

**ÇTEN YANMALI MOTORLARDA
KULLANILAB LECEK B R ELEKTROMEKAN K
SUPAP S STEM N N TASARIMI VE
GEL T R LMES**

**2014
DOKTORA TEZ
MAK NE E T M**

Nida B RGÜL

**ÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAB LECEK
B R ELEKTROMEKAN K SUPAP S STEM N N
TASARIMI VE GEL T R LMES**

Nida B RGÜL

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine E itimi Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2014**

Nida BERGÜL tarafından hazırlanan “ ÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAB LECEK BR ELEKTROMEKAN K SUPAP S STEM N N TASARIMI VE GEL T R LMES ” ba lıklı bu tezin Doktora tezi olarak uygun oldu unu onaylarım.

Doç. Dr. Perihan SEKMEN

Tez Danı manı, Makine E itimi Anabilim Dalı

Bu çalı ma, jürimiz tarafından oy birli i ile Makine E itimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmi tir. 16/01/2014

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

.....mzası.....

Ba kan : Prof. Dr. Metin GÜRÜ (GÜ)

Üye : Prof. Dr. Can ÇINAR (GÜ)

Üye : Doç. Dr. Perihan SEKMEN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Abdurrazzak AKTA (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Cevdet GÖLO LU (KBÜ)

...../...../2014

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamı tir.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildi ini ve sunuldu unu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdi i ekilde, bu çalı madan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptı umı beyan ederim.”

Nida B RGÜL

ÖZET

Doktora Tezi

ÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAB LECEK B R ELEKTROMEKAN K SUPAP S STEM N N TASARIMI VE GEL T R LMES

Nida B RGÜL

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine E itimi Anabilim Dalı

Tez Danı manı

Doç. Dr. Perihan SEKMEN

Ocak 2014, 100 sayfa

Elektromekanik supap (EMS) sistemleri motorun tüm çalı ma ko ulları için supap zamanlamasında esneklik sa ladı ından motor performansını iyile tirme potansiyeline sahiptir. Konvansiyonel kam mili sistemlerinden farklı olarak, EMS sistemi supap zamanlamasını krank mili pozisyonundan ba ımsız olarak gerçe kle tirir. Sistem, emme ve egzoz supaplarının açılma ve kapanma olaylarının denetimine imkân sa lar. Yüksek tork ve gücün elde edilmesinde, yakıt tüketiminin azaltılmasında ve emisyonların kontrolünde etkili rol oynar.

Bu çalı mada, modern ta ıtların 12 V elektrik sistemlerine uyumlu, bir elektromekanik supap (EMS) sistemi tasarlanmı ve geli tirilmis tir. Ba langıç tasarımında, 215 g kütle ye sahip hareketli nüve kullanılmı , 10 A akım de erinde

maksimum elektromıknatıs kuvveti 76 N olarak ölçülmü tür. Sistemin geli tirilmesi sonrasında, hareketli nüve kütleı %18,6 azaltılarak 175 g de erine dü ürlümü , çalı ma akım de eri %33 artarak 13,3 A de erine, maksimum elektromıknatıs kuvveti de eri de %343 artarak 260,85 N de erine yükseltılmı tir. Sistemin geçi süresi 6 mm ve 8 mm supap çalı ma aralıkları için sırasıyla 3,9 ms ve 4,4 ms olarak ölçülmü tür.

Anahtar Kelimeler : Supap, elektromekanik supap, de i ken supap zamanlaması, mekatronik, içten yanmalı motor, kam mili, VVT, EMV.

Bilim Kodu : 708.3.026

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN ELECTROMECHANICAL VALVE SYSTEM WHICH WILL BE USED IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Nida B RGÜL

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor

Assoc. Prof. Dr. Perihan SEKMEN

January 2014, 100 pages

Electromechanical valve (EMV) systems have the potential to improve engine performance via flexibility in valve timings in all engine operating conditions. Apart from conventional camshaft driven systems, the EMV system conducts valve timing by not depending upon the crankshaft position. System allows controlling of the opening and closing events of the intake and exhausts valves. It plays an effective role in acquiring high torque and power, reducing fuel consumption and controlling emissions.

In this study, an electromechanical valve (EMV) system compatible with modern vehicle's 12 V electrical systems has been designed and developed. In the initial design, an armature with a mass of 215 g was used and the electromagnet force value

system, armature mass was reduced by 18.6% to 175 g, operating current value was increased by 33% to the value of 13,3 A, maximum electromagnetic force value was increased by 343% to the value of 260,85 N. Transition time of the system has been measured as 3.9 ms and 4.4 ms respectively when the valve lifting is at 6 mm and 8 mm.

Keywords : Valve, electromechanical valve, variable valve timing, mechatronic, internal combustion engine, camshaft, VVT, EMV.

Science Code : 708.3.026

TE EKKÜR

Doktora e itimim ve tez alı malarım boyunca kıymetli zamanlarını bana ayıran ve alı malarımda büyük katkıları bulunan kıymetli hocam Do. Dr. Perihan SEKMEN'e, yardımlarıyla alı malarımın her a amasında bana destek olan de erli karde im Doç. Dr. Yakup SEKMEN'e, yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Metin GÜRÜ, Doç. Dr. Abdürrezzak AKTA hocalarım ile de erli ders hocalarıma, deste ini esirgemeyen Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisli i Bölümündeki tüm arkada ve hocalarıma, test i lemlerimin ba langıcında ve süreç içerisinde deste ini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Utku BÜYÜK AH N, Ö . Yzb. Serkan GÜRKAN'a, imalat i lemlerinde deste ini esirgemeyen Taymeks Makina, 5'inci Bkm. Mrk. K.lı na ve çalı anlarına, desteklerini esirgemeyen e im ve çocuklarıma te ekkür ederim.

Ç NDEK LER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TE EKKÜR.....	viii
Ç NDEK LER	ix
EK LLER D Z N	xii
Ç ZELGELER D Z N	xvi
S MGELER VE KISALTMALAR D Z N	xvii
BÖLÜM 1	1
G R	1
BÖLÜM 2	4
L TERATÜR ARA TIRMASI	4
BÖLÜM 3	10
ÇTEN YANMALI MOTORLARI ETK LEYEN TEMEL FAKTÖRLER	10
3.1. ISIL VER M VE SIKI TIRMA ORANI L K S	11
3.2. VOLÜMETR K VER M.....	16
3.3. DOLDURMA VER M	17
3.4. SÜPÜRME ORANI	17
3.5. DOLGU TUTMA VER M	18
3.6. VOLÜMETR K VER M ETK LEYEN FAKTÖRLER.....	18
3.7. GERÇEK ÇEVRE MDE DOLGU DE M OLAYLARI.....	19
BÖLÜM 4	25
SUPAPLAR, SUPAP SÜRTÜNME , SUPAP ZAMANLAMASININ ETK LER VE SUPAP AYARLAMA S STEMLER	25

Sayfa

4.1. SUPAPLAR.....	25
4.2. STANDART SUPAP S STEM NDE KONUM, HIZ VE VME L K S ..	27
4.3. SUPAPLARIN SÜRTÜNME KAYIPLARI ÜZER NE ETK S	28
4.4. SUPAP ZAMANLAMASININ ETK LER	30
4.4.1. Emme ve Egzoz Zamanlarının Geciktirilmesi.....	30
4.4.2. Egzoz Zamanının Geciktirilmesi	31
4.4.3. Emme Zamanının Öne Alınması	32
4.4.4. Emme Supabının Geç Kapatılması.....	33
4.4.5. Emme Zamanlamasının Motor Performansına Etkileri	35
4.5. DE KEN SUPAP ZAMANLAMASI HT YACI.....	36
4.6. DE KEN SUPAP AYARLAMA (DSA) S STEMLER	39
4.6.1. Kam Fazının Kaydırılması.....	39
4.6.2. Supap Yüksekli inin Kam Profili De i imi le Ayarlanması	42
4.6.3. Kam Fazının Kaydırılması ve Supap Yüksekli i De i iminin Birlikte Kombinasyonu.....	47
4.6.4. Tam Esnek Supap Sistemleri (Elektromekanik, Elektrohidrolik, Elektropnömatik).....	48
4.7. AYARLANAB L R SUPAP S STEMLER N N KAR ILA TIRILMASI..	52
BÖLÜM 5	54
MATERYAL VE METOT	54
5.1. ELEKTROMEKAN K SUPAP S STEM –EMS.....	54
5.2. HAREKETL KÜTLE-YAY L K S , MANYET K KUVVET.....	55
5.3. EMS S STEM N N D NAM	57
5.4. DENEYSEL KURULUM	58
BÖLÜM 6	70
BULGULAR VE TARTI MA	70
6.1. STAT K ÖZELL KLER	70
6.2. D NAM K ÖZELL KLER.....	73
6.3. LK TASARLANAN EMS S STEM N N DE ERLEND R LMES	81

	<u>Sayfa</u>
6.4. EMS S STEM N N GEL T R LMES	82
6.5. EMS2 S STEM N N DE ERLEND R LMES	91
BÖLÜM 7	92
SONUÇ VE ÖNER LER	92
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇM	100

EK LLER D Z N

	<u>Sayfa</u>
ekil 3.1. deal Otto çevrimi ısı veriminin sıkı tırma oranıyla de i imi, özgül ısıların verim üzerine etkisi.....	12
ekil 3.2. deal Dizel çevrimi ısı veriminin sıkı tırma oranıyla de i imi, kesme oranının verime etkisi.	13
ekil 3.3. Sıkı tırma oranı de i imi ve sıkı tırma zamanı sonu basıncına etkisi (r=8, r=10).....	14
ekil 3.4. Motor gücü ve özgül yakıt tüketiminin sıkı tırma oranı ile de i imi.	15
ekil 3.5. Dört zamanlı bir motorda emme ve egzoz olayları ve açık indikatör diyagramı.	20
ekil 3.6. Gaz de i im olaylarına ait indikatör diyagramı.	21
ekil 3.7. Emme sistemindeki basınç kayıpları.	23
ekil 3.8. Emme sistemindeki basınç kayıplarının piston hızı ile ili kisi.....	24
ekil 4.1. Standart supap sistemi parçaları.....	26
ekil 4.2. Supap yer de i tirme, hız ve ivme grafikleri	27
ekil 4.3. Mekanik sürtünme kayıplarının motor devri ile de i imi 29	29
ekil 4.4. Kısmi yüklerde 30° KMA gecikmi emme ve egzoz supap zamanlamasının standart supap zamanlaması ile kar ıla tırılması	30
ekil 4.5. Kısmi yüklerde 30°KMA gecikmi egzoz supabı zamanlamasının standart supap zamanlaması ile kar ıla tırılması	32
ekil 4.6. Kısmi yüklerde 30° avansa alınımı emme supap zamanlaması ile standart supap zamanlamasının kar ıla tırılması	33
ekil 4.7. Birim dolgu miktarının ortalama piston hızı ile de i imi	34
ekil 4.8. Emme supabı açılma avansının volümetrik verim ve motor torku üzerine etkileri	35
ekil 4.9. Emme supabı açılma avansının motor gücü ve özgül yakıt tüketimi üzerine etkileri.	36
ekil 4.10. deal tork, standart motor torku ve DSA sistemine sahip motordan elde edilen torkun devir ile de i imi.....	37
ekil 4.11. deal supap çalı ma profili.	38
ekil 4.12. Standart bir motorda emme ve egzoz supaplarının çalı ma grafi i.	39
ekil 4.13. Emme fazının kaydırılması.	40
ekil 4.14. Vanos sistemi (BMW)	41

Sayfa

ekil 4.15. ki konumlu kam profilinin emme supabına uygulanması.	42
ekil 4.16. Honda VTEC supap çalı ma aralıklarının de i imi(Honda)	44
ekil 4.17. VTEC sistemi [Honda].	44
ekil 4.18. Valvetronic sistemi (BMW)	45
ekil 4.19. Vario Cam Plus sisteminde dü ük ve yüksek hız kamlarının çalı ma pozisyonu (Porsche).....	46
ekil 4.20. Kam fazının kaydırılması ve farklı kam profilinin birlikte kombinasyonu.	47
ekil 4.21. VVTL-i sisteminin çalı ma konumları (Toyota)	48
ekil 4.22. Elektromekanik supap sistemi (Valeo).	50
ekil 4.23. Fiat Multiair sistemi	51
ekil 5.1. EMS sistemi	54
ekil 5.2. Selenoid kesiti.....	56
ekil 5.3. EMS sistemi blok diyagramı.....	57
ekil 5.4. Elektromekanik supap sistemi için tasarımı yapılan selenoid ve kısımları	59
ekil 5.5. EMS sisteminin emme supabına ve silindir kapa ına montajı.	59
ekil 5.6. Sistem sınırlarının belirlenmesinde kullanılan ilk test sistemi	60
ekil 5.7. Darbe geni lik modülatörü DGM'nin bilgisayar arayüzü ekran görüntüsü.....	61
ekil 5.8. Darbe geni lik modülatörü DGM'nin devre kartı.....	61
ekil 5.9. Üretimi tamamlanan darbe geni lik modülatörü (DGM) ünitesi.....	62
ekil 5.10. Darbe geni li inin de i imi.	63
ekil 5.11. DGM'nin ISIS devre analiz programında analiz amaçlı kullanımı	63
ekil 5.12. DGM'nin ISIS devre analiz programında analizi sırasında elde edilen osiloskop görüntüsü	64
ekil 5.13. EMS sistemi testinde kullanılan osiloskop.	64
ekil 5.14. EMS sitemi için ilk üretilen sürücü devresi.	65
ekil 5.15. EMS sistemi için geli tirilen sürücü devresi.....	65
ekil 5.16. Deney düzene i.....	66
ekil 5.17. EMS sisteminde kullanılan besleme ünitesi	67
ekil 5.18. Akım ölçmede kullanılan hall sensör devresi	68
ekil 5.19. ART USB5935 veri toplama modülü	69
ekil 6.1. Hareketli kütle-yay sisteminin açma kapama süresi üzerindeki etkisi	70
ekil 6.2. Statik hava aralı ıda de i imine ba lı üretilebilecek kuvvet de i imi.	71

ekil 6.3. Ölçülen kuvvet - mesafe de i imi; $I=10$ A.....	72
ekil 6.4. EMS bobini geli tirilme potansiyeli.	73
ekil 6.5. Veri toplama sistemi ekran görüntüsü.	74
ekil 6.6. Dijital verilerden elde edilen de erler.....	74
ekil 6.7. EMS sisteminin osiloskopta elde edilen ekran görüntüsü.	75
ekil 6.8. EMS sisteminde bobin üzerinden geçen akımın zamana göre de i imi..	76
ekil 6.9. Konum zaman grafi i.	76
ekil 6.10. Supabın açılması sırasında hız de i imi.	77
ekil 6.11. EMS sisteminin farklı çalı ma aralıklarındaki dinamik performansı ($K=10$ N/mm, $m=215$ g).....	77
ekil 6.12. EMS sisteminin farklı çalı ma aralıklarındaki dinamik performansı ($K=10$ N/mm, $m=275$ g).....	78
ekil 6.13. EMS sisteminin yeniden tasarımı ve iyile tirilmesi sonrasında ula ılabilecek açma ya da kapama hareketi için gerekli sürenin tahmini (215g).....	79
ekil 6.14. EMS sisteminin yeniden tasarımı ve iyile tirilmesi sonrasında ula ılabilecek açma ya da kapama hareketi için gerekli sürenin tahmini (275g).....	79
ekil 6.15. EMS sisteminin yeniden tasarımı ve iyile tirilmesi sonrasında ula ılabilecek optimum sürenin tahmini	80
ekil 6.16. Selenoid ölçüleri	83
ekil 6.17. De i ik akımlarda statik hava aralı ındaki kuvvet de i imi	84
ekil 6.18. EMS1 ve EMS2’de ölçülen kuvvet de i imi.....	85
ekil 6.19. EMS1 bobini geli tirme potansiyeli ve EMS2 ile elde edilen deneysel kuvvet de i imi.....	86
ekil 6.20. EMS1 ($K=10$ N/mm) ve EMS2 ($K=20$ N/mm)’ nin dinamik performansları	87
ekil 6.21. EMS1($K=10$ N/mm) tahmini ve EMS2 ($K=20$ N/mm)’ nin dinamik performanslarının kar ıla tırılması	87
ekil 6.22. Standart supap sistemi ile EMS2 sisteminin de i ik devirlerde dinamik performansları	89
ekil 6.23. Standart supap sistemi ile EMS2 sisteminin sabit devir performansları	90
ekil 6.24. Standart supabın bir açılıp kapanma hareketine kar ılık EMS2 sisteminin anahtarlanabilme kapasitesi.....	90

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. DSA sistemlerinin sınıflandırılması ve karşılaştırılması.	52
Çizelge 5.1. Hareketli kütle elemanlarının özellikleri	56
Çizelge 5.2. Selenoid özellikleri	56
Çizelge 6.1. EMS bobinin karşılaştırılması.....	72
Çizelge 6.2. Diğer kaynaklarda verilen bazı büyüklükler.....	81
Çizelge 6.3. EMS sisteminin bir motoru destekleme limitleri	81
Çizelge 6.4. EMS2 bobinin karşılaştırılması.....	85
Çizelge 6.5. EMS2 sistemi ve diğer kaynaklarda verilen bazı büyüklükler	87
Çizelge 6.6. Çıtın yanmalı, dört zamanlı motor özellikleri.....	88
Çizelge 6.7. EMS2 sisteminin bir motoru destekleme limitleri.....	88

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

ϕ	: mıknatıs akısı (Wb/m^2)
τ_t	: geçiş süresi (s)
μ	: hava aralığı geçirgenliği ($4\pi 10^{-7}$)
A	: etkin kesit alanı (m^2)
B_h	: mıknatıs akısı yoğunluğu (Wb/m^2)
e	: bobinlere uygulanan giriş gerilimi (V)
F_b	: sürtünme kuvveti (N)
F_s	: silindir içi basınç kuvveti (N)
F_m	: elektromanyetik kuvvet (N)
F_{yay}	: yay kuvveti (N)
I	: bobinden geçen elektrik akımı (A)
k	: yay sabiti (N/m)
m	: hareketli kütle (kg)
N	: sarım sayısı
r	: bobin direnci (ohm)
E	: elektriksel potansiyel fark, gerilim (V)
v	: supap hızı (m/s)
x	: hareketli nüvenin tam kapalı konuma olan uzaklığı (m)
x_h	: toplam hareket mesafesi (m)
X	: supabın konumu (m)
z	: hava aralığı sayısı
P_{std}	: standart motorda silindir içi basınç (bar)
P_{atm}	: atmosfer basıncı (bar)
P_{EmSGK}	: emme supabının geç kapatıldığı motorda silindir içi basınç (bar)
P	: basınç (Pa)
V	: hacim (m^3)

KISALTMALAR

AÖN	: Alt Ölü Nokta
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
Em.A	: Emme Supabı Açılması
Em.K	: Emme Supabı Kapanması
Eg.A	: Egzoz Supabı Açılması
Eg.K	: Egzoz Supabı Kapanması
ÖÜÖN	: Üst Ölü Noktadan Önce
SÜÖN	: Üst Ölü Noktadan Sonra
ÖAÖN	: Alt Ölü Noktadan Önce
SAÖN	: Alt Ölü Noktadan Sonra
DGM (PWM)	: Darbe geni lik modülatörü (Puls Width Modulation)
DSZ (VVT)	: De i ken Supap Zamanlaması (Variable Valve Timing)
DSA (VVA)	: De i ken Supap Ayarlaması (Variable Valve Actuation)
TDSA (FVVA)	: Tam De i ken Supap Ayarlaması (Fully Variable Valve Actuation)
EMS (EMV)	: Elektromekanik Supap Sistemi (Electromechanical Valve System)
EHS (EHV)	: Elektrohidrolik Supap Sistemi (Electrohydrolic Valve System)
EPS (EPV)	: Elektropnömatik Supap Sistemi (Electropnomatic Valve System)
KA (CA)	: Krank Açısı (Crank Angle)

BÖLÜM 1

G R

Küresel ısınma ve fosil kökenli yakıtların sınırlı ömrü, otomotiv endüstrisinin dikkatini daha verimli teknolojilerin üretilmesi yönünde yoğunlaştırmıştır [1]. Bu nedenle son yıllarda yapılan çalışmalarında emisyonların azaltılması, yakıt ekonomisi sağlanması, yüksek tork ve güç elde edilmesi, verim artışı sağlanması temel hedef olmuştur.

İçten yanmalı motorlar üzerine yapılan çalışmalar genel olarak ele alındığında; pistonlu motorlar yerine, insansız hava araçlarında kullanımı düşünülen turbo döndürümlü motorlar üzerine elektromanyetik valf uygulanması [2], klasik supap sistemlerinin iyileştirilmesi [3], egzoz kaynaklı kirleticilerin azaltılması ve alternatif yakıt türlerinin geliştirilmesi, alternatif yakıt türlerinin motor performansına ve emisyonlara etkisinin incelenmesi [4-6], motor ayarlama karakteristiklerinin incelenmesi [7,8] gibi konuların yer aldığı görülmektedir.

Geliştirilen teknolojilerin başında, mevcut içten yanmalı motorlar üzerinde uygulanan değişken supap zamanlaması, çeşitli emisyon denetim teknikleri, sürtünme ve pompalama kayıplarının azaltılması, değişken sıkıştırma oranı, direkt püskürtmeli sistemler ve ağırlı doldurma sistemleri gibi teknolojiler yer almaktadır. Bunun yanında motorda güç yutan elemanların azaltılması, yağlama sisteminin iyileştirilmesi ve çeşitli mekanik parçaların çalıştırılmasına olan ihtiyacın azaltılması gibi konularda da çalışmalar yapılmaktadır.

Yapılan çalışmaların birçoğu silindirlere dolgu giriş çıkışını sağlayan supap sistemlerinin geliştirilmesi yönündedir. Başlangıçta her bir silindir için kullanılan emme ve egzoz sayıları artırılmak suretiyle çoklu supap sistemlerine geçilmiştir ve bu sayede silindir içine alınan dolgu verimi artırılarak rahat nefes alabilen motorlar

üretildiği tir. Daha sonra de i ken supap zamanlamasının ortaya çıkışı ile birlikte içten yanmalı motorlarda üretilen tork, geniş bir devir aralığına yayılmıştır. Günümüzde de i ken supap zamanlamasına ilave olarak, supap yüksekliğinin (çalışma aralığının) de i tirilebilir yapılması sayesinde silindir içine alınan dolgu miktarı kontrol edilebilir hale gelmiştir. Supap ile supap oturma yüzeyi arasındaki mesafe de i imi ayarlanabilmekte, bu nedenle gaz keleşimi ihtiyacı ortadan kalkmaktadır. Sonuç olarak, gaz keleşiminin olmadığı bir manifold sistemi ile kısımsız emme işlemi gerçekleştirilmektedir. Tüm bu iyileştirmeler sonrasında, iyi bir yakıt ekonomisinin yanında daha yüksek güç ve verim artışı sağlanmıştır [1,9-12].

Son yıllarda supap sistemleri üzerine yapılan çalışmaların temelinde daha esnek supap zamanlaması ve süresinin ayarlanmasına müsaade eden sistemlerin geliştirilmesi çalışmaları yer almaktadır. Bu kapsamda elektromekanik, elektrohidrolik, elektro pnömatik ve elektrik motoru tahrikli kam mil sistemlerinin supapları çalıştırmak üzere tasarlanıp üzerlerinde çalıştırılmaktadır [1].

Elektrohidrolik supap sistemleri, temel olarak supap sap kısmının hidrolik bir silindire bağlantılı olduğu, bu silindirin hidrolik bir akışkan ile doldurulup boşaltılması ile çalıştırılmaktadır. Buradaki akışkanın yön kontrol valfleri vasıtasıyla denetimi yapılmak suretiyle supapın açılıp kapatılması, açık veya kapalı kalma periyotları gerçekleştirilmektedir. Sistemin hassasiyeti ve cevabı, kullanılan hidrolik yağın özelliklerinden ve sıcaklıktan etkilenmekte, sıcak ve soğuk çalışma koşullarında supap performansı de i iklilik gösterebilmektedir [13-16].

Elektro pnömatik supap sistemleri, çalışma özellikleri ve donanım yönleriyle elektrohidrolik sistemlerle benzerlik göstermektedir [17,18]. Aradaki fark, akışkan olarak hava kullanılmasıdır. Bu sistemler özellikle büyük güç gereksinimi olan supap sistemlerinin çalıştırılması için uygundur. Bu tip sistemlerin düşük çalışma aralıklarında çalıştırılma güçlü yönü olduğu belirtilmekle birlikte normal supap çalışma aralıklarında oldukça verimli çalışmaları ifade edilmektedir [17]. Pnömatik supap sisteminde de i ken supap açıklığı ve supap oturma yüzeyine temas problemleri mevcuttur [18].

Elektrik motoru ile tahrik edilen kam mekanizmalı supap sistemi üzerine yapılan çalışmalar yapılmıştır. Temelde sistemdeki iki kenar supap zamanlaması, iki kenar supap açıklığı mekanizmalarına sahip olmasının yanı sıra düşük güç tüketimine sahip olduğu da ifade edilmektedir [19,20].

Elektromekanik supap (EMS) sistemleri üzerine yapılan çalışmalar genellikle mekanizma tasarımı [21-25], tasarıma etkileyen faktörler [26,27], gürültü seviyesinin azaltılması [28], modelleme ve simülasyon [1,9,29-32], denetim ve optimizasyon [33-35] ile motor uygulamaları [36-38] şeklinde sınıflandırılabilir.

Elektromekanik supap sistemleri, temel olarak her bir supap için iki adet elektromagnetsiz ile supabın bağlı olduğu bir nüve ile bu sistemin denetimini ve işletmesini sağlayan elektronik kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Bu sistemler üzerinde iki kenar supap zamanlaması, iki kenar supap yüksekliği ve bazı silindirlerin devre dışı bırakılması olayları uygulanabilmektedir [1,11]. Tüm bu uygulamaların sonucunda, konvansiyonel motorlara göre yakıt tüketiminde %11 azalma, elde edilen torkta %5 artış gerçekleştirilmektedir [1,36]. Supap oturma yüzeyine çarpma problemleri ve gürültü problemlerinin ağırlığı [21,28,31], düşük enerji tüketimleri ile dikkati çektikleri ifade edilmektedir [27].

Yapılan çalışmaların supap açma ya da kapama yönündeki tepki sürelerinin 4ms'den az olmasına karşılık genellikle 42V ile 200V arasında değişen çalışma gerilimlerine sahip oldukları görülmektedir [21,26,30]. Günümüz taşıt elektrik sistemleri 12V çalışma gerilimlerine sahiptir [39]. EMS sistemlerinin taşıt üzerine uygulamalarının yapılabilmesi amacıyla, bir kısım ara tırmacılar tarafından taşıt elektrik sistemlerinin 42V'a yükseltilmesi önerilirken, bir kısım ara tırmacılar tarafından ise mevcut sistemlere uyumlu olarak çalışabilecek EMS sistemlerinin geliştirilmesinin uygun olacağı vurgulanmaktadır [26,37,38,40].

Bu çalışmanın amacı modern taşıtların 12V elektrik sistemlerine uyumlu, bir elektromekanik supap (EMS) sisteminin tasarlanması ve geliştirilmesidir. Prototip imalatı gerçekleştirilen sistemindeki iki çalışma aralıklarındaki dinamik performansı belirlenerek içten yanmalı motorları destekleme limitleri belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

L TERATÜR ARA TIRMASI

Supap sistemleri üzerine birçok ara tırma yapılsa da çalı maların genel olarak elektromekanik supap sistemleri üzerine yo unla tı ı görülmektedir. Gacta vd. EMS sisteminin sonlu elemanlar tekni i ile modellenmesi ve uygulanması üzerine çalı mı lardır. Temel olarak termodinamik çevrimde yer alan negatif i in azaltılmasında EMS sistemlerinin kullanıldı ı vurgulanan çalı mada; supap çalı ma aralı ı 7 mm, bobin direnci 0,3 ohm, hareketli kütle 80,9 g, yay katsayısı $K=100$ kN/m olarak belirlenmi tir. Sistem için çalı ma gerilimi ± 36 V, çalı ma akımı 7 A'dir. Geçi süresinin 3,7 ms, supap maksimum hızının 3,5 m/s ve durma hızının da 1 m/s olarak ölçüldü ü açıklanmı tır [1].

Nagaya vd. içten yanmalı motorlarda kam mili olan sistemlerde de i ken supap zamanlaması ve de i ken supap çalı ma aralı ı mekanizmaları üzerine çalı mı lardır. Elektrik motoru ile hareket verilen bir kam mili mekanizmasına ikincil bir elektrik motoru ilave edilerek de i ken supap çalı ma aralı ı elde edilmi tir. Bu aralı ın de i im miktarı kam lobunun e iminin de i tirilmesine ba lı olarak de i mektedir. Bu miktar 0,4'lük bir e im ile sa lanabilen 4 mm'lik çalı ma aralı ı de i imi ile sınırlıdır. Sistemde kullanılan kam miline hareket veren motor gücü 15kW, supap kütlesi 48 g ve, yay katsayısı $K=12,3$ kN/m'dir. Supap çalı ma aralı ı de i imi için kullanılan motor gücü 150W, uygulanan gerilim 12 V, 6440 1/min ve 2030 mNm torka sahiptir. Supap zamanlaması için kullanılan motor 140 W gücünde, 48 V gerilime sahip, 7161 1/min devir ve 2640 mNm tork de erine sahiptir [9].

Çınar vd. buji ile ate lemeli bir motorda emme supabı hareket miktarının motor performansına etkileri üzerine çalı mı lardır. Deneyde 3 mm ile 6,5 mm arasında de i en çalı ma aralıklarında volümetrik verim, tork, güç ve özgül yakıt tüketimi ile egzoz emisyonlarına etkilerini ara tırmı lardır. Buna göre, motoru dü ük devirlerinde

emme supabı açıklı ının azlı ı motor performansını artırmaktadır. Bunun nedeni olarak dü ük hızlarda emme kesitinden geçen akı kanın uniform olması gösterilmekte, akı katsayısının yüksek oldu u ifade edilmektedir. Hız artırıldıkça silindire alınan havanın hızı supap giri kesitinde ok dalgası meydana getirmekte ve içeriye dolgu alını nı engellemektedir. Yüksek hızlarda supap giri kesitinin artırılmasının akı a olumlu etki gösterdi i ifade edilmi tir [10].

Shiao ve Dat, kısılmasız bir buji ate lemeli motorda kısmi yüklerdeki verimi benze im yöntemi ile incelemi lerdir. ncelemede elektromekanik supap mekanizması modeli uygulamı lardır. Emme supabı kapanma zamanlaması, emme supabı açılma zamanlamasını de i tirmek suretiyle motorun 1000-5000 1/min devir aralı nda tork, volümetrik verim ve özgül yakıt tüketimi üzerine etkilerini ara tırmı lardır [12].

Wong vd. dört zamanlı motorlar için elektrohidrolik supap mekanizmasının modellenmesi ve simülasyonu üzerine çalı mı lardır. %30, %50 ve %100 yük durumlarında ve de i ik emme ve egzoz supabı açıklıklarında motor çalı malarını gerçekle tirmi lerdir. Verilen yük durumlarında, supapların farklı aralıklarda çalı abildi ini simüle etmi lerdir [13].

Heinzen vd. elektrohidrolik supap sistemi üzerindeki çalı malarında tam esnek iteratif supap kontrolü ile kısılmasız yük kontrolünü birlikte gerçekle tirmi tir. Tam anlamıyla pompalama kayıplarını minimize etmeyi amaçlayan çalı mada de i ken supap aralı ının kapasitesini test etmi lerdir. Verilere göre 3ms ile 6ms arasında de i en sürelerde, 2-6 mm supap çalı ma aralı ının kontrolünü gerçekle tirebilmi lerdir. Supap oturma hızı analizi de i ik aralıklar için test edilmi , yakla ık 0,7 m/s durma hızını yakalanmı tir. Ayrıca, de i ik supap açık kalma süreleri üzerine de çalı ılmı , ba arılı sonuçlar elde edildi i açıklanmı tir [14].

Gray vd. parametreye dayalı elektrohidrolik supap sistemlerinin gürültü varlı ının tespiti üzerine çalı mı lardır. Öncelikle elektrohidrolik sistemin bir matematik modelini kurmu lardır. Daha sonra de i ken supap bindirmesi durumunun de i imini

ve en küçük kareler tekni ini modelde kullanmı lardır. Bu sayede bir kontrolcü geli tirmeye çalı mı lardır [15].

Pournazeri vd. elektrohidrolik supap sistemlerinde verimli bir supap çalı ma aralı ı kontrolünü, de i ken hızı sahip hidrolik pompa ile gerçekleştirme üzerine çalı mı lardır. Çalı malarında 1000-3000 1/min hız aralı ını seçmi lerdir. Bu aralıkta supapları de i ik çalı ma aralı ında çalı tırabilmi ler ancak geçi süresi üzerine bir açıklamada bulunmamı lardır [16].

Trajkovic vd. pnömatik de i ken supap zamanlaması üzerine çalı mı lardır. Çalı malarını, bir firma tarafından üretilen supap sistemi üzerine gerçekleştirirler. Tek silindirli bir motor üzerine ba ladıkları sistemi motorun 300-2500 1/min aralı ında çalı tırmı lardır. Supap çalı ma aralı ını 2-7 mm olacak ekilde de i ken olarak ayarlamı lar, 2 mm nin altında kararlı bir çalı ma yakalayamamı lardır. Çalı malarında de i ik çalı ma aralıkları, de i ik supap açık kalma süreleri üzerinde durulmu , bunlarla ilgili grafiklere yer verilmi tir. Sonuç olarak verilen hız aralı ında sistemlerini çalı tırabilmi ler, 2.6 mm nin altındaki çalı ma aralıklarında verimli bir performans elde edememi lerdir. 2.6 mm ile 7 mm aralı ında oldukça verimli bir çalı ma sa lamı lardır [17].

Trajkovic vd. pnömatik hibrit konsepti ve bu konseptin de i ik motor uygulamaları üzerine çalı mı lardır. Tek silindirli bir dizel motor pnömatik hibrit haline dönü türülerek laboratuvar testlerine hazırlanmı tır. Temel olarak frenleme anında olu an sıkı tırlmı havayı depolayarak hızlanma anında enerji tasarrufu amacıyla tekrar kullanmayı hedeflemi lerdir [18].

Parlikar vd. elektromanyetik supap sistemlerinin tasarımı ve deneysel kurulumu üzerine çalı mı lardır. Çalı malarında elektrik motoru ile hareket verilen bir kam mili mekanizması ile supaplar çalı tırlmı tır. Sistemin çalı tırılması sırasında 3,5 ms'lik geçi süresinin elde edildi i vurgulanmı tır [19].

Shiao ve Pan, buji ate lemeli motorlarda kullanılacak elektromekanik supap sistemlerinin üç durumlu gerilim de i imi ile kontrolü üzerine bir simülasyon

çalı ması yapımı lardır. Gerilim kontrolü ile supap durma hızında kabul edilebilir de erler elde etmeyi hedeflemi ler ve ba arılı olmu lardır. Çalı tıkları sistem için geçi süresi 4ms olarak belirlenmi , sistemin en yüksek hızı 3m/s, durma anındaki hızı ise 0,4m/s olarak belirlenmi tir. Çalı ma gerilimleri için 100V, 50V ve 30V seçeneklerini kullanımı lardır [21].

Kim ve Lieu, EMS sistemlerinde enerji tüketimini azaltmak amacıyla sabit mıknatısı elektro mıknatıs ile birlikte kullanan bir sistem geli tirmi lerdir. Geli tirilen bu sistemde; start anında 18 A'lık bir akıma ihtiyaç duyarken, supabı kapalı konumda tutabilmek için 3 A'lık bir akım de eri yeterli olmaktadır. 200 Voltluk besleme gerilimine sahip sistemde, kullanılan bobin 200 sarım sayısı ve 1 ohm direnç de erinde olup hareketli kütle 110 g, yay kat sayısı 170 kN/m'dir. Geçi süresi 3,72 ms olarak belirlenmi tir [24].

Kim vd. 42 V çalı ma gerilimine, 15 A akım çeken bir elektromekanik supap sistemi üzerine çalı mı lardır. Sistemde enerji tüketimini azaltabilmek için sabit mıknatıs tasarımı dahil edilmi tir. 140 g hareketli kütleyle sahip sistemde kullanılan yay sabiti 65 kN/m olarak seçilmi tir. Elektromıknatısta elde edilen kuvvet 760 N, sistemin maksimum hızı 4 m/s olarak ölçülmü tür [27].

Lua vd. EMS sisteminin denetimi üzerine çalı mı lardır. Deney verilerinden yola çıkarak matematik model elde etmi ler ve çıkı kontrolü ile denetim için geri besleme almı lardır. Temel olarak supabın oturma yüzeyine yumu ak temas ile oturması üzerine çalı mı lardır [31].

Mercorelli tarafından, "New Trends and Developments in Automotive System Engineering" isimli kitabın 17'nci bölümünde yeni bir EMS sistemi önerilmi tir. Çalı mada, teorik olarak elektromanyetik supap sistemlerinin esnek denetim özelliklerine sahip olmaları nedeniyle yakıt ekonomisi sa lamada en yüksek potansiyele sahip oldukları ifade edilmektedir. Bununla birlikte, gerçek uygulamalarda EMS sistemlerinin, imdiye kadar yüksek enerji tüketimleri ve denetim zorluklarının var oldu u belirtilmi tir. Bu nedenle sistem dinami inde meydana gelen kayıpları azaltmak için yenilikçi tasarımlara ihtiyaç oldu u

açıklanmıştır. Ayrıca sensörsüz denetimin zorlukları bildirilmekle birlikte, supap pozisyonunun tespit problemi a ılması gereken problem olarak gösterilmiştir. Sensör ilavesi ve simülasyon destekli optimizasyon ile tasarımın geliştirilebileceği önerilmiştir [34].

Miller, elektrik motoru ile tahrik edilen bir kam mili ile supapları çalıştıran bir sistemin simülasyonu üzerinde çalışmıştır. Tüketilen yakıttan en iyi performansı elde etmek temel hedef olarak belirlenmiştir. Emme supabı açılma ve kapanma derecelerinde de i iklik yapmak suretiyle emme süresini de i tirmi , performans de erlendirmesi yapılmıştır. Üç farklı motor hızı için yakıt tüketimi de erleri simülasyon ile elde edilmiştir [32].

Dat ve Shiao, EMS sistemlerinde emme supabı zamanlamasının optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Bu amaçla EMS sistemleri için bir model oluşturmuşlardır. De i ik motor hızları için emme zamanının de i imi, supap açık kalma süresinin de i imi ve emme dolgusunun de i imi parametrelerinin, hava oranı, silindir basıncı ve emme manifoldu basıncı üzerine etkileri simülasyon sonuçlarına göre araştırılmış ve optimizasyonu yapılmıştır [35].

Özdalyan ve Do an, yarı elektromekanik supap sisteminin motor performansına ve emisyonlara etkisini tek silindirli ve dört zamanlı bir buji ate lemeli motor üzerinde incelemiştir. Motorun normal haline göre güç, tork ve özgül yakıt tüketiminde iyile me oldu u ifade edilmiştir. CO emisyonunda %66 azalma meydana gelirken HC ve NOx emisyonlarında sırasıyla %12 ve %13 artış gözlenmiştir. Sistem 33 V gerilim ve 8 A akım ile çalıştırılmış , supap çalış ma aralığı 4,5 mm olarak belirlenmiştir [36].

Sa ıro lu ve Salman, tek silindirli, dört zamanlı ve buji ate lemeli bir motorda EMS sisteminin egzoz emisyonlarına etkileri üzerine çalışmışlardır. Sistem, 42 V çalış ma gerilimine ve 7,5 A akım de erine sahiptir. Elektromıknatısın statik analizinde 69,65 N'luk kuvvet elde edilmiştir. Bobinlerde 730 ve 840 sarım sayılarının uygulandı ı, nüve hareketini tamamladı ında tutma akımının 2 A seviyesine dü ürüldü ü, HC emisyonlarında artış gözlendi i bildirilmiştir [37].

EMS sistemleri üzerine yapılan çalı malar incelendi inde, ba langıçta bir EMS sisteminin tasarlanıp olu turuldu u, sistemden beklenen çalı ma limitlerinin elde edilebilmesi amacıyla, gerekti inde besleme geriliminin ve akımının ayarlandı ı [24,27], daha sonra sistemin statik ve dinamik özelliklerinin ortaya çıkarıldı ı anla ılmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalı malarda kullanılan besleme gerilimlerinin genellikle 42 V olmasına kar ılıklı [29,37], di er bazı çalı malarda bu de erin 100-200 V de erlerine ula tı ı [21,27], çalı ma akımlarının genellikle 5-18 A aralı ında de i ti i [24,27,37], bazı çalı malarda ise 60A de erlerine ula tı ı bilinmektedir. Sayılan çalı malardaki yüksek sayılabilecek gerilim ve akım de erlerinin yalnızca supabın konum de i imleri (geçi) sırasında kullanıldı ı, tutma durumlarında ise daha dü ük seviyelere çekildi i bilirse de yüksek potansiyelin can ve mal güvenli i açısından tehdit olu turabilece i, ta ıt üzeri uygulamalarda ise ilave donanım ihtiyacının ortaya çıkabilece i de erlendirilmi tir. Bu nedenle, çalı ma gerilimi ve akımının beraberinde getirdi i güvenlik tehdidini, ilave donanım ihtiyacını ortadan kaldırabilecek, modern ta ıtların elektrik donanımlarına uygun EMS sistemlerinin tasarlanıp geli tirilmesinin faydalı olaca ı de erlendirilmi tir.

Bu çalı mada, daha önce yapılan çalı malardan farklı olarak, modern ta ıtların 12 V elektrik sistemlerine uyumlu bir elektromekanik supap sisteminin tasarlanıp geli tirilmesi ve bu yönde atılacak adımlara öncülük edilmesi amaçlanmı tir. Bu kapsamda yürütülecek çalı maların ba langıcında, öncelikle literatürde yer alan çalı malardaki tecrübelerden faydalanılması, de erlendirmelerin dikkate alınması, ba langıç olarak bir EMS sistemi tasarımının yapılması ve prototipinin üretilmesi planlanmı tir. Daha sonra, üretilen sistemin özelliklerinin tespit edilmesi, sistemin geli tirilebilme potansiyelinin ortaya çıkarılması, geli tirme basamaklarının belirlenmesi ikinci a ma olarak belirlenmi tir. Üçüncü a mada ise yeni sistemin üretilmesi, test edilmesi ve elde edilen sonuçların de erlendirilmesi izlenecek i lem basamaklarını olu turmu tur.

BÖLÜM 3

ÇTEN YANMALI MOTORLARI ETK LEYEN TEMEL FAKTÖRLER

çten yanmalı motorlarda supaplar, krank mili ile ili kilendirilmi olan kam mili yardımıyla açılıp kapanır ve bu sayede emniyetli ve güvenilir bir çalı ma performansı sergiler. Sistemin temel özelli i, supap zamanlamasının maksimum yakıt ekonomisi ve maksimum tork çıkı ı sa layacak, kirletici emisyonları en aza indirecek ekilde ayarlanmasıdır. Bu nedenle bir kez ayarlandıktan sonra motorun çalı ma ko ullarına göre de i tirilmesi mümkün de ildir [41].

Standart supap mekanizmasına sahip motorlarda maksimum volümetrik verimin elde edildi i çalı ma bölgesi, motorun en çok çalı tı ı devir aralı ı ile çakı acak ekilde supap zamanlaması yapılmakta ve böylece en uygun çalı ma ko ullarının optimizasyonu sa lanmaktadır. Motor optimum çalı ma bölgesinin altında veya üstünde çalı ırken volümetrik açıdan dü ük verim de erleri ile çalı maktadır. Optimizasyonun yüksek devir bölgelerine göre yapılması durumunda, dü ük devirlerde motorun rölanti kararlılı ı bozulur, torku azalır. Benzer olarak optimizasyonun motorun dü ük devir bölgelerine ayarlanması durumunda ise yüksek devirlerde üretilmesi gereken motor gücü dü mektedir. Motorun hem dü ük ve hem de yüksek devir bölgelerinde arzu edilen performansı elde edebilmesi için daima maksimum dolguyu sa layacak ve en iyi ekilde de erlendirebilecek sistemlere ihtiyaç vardır.

Motor performansını arttırmak amacıyla ilk olarak çoklu supap teknolojileri geli tirilmi tir. Bu sayede her bir silindir için iki yada daha fazla emme ve egzoz supabı kullanılarak motorun dolgu verimi artırılmı tır. Daha sonra yapılan çalı malarda supapların açılma ve kapanma zamanlamalarının de i imini sa lamaya yönelik çalı malar yapılmı tır. Motor hızının de i imi ile birlikte silindire alınan

dolgunun hızı ve kinetik enerjisi sürekli de i ece inden supap zamanlamasının da sürekli de i mesi gerekmektedir.

Günümüz motorlarında, sayılan özellikleri yerine getirebilecek, esnek supap zamanlamasına imkân tanıyan sistemlerin geli tirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

3.1. ISIL VERİM VE SIKI TIRMA ORANI L K S

Verim (etkinlik), elde edilen büyüklü ün bu de eri elde etmek için harcanan büyüklü e oranı olarak tanımlanır. Isıl verim bir ısı makinesinin aldığı ısıyı hangi oranda i e dönü türbildi inin bir ölçüsüdür. Isı makinelerinin amacı ısıyı i e dönü türmektir. çten yanmalı motorlar da birer ısı makinesidir ve ısıl verimleri, bu makineden elde edilen net i in bu i i elde etmek için harcanan ısıya oranı olarak tanımlanır. Otomobil motorlarının ısıl verimleri %25-40 aralı nda de i mektedir. Bir ba ka ifade ile bir otomobil motoru yakıtın kimyasal enerjisinin yakla ık yüzde yirmi be ini mekanik i e dönü türür [42]. Ara tırmacılar sürekli olarak verimi artırmanın yollarını ara tırırlar, çünkü daha yüksek verim, daha az yakıt tüketimi ve mevcut kaynakların etkin kullanımı anlamına gelmektedir. Isıl verim E itlik 3.1 ve E itlik 3.2’de tanımlanmı tır.

$$\text{ısıl verim} = \frac{\text{elde edilen } i}{\text{harcanan } ısı} \quad (3.1)$$

ve

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{giren}} \quad (3.2)$$

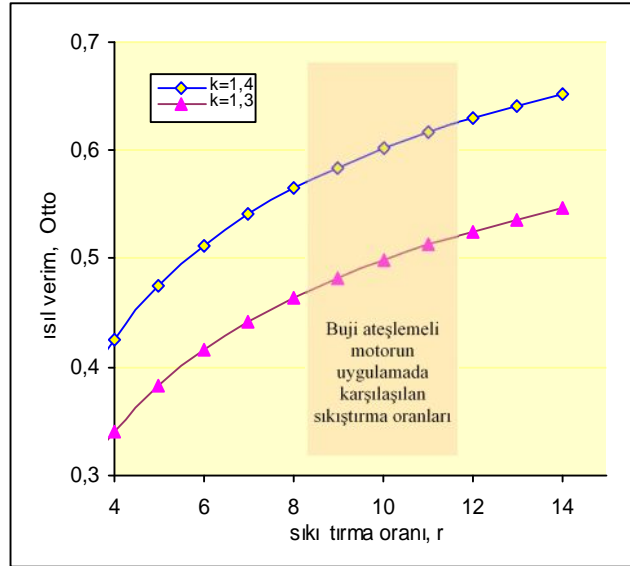
Buji ile ate lemeli motorlar için ideal ısıl verim E itlik 3.3’te verilmi tir.

$$\eta_{th,BAM} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \quad (3.3)$$

Sıkı tırma ile ate lemeli motorlar için ideal ısıl verim E itlik 3.4'te ifade edilmi tir. Denklemlerde yer alan η ısıl verimi, r sıkı tırma oranını, k özgül ısıların oranını (kJ/kgK), r_k dizel motorlar için kesme oranını ifade etmektedir.

$$\eta_{th,SAM} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[\frac{r_k^k - 1}{k(r_k - 1)} \right] \quad (3.4)$$

çten yanmalı motorların ısıl verimleri sıkı tırma oranı ve özgül ısıların oranı arttıkça artmaktadır. ekil 3.1'de, ideal Otto çevrimine ait ısıl verim e risinin küçük sıkı tırma oranlarında daha dü ük oldu u, sıkı tırma oranı yükseldikçe arttı ı görülmektedir.

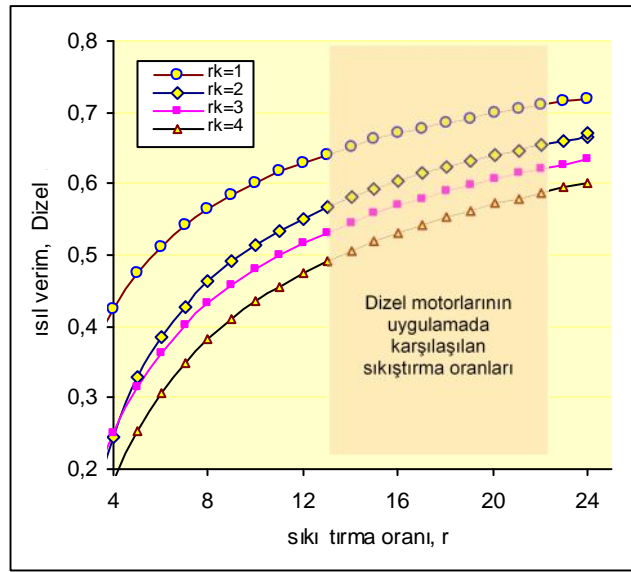


ekil 3.1. deal Otto çevrimi ısıl veriminin sıkı tırma oranıyla de i imi, özgül ısıların verim üzerine etkisi.

deal Otto çevriminde çevrim verimini etkileyen bir ba ka parametre özgül ısıların oranı k 'dır. Buna göre oda sıcaklı ındaki havanın ve karbon dioksitin özgül ısıları oranı sırasıyla 1,4 ve 1,3'tür. Çalı ma maddesinin moleköl büyüklü ü arttıkça özgül ısıların oranı azalmaktadır. Gerçek motorlarda kullanılan akı kan molekülleri de büyük moleküller içerdi inden ısıl verimlerinin ideal Otto çevrim veriminden daha dü ük olma nedenlerinden birini olu turur. ekil 3.1'de iki farklı k de erine göre ısı

veriminin de i imi verilmi tir, özgül ısıların oranı azaldıkça ısı verim de azalır. Buji ate lemeli motorların ısı verimi %25-30 aralı nda de i mektedir [42].

deal dizel çevriminde de benzer durumlar geçerlidir. Çevrim verimini etkileyen özgül ısıların oranı k ile kesme oranı r_k 'dır. Buna göre kesme oranı küçüldükçe çevrim verimi yükselir, ekil 3.2. Dizel motorları daha yüksek sıkı tırma oranlarında çalı tı ndan daha yüksek ısı verime sahiptir. Sıkı tırma ile ate lemeli motorların (dizel) ısı verimi %30-40 aralı nda de i mektedir.



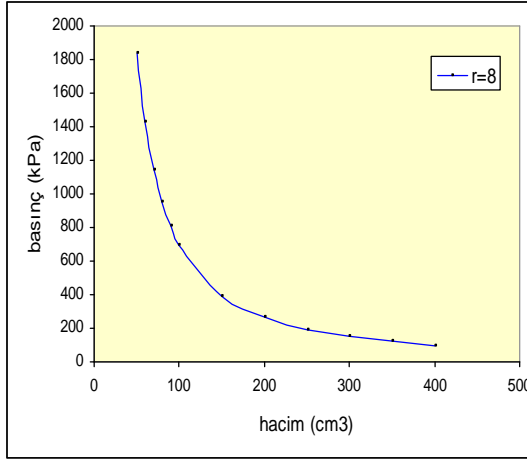
ekil 3.2. deal Dizel çevrimi ısı veriminin sıkı tırma oranıyla de i imi, kesme oranının verime etkisi.

Görüldü ü üzere sıkı tırma oranı arttı nda içten yanmalı motorların verimleri de artmaktadır. Sıkı tırma oranı her ne kadar bazı motor tasarımlarında de i tirilebilir hale getirilse de yaygınlık kazanmamı tır. Genel olarak bu oran yapısal olarak sabit olacak ekilde, motorun tasarım ba langıcında belirlenmektedir. Bundan sonra da genel olarak de i tirilemez bir özellik kazanmaktadır. Bu nedenle, motordan maksimum verim alabilmek için motor tasarımının ba langıcında mümkün olan en büyük ve uygun sıkı tırma oranı seçilmelidir.

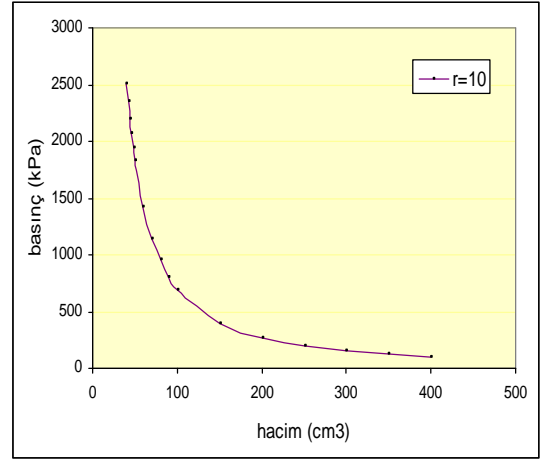
Sıkı tırma oranı r de i iminin sıkı tırma sonucu basıncına etkisi ekil 3.3'te verilmiştir. Teorik olarak sıkı tırma sırasındaki gazın durumu, adyabatik durum de i imini veren E itlik 3.5 yardımıyla hesaplanabilir.

$$P.V^k = m.R.T \quad (3.5)$$

E itlik 3.5'te P gazın basıncını (Pa), V gazın hacmini (m^3), k özgül ısılar oranını, m gazın kütlesini (kg), R ideal gaz sabitini (J/kgK), T ise gazın sıcaklığını (K) ifade eder.



(a)



(b)

ekil 3.3. Sıkı tırma oranı r de i imi ve sıkı tırma zamanı sonu basıncına etkisi a) $r=8$, b) $r=10$).

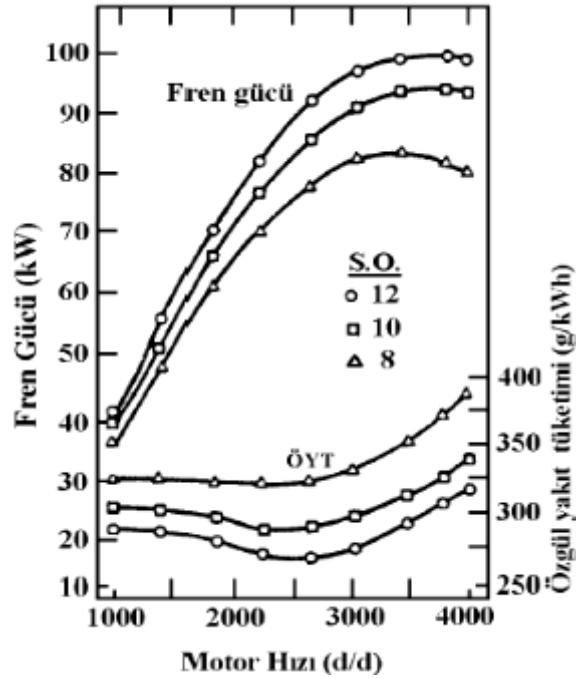
Buna göre 100 kPa giri basıncına sahip hava, sıkı tırma oranı $r=8$ oldu unda sıkı tırma sonu 1838 kPa de erine, sıkı tırma oranı $r=10$ oldu unda 2512 kPa de erine ve sıkı tırma oranı $r=20$ oldu unda ise 6628 kPa de erine ulaşmaktadır. Sıkı tırma sonu basıncının yüksek olması yanma sonu basıncının da yüksek olmasını sağlar. Bu nedenle zamanında pistonu etkileyen kuvvet artmaktadır. Pistonu daha büyük kuvvetle alt ölü noktaya doğru iterek yüksek tork üretilmektedir.

Buji ile ate lemeli motorlarda sıkı tırma oranı yakıtın vuruntu sınırı ile belirlenmektedir. Sıkı tırma oranının yüksek tutulduğu nokta yakıtın kendi kendine tutulması ve ate leme yapıldıktan sonra yanma odasının ç e itli noktalarından kendi

kendine yanma ba latmadan vuruntu yapmayaca ı son noktaya kadar ayarlanmaktadır.

Dizel motorlarda ise sıkı tırma oranı is sınırı ile belirlenmektedir. Sıkı tırma oranı yüksek tutuldu u nokta yakıtın kendi kendine tutu aca ı ve ate leme yapıldıktan sonra yanma odasının çe itli noktalarından kendi kendine yanma ba latmadan vuruntu yapmayaca ı son noktaya kadar ayarlanmaktadır.

Sıkı tırma oranının artırılması ate leme noktasında hava-yakıt karı ımının yo unlu unu artırdı ından aç ı a çıkacak enerji daha faydalı kullanılabilmekte ve ısıl verim ve güç artı ı sa lanabilmektedir.



ekil 3.4 Motor gücü ve özgül yakıt tüketiminin sıkı tırma oranı ile de i imi [43].

ekil 3.4'te buji ile ate lemeli bir motorun tam yük testinde, üç farklı sıkı tırma oranı için motor gücünün de i imi verilmi tir. özgül yakıt tüketiminin motor hızı ile de i imi de görülmektedir. Sıkı tırma oranı artı ıyla birlikte fren gücü artarken özgül yakıt tüketimi azalmaktadır [43].

Sonuç olarak, sıkı tırma sonu basıncın yüksek olması motor verimini olumlu yönde etkilediğinden, mümkün olan en büyük sıkı tırma oranı seçilmelidir.

3.2. VOLÜMETRİK VERİM

Motorların ideal çevriminde, emme zamanında silindire giren gazların ideal gaz olduğu kabul edilmektedir. Oysa gerçekte emme sonunda silindir içinde taze hava veya hava-yakıt karışımı ile birlikte daha önceki çevrimden artık gazlar bulunur. Dolayısıyla artık gazların miktarı kadar daha az dolgu, silindire taze olarak girmektedir. Ayrıca, artık gazların ve silindir yüzey sıcaklığının etkisiyle taze dolgu ısınarak genişler ve silindire genişleyen hacim kadar taze dolgu miktarı az alınmaktadır [44].

Kelime olarak hacimsel anlamı olsa da volümetrik verimin tanımı küteseldir [45]. Pistonun boşalttığı hacimdeki kütle, teorik olarak alınması gereken dolgu miktarı olarak kabul edilir. Bu durumda, emme zamanında silindire alınan taze dolgu kütesinin, ideal olarak alınabilecek dolgu kütesine oranı volümetrik verim olarak tanımlanmaktadır, Eşitlik 3.6.

$$\eta_v = \frac{m_d}{m_h} = \frac{m_d}{\rho_h \cdot V_h} \quad (3.6)$$

Burada,

η_v volümetrik verimi,

m_d silindire alınan taze dolgu kütesini (kg),

m_h teorik olarak silindire alınabilecek dolgu kütesini (kg),

ρ_h silindire alınan dolgu yoğunluğu (kg/m³),

V_h emme hacmini (m³)

ifade etmektedir.

3.3. DOLDURMA VERİMİ

Doldurma verimi, supap bindirme periyodu büyük olan motorlar için kullanılmaktadır. Silindirde net olarak kalan taze dolgunun teorik dolgu kütlelerine oranı doldurma verimi olarak adlandırılır ve E itlik 3.7 ile ifade edilmektedir [45].

$$\eta_d = \frac{m_{ds}}{m_h} = \frac{m_{ds}}{\rho_h \cdot V_d} \quad (3.7)$$

Burada;

m_{ds} silindir içindeki sıkı tırma ba langıcındaki net taze dolgu kütlelerini (kg)

m_h kurs hacminde d yo unlundaki teorik dolgu kütlelerini (kg) göstermektedir.

Egzozuna az dolgu kaçıran 4 zamanlı motorlarda; $\eta_d \cong \eta_v$ olarak yazılabilir.

Doldurma verimi motorlarda genel olarak a a ıdaki de erlere sahiptir:

Otto	0,70-0,85
Yava Dizel	0,90-0,95
Hızlı Dizel	0,80-0,92

3.4. SÜPÜRME ORANI

Dört zamanlı motorlarda supap bindirmesi anında bir miktar taze dolgunun kaybedilmesi olayıdır. Bu motorlarda bir miktar so utmayı da amaçlayan bu süpürme i lemi için süpürme oranı adı verilmekte ve E itlik 3.8 ile ifade edilmektedir [44].

$$\eta_{so} = \frac{m_{ds} + m_{dk}}{m_h} \quad (3.8)$$

Burada;

m_{ds} silindir içindeki sıkı tırma ba langıcındaki net taze dolgu kütlelerini (kg)

m_{dk} egzozu kaçıran taze dolgu kütlelerini (kg),

m_h kurs hacminde d yo unlundaki teorik dolgu kütlelerini (kg) ifade etmektedir.

3.5. DOLGU TUTMA VERİMİ

Özellikle standart motorlardaki emme supabının açılıp kapanma zamanları sabit oldu undan, maksimum tork devrinin altındaki devirlerde bir kısım dolgu emme supabından geri kaçmaktadır. Maksimum tork devrinin üstündeki hızlarda ise bir kısım dolgunun silindire girmesine müsaade edilmez. Maksimum dolgu tutma verimi maksimum tork devrinde sa lanır. Dolgu tutma verimi, emme ve egzozuna taze dolgu kaçıran motorlarda kullanılmaktadır, E itlik 3.9 [44].

$$\eta_{dt} = \frac{m_{ds}}{m_{ds} + m_{dk}} = \frac{\eta_d}{\eta_{so}} \quad (3.9)$$

m_{ds} silindir içindeki sıkı tırma ba langıcındaki taze dolgu kütlesini (kg),

m_{dk} egzozu kaçıran taze dolgu kütlesini (kg),

η_d doldurma verimini,

η_{so} süpürme oranını ifade etmektedir.

3.6. VOLÜMETRİK VERİM ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Motor performansının artırılmasında etkili olan unsurlardan birisi de volümetrik verimin daima üst seviyede tutulmasıdır. Volümetrik verimin artırılması, bu verimi etkileyen faktörlerin iyile tirilmesi ile sa lanabilir.

Volümetrik verimi etkileyen faktörler;

- Yakıt- hava oranı
- Yakıtın cinsi, buharla an yakıtın yüzdesi
- Karı ımın sıcaklı ı, buharla ma ısısı ve cidarlara olan ısı transferi
- Sıkı tırma oranı
- Piston hızı
- Egzoz basıncı
- Emme basıncı
- Kom u silindirin mü terek manifold olu turdu u etki

- Supap zamanlaması
- Supap bindirmesi
- Tasarım kaynaklı faktörler
- Port ve manifold tasarımı
- Kam geometrisi
- Supap geometrisi
- Supap sayılarıdır.

Burada sayılan faktörler, oldukça etkili olan faktörlerdir. Yakıt buharının artması içeriye alınacak karıımı azaltmakla birlikte silindirdeki buharla manın etkin kullanımı ile volümetrik verim artırılabilir. Bu amaçla yarı otomobillerinde metanol veya su gibi buharla ma ısısı yüksek sıvılar püskürtülmek suretiyle volümetrik verim artırılmaktadır [41,44,45].

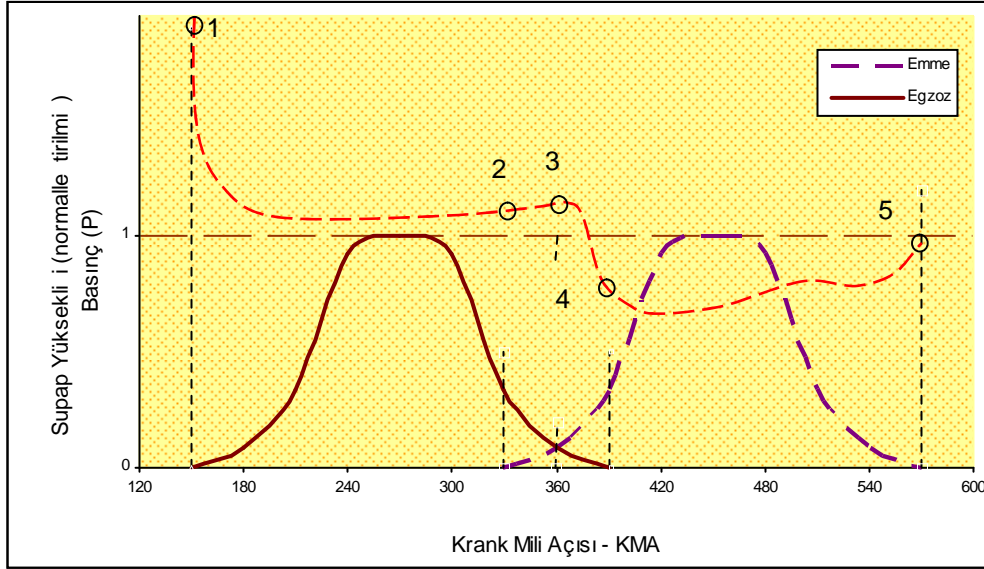
3.7. GERÇEK ÇEVİRME DOLGU DEĞERİM OLAYLARI

Çalışan bir motorda emme, sıkı tırma, i ve egzoz olayları, ideal çevrimdeki olaylardan oldukça farklıdır. deal çevrimde ısı verimin hesaplanmasında kabul edilen varsayımlar, gerçek çevrimde daha farklı gerçekle mektedir. Gerçek çevrim verimi daima teorik çevrim veriminden küçüktür. Bu nedenle, bir motorun verimini do rudan etkileyen dolgu de i im olaylarının volümetrik verim üzerindeki etkisi çok büyüktür.

çten yanmalı motorlarda emme zamanında silindire taze dolgu alınmaktadır. Emme olayı egzoz olayı ile do rudan ba lantılı olup her ikisine birden gaz de i imi olayı adı verilmektedir. Emme ve egzoz olaylarının olu umunu kapsayan gaz de i im olayında supapların açılıp kapanma diyagramı ile açık indikatör diyagramı ekil 3.5 ve 3.6'da görülmektedir.

Gaz de i imi olayında egzoz supabının açılı ı 1 noktası ile, emme supabının açılı ı ise 2 noktası ile gösterilmiştir. Emme supabı 5 noktasında, egzoz supabı ise 4 noktasında kapanmaktadır. Emme hattındaki basınç atmosferik basınçtan dü ük olup, motorun devrine, sistemi olu turan elemanlarda meydana gelen sürtünme

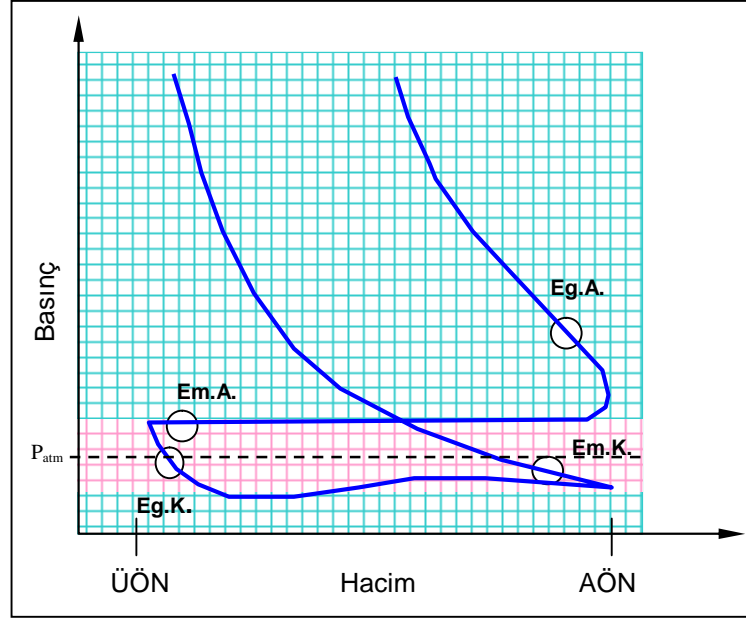
kuvvetlerine, emme manifoldunun giri inden supaba kadar olan kanalın kesit alanına ve taze dolgunun yoğunluğuna bağlıdır [44]. Emme hattında basınç düşmesine sebep olan elemanlar sırasıyla; hava filtresi, emme kanalı, karbüratörlü motorlar için venturi bozucu, gaz kelebeği, emme manifoldu ve emme supabıdır.



Şekil 3.5. Dört zamanlı bir motorda emme ve egzoz olayları ve açık indikatör diyagramı [44].

Emme supabı açıldığında silindir içerisine atmosfer basıncından daha düşük bir basınçta emme işlemi gerçekleşmektedir. Şekil 3.6'da AÖN ile ÜÖN arasında gerçekleşen gaz değişimi olayına ait indikatör diyagramı gösterilmiştir.

Supapların açılı ve kapanma hareketleri oldukça yavaş ve atalet kuvvetleri de olabildiğince küçüktür [44]. Emme ve egzoz supaplarının açılı ve kapanma zamanları, gazların atalet kuvvetlerine en uygun cevap verecek zamanlamada gerçekleşmesi arzu edilir.



ekil 3.6. Gaz de i im olaylarına ait indikatör diyagramı.

Egzoz olayı, AÖN'den devir sayısına ba lı olarak 40-60° KMA önce ba lamaktadır. Bu andan itibaren egzoz gaz basıncı atmosfer basıncından biraz yüksek oldu u için gazlar silindiri kendili inden terk etme e ilimindedirler. Egzoz supabının açılmasıyla bir kısım gaz dı arıya çıkıp geni lerken, bir kısım gaz ise silindirde kalıp çıkanları dı arıya iterek geni lemektedir. İlk çıkan gazlar 100-200m/s gibi çok yüksek hıza sahiptirler. Akı kanın sahip oldu u büyük hız ve türbülans bu gazların sürtünmelerle egzoz borusunda biraz daha ısınmasına yol açmaktadır. Aynı egzoz strokunda arkadan gelen gazların hızı daha dü üktür. Dolayısıyla bunlar ilk çıkanlara göre daha az ısınırlar. Kısılma olayı tersinmez oldu undan çıkan gazların ortalama sıcaklı ı silindirde kalan gazların sıcaklı ından yüksektir [45]. Silindirin bo alması pistonun ÜÖN'ye ula masına kadar devam eder. Egzoz supabı ÜÖN'den 10-15° KMA sonra kapanır ve egzoz zamanı sonlanır.

Emme olayı ise egzoz zamanı sonuna do ru, ÜÖN'den 10-20° KMA önce ba lar. Bu süreçte her iki supap da kısa bir süre birlikte açık kalır; bu olay supap bindirmesi olarak adlandırılmaktadır. Bu sırada artan gazlar atmosfer basıncına kadar geni ler. Bundan sonra atmosfer basıncından dü ük bir basınçla taze dolgu emme supabındaki ve emme manifoldundaki kayıpları yenerek AÖN'ye kadar silindir içerisine girer. Emme zamanında silindire giren dolgunun AÖN'deki basıncı, emme basıncı olarak

tanımlanır. Bu basınç de eri emme supabı ve kanalındaki akı kan kayıplarına ba lıdır. ndikatör diyagramında görüldü ü üzere emme zamanına ait e ri atmosfer basıncının altındadır. Basınç azalması emme zamanı ortalarında maksimum olur ve de eri piston hızına ba lı olarak de i ir. Emme olayı, AÖN'den 50-75° KMA kadar sonra, emme supabının kapanmasıyla son bulur [44]. Emme basıncı; E itlik 3.10 ile ifade edilmektedir.

$$P_{em} = P_{atm} - P_{em} \quad (3.10)$$

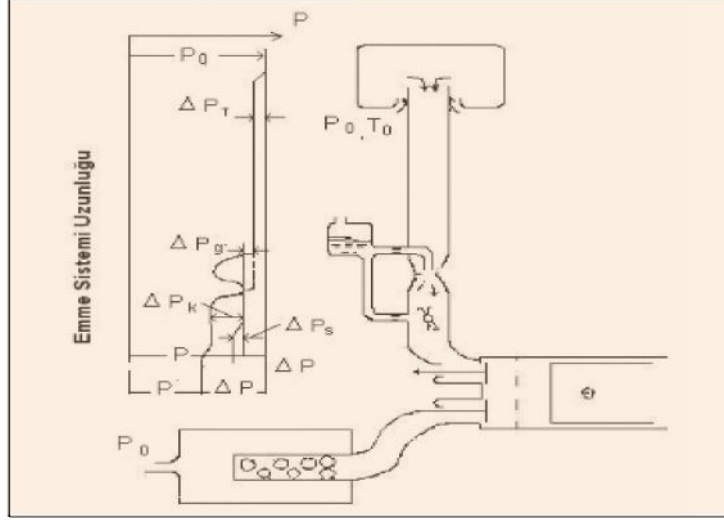
Burada, P_{em} emme basıncını, (Pa), P_{atm} atmosfer basıncını (Pa) ve ΔP_{em} (Pa) ise emme zamanındaki basınç azalmasını ifade etmektedir. Emme basıncı de eri ortalama olarak p_{atm} de erinin %85-90'ı kadardır.

çten yanmalı motorlarda silindire alınan dolgu; kanallar, supaplar ve odalardan geçerken sürtünme, basınç ve atalet kuvvetlerinden etkilenmektedir. Bu yerler arasındaki önem hız, pürüzlülük, büyüklük ve tasarım gibi parametrelerle de i mektedir.

Atmosferden silindir içersine dolgu akı ı esnasında her noktada basınç biraz dü mektedir. çten yanmalı motorların yapıları gere i emme sisteminde basınç dü ü lerine neden olan elemanlar mevcuttur. Bu elemanlar hava filtresi, manifold gövdesi, gaz kelebe i, emme ve egzoz supapları ile susturuculardır. Emme sistemindeki basınç kayıpları ekil 3.7'de gösterilmi tir.

Emme sistemi kayıplarından bahsedildi inde dolgunun maruz kaldı ı dinamik etkiler; piston hızı, supap, akı kesit alanının de i imi ve geometrik ekil nedeniyle meydana gelen de i imler ile sürekli olmayan akı a ba lı basınç de i imleridir. Literatürde, volümetrik verimi etkileyen esas basıncın emme supabı kapanmasına yakın olan zaman dilimindeki basınç de eri oldu u gösterilmi tir. Yüksek motor hızlarında emme supabının kapanma hareketi sırasında dolgu hızı azalma e ilimi gösterir, giri kanalında yı ılma meydana gelir ve basınç artar. Supap arkasında olan bu yı ılmadan istifade etmek mümkündür. Bunun için emme supabının kapanması geciktirilirse silindire dolgu giri i hızlanır ve volümetrik verim artar. çeriye hava

girdikçe basınç dengesi sağlanır ve bir süre sonra giriş yavaşlar. Emme supabı tam bu denge konumunda kapatılmalıdır [41,44].



ekil 3.7. Emme sistemindeki basınç kayıpları [41,44].

Burada;

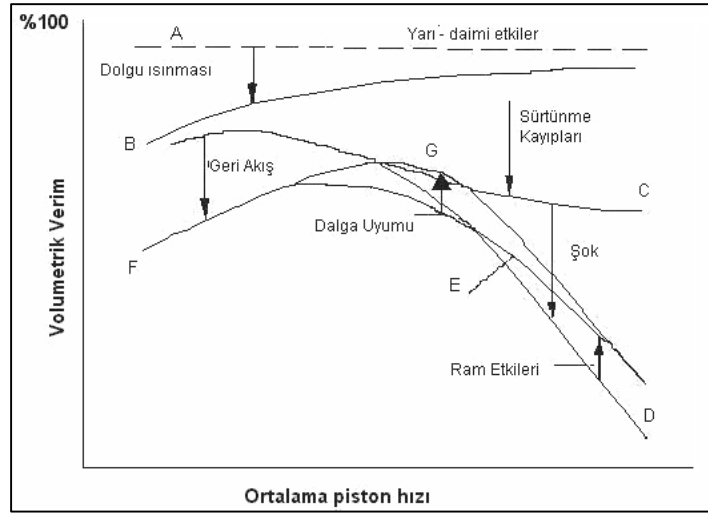
- P_T taze havanın basınç kaybını,
- P_g ventürideki basınç kaybını,
- P_k gaz kelebeğindeki basınç kaybını,
- P_s supaplarda oluşan basınç kaybını ifade etmektedir.

Kam profil tasarımı yüksek hızlardaki bu durumdan istifade edilecek şekilde yapılırsa düşük devirlerde söz konusu basınç farkı yüksek olmayacağından silindirdaki taze dolgu piston AÖN'ü geçtikten sonra manifolda kaçır ve volümetrik verim düşer. Yüksek devirlerde dolgu verimini arttırmak için supap kapanması geciktirilen motorun, düşük devirlerinde dolgu kaçıracağından dolayı volümetrik verimi düşer. Düşük devirlerde dolgu kaçırmayacak bir supap kapanma derisinde ise yüksek devirlerdeki manifold basıncından yeterince fayda sağlanamaz. Volümetrik verim düşer.

Dolgu akışı esnasında volümetrik verimi etkileyen bir başka faktör emme sisteminde oluşan dalga uyumudur. Silindire giren dolgunun oluşturduğu genleşme dalgaları emme manifoldundan geri yansır ve silindire doğru hareketlenirler. Bu dalgaların

zamanlaması iyi yapılırsa yani alternatif basıncın maksimum değeri uygun supap pozisyonunda sağlanırsa emme basıncı nominal değerin üzerine çıkar ve volümetrik verim artırılabilir.

Volümetrik verimi etkileyen faktörler ekil 3.8’de gösterilmiştir. Buna göre dolgu veriminin başlangıç değeri %100 olarak kabul edilmiştir. Sonra sırasıyla verimi olumsuz etkileyen her faktör, volümetrik verimi düşürecek yönde etki etmiştir varsayılmaktadır. Buna göre verim değeri; hızla bağımlı olmayan etkiler nedeniyle A değerine, dolgunun ısınması ile B değerine, sürtünme kayıpları nedeniyle C değerine, düşük hızlardaki emme geri akışı ve yüksek hızlardaki supap geçi kesitinin yola açılması etkileri nedeniyle F ve D değerlerinin bulunduğu seviyelere iner. Dinamik etkiler ile dalga uyum etkilerinin pozitif olacak şekilde kullanılması durumunda F-G değerinin, motorun volümetrik verim değeri olarak elde edileceği vurgulanmaktadır [46].



Ekil 3.8. Emme sistemindeki basınç kayıplarının piston hızı ile ilişkisi [41,46].

Motorun tüm devirlerinde maksimum volümetrik verim elde etmenin yolu tam esnek supap ayarlamasına imkan tanıyan EMS sistemlerinin geliştirilmesi ile sağlanabilir. Supap sistemleri üzerine yapılan çalışmalar bu tip esnek sistemler üzerine yoğunlaşmıştır.

BÖLÜM 4

SUPAPLAR, SUPAP SÜRTÜNMESİ , SUPAP ZAMANLAMASININ ETKİLERİ VE SUPAP AYARLAMA SİSTEMLERİ

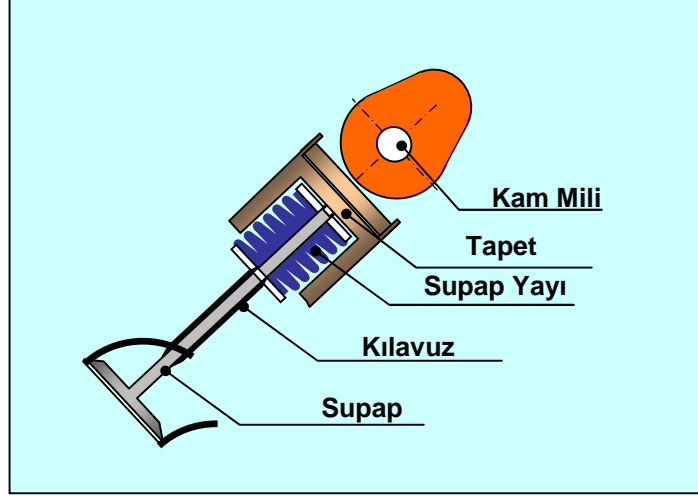
4.1. SUPAPLAR

İçten yanmalı motorlarda silindir içine gaz girişi çıkışı olaylarını kontrol etmek üzere supap sistemi kullanılır. Buji ile ateşlemeli motorlarda yakıt hava karışımının, sıkı tırma ile ateşlemeli motorlarda ise yalnız havanın emme zamanında silindire alınmasını sağlar. Yanma zamanında silindir girişi çıkışı kanallarını kapatarak sızdırmazlığı temin eder. Emme zamanının sona ermesiyle birlikte, yanma sonunda oluşan egzoz gazlarının silindirden egzoz manifolduna geçmesine izin verir. Bu sayede gaz girişi çıkışı olaylarını kontrol ederek zamanların oluşumunda doğrudan rol oynar [43-50].

Motorda verim artışı, silindirde meydana gelen dolgu defektleri ile yakından ilişkilidir. Her bir silindir için ikiden fazla supap kullanılması bir taraftan supapların daha yumuşak açılıp kapanmalarını sağlarken diğer taraftan daha iyi soğutulmalarına da zemin hazırlar. Supap sayılarındaki artış, ivmeyi artırarak gazların daha çabuk yüksek hızlara geçmesini sağladığından türbülans oluşumunu iyileştirir, akışkan sürtünmesini azaltır ve yanma veriminin artmasını sağlar. Yüksek devirlerde zamanların oluşması için ayrılan süre çok kısaldığından silindirlerin doldurulmasını ve egzoz gazlarının boşaltılmasını kolaylaştırır.

Dört zamanlı, içten yanmalı motorlarda kullanılan en yaygın supap tasarımı; kam mili ile tahrik edilen mantar tipi supap tasarımıdır. Bu tasarımda supap, supap tablası ve supap sapı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Üretim maliyetlerinin düşük olması, akışkan karakteristiklerinin ve sızdırmazlık özelliklerinin iyi olması, yalamamanın kolay yapılması ve ısının silindir kapağına iyi iletilmesi bu tasarımı öne çıkaran en belirgin

özelliklerdir. Temel olarak supap sistemini oluşturan parçalar ekil 4.1’de verilmiştir.

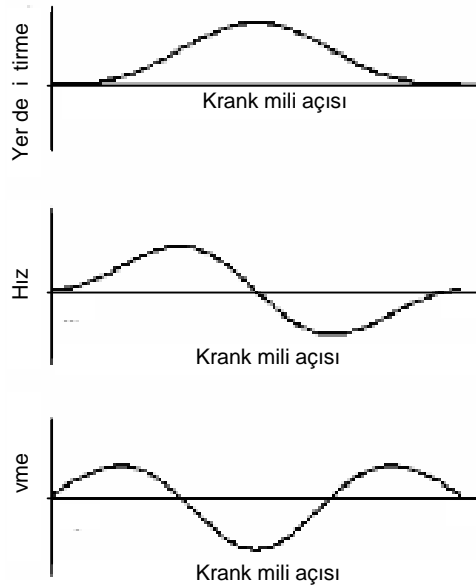


ekil 4.1. Standart supap sistemi parçaları.

Buna göre; supaplar krank milinden hareket alan kam mili ile tahrik edilir. Kam mili üzerinde bulunan kam çıkıntıları ve yaylar tarafından supapların açılıp kapatılmaları sağlanır. Supabın açılması sırasında kam burnu bir taraftan yayı sıkı tutarken diğer taraftan da supabı sap kısmından iter. Ekseni doğrultusunda harekete zorlanan supap, silindir kapağında bulunan oturma yüzeyinden uzaklaşır. Uzaklaşma hareketi kam burnunun maksimum yüksekliğe ulaşmasına kadar devam eder. Kam milinin dönüşüyle birlikte, yükselme sona erdiğinde supap maksimum açıklığa ulaşmış demektir. Kam milinin dönüşü sırasında kam yüksekliği sabit olduğu müddetçe supap, tam açık konumunu sürdürür. Daha sonra, kam milinin dönüşü ve kam burnu yükselmesinin azalması ile birlikte yay açılmaya fırsat bularak üzerindeki potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye dönüştürür ve supabı kam yüzeyine bastırır. Supap kam profilini takip eder ve kam ökçesi supap sapı ile aynı doğrultuya geldiğinde supap, yay tarafından silindir kapağındaki oturma yüzeyine bastırılır. Bu durumda supap sızdırmaz bir şekilde yerine oturur ve silindir ile manifold arasındaki bağlantıyı keser. Kam milinin dönmeye devam etmesiyle kam ökçesi tekrar yükselmeye, supap da tekrar açılmaya başlar. Supabın açılıp kapanma olayları sürekli tekrar eder ve bu şekilde silindire gaz giriş çıkış olayları sürekli kontrol edilir.

4.2. STANDART SUPAP S STEM NDE KONUM, HIZ VE İVME L K S

Standart motorlarda kam profilinin ekli supabın yer de i tirme grafi ini belirler. Emme zamanında piston AÖN'ya inerken, arkasında bıraktı ı bo lu u taze karı m dolduracak ekilde emme supabı açılma hareketi sergiler. Supap hareket profilinde, hızlanma e risinin yava lama e risine oranı daima sabittir. ekil 4.2'de standart supap mekanizmasının sahip oldu u konum, hız ve ivme grafikleri görölmektedir [41]. Ba langıç konumunda hız da ivme de sıfır de erine sahiptir. Supap kam etkisiyle birlikte ba langıç konumundan itibaren hızlanarak açılmaya ba lar, hareket mesafesin yarısını kat etti inde maksimum hıza ula ır. Bu zaman süresince ivme önce maksimum de erine ula ır daha sonra yava lama ivmesine dönü erek hızın maksimum oldu u noktada ba langıç de eri olan sıfır de erine sahip olur. Buraya kadar ivme daima pozitif de erdedir ve atalet kuvvetleri supaba etki ederek kama do ru bastırır; supap kam üzerinden ayrılmaz.



ekil 4.2. Supap yer de i tirme, hız ve ivme grafikleri [41].

Sonraki bölüm, supabın orta konumdan tam açık konuma geçi bölümüdür. Bu sırada hız grafi i yava lama profiline sahiptir. Orta konumda maksimum hız de erine sahipken tam açık konuma ula tı nda sıfır de erine dü er. Bu zaman süresince ivme daima negatif yöndedir ve hareket halinde bulunan elemanların atalet kuvvetleri bu

elemanları kamdan uzakla tırma yönünde etki ederken supap yayı bu elemanların kamdan ayrılmasını önleme yönünde etki eder.

Supap maksimum kursuna yani tam açık konuma eriştikten sonra kam profiline bağlı olarak ya bir müddet tam açık konumda kalır ya da maksimum kursa ulaşır ulaşmaz geri dönerek kapanma periyoduna geçer. Kapanma periyodunun ilk yarısında öncelikle hız sıfırdan maksimum değerine ulaşır. Bu sırada ivme negatiftir. Supap maksimum hızdan sıfır hızına geçerken tekrar pozitif ivme ile hareket eder. Kam tasarımında pozitif ve negatif yönlerdeki ivmelerin mutlak değerleri büyük önem taşır. Pozitif yöndeki maksimum ivme kam üzerindeki basıncı belirlerken, negatif yöndeki maksimum ivme ise seçilecek yayın kuvvetinin belirlenmesinde etkili olur. Bu nedenle kam profili tasarımında pozitif ve negatif yönlerdeki ivmelerin maksimum değerleri arasındaki fark mümkün olan en düşük değerde tutulmaktadır.

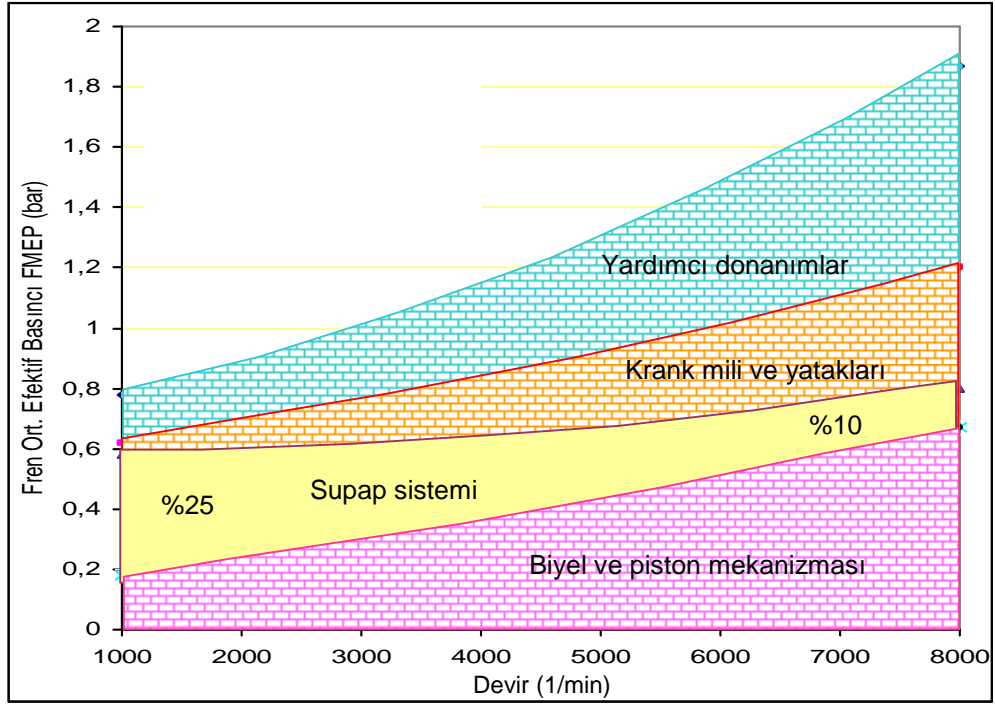
4.3. SUPAPLARIN SÜRTÜNME KAYIPLARI ÜZERİNE ETKİSİ

Çıtten yanmalı motorlarda, motor milinden alınan faydalı işin, bu işin elde etmek için harcanan enerjiye oranı fren termik verimi olarak tanımlanır. Motora verilen yakıtın sahip olduğu enerjinin mekanik enerjiye dönüşümü sırasında bir takım kayıplar meydana gelir. Bu kayıplar; ısı, mekanik ve akışkan kayıplarıdır. Fren termik veriminin artırılması, bu kayıpların toplam kayıp içindeki büyüklüklerinin bilinmesi ve paylarının azaltılması ile sağlanabilir. Toplam kayıplar içindeki büyüklüklerin bilinmesi, yapılacak iyileştirme geliştirme faaliyetleri sonrasında başarılarının tespitinde ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde büyük önem taşır. Bu nedenle supap sisteminden kaynaklanan kayıpların da burada belirtilmesinde fayda vardır.

Silindir içerisine sürülen ısının yaklaşık olarak % 30'luk bir kısmı egzoz gazları yoluyla kaybedilirken diğer bir kısmı da radyasyonla kaybedilmektedir. Çalışan motor parçaları arasında oluşan sürtünmeler, emme ve egzoz kanallarındaki akışkan kayıpları ile su pompası, yağ pompası gibi yardımcı motor elemanlarından kaynaklanan sürtünmeler yaklaşık olarak kayıpların % 10'unu oluşturur. Isının geriye kalan kısmı da faydalı iş olarak motor milinden alınır [44].

Standart bir motorda, mekanik parçalar arasında oluşan sürtünme kayıpları mekanik kayıplar olarak adlandırılır. Bu kayıpların dağılımı incelendiğinde piston, segman, biyel ve silindir yüzeyi arasında meydana gelen kayıplar %50 ile birinci sırada yer alır. Supap sisteminden kaynaklanan sürtünme kayıpları %25 ile ikinci sırada, yardımcı sistemlerin kayıpları %15 ile üçüncü sırada ve krank mili yataklarından kaynaklanan sürtünme kayıpları da %10 ile son sırada yer alarak mekanik sürtünme kayıplarını oluşturur [38].

Şekil 4.3'te, bir motorun değişik devir durumlarında sürtünme kuvvetlerinin büyüklükleri verilmiştir. Sürtünme kayıplarının motor yük ve hız durumuyla ilişkisi incelendiğinde, yük ve devir artışıyla birlikte supap sisteminden kaynaklanan sürtünme kuvvetleri de önemli oranda artış gösterir.



Şekil 4.3. Mekanik sürtünme kayıplarının motor devri ile değişimi [51].

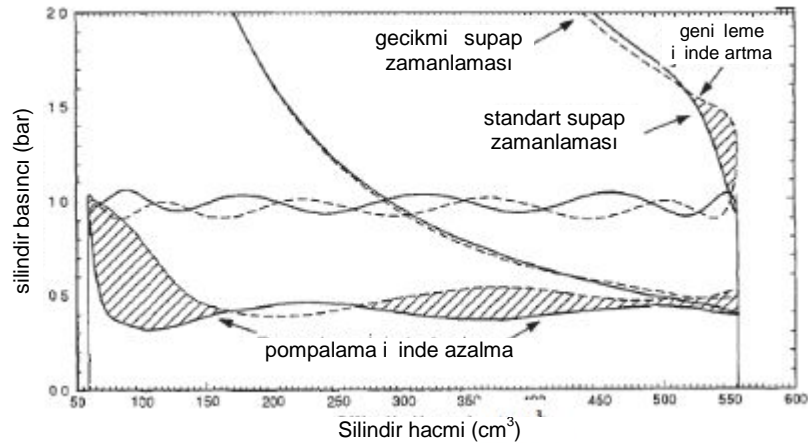
Sürtünme kayıpları genel olarak incelendiğinde supap sistemi dışında kalan sistemlerin yol açtığı sürtünme kayıplarının motor devri yükseldikçe artan ve genişleyen bir grafik oluşturmasına karşılık supap sistemi kaynaklı sürtünme kayıplarının da devir yükselmesiyle birlikte artan, fakat daralan bir grafik

olu turdu u; toplam sürtünme kayıpları içindeki payının da bu daralmaya paralel olarak %25 seviyelerinden %10 seviyelerine indi i görülür. Sonuç olarak Supap sisteminden kaynaklı kayıpların en aza indirilmesi mekanik verimi artırmaktadır.

4.4. SUPAP ZAMANLAMASININ ETKİLERİ

4.4.1. Emme ve Egzoz Zamanlarının Geciktirilmesi

Her iki supap zamanlamasının aynı anda gecikmeye alınması daha çok tek kam mili ile işletilen supap mekanizmaları için uygundur. Özellikle kısmi yüklerde kam milinin geciktirilmesi/rötara alınması ile supap bindirmesi gecikir. Bu gecikme taze dolgu içindeki art gaz miktarını artırır. Bu sayede kirletici emisyonlar ve pompalama kayıpları azalır, geni leme i i artar. ekil 4.4'te emme ve egzoz zamanlamasının, standart supap zamanlamasına göre geciktirilmesinin indikatör diyagramı üzerindeki etkileri görülmektedir. yi bir de erlendirme yapabilmek amacıyla standart supap zamanlamasında elde edilen indikatör diyagramı da aynı grafik üzerinde verilmiştir.



ekil 4.4. Kısmi yüklerde 30° KMA gecikmi emme ve egzoz supap zamanlamasının standart supap zamanlaması ile karşılaştırılması [41].

Kam milinin geciktirilmesi ile bindirme zamanı da geciktirilir. Emme zamanında piston AÖN ya doğru ilerlerken egzoz supabı hala açık konumda, emme supabı ise henüz kapalı konumdadır. Emme zamanında pistonun AÖN ya doğru hareketi ile birlikte egzoz manifolduna pompalanan gazın bir kısmı silindire geri döner. Daha

sonra emme supabının açılmasıyla alınan taze dolgu içindeki yanmı gaz yüzdesi artarak dâhili Egzoz Gazları Resirkülasyonu (EGR) i lemi gerçekte tirilir. Bu olay üç temel sonucu do urur.

- Bunlardan birincisi, egzoz zamanının sonlarına do ru yüksek oranda yanmamı olan HC molekülleri, silindire alınıp takip eden çevrimde yanmaya kar ır; bu sayede emisyonlar içerisindeki HC oranının azalır.
- kincisi; silindir içine geri dönen artık gazlar, yanma sonu maksimum sıcaklı ı dü ürür ve NOx olu umunu engeller.
- Üçüncüsü; emme manifolduna geçen gazlar takip eden emme zamanında silindir içi basıncı bir miktar artırır. Artan emme basıncı pompalama i ini azaltır.

Di er taraftan kam milinin geciktirilmesi ile emme supabı daha geç kapatılır. Sıkı tırma zamanında bir miktar dolgu emme manifolduna pompalanarak kar ı i i azaltır. Bu olay aynı zamanda manifold içi basıncın bir miktar artmasına sebep olarak bir sonraki emme zamanında silindir içi basıncın artmasına yardım eder.

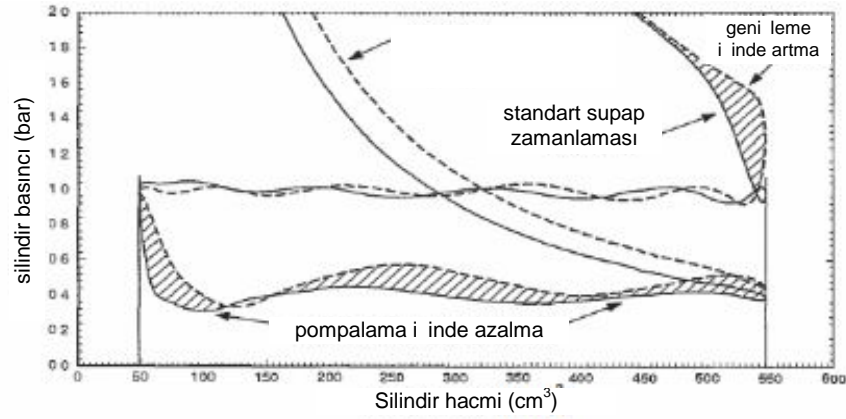
4.4.2. Egzoz Zamanının Geciktirilmesi

Supapların birbirinden ba ımsız olarak kaydırılması olayı çift kam mili ile donatılmı motorlara uygulanır. ekil 4.5'te standart supap zamanlamasına göre egzoz supabının geç kapatılmasının indikatör diyagramı üzerindeki etkileri görülmektedir.

Emme zamanında, piston AÖN ya do ru önemli oranda ilerlemi oldu u halde, egzoz supabı büyük miktarda açıklı ını korur. Böylece supap bindirmesi, emme zamanına do ru sarkar. Silindir ile manifold arası basınç farkı nedeniyle, egzoz manifolduna pompalanmı gazların bir kısmı silindir içine geri döner. Bu durumda silindir içi basınç standart motordaki basınca göre daha yüksek, atmosferik basınçtan daha dü üktür. Bu nedenle emme zamanındaki pompalama kayıpları azalır. Emme zamanında daha yüksek silindir içi basınç nedeniyle alınan dolgu miktarı artar ve sıkı tırma i i de buna paralel olarak bir miktar artar.

Standart supap zamanlamasıyla karşılaştırıldığında şu sonuçlar elde edilir:

- Yanmamı HC molekülleri silindire tekrar alınır, takip eden yanma işlemine dâhil olur ve egzoz emisyonları azalır.
- Yanma sonu maksimum sıcaklık düşürülerek NO_x emisyonları azalır.
- Emme zamanında eksoz manifolduna pompalanmış gazların bir kısmı silindire geri döner. Taze dolguya karşın artık gazlar silindir içi basıncı artırır. Emme zamanında silindir içi basıncın standart motora göre daha yüksek olması pompalama işinin azalmasına neden olur.
- Emme zamanında alınan dolgu miktarı standart motora göre daha yüksek oldu undan sıkı tırma işi bir miktar artar.



Şekil 4.5. Kısmi yüklerde 30°KMA gecikmiş egzoz supabı zamanlamasının standart supap zamanlaması ile karşılaştırılması [41].

4.4.3. Emme Zamanının Öne Alınması

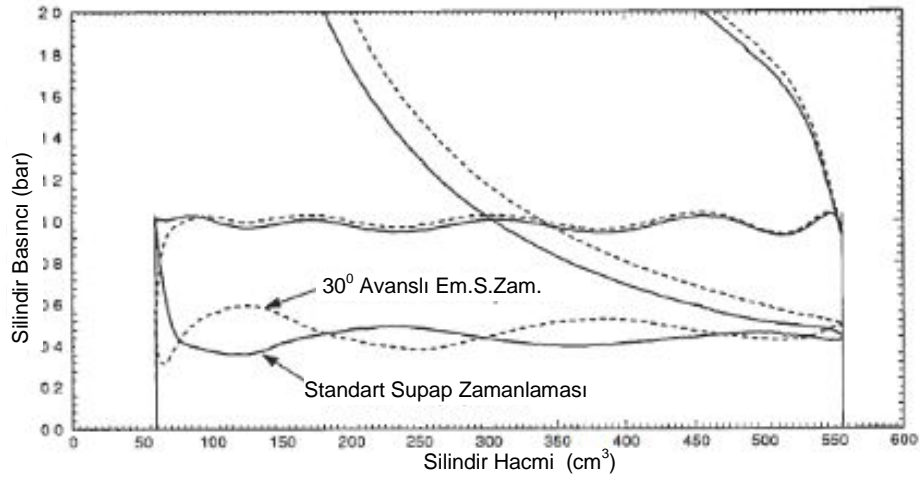
Kam miline avans verilerek emme supabının daha erken açılması sağlanabilir. Ancak bu işlem yapıldığında supabın kapanması da öne alınmış olur. Şekil 4.3'te emme supabı erken açılmasının indikatör diyagramı üzerindeki etkileri görülmektedir.

Emme supabının erken açılması amacıyla supap bindirmesi, egzoz zamanı içine doğru büyütülür. Egzoz işleminin sonlarına doğru emme supabı açılmaya başlar. Emme manifold basıncı düşük olduğundan, yanmış gazların bir kısmı egzoz manifoldundan silindir içine geri döner. Bunların bir kısmı da emme kanalına

geçerek emme manifoldu basıncını artırır. Diğ er taraftan, bu gazlar takip eden emme zamanında tekrar silindir içine alınırken nispeten yüksek emme manifoldu basıncı da piston üzerine pozitif etki eder ve pompalama iinin azalmasına neden olur. Ancak burada dikkati çeken bir durum, taze dolgu içerisindeki art gaz miktarıdır. Bu miktar oldukça fazladır ve emme zamanında silindire alınan dolgu sıcaklı mını yükseltir, bu sebeple de taze karı mın silindir içindeki yüzdesini düürür. Bu durum aynı zamanda sıkı tırma zamanında kendisini gösterir; sıkı tırma iini artırır.

Art gazlar içinde bulunan HC molekülleri, yeni çevrimde yanma olayına karıarak emisyonlar içerisindeki HC oranı azalır. Aynı zamanda taze karı m içinde bulunan art gazlar nedeniyle yanma sonu maksimum sıcaklı mın nispeten düük olması nedeniyle NO_x oluşumu da engellenmi olur. Böylece dahili EGR yapılarak emisyon kontrolü sağlanmı olur.

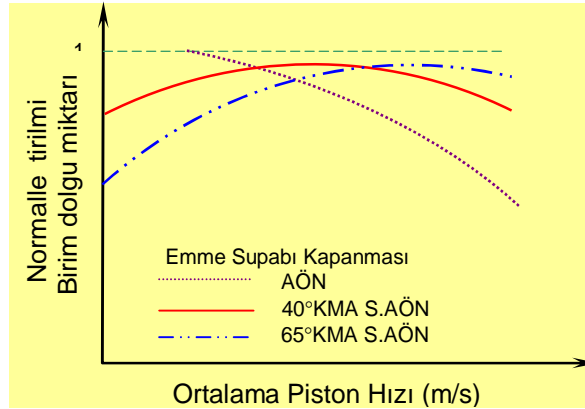
ekil 4.6'da emme supabının erken açılıp kapanmasının indikatör diyagramı üzerindeki etkileri görülmektedir. ndikatör diyagramından, emme supabının erken açılıp erken kapatılmasının pompalama kayıpları üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı, standart supap zamanlamasına yakın bir sonuç elde edildiği görülmektedir.



ekil 4.6. Kısmi yüklerde 30° avansa alınımı emme supap zamanlaması ile standart supap zamanlamasının karşılaştırılması [41].

4.4.4. Emme Supabının Geç Kapatılması

Emme supabı açılma noktasının sabit tutulup kapanma noktasının de ği tirildi ği bir motorda, dolgu miktarının ortalama piston hızı ile de ği ğimi ekil 4.7’de verilmi tir. Tam dolgunun yapıldı ğı maksimum seviye kesik çizgi ile temsil edilmektedir. Emme supabı açılma zamanı sabit olup, üst ölü noktadan 10° KMA öncedir. Buna göre; supabın alt ölü noktada kapatılması durumunda, motorun dü ğük devirlerinde maksimum dolgu miktarına ula ılabildi ği görölmektedir. Ortalama piston hızı, emme dolgusunun takip edebilece ği hızdadır. Ancak, piston hızının artı yla birlikte, silindire alınan dolgu miktarı azalır. Bu azalma silindir içine alınan dolgunun sahip oldu ğu ataletten kaynaklanır. Belirli bir piston hızından sonra emme dolgusunun piston hızına ula mada ğı, ba ka bir anlatımla pistonun akı kandan daha hızlı hareket etti ği söylenebilir. Sıkı tırma zamanı ba larında, emme supabı erken kapatılırsa taze dolgunun kinetik enerjisinden faydalanılamaz. Her ne kadar piston AÖN dan ÜÖN ya do ru hareketiyle birlikte, önündeki hacmi küçültmeye ba lasa dahi akı kan, sahip oldu ğu kinetik enerji nedeniyle silindir içine girmeye devam eder. Bu nedenle motorun kısmi yük ve üzerindeki çalı ma konumlarında, piston alt ölü noktayı belirli bir süre geçtikten sonra emme supabı kapatılmalı ve böylece verilen hızda alınabilecek dolgunun silindire alınması sa lanmalıdır.



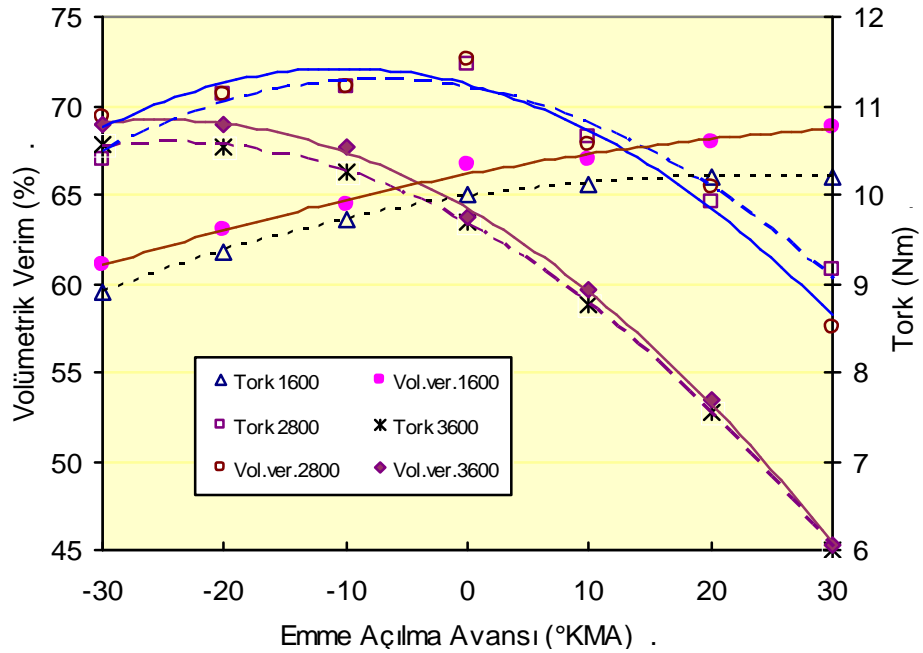
ekil 4.7. Birim dolgu miktarının ortalama piston hızı ile de ği ğimi [41].

Grafi e göre, supabın AÖN dan 40° KMA sonra kapatılması durumunda dü z çizgi ile temsil edilen e ri elde edilmi tir. Piston hızının artı yla birlikte maksimum dolgu miktarı azalmı , en iyi dolgu, motorun orta hızlarında elde edilmi tir. Benzer olarak

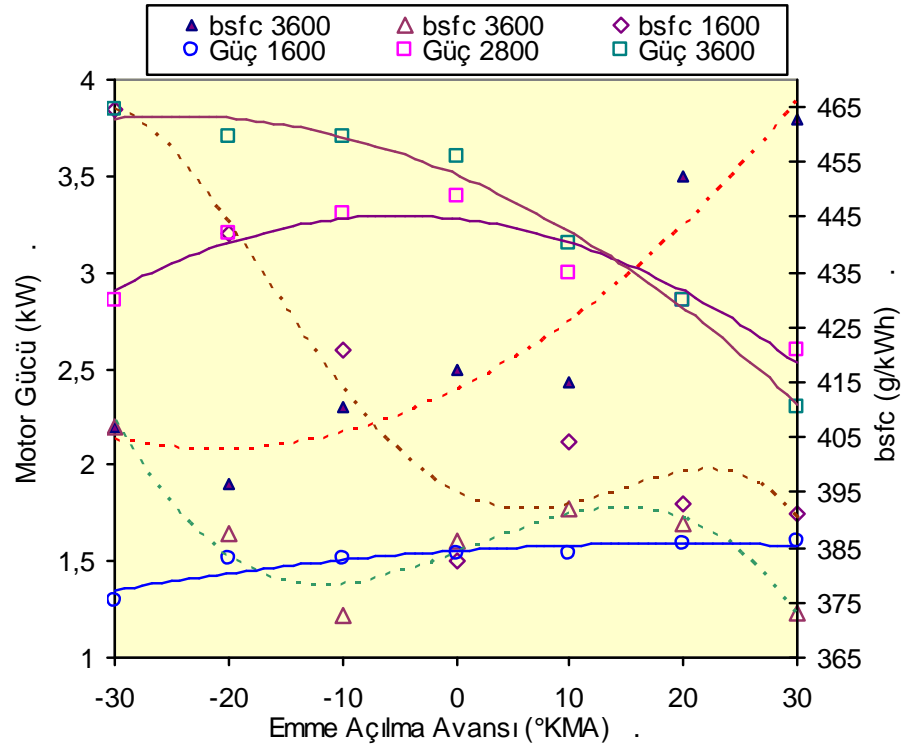
supabın AÖN dan 65° KMA sonra kapatılması durumunda noktalı kesik çizgi ile temsil edilen e ri elde edilmi tir. Bu durumda en iyi dolgunun elde edildi i nokta, motorun yüksek devirlerine do ru kaymı tır. Her iki grafikte de en iyi dolgunun elde edildi i noktanın öncesindeki ve sonrasındaki hızlara do ru gidildikçe birim dolgu miktarının azaldı ı görülür [41].

4.4.5. Emme Zamanlamasının Motor Performansına Etkileri

Akba tarafından, dört zamanlı, içten yanmalı ve tek silindirli bir motorda, emme süresi sabit tutulmak suretiyle, emme kamının 10° , 20° ve 30° KMA avans ve 10° , 20° ve 30° KMA rötar de erlerinde performans testleri yapılmı tır [48]. Supap zamanlamasının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi ara tırılmı tır. ekil 4.8 ve ekil 4.9'da emme supabı avans ve gecikme durumlarının motor torku ve motor gücünün devir ile de i imi verilmi tir.



ekil 4.8. Emme supabı açılma avansının volümetrik verim ve motor torku üzerine etkileri [48].



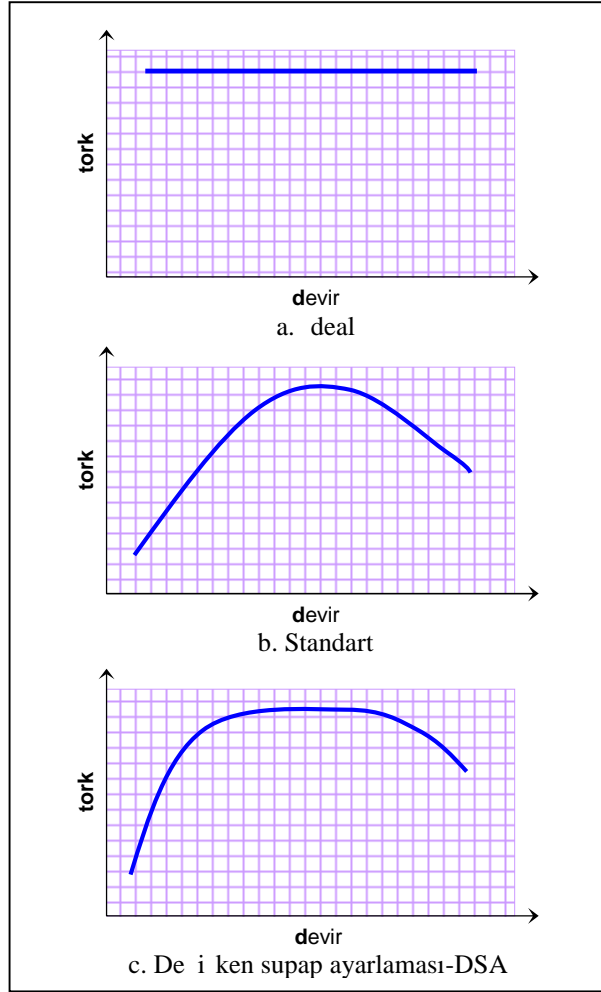
ekil 4.9. Emme supabı açılma avansının motor gücü ve özgül yakıt tüketimi üzerine etkileri [48].

Orijinal supap zamanlaması de erleri ile deneylerden elde edilen de erler kar ıla tırılmak suretiyle sonuçlar yorumlanmı tır. Yapılan çalı mada, emme kam mili komple hareket ettirildi inden emme supabının erken açılması, erken kapanmasını da beraberinde getirmi tir. Buna göre, dü ük motor devirlerinde emme açılma avansı arttıkça tork ve güç artmaktadır. Yüksek devirlere do ru çıkıldıkça, emme supabının erken açılması, torkun ve gücün azalmasına neden olmaktadır. Dü ük devirlerde emme açılma zamanının kademeli olarak geciktirilmesi, motor torku ve gücünün dü mesine neden olmakta. yüksek devirlere çıkıldıkça içeriye alınan dolgunun artmasıyla tork ve güç artmaktadır [48].

4.5. DE KEN SUPAP ZAMANLAMASI HT YACI

Küçük supap bindirmesi motorun dü ük ve orta devirlerinde yüksek tork ve relanti kararlılı ı sa larken, büyük supap bindirmesi yüksek devirlerde motorun rahat nefes almasını kolayla tırır, yüksek güç elde edilmesini sa lar. Bir motordan hem dü ük ve hem de yüksek devirlerinde yüksek performans alınması, supap zamanlamasının

krank milinden ba ımsız olması ve de i ken supap ayarlamasının uygulanması ile elde edilebilir [38-40,47-50]. De i ken supap ayarlama (DSA) sistemi; supabın yüksekli i, zamanlaması ve açık kalma süresinin ayarlanabildi i sistemleri tanımlamada kullanılan genel bir terimdir. Bu sistemleri tanıtırken en yaygın olarak kullanılan sistemlerin ortak özelliklerinden bahsedilecektir.

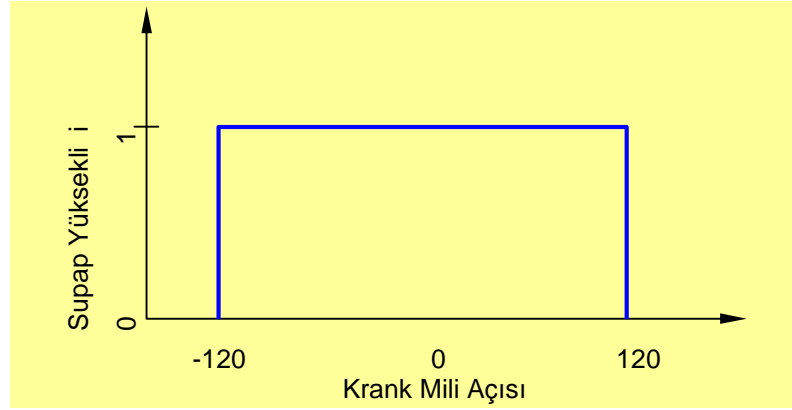


ekil 4.10. deal tork, standart motor torku ve DSA sistemine sahip motordan elde edilen torkun devir ile de i imi.

De i ken supap zamanlamasına sahip bir motorda ana hedef; akı hattında fiziksel bir kısıtlayıcı olmaksızın motora alınan hava miktarını kontrol etmek, motor torkunu geni bir devir aralı ına yaymak, motor gücünü artırmak, yakıt tüketimini azaltmak ve egzoz emisyonlarını mümkünse tamamen nötrle tirmektir. ekil 4.10' da, bir motordan beklenen ideal tork, konvansiyonel motor torku ve de i ken supap

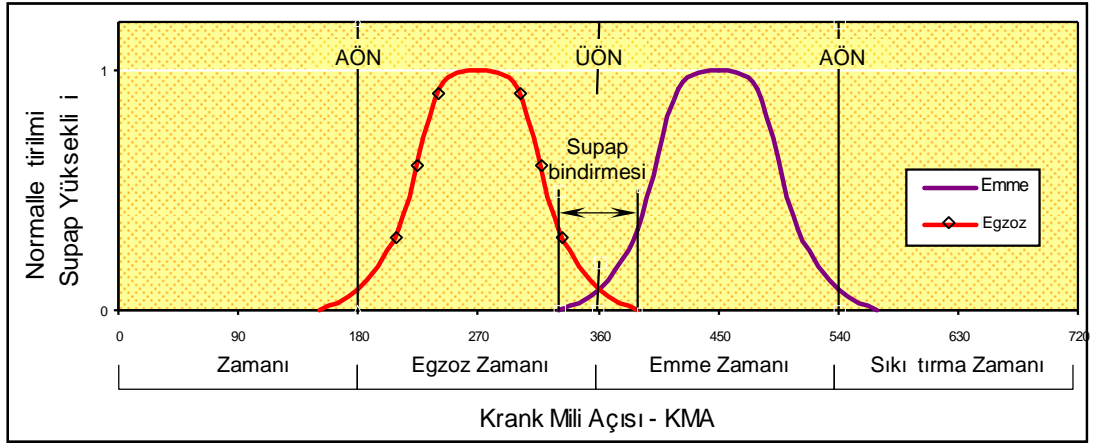
ayarlamasına sahip bir motordan elde edilen torkun devir ile ili kisi görülmektedir. Buna göre de i ken supap ayarlama sistemleri ile ideal tork e risi yakalanmaya çalı ılmaktadır.

Bu beklentileri sa layabilecek bir motorun ekil 4.11’de çalı ma grafi i verilen ideal supaplara sahip olması gerekir. Teorik olarak bir supabın açılmaya ba lamasıyla birlikte aniden maksimum çalı ma aralı ına ula ması, tam açık pozisyona gelmesi arzu edilir. Supabın çok çabuk açılması, akı kanın geçi i sırasında olu an direnci en aza indirir. Böylece daha yüksek volümetrik verim elde edilebilir.



ekil 4.11. deal supap çalı ma profili.

Buna kar ılık, standart dört zamanlı bir motorda supap zamanlaması ekil 4.12’ de verilmi tir. zamanının sonunda, piston AÖN’ ya yakla tı ında egzoz supabı açılmaya ba lar. Egzoz zamanı boyunca açık kalır ve emme zamanının ba lamasından kısa bir süre sonra kapanır. Egzoz supabının AÖN’ dan önce açılması ve ÜÖN’ dan sonra kapanması, ortalama supap yüksekli ini artırdı ından egzoz kanalındaki akı direnci minimum olur. Egzoz zamanının sonunda emme supabı açılmaya ba lar ve emme zamanı boyunca da açık kalır. Emme supabı sıkı tırma zamanının ba langıcından kısa bir süre sonra kapanır. Supap sisteminin bu çalı ması, motorun her devrinde ve her çevriminde hep aynı açı de erlerine kar ılık gelecek ekilde krank mili ile ili kilendirilmi olarak tekrar eder. Bu da supap sisteminden beklenen performansın elde edilmesine engel olur. Sonuç olarak, standart supap mekanizmalarının ideal supap profiline yakla tırma çabalarının sonunda de i ken supap ayarlama sistemleri ortaya çıkmı tır [47,48].



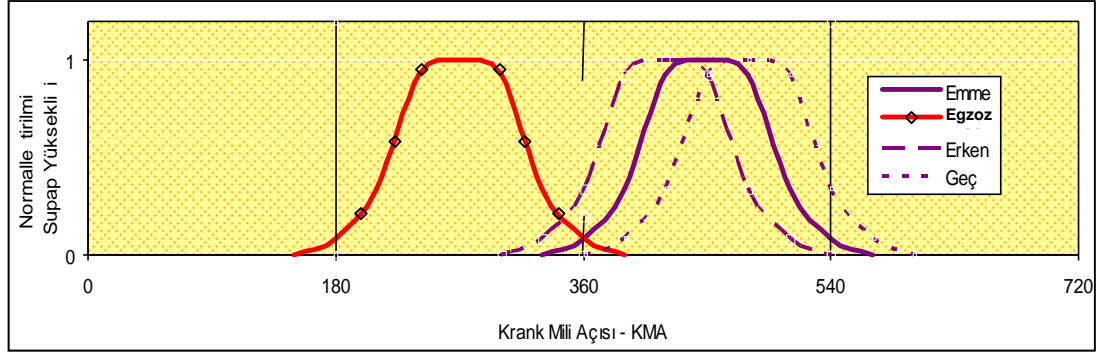
ekil 4.12. Standart bir motorda emme ve egzoz supaplarının çalı ma grafi i.

4.6. DE KEN SUPAP AYARLAMA (DSA) S STEMLER

Günümüz motorlarında yaygın olarak kullanılan DSA mekanizmalarında ana eleman kam milidir. Bu tür sistemlerde kullanılan kam milleri, supap zamanlamasını veya supap çalı ma yüksekli ini de i tirmek, geli mi sistemlerde ise sayılan bu özelliklerin kombinasyonunu sergilemek üzere tasarlanmı sistemlerdir. Bu sistemlerin temel özelli i her bir supap için birden fazla kam profili düzenlemelerine sahip olmasıdır.

4.6.1. Kam Fazının Kaydırılması

Kam fazının kaydırıldı ı sistemlerde kam mili, krank miline oranla daha ileri veya daha geri döndürölmek suretiyle hareket ettirilir. Bu tür bir ayarlama ile supap zamanlaması de i tirilebildi i halde supabın açık kaldı ı süre ve yüksekli i bu de i imden etkilenmez, ekil 4.13' te emme fazının kaydırılması gösterilmi tir. Bu amaç için kullanılan en temel sistem farklı iki pozisyon arasında çalı maya imkân tanıyan karma ık sistemler ise sürekli de i im yapmaya imkân tanıyan düzenlemelerdir. Bu sistemlerin karakteristik özelli i; genel olarak egzoz supabı açık kalma süresi sabit kalırken emme supabının açılma ve kapanma noktalarının e it olarak kaydırılmasıdır. Buna kar ılıklı emme supabı için uygulanan çalı ma egzoz supabına da uygulanmak suretiyle daha iyi performans elde edilmeye çalı ılmı tır.



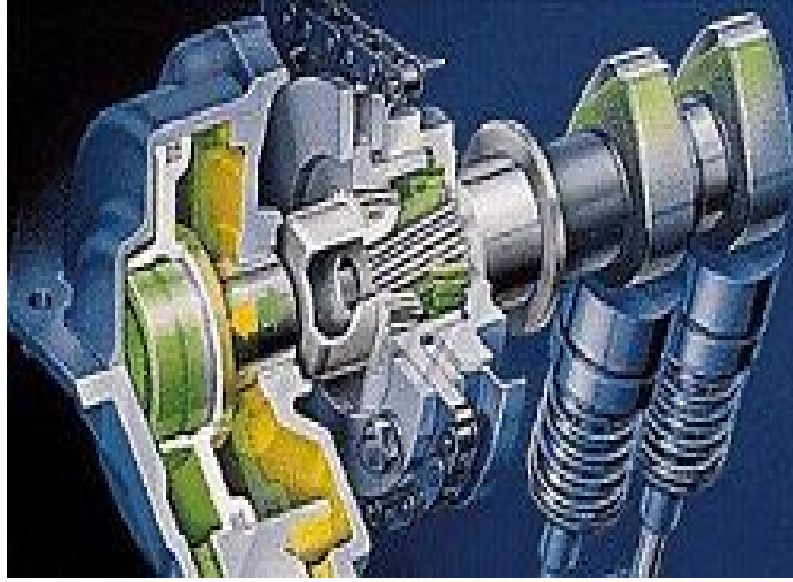
ekil 4.13. Emme fazının kaydırılması.

Düük yük ve motor hızlarında emme supabı zamanlamasının geciktirilmesi, supap bindirme süresini kısaltır. Emme manifolduna egzoz gazı geri kaçması olmadığından yanmayı iyileştirir. Diğer taraftan emme supabının geç kapanması ise kısımlı kayıplarını azaltır. Motorun düük ve orta hız bölümlerinde emme supabı zamanlaması öne alınarak (avans verilerek) bindirme süresi uzatılır. Bu durumda yanmış gazlar egzoz manifolduna doğru ilerlerken emme supabının daha önce açılması nedeniyle çıkan gazların sürükleyici etkisinden faydalanılarak emme dolgusu artırılır; çıkış gücü artar.

Yüksek motor hızlarında emme supabının geç kapanması tercih edilir. Supap bindirmesinin küçük olması nedeniyle egzoz zamanı sonunda kalan art gaz birikimi azalır. Silindire alınan dolgu kütlesi artacağından yüksek çıkış gücü elde edilir. Uygulanan faz kaydırma sistemlerinde 60° KMA kadar faz kaydırılmakta, yakıt ekonomisinde konvansiyonel motorlara göre ortalama %6'lık bir iyileme sağlanabilmektedir [41].

Kam fazının kaydırılması üzerine uygulamalara baktığımızda, yalnız kam milinin pozisyonunu değiştirmek suretiyle supabın erken yada geç açılıp kapanmasını sağlayan sistemlerdir. Bu mekanizmalar motor devrine bağlı olarak emme kam fazını en fazla rötardan en fazla avansa doğru sürekli değiştirmeyi sağlar. Emme kam mili için kullanılan mekanizma egzoz kam miline de uygulanarak daha iyi sonuçlar elde edilmeye çalışılmaktadır. Faz kaydırabilme yeteneğine sahip mekanizmalar karmaık ve esnek mekanizmalara göre basit ve ucuzdur. Temel olarak bu mekanizmalar kam milinin açısını değiştirerek supap zamanlamasını değiştirir. Örnek olarak; Yüksek

devirlerde emme kam milini döndürerek 30° öne alır, böylece aynı anda erken emme yapılmasına olanak verir. Bu hareket ihtiyaca göre motor yönetim sistemi tarafından kontrol edilir. ekil 4.14' te, BMW tarafