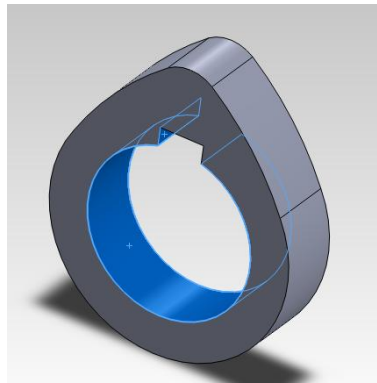
(Şekil 4.5) imalatı da yapılmıştır. Egzoz kamı (Şekil 4.6) da orijinaline uygun olarak imal edilmiştir. Kamlar kam mili üzerine kama yardımıyla monte edilmiştir.



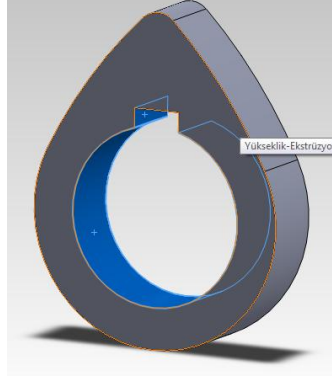
Şekil 4.3. Yüksek kam (7,7 mm).



Şekil 4.4. Normal kam (5,7 mm).



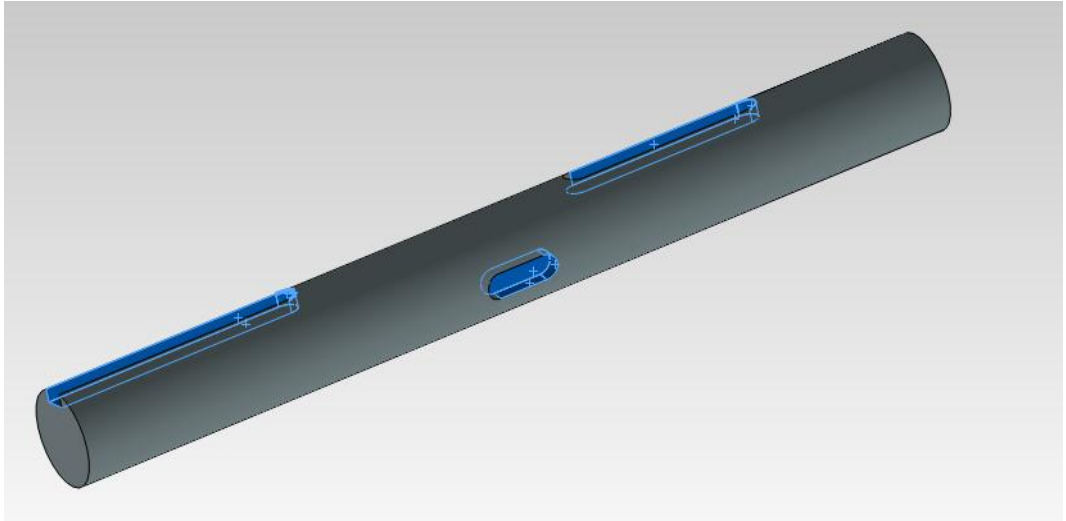
Şekil 4.5. Düşük kam (3,7 mm).



Şekil 4.6. Egzoz kamı (5,8 mm).

#### 4.1.3.2. Kam Mili

Kam millerinin yerleştirilmesi için bir adet kam mili tasarlanmış ve imal edilmiştir. Kamların mil üzerinde pinyon şeklinde imal edilmesi için beş eksenli CNC tezgahın gerekli olması, kamlardan herhangi birinde hata olması durumunda milinde bozulmuş sayılacağı vb. sebeplerden dolayı kam mili kamlardan ayrı olarak imal edilmiştir.



Şekil 4.7. Kam mili.

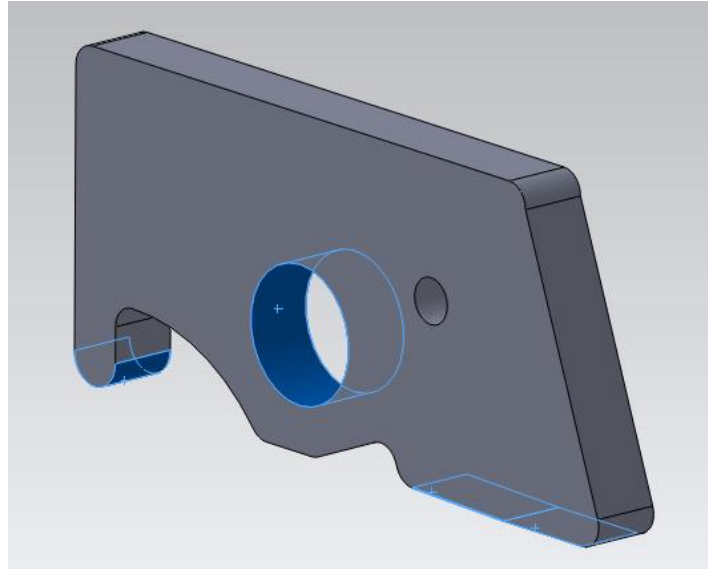
Kam milinin imalatı için öncelikle orijinal kamdaki egzoz ve emme kamları arasındaki açı divizör yardımıyla freze tezgahı üzerinde ölçülmüştür. Ölçülen açı

değerine uygun olarak motorun da dönme yönü göz önünde bulundurularak egzoz ve emme kamlarını kama yatakları mil üzerine açılmıştır.

Kam mili, triger dişlisi ile tahrik edileceği için dişlinin montajı için gerekli olan kama yeri de açılmıştır. Ayrıca triger dişlisinin kaymaması için de mil merkezine M8x30 kılavuz açılmıştır.

#### 4.1.3.3. Külbütörler

Normal emme kamının ve egzoz kamının hareketlerini supaplara iletmek üzere normal külbütörler (Şekil 4.8) tasarlanmış ve imal edilmiştir. Egzoz supabı ile ilgili herhangi bir revizyon olmadığı için referans motor aynı açıda ve aynı miktarda açık kalacak şekilde olmasına özen gösterilmiştir. Egzoz külbütörünün mil üzerine izafi hareket yapabilmesi için yataklama yerine bronz burç çakılmıştır. Başlangıçta külbütörler üzerine herhangi bir ayar sistemi konulmamıştır. Ancak silindir üst kapağına yapılan alüminyum kaynağının kırılması ve sistemin ayarlarının bozulması üzerine külbütörler üzerine (avare külbütörler hariç) ayar civatası yapılmıştır.

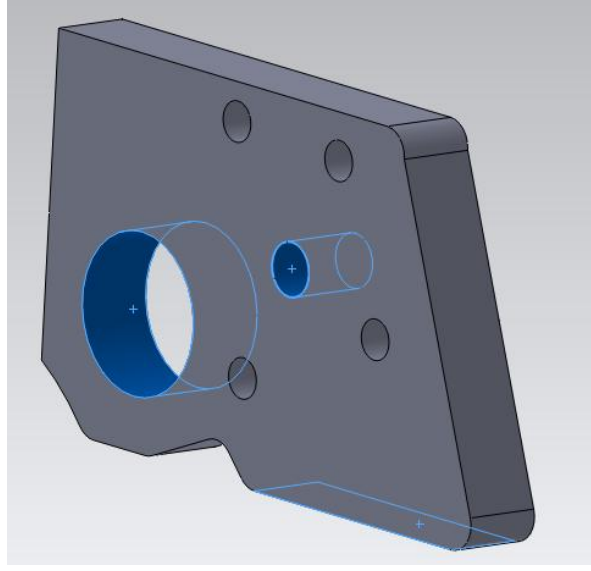


Şekil 4.8. Egzoz ve emme külbütörü.

Emme külbütörünün her iki yanına istenilen devir aralıklarında düşük kamın veya yüksek kamın hareketlerini normal külbütöre iletebilecek avare külbütörler (Şekil



4.9) tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu külbütörlerin içinden geçen piston normal külbütöre kilitlenerek iki külbütörün eş zamanlı aynı hareketi yapmasını sağlamaktadır.



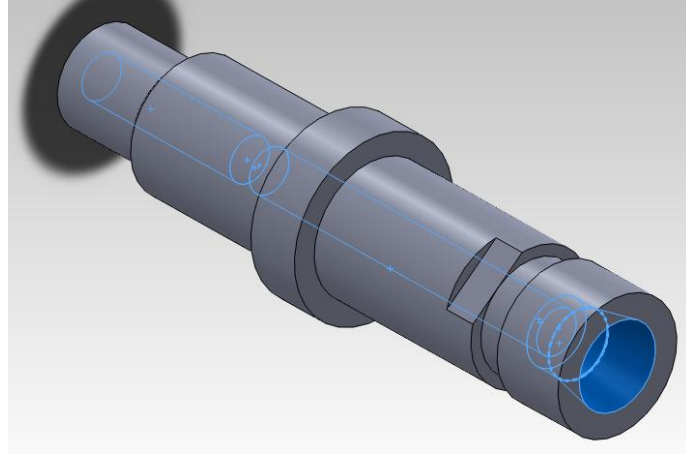
Şekil 4.9. Avare külbütör.

#### 4.1.3.4. Külbütör Mili

Külbütörlerin yataklanması ve birbirlerine göre izafi hareketlerini yapabilmeleri için özel olarak çok parçalı bir külbütör mili tasarlanmış ve imal edilmiştir. Motorun küçük olması ve çalışma alanının dar olmasında dolayı avare külbütörleri kilitleyecek olan tahrik akışkanının külbütör milleri içinden geçirilmesi zorunlu olmuştur. Ayrıca egzoz külbütörünün, normal külbütörün, düşük külbütörün ve yüksek külbütörün de birbirlerine göre izafi hareket zorunluluğu olduğundan dolayı dört serbestlik derecesine göre hareket edebilen bir yataklama sistemi mecburi olmuştur. Bu da sistemin imalatını zorlaştırmış, malzemelerin kalitelerini yükseltmiş ve dolayısıyla da maliyetleri arttırmıştır.

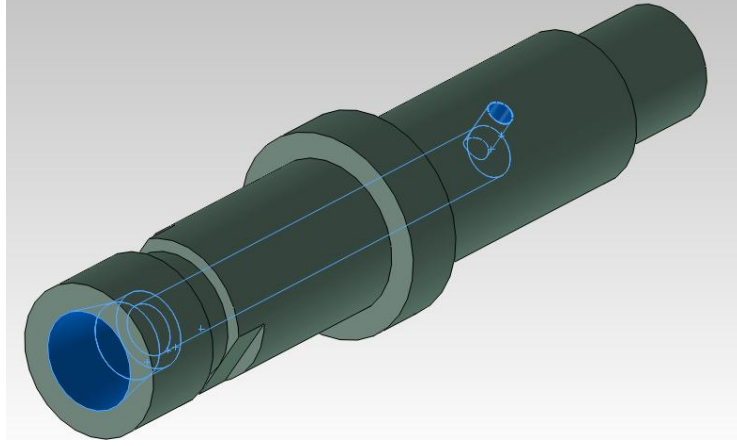
Yüksek kam ve yüksek külbütör sistemin rahat çalışması açısından motoru karşımıza aldığımızda sağ tarafa gelecek şekilde tasarlanmıştır. Buna bağlı olarak yüksek külbütörü yataklayacak sağ külbütör mili (Şekil 4.10) tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu mil yataklama görevinin yanı sıra merkezine delinen bir delik ile yüksek

külbütörü normal külbütöre kilitleyecek olan akışkanın pistonu iletilmesi görevinde de akışkan yolu olarak kullanılmıştır. Mil girişine akışkan girişini sağlamak için hızlı kaplinler kullanılmıştır. Hızlı kaplinlerin mile montajı için dirsek tasarlanmış ve imal edilmiştir. İlk tasarlanan elik dirseklerle sistemin sarsıntısının ve kinetik kayıplarının arttığı görülmüş bunun yerine daha hafif olan alüminyum dirsekler tasarlanmış ve monte edilmiştir.



şekil 4.10. Sağ külbütör mili.

Düşük kam ve düşük külbütör sistemin rahat çalışması açısından motoru karşımıza aldığımızda sol tarafa gelecek şekilde tasarlanmıştır. Buna bağlı olarak düşük külbütörü yataklayacak sol külbütör mili (şekil 4.11) tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu mil yataklama görevinin yanı sıra merkezine delinen bir delik ile düşük külbütörü normal külbütöre kilitleyecek olan akışkanın pistonu iletilmesi görevinde de akışkan yolu olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.11. Sol külbütör mili.

Sağ külbütör mili ve sol külbütör mili birbirlerinin mesnetlenmesi için mil merkezinden Ø5'lik sertleştirilmiş pim monte edilmiş, emme külbütörünün izafi hareketlerini de yataklanabilmesi için de dış yüzeyden pirinç burç yapılmıştır.

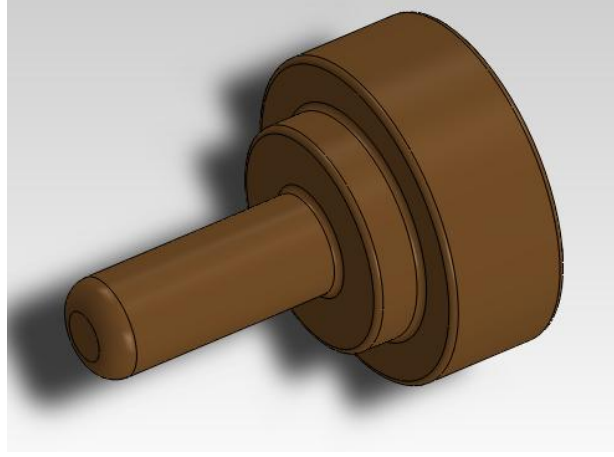
#### 4.1.3.5. Plancır

Yüksek külbütörün ve düşük külbütörün hareketlerini normal külbütöre iletmek üzere bir plancır sistemi tasarlanmıştır. Bu plancır sisteminin görevi normalde avare olarak hareket etmekte olan külbütörlerin normal külbütöre kilitleyerek bunların hareketlerini aynı şekilde normal külbütöre iletmektir. Bu yüzden külbütörler üzerindeki deliklerle piston arasındaki boşlukların mümkün olduğunca az, sistemin çalışmasını engellemeyecek şekilde de boşluklu olması gerekir.

Plancır sistemi sağ külbütör mili üzerine ve sol külbütör mili üzerine ayrı ayrı tasarlanmıştır. Aralarındaki tek fark yönleridir. Plancır üç parçadan oluşmaktadır; Piston, piston gövdesi ve gövde bağlantı parçası. Bağlantı parçasının görevi, piston gövdesinin külbütör mili üzerine montajını kolaylaştırmaktır.

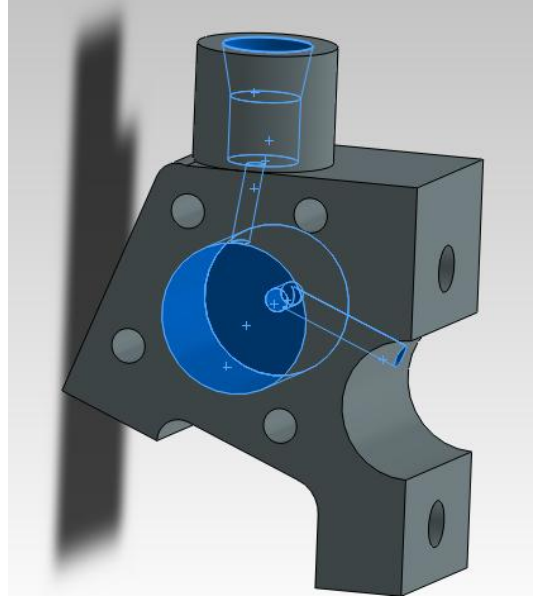
Piston (Şekil 4.12) külbütör mili içerisinden gelen akışkanın gücü ile avare olarak dönmekte olan yüksek veya orta külbütörü düşük külbütöre kilitleyerek kilitlenen külbütörün hareketinin supaba iletilmesini sağlar. Piston, piston gövdesi ve külbütörler çelik malzemelerden imal edildiği ve birbirlerine sürtünmeli çalıştığı için

sarmayı önlemek amacıyla pistonu su verme işlemi uygulanmıştır. Böylece pistonun aşınma ömrü uzatılmış ve malzemelerin birbirine sarması engellenmiştir. Sağ ve sol piston gövdelerinde yön farkı bulunmaksızın aynı piston kullanılmıştır.



Şekil 4.12. Piston.

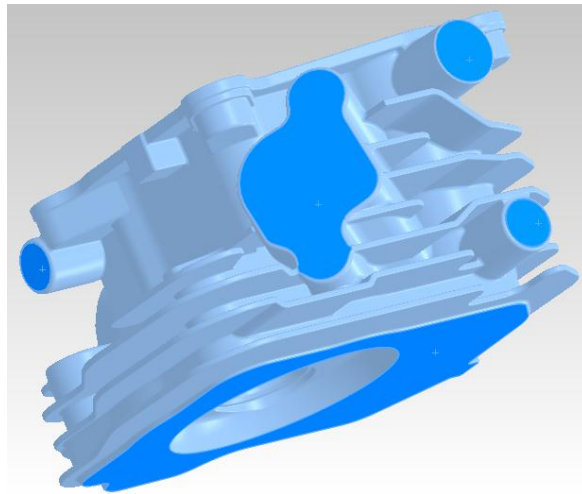
Pistonun ileri geri hareketini kontrollü olarak yapmak ve akışkanı istenilen şekilde kullanmak amacıyla piston gövdesi (Şekil 4.13) tasarlanmış ve imal edilmiştir. Piston gövdesi, pistonun ileri hareketi için gerekli akışkanı külbütör milinden, geri hareketi için gerekli akışkanı üst tarafına monte edilen hızlı kaplin tarafından almıştır. Üst tarafına monte edilen kaplinin havayı pistonu iletebilmesi için piston gövdesi içine  $\text{Ø}1$  eğik bir delik delinmiştir. Piston gövdesi üzerinde montaj ve akışkan geçiş delikleri olması sebebiyle yön fark ettiği için sağ külbütör mili üzerine farklı, sol külbütör mili üzerine farklı piston gövdesi tasarlanmış ve imal edilmiştir.



Şekil 4.13. Piston gövdesi.

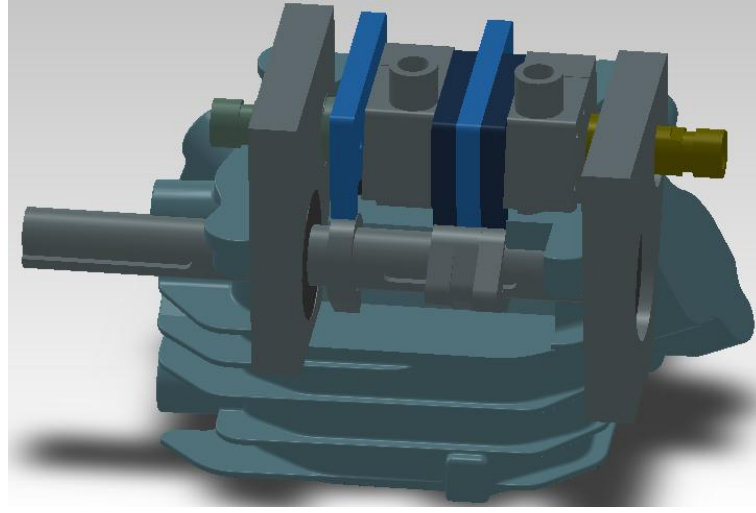
#### 4.1.3.6. Silindir Üst Kapağı

Motorun üzerindeki orijinal silindir üst kapağı sökülerek üç boyutlu lazer tarama cihazında taranarak üç boyutlu modeli çıkartılmıştır (Şekil 4.14). Orijinal silindir üst kapağının üzerine yatak olarak kullanılmak üzere 12 kalınlığında levhaların kaynatılması için kanallar açılmış ve pulslu alüminyum kaynağı ile levhalar kaynatılmıştır. Kaynatılan levhalar üzerine imal edilen parçaların montajı için yatak delikleri CNC dik işleme merkezinde açılmıştır.



Şekil 4.14. Silindir üst kapağı.

İmal edilen diğer parçalar da silindir üst kapağı üzerine monte edilmiştir (Şekil 4.15). Ancak ilk yapılan denemelerde motorun biraz çalıştıktan sonra düzenli çalışmadığı, normal kam ve yüksek kamda herhangi bir tepki vermediği gözlenmiş, yapılan incelemeler neticesinde kaynaklarda çatlaklar olduğu ve kamların devreye girdiği esnada supapların açılmayıp yatakların bütün parçalarla birlikte yukarı hareket ettiği tespit edilmiştir. Bu yüzden tekrar kaynak yapılmadan yataklama sisteminin silindir üst kapağına çelik karkasla vidalanması ile sistem sabit hale gelmiştir. Sistemde oluşan boşlukların alınması ve ayarları yapılabilmesi için de külbütörlerin supap tarafına ayar civatası yapılması zorunlu olmuştur.



Şekil 4.15. Silindir üst kapağı montajlı.

#### 4.1.3.7. Karbüratör Ara Parçası

Silindir üst kapağı montajlı bir şekilde yerine monte edildiği zaman karbüratörün ve hava filtresinin montajlarında sorun çıkmıştır. Bu sorunu gidermek için 30 mm uzunluğunda bir ara parça yapılarak karbüratörü orijinal yerinden uzaklaştırmak zorunda kalınmıştır (Şekil 4.16). Bu işlem hava emiş mesafesini uzaklaştırması sonucunda sürtünme kayıplarının azalması yönünden olumsuz etki yapmasına karşın hava yakıt karışımının daha fazla yol alması ve daha homojen karışım oluşturması bakımından olumlu görülmektedir.



Şekil 4.16. Karbüratör ara parçası.

#### 4.1.3.8. Triger Kayış Sistemi

Krank milinin hareketini yeni tasarlanan kam miline ulaştırmak için motorun dışından yağlamaya ihtiyaç duymadan kuru olarak ve sessiz çalışması açısından triger kayış sistemi seçilmiştir. Bu sistemde en önemli konu, kam milinin krank miline göre izafi hareket yapmamasıdır. Krank milinin  $360^{\circ}$ 'lik dönüşüne karşılık kam milinin  $180^{\circ}$  dönüş yapması gerektiği için krank mili üzerine 30 dişli triger dişlisi, kam mili üzerine 60 dişli triger dişlisi monte edilmiştir. İki dişli arasında uygun ölçüde kayış bulunamadığı ve sistemin çalışması sırasında genleşmeden dolayı uzamasının sorun olmaması için gerdirme sistemi de yapılmıştır (Şekil 4.17). Deney motorunun avans ayarları, referans motorun avans ayarlarına uygun şekilde triger dişlileri üzerinden yapılmıştır.



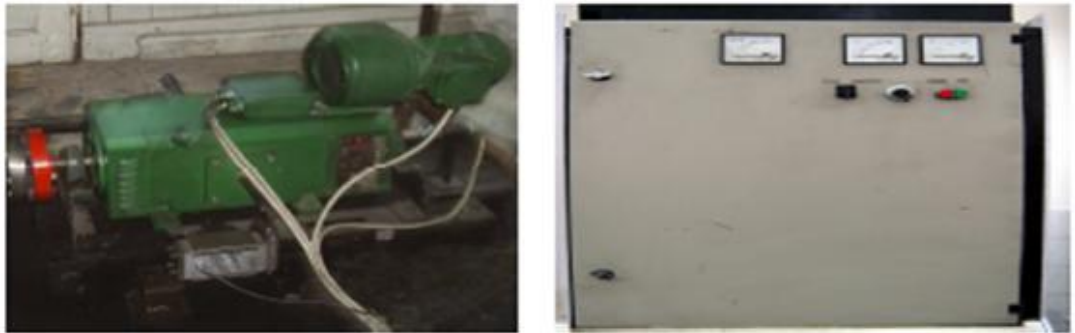
Şekil 4.17. Triger kayış sistemi.

#### 4.1.4. Motor Testlerinde Kullanılan Ölçüm Cihazları

Motor testlerinde devir, moment, yakıt tüketim miktarı, hava tüketim miktarı, egzoz çıkış sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümlerde kullanılan cihazlar ve bu cihazların teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

##### 4.1.4.1. Dinamometre

Deneyleerde motorun yüklenmesi için Kemsan marka 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre motor momentini ve devrini ölçebilecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen devirde hassas olarak yüklenmesini ve marş yaptırılmasını mümkün kılmaktadır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Dinamometre ve kontrol ünitesi.



Dinamometre moment ölçümünü 0,25 m uzunluğundaki bir kola bağlı yük hücresi sayesinde gerçekleştirmekte ve indikatör sayesinde yük miktarı görüntülenmektedir. Yük hücresi, Esit marka SP 100 C1 model ve indikatör PWI-P markadır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Yük hücresi ve indikatör.

#### 4.1.4.2. Egzoz Gaz Analiz Cihazı

Deney motorunun egzoz emisyonlarının ölçümü için MRU DELTA 1600L egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.20). Egzoz gaz analizörü ile  $\text{NO}_x$ , HC, CO,  $\text{CO}_2$ , hava fazlalık katsayısı ve  $\text{O}_2$  değişkenlerini ölçebilmek mümkündür. Egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.3).



Şekil 4.20. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.

Çizelge 4.3. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı teknik özellikleri.

Değişkenler	Ölçüm Aralıkları	Duyarlılık
O <sub>2</sub> (%)	0 – 25	±0,1
CO (%)	0 – 15	±0,01
CO <sub>2</sub> (%)	0 – 20	±0,01
HC (ppm)	0 - 20000	±12
NO <sub>2</sub> (ppm)	0 - 4000	±5
NO (%)	0 – 99	±2

#### 4.1.4.3. Kronometre

Yakıt tüketiminin süre olarak ölçülmesinde iPhone marka A1303 model dijital kronometre kullanılmıştır. Kronometrenin hassasiyeti 1 salisedir. Kronometre motorun 15 cc yakıt tüketim süresini ölçmek için kullanılmıştır.

#### 4.1.4.4. Vakummetre

Motorun hava yakıt tüketimini ölçmek için bir varil girişine orifis bağlanmış (Şekil 4.21) ve eğik manometre yardımıyla varil içindeki vakum miktarı ölçülmüştür (Şekil 4.22).



Şekil 4.21. Orifis.



Şekil 4.22. Eğik manometre.

#### 4.1.4.5. Termometre

Deney sırasında egzoz gazı sıcaklıklarını ölçmek için TES 1320 Marka, K tipi Termokupul'a sahip termometre kullanılmıştır (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Termometre.

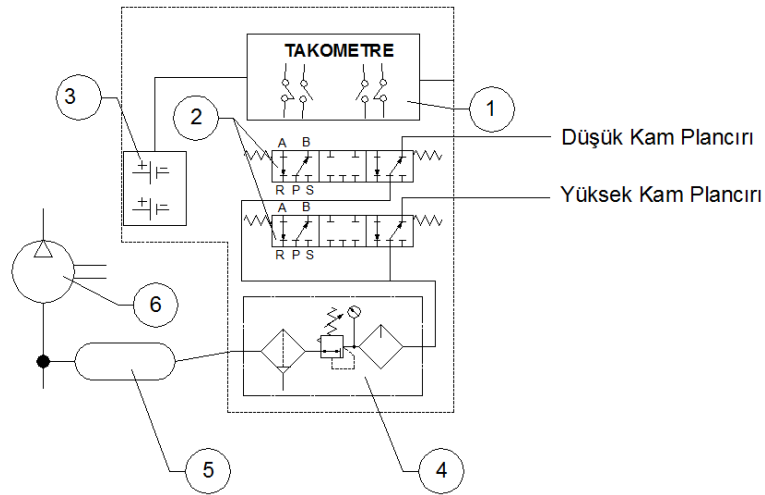
#### 4.1.5. Kontrol Panosu

Bu pano çalışırken beklemeye sebep olmaması için bir adet 220 VAC - 12 VDC besleme ünitesi, iki adet 12 VDC, 7 Ah akü, bir adet çift kontaklı takometre, bir adet şartlandırıcı ve iki adet 1/8-5/3 elektropnömatik valf kullanılmıştır. Takometre üzerindeki SET1 ve SET2 değeri ayarlanarak deney motorunu düşük ve yüksek kamlarının hangi devirde devreye gireceği ve hangi devirde devreden çıkacağı

tanımlanabilmekte, takometrenin veri okuma hızı ayarlanabilmekte ve böylece motor devrindeki ani değişmelerin takometre tarafından değerlendirmesi engellenerek sistemin sürekli devreye girip çıkması önlenabilmektedir (Şekil 4.24).

Pano içerisinde bir adet de kontrol kartı yerleştirilmiştir. Bu kartın görevi plancırın çift etkili olması dolayısıyla bir plancırın devreye girerken diğerinin devreden çıkarmak ve bunu yaptıktan sonra elektropnömatik valfe giden elektrik akımını keserek gereksiz enerji tüketimini engellemektir.

Panonun çalıştırılması için gerekli elektrik enerjisi motor haricinde ayrı iki aküden sağlanmıştır. Bunu sebebi devre elemanlarının besleme gerilimlerinin 12 V<sub>DC</sub> veya 24 V<sub>DC</sub> şeklinde farklı olmasındandır.



Şekil 4.24. Pano şematik görünüm.

Pano içindeki elemanların tanımları aşağıdaki gibidir:

1. Takometre (çift kontaklı, normalde açık, normalde kapalı)
2. 5/3 elektropnömatik valf
3. 2 adet akü (12 Vdc, 7 Ah)
4. Şartlandırıcı
5. Hava Tüpü
6. Kompresör

Plancırların tahriki için basınçlı hava tercih edilmiştir. Basınçlı hava, 9 bar basınçlı pistonlu bir kompresörden alınmıştır (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Kompresör.

#### 4.2. METOT

Deney motorunda supap açılma yüksekliklerinin ayarlanması için kontrol panosu üzerindeki takometrenin set değerleri ayarlanmıştır. Normal kam için SET1 on değeri 2300 d/d'ya, SET1 of değeri 2200 d/d'ya, yüksek kam için SET2 on değeri 3300 d/d'ya SET2 of değeri 3200 d/d'ya ayarlanmıştır. Böylece düşük kamın devir yükselmesi esnasında 0-2300 d/d aralığında, devir düşmesi esnasında 2200d/d aralığında, normal kamın devri yükselmesi esnasında 2300-3300 d/d devir düşmesi esnasında 2200-3200 d/d aralığında, yüksek kamın devir yükselmesi esnasında 3300-5500 d/d arasında devir düşmesi esnasında 3200-5500 d/d aralığında çalışması sağlanmıştır. Devir yükselmesi ile düşmesi arasında farklar değer ölçüm devirlerine karşılık gelmediği için deney sonuçlarını etkilememiştir. Bu şekilde on/off değerlerinin farklı ayarlanmasının amacı motorun küçük devir dalgalanmalarında değişken zamanlamalı supap kontrol sisteminin sürekli devreye girip çıkarak zarar görmesini engellemek ve sistemin daha uzun ömürlü olmasını sağlamaktır.

Deneylere başlanmadan önce motor 15 dakika süreyle rölantide çalıştırılarak normal çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Daha sonra gaz kelebeği tam açık konuma

getirilmiş, motor dinamometreyle yüklenerek istenilen devre geldikten sonra ölçümler alınmıştır.

Deneyle 1600-4000 d/d aralığında 400'er devir aralıklarla yapılmıştır. Tüm devirlere ait çeşitli emme supabı kalkma verilerinin çok olması ve motorun kararlı çalıştığı devirler olması nedeniyle düşük kam için 2000 d/d, klasik kam için 2800 d/d, yüksek kam için 4000 d/d motor devirleri esas alınmıştır, performans analizi ve egzoz emisyonları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

#### 4.2.1. Motor Efektif Momenti ve Gücü

Motor yukarıda belirtilen devirlerde yük altında çalışırken kuvvet değeri dinamometre göstergesinden okunmuştur. Her bir devir için göstergede okunan kuvvet değeri kgf birimiyle, dinamometre moment kolu uzunluğu (0,25 m) ile çarpılarak o devirdeki motor efektif momentini bulunmuştur.

$$M_e = F \times l \times 9,81 \quad (4.1)$$

Örnek olarak, standart kam mili ile 2800 d/d'da yapılan deneyde göstergeden okunan değer 5,2 kg'dır (Ek Açıklamalar A). Bu değeri Eşitlik 4.1'de yerine yazarsak,

$$M_e = 5,2 \times 0,25 \times 9,81$$

$M_e = 12,75$  Nm olarak hesaplanır.

Motorun efektif gücü Eşitlik 4.2'den faydalanılarak hesaplanır.

$$N_e = \frac{M_e \times n}{9549,3} \quad (4.2)$$

Örnek olarak, standart kam mili ile 2800 d/d'da yapılan deneyde hesaplanan moment değeri (12,75 Nm) Eşitlik 4.2'de yerine yazılırsa;

$$N_e = \frac{12,75 \times 2800}{9549,3}$$

$$N_e = 3,74 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

#### 4.2.2. Yakıt Tüketiminin Ölçülmesi ve Özgül Yakıt Tüketimi Hesabı

Deneyleerde yakıt olarak süper benzin kullanılmıştır. Deneyle koşullarında motorun yakıt ölçme borusundaki 15 ml yakıtı ne kadar zamanda tükettiği kronometre ile ölçülmüş ve buradan yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

$$15 \text{ ml} = 0,015 \text{ lt}$$

Benzinin yoğunluğu 0,735 kg/lt olduğuna göre, 0,015 lt. yakıt;  $0,735 \times 0,015 = 0,011025$  kg eder. 2800 d/d için 15 ml yakıt tüketimi için geçen süre 27" 3 (27,3 s) olarak ölçülmüştür. Buradan orantı ile,

$$0,011025 \text{ kg için} \quad 27,3 \text{ s ise}$$

$$B_y \text{ kg için} \quad 3600 \text{ s}$$

buradan  $B_y = 1,454$  kg/h olarak bulunur (Ek Açıklamalar A).

Özgül yakıt tüketimi Eşitlik 4.3'ten faydalanılarak hesaplanır.

$$b_e = \frac{B_y}{N_e} \times 1000 \tag{4.3}$$

2800 d/d için yakıt tüketimi 1,454 kg/h ve güç 3,74 kW olduğuna göre buradan,

$$b_e = \frac{1,454}{3,74} \times 1000$$

$$b_e = 388,73 \text{ g / kWh}$$

olarak hesaplanır (Ek Açıklamalar A).

#### 4.2.3. Hava Tüketimi ve Volümetrik Verim

Hava tüketimi için önce motora uygun hava akış orifis çapı hesaplanmış ve Şekil 6.2’de gösterilen orifis kullanılmıştır. Orifis çapının hesaplanmasında Eşitlik 4.4 ve Eşitlik 4.5 kullanılmıştır. Eşitlik 4.4’den orifis çapı 18 mm olarak hesaplanmıştır.

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

$$Q_{\max} = Q_{\text{teorik}} = \frac{V_h \times n}{2} \quad (4.5)$$

Eşitlik 4.5’den, motorun tükettiği gerçek hava miktarı,  $Q_{\max}$  :

$$Q_{\max} = \frac{0,196 \times 3600}{2}$$

$$Q_{\max} = 352,8 \text{ lt / dak}$$

bulunur ve Eşitlik 4.4’den orifis çapı;

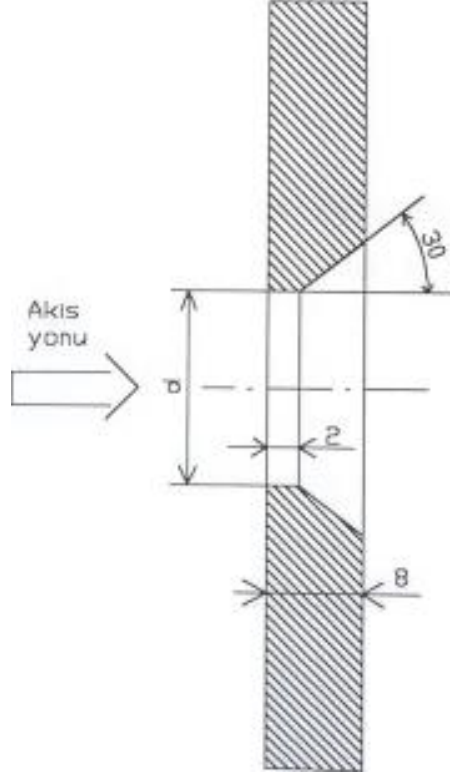
$$d_o = \sqrt{352,8}$$

$$d_o = 18,78 \text{ mm}$$

bulunur. Deneyde orifis çapı 18 mm olarak uygulanmıştır. Ölçümler Şekil 4.22’de gösterilen manometreden ‘mm H<sub>2</sub>O sütunu’ olarak alınmıştır. Alınan bu değerler



Eşitlik 4.6’da yerine konularak lt/dak olarak her devir için motorun tükettiği gerçek hava miktarı hesaplanmıştır (Ek Açıklamalar A).



Şekil 4.26. Hava akış orifisi [8].

$$Q_{gerçek} = 0,1123 \times d^2 \times \sqrt{h} \quad (4.6)$$

Burada  $Q_{gerçek}$ , lt/dak olarak motorun tükettiği hava miktarı,  $d$  mm olarak orifis çapı ve  $h$  ise manometredeki mm su sütunu yüksekliğidir [8]. Örnek olarak Ek Açıklamalar A’da test motorunda 2800 d/d da yapılan deneyde hava tüketimi;

$$Q_{gerçek} = 0,1123 \times 18^2 \times \sqrt{27,3}$$

$$Q_{gerçek} = 190,11 \text{ lt / dak}$$

olarak hesaplanmıştır.

Deniz seviyesinde, standart atmosferik basınçta 15 °C'deki kuru havanın yoğunluğu 1,225 kg/m<sup>3</sup> olduğuna göre [22], kg/h cinsinden hava tüketimi:

$$Q_{\text{gerçek}} = 190,111 \text{ lt/dak.} \times 60/1000 = 11,407 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_{\text{gerçek}} = 13,973 \text{ kg/h}$$

olarak hesaplanır. Volümetrik verim ise her devir için gerçek hava tüketiminin, teorik olarak o devirde motorun tüketmesi gereken hava miktarına bölümü ile yüzde olarak hesaplanmıştır.

$$\eta_v = \frac{Q_{\text{gerçek}}}{Q_{\text{teorik}}}$$

(4.7)

Burada teorik hava tüketimi de Eşitlik 4.8 ile hesaplanır.

$$Q_{\text{teorik}} = V_h \times \frac{n}{2} \quad (4.8)$$

Burada  $V_h$  dm<sup>3</sup> olarak motorun kurs hacmi (0,196 dm<sup>3</sup>) ve  $n$  devir sayısıdır.

2800 d/d için motorun teorik hava tüketimi,

$$Q_{\text{teorik}} = 0,196 \times \frac{2800}{2}$$

$$Q_{\text{teorik}} = 274,4 \text{ lt / dak}$$

$$Q_{\text{teorik}} = 274,4 \text{ lt/dak} \times 60/1000 = 16,464 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_{\text{teorik}} = 20,168 \text{ kg/h}$$

olarak bulunur. Buradan 2800 d/d da standart kam mili ile yapılan deneyde volümetrik verim,

$$\eta_v = \frac{13,973}{20,168} \times 100$$

$$\eta_v = \%69,28$$

olarak hesaplanır.

#### **4.2.4. Hava Fazlalık Katsayısı ( $\lambda$ )**

Hava fazlalık katsayısının, egzoz emisyonlarının ve çevre sıcaklığının ölçümü için MRU DELTA 1600L egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.20). İlk açılışta 15 dakikalık bir sürede kendini kalibre etmektedir. Ölçme işleminde motor analizörünün egzoz ölçme probu, motorun egzoz borusuna takılmıştır. Motor normal çalışma koşullarına getirildikten sonra verilen devir aralıklarında hava fazlalık katsayısı, egzoz emisyonları ve çevre sıcaklığı değerleri ölçülmüştür (Ek Açıklamalar A).

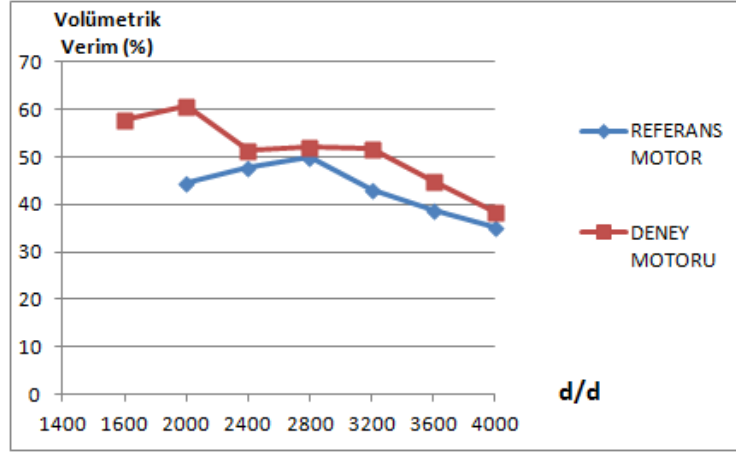
## BÖLÜM 5

### DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneyleler 1600-4000 d/d aralığında 400'er devir aralıklarla yapılmıştır. Tüm devirlere ait çeşitli emme supabı kalkma verilerinin çok olması ve motorun kararlı çalıştığı devirler olması nedeniyle düşük kam için 2000 d/d, klasik kam için 2800 d/d, yüksek kam için 4000 d/d motor devirleri esas alınmıştır ve performans analizi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

#### 5.1. VOLÜMETRİK VERİM

Şekil 5.1 incelendiği zaman, 2000 d/d motor devrinde en yüksek volümetrik verimi %60,86 ile deney motoru düşük kam durumunda ölçülürken, aynı devirde referans motorun volümetrik verimi %44,51 ölçülmüş; deney motorunda %16,35'lik volümetrik verim artışı sağlanmıştır. 2800 d/d motor devrinde en yüksek volümetrik verimi %52,20 ile deney motoru klasik kam durumunda ölçülürken, aynı devirde referans motorun volümetrik verimi %50,05 ölçülmüş; deney motorunda %2,15'lik volümetrik verim artışı sağlanmıştır. 4000 d/d motor devrinde en yüksek volümetrik verimi %38,55 ile deney motoru yüksek kam durumunda ölçülürken, aynı devirde referans motorun volümetrik verimi %35,19 ölçülmüş; deney motorunda %3,36'lık volümetrik verim artışı sağlanmıştır.



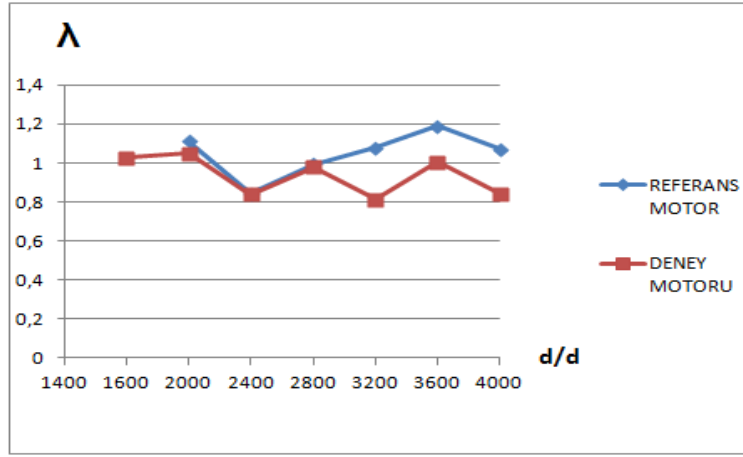
Şekil 5.1. Emme supabının farklı kalkma miktarının motor hızına bağlı olarak volümetrik verim üzerine etkileri.

2000 d/d motor devrinde deney motorunun düşük kam durumunda en yüksek volümetrik verim vermesinin nedeni; supabın açılma miktarının azalmasına bağlı olarak pompalama kayıplarının azalması, supap açıklığından geçen yakıt-hava karışımının akış hızının artması, buna bağlı olarak silindir içinde türbülansın artması ve yakıt-hava karışımının daha homojen hale gelmesi olarak gösterilebilir. 2800 d/d motor devrinde deney motorunun klasik kam durumunda yaklaşık olarak aynı volümetrik verim vermesinin nedeni kamların aynı olmasıdır. Deney motorunun klasik kamı yeniden imal edildiği için imalat ve montajdan kaynaklanan farklılıklar sebebiyle %2,15'lik verim artışı olmuştur. 4000 d/d motor devrinde deney motorunun yüksek kam durumunda daha yüksek volümetrik verim vermesinin nedeni, yüksek devirde supabın açık kalma süresinin azalmasına rağmen yüksek kamın supabın açılma miktarını arttırarak yakıt-hava karışımının silindir içine akış hızını azaltırken pistonun aşağıya doğru hareketiyle vakumu arttırmasıdır. Dolayısıyla volümetrik verim artar.

## 5.2. HAVA FAZLALIK KATSAYISI ( $\lambda$ )

Şekil 5.2 incelendiği zaman, 2000 d/d motor devrinde, deney motoru düşük kam durumunda iken  $\lambda$  1,048 ölçülürken, aynı devirde referans motorun  $\lambda$ 'sı 1,111 ölçülmüş; deney motoru %4,8'lik sapma ile fakir karışım tarafında kalarak ideal değere en yakın olmuştur. 2800 d/d motor devrinde deney motoru klasik kam

durumunda  $\lambda$ 'sı 0,978 ölçülürken, aynı devirde referans motorun  $\lambda$ 'sı 0,995 ölçülmüş; deney motoru %2,2'lik sapma ile, referans motor %0,5'lik sapma ile zengin karışım tarafında kalmışlardır. 4000 d/d motor devrinde deney motoru yüksek kam durumunda  $\lambda$ 'sı 0,842 ölçülürken, aynı devirde referans motorun  $\lambda$ 'sı 1,072 ölçülmüş; deney motoru %15,8'lik sapma ile zengin karışım tarafında, referans motor %7,2'lik sapma ile fakir karışım tarafında kalmıştır.



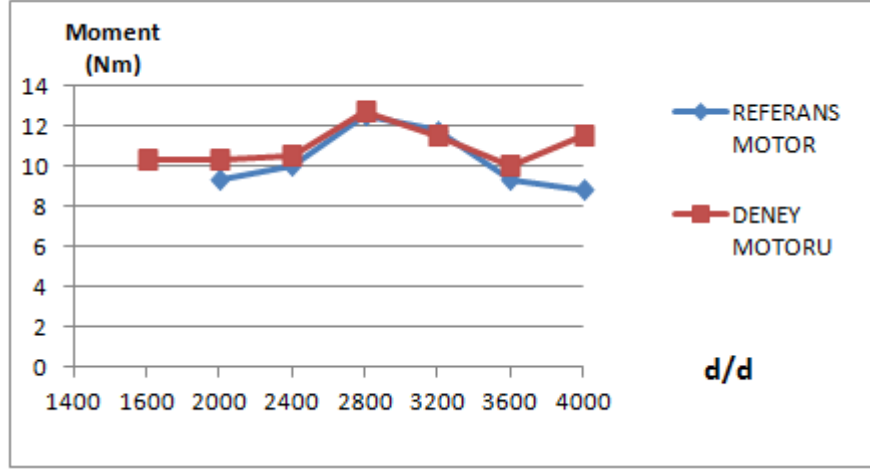
Şekil 5.2. Emme supabının farklı kalkma miktarının motor hızına bağlı olarak  $\lambda$  üzerine etkileri.

Hava fazlalık katsayısı ( $\lambda$ ), düşük kamda ideal değere yaklaşırken yüksek kamda zengin karışım tarafında ideal değerden uzaklaşmıştır. Bu durumda karbüratörün tasarımının klasik kam sistemine göre yapılması ve emme manifoldundan ara parça ile uzaklaştırılması etkili olmuştur. Bu sistem yakıt enjeksiyon sistemlerine daha uygundur.

### 5.3. MOTOR MOMENTİ

Şekil 5.3 incelendiği zaman, 2000 d/d motor devrinde deney motoru düşük kam durumunda momenti 10,30 Nm ölçülürken, aynı devirde referans motorun momenti 9,31 Nm ölçülmüş; deney motorunda referans motora göre %10,63'lük moment artışı sağlanmıştır. 2800 d/d motor devrinde deney motoru klasik kam durumunda momenti 12,75 Nm ölçülürken, aynı devirde referans motorun momenti 12,51 Nm ölçülmüş; deney motorunun momentinde %1,92'lik artış görülmüştür. 4000 d/d

motor devrinde deney motoru yüksek kam durumunda momenti 11,53 Nm ölçülürken, aynı devirde referans motorun momenti 8,83 Nm ölçülmüş; deney motoru momentinde %30,58'lik artış sağlanmıştır.



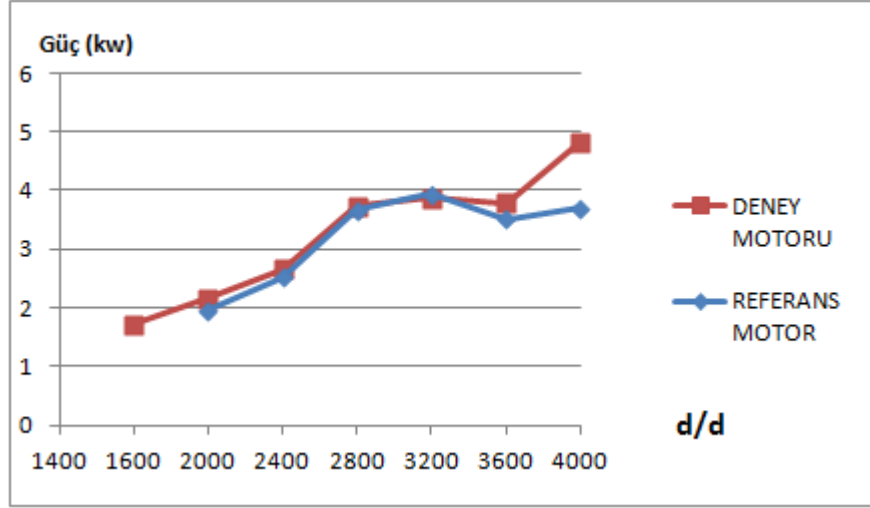
Şekil 5.3. Emme supabının farklı kalkma miktarının motor hızına bağlı olarak moment üzerine etkileri.

2000 d/d motor devrinde deney motorunun düşük kam durumunda moment artışının nedeni volümetrik verimin artmasına bağlı olarak silindir içine alınan yakıt-hava karışımının artması ve  $\lambda$ 'nın ideale yakın değer (1,048) almasıdır. 2800 d/d motor devrinde deney motorunun klasik kam durumunda yaklaşık olarak aynı momenti vermesinin nedeni kamların aynı olmasıdır. Deney motorunun klasik kamı yeniden imal edildiği için imalat ve montajdan kaynaklanan farklılıklar sebebiyle %1,92'lik verim artışı olmuştur. 4000 d/d motor devrinde deney motorunun yüksek kam durumunda moment artışının nedeni, volümetrik verimin artması ve  $\lambda$ 'nın zengin karışım tarafında kalmasıdır.

#### 5.4. MOTOR GÜCÜ

Şekil 5.4 incelendiği zaman, 2000 d/d motor devrinde deney motoru düşük kam durumunda motor gücü 2,16 kW ölçülürken, aynı devirde referans motorun gücü 1,95 kW ölçülmüş; deney motorunda referans motora göre %10,77'lik artış sağlanmıştır. 2800 d/d motor devrinde deney motoru klasik kam durumunda motor gücü 3,74 kW ölçülürken, aynı devirde referans motorun gücü 3,67 kW ölçülmüş;

deney motorunun gücünde %1,91'lik artış görülmüştür. 4000 d/d motor devrinde deney motoru yüksek kam durumunda gücü 4,83kW ölçülürken, aynı devirde referans motorun gücü 3,70 kW ölçülmüş; deney motoru gücünde %30,54'lük artış sağlanmıştır.



Şekil 5.4. Emme supabının farklı kalkma miktarının motor hızına bağlı olarak motor gücü üzerine etkileri.

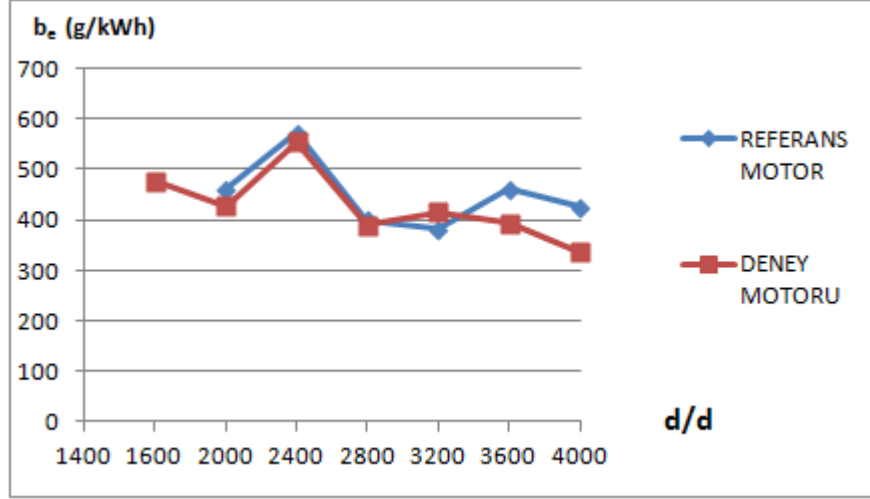
Motor gücü, motorun momentine ve devrine bağlı olduğu için yüksek devirlerde birim zamanda elde edilen iş artmış ve bu devirlerde moment de yüksek olduğu için motor gücü artmıştır.

## 5.5. ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ

Şekil 5.5 incelendiği zaman, 2000 d/d motor devrinde deney motoru düşük kam durumunda özgül yakıt tüketimi 427,85 g/kWh ölçülürken, aynı devirde referans motorun özgül yakıt tüketimi 461,10 g/kWh ölçülmüş; deney motorunun özgül yakıt tüketiminde referans motora göre %7,2'lik azalma sağlanmıştır. 2800 d/d motor devrinde deney motoru klasik kam durumunda özgül yakıt tüketimi 388,794 g/kWh ölçülürken, aynı devirde referans motorun özgül yakıt tüketimi 399,34 g/kWh ölçülmüş; deney motorunun özgül yakıt tüketiminde referans motora göre %2,64'lük azalma görülmüştür. 4000 d/d motor devrinde deney motoru yüksek kam durumunda özgül yakıt tüketimi 335,52 g/kWh ölçülürken, aynı devirde referans motorun özgül



yakıt tüketimi 425,87 g/kWh ölçülmüş; deney motoru özgül yakıt tüketiminde referans motora göre %26,93'lük azalma sağlanmıştır.



Şekil 5.5. Emme supabının farklı kalkma miktarının motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi üzerine etkileri.

2000 d/d motor devrinde deney motorunun düşük kam durumunda özgül yakıt tüketiminin azalmasının nedeni volümetrik verimin artması, yakıt-hava karışımının daha homojen olması ve buna bağlı moment ve güç değerlerinin artmasıdır. 2800 d/d motor devrinde deney motorunun klasik kam durumunda yaklaşık olarak aynı özgül yakıt tüketimini vermesinin nedeni kamların aynı olmasıdır. Deney motorunun klasik kamı yeniden imal edildiği için imalat ve montajdan kaynaklanan farklılıklar sebebiyle özgül yakıt tüketiminde %2,64'lük azalma olmuştur. 4000 d/d motor devrinde deney motorunun yüksek kam durumunda daha az özgül yakıt tüketiminin olmasının nedeni, volümetrik verimin artması ve  $\lambda$ 'nın zengin karışım tarafında kalmasının yanı sıra moment ve güç değerlerinin artmasıdır.

## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneyleerde en yüksek volümetrik verim %60,86 ile düşük kam 2000 d/d motor devrinde, en ideal  $\lambda$  0,995 değeri ile 2800 d/d motor devrinde klasik kamda, en yüksek moment artışı %30,58 ile 4000 d/d motor devrinde yüksek kamda, en yüksek güç artışı %30,54 ile 4000 d/d motor devrinde yüksek kamda, özgül yakıt tüketimindeki en yüksek azalma %30,54 ile 4000 d/d motor devrinde yüksek kamda gerçekleşmiştir. Elde edilen değerler motor devrine bağılı olarak farklı yüksekliklerde supap açılma miktarlarının motor performansını olumlu yönde etkilediğini ortaya koymaktadır.

Deneyleer sırasında motorların rölanti devirleri de ölçülmüş, klasik kamlı motorun rölantisi 1200 d/d motor devrinin altına düştüğünde motor stop ederken deney motoru düşük kamda 900 d/d rölanti devrinde çalışmıştır.

Supap açılma miktarının devirle orantılı olarak sürekli değiştirebilecek bir sistem kurulması, motor performansı açısından daha iyi sonuçlar ortaya koyacak, daha küçük silindir hacminde daha büyük güçlerin elde edilmesini sağlayacaktır.

Düşük kamda motor performansındaki iyileşmeler özellikle şehir içi ulaşımında kullanılan araçların motorlarında yakıt ekonomisine katkı sağlayacaktır.

Supap açılma miktarının azaltılması ile motorun başlangıç çalışması kolaylaşarak daha az elektrik enerjisi ile motorun çalıştırılması sağlanabilecektir. Araçlara konulacak otomatik stop-çalıştırma modülü ile ışıklarda motorun durdurulması ve gaza basılınca tekrar çalıştırılması sağlanabilir. Böylece özellikle çok sayıda ve uzun süreli trafik ışığının bulunduğu yollarda yakıt tasarrufu arttırılabilir.

Deneyde kullanılan motorların karbüratörlü olmaları, hava içine karışan yakıt miktarının karbüratör memesinin yapısına bağlı olması farklı devirlerde farklı  $\lambda$ 'ların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Benzer deneylerin enjeksiyonlu veya yarı enjeksiyonlu motorlarda yapılması farklı sonuçlar ortaya koyacaktır.

Motorun devri arttıkça, sabit supap zamanlamalarında emme supabı açık kalma süresi azalmakta, buna bağlı olarak motor verimi değişmektedir. Supap açılma miktarının motor devrine bağlı olarak değiştirilmesi, motor performansını olumlu etkilemektedir. Benzer durum ateşleme içinde düşünülebilir; motor devri arttıkça ateşleme için geçen sürede azalmaktadır. Buna bağlı olarak devri arttıkça ateşleme avansının ve gecikmesinin arttırılması motor performansında farklı sonuçlar ortaya koyabilir.

## KAYNAKLAR

1. Shlesinger, B. E., "Buluş Nasıl Yapılır", Çeviri Editörü: Özgür Ergin, *Tübitak Yayınları*, ISBN 975-403-063-4, Ankara, 11-16 (1998).
2. Galloni, E. and Fontana, G., "Variable valve timing for fuel economy improvement in a small spark-ignition engine", *Applied Energy*, 86 (1): 96-105 (2009).
3. Wang, T. Y., Peng, Z. J. and Wang, G. D., "In-cylinder air motion characteristics with variable valve lift in a spark ignition engine. Part 1: swirl flow", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 4: 479-497 (2010).
4. Gölcü, M., Sekmen, Y., Erduranlı, P. and Salman, M. S., "Artificial neural-network based modeling of variable valve-timing in a spark-ignition engine", *Applied Energy*, 81 (2): 187-197 (2005).
5. Demirtaş, V. ve Bayrakçeken, H., "Değişken supap zamanlamalı sistemlerin incelenmesi", *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2: 40-56 (2010).
6. Aslan, R., Sürmen, A. ve Avcı, A., "Bir dizel motorunda supap zamanlamasının volumetrik etkilerinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi", *5. Yanma Sempozyumu*, Bursa, 220-230 (1996).
7. Sağıroğlu, S., "Buji ile ateşlemeli bir motorda elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasının tasarımı, imalatı ve uygulanabilirliğinin araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-5, 120-125 (2006).
8. Akbaş, A., "Buji ile ateşlemeli motorlarda değişken supap açıklığının ve supap zamanlamasının motor performansına etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-5, 71-76 (2007).
9. Çınar, C., "Buji ile ateşlemeli motorlarda kam geometrisinin performansa etkileri üzerine bir araştırma", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-5, 62-65 (1998).
10. Gün, F., "Değişken supap zamanlamasının motor performansına etkilerinin deneysel incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-5, 35-39 (2006).
11. Doğan, O., "İçten yanmalı bir motorda elektromekanik supap uygulaması", Bilim Uzmanlığı Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 2-5 (2006).

12. Akgün, F., “Buji ile ateşlemeli bir motorda supap zamanlaması değişiminin performans ve egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 3-7 (2007).
13. Aslan, R., “Supap mekanizması ve silindir konstrüksiyonunun motorun volümetrik verimine etkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, **Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bursa, 1-7, 78-83 (1997).
14. Dinçel, C., “İçten yanmalı motorlarda değişebilen supap zamanlamasının yakıt ekonomisine etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 1-5 (1996).
15. Kapancı, Ş., “Değişken supap açılma ve kapanma açılarının motor çalışma şartları üzerindeki etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 2-7 (2000).
16. Taşlıyol, M., “Yaşlandırılan elektro-mekanik denetimli supap sisteminde değişken supap zamanlaması”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 1-5 (2011).
17. Honda A.Ş., "VTEC Tiplerinin Çalışması", **Honda Eğitim Merkezi**, İzmit, 1-25 (1997).
18. Doğuş Otomotiv, "Kendi Kendine Çalışma Programı 322", **Volkswagen Eğitim Notları**, İstanbul, 1-23 (2001).
19. Knecht, A. and Stephan, W., "VaneCAM-The Third Generation of Camshaft Adjustment System", **Motortechnische Zeitschrift Worldwide**, 63 (4): 15-18 (2002).
20. İnternet: Autozine Teknik Okulu, “Değişken Supap Zamanlama Eğitim Notları”, [www.autozine.org/technical\\_school/engine/vvt\\_5.htm](http://www.autozine.org/technical_school/engine/vvt_5.htm) (2012).
21. İnternet: Honda-Türkiye, “Eğitim Notları”, <http://www.honda-turkiye.com/motor-teknolojileri/32-vtec-motor-nedir-nesi-farkly.html> (2012).
22. İnternet: Akgün, N., “Rüzgar Enerjisi Nereden Gelmektedir?”, <http://www.-meteor.gov.tr/2003/arge/yenienerji/ruzgarnereden.pdf> (2005).

**EK AÇIKLAMALAR A.**

**TEST MOTORLARI DENEY SONUÇLARI**

Çizelge Ek A.1. Test motorları deney sonuçları.

	Referans Motor								Deney Motoru							
	4000	3600	3200	2800	2400	2000	4000	3600	3200	2800	2400	2000	1600			
Motor Devri (d/d)	8,83	9,32	11,77	12,51	10,05	9,32	11,53	10,05	11,52	12,75	10,54	10,3	10,3			
Moment (Nm)	3,7	3,51	4,94	3,67	2,52	1,95	4,83	3,79	3,86	3,74	2,65	2,16	1,73			
Motor Gücü (kW)	425,8	461,1	382,5	399,3	573,1	461,1	335,5	393,6	416,0	388,7	554,6	427,8	476,1			
Özgül Yakıt Tük. (g/kWh)	20,28	20,19	19,83	20,19	16,48	12,8	22,22	23,31	23,92	21,06	17,74	17,54	13,37			
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	57,62	57,62	46,1	40,34	34,57	28,81	57,62	51,87	46,10	40,34	34,57	28,81	23,05			
Teorik Hava Tük (kg/h)	35,19	38,93	43,02	50,06	47,68	44,52	38,55	44,95	51,89	52,20	51,31	60,87	58,01			
Volumetrik Verim (%)	1,072	1,188	1,08	0,995	0,843	1,111	0,842	1,004	0,814	0,978	0,837	1,048	1,026			
Hava Fazlalık Katsayısı ( $\lambda$ )	20,8	21,2	21,8	23,1	23,4	23,7	21,1	18	17,9	19,1	19,1	19,3	22,9			
Ortam Sıcaklığı ( $^{\circ}$ C)																

## ÖZGEÇMİŞ

Fatih UYSAL 1978 yılında Samsun'da doğdu; İlkokulu Dikbıyık İlkokulu'nda, Ortaokulu Çarşamba İmam Hatip Lisesi'nde ve Lise eğitimini Samsun İmam Hatip Lisesinde tamamladı. 1995 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümün başlayıp 2001 yılında mezun oldu. 2000-2004 yılları arasında Hilkar Elektroteknik Firmasında Kalite Güvence müdürlüğü yaptı. 2004 Ağustos celbinde kısa dönem olarak askere gitti. 2005 yılında Fatih Belediyesi Makine İkmal Müdürlüğünde Müdür Yardımcısı olarak çalıştı. 2006 yılında Sakarya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'nde Genel Koordinatör olarak göreve başladı. Aynı kurumda Makine İkmal Müdürlüğü ve Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı (Tedviren) görevlerinde bulundu. 2010 yılı Aralık ayında Karabük Üniversitesi Eskipazar Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Eskipazar Meslek Yüksekokulu Müdür Yardımcılığı görevinde bulundu. Şu anda Karabük Üniversitesinde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir. Evli ve iki kız babasıdır.

### **ADRES BİLGİLERİ:**

Adres : Yeşil mah. Taşkent Cad. No: 72 Özlem Apt. A Blok Kat:4 D:9  
Merkez/KARABÜK

Tel : 505 916 73 22

E-posta : [fatihuysal@karabuk.edu.tr](mailto:fatihuysal@karabuk.edu.tr)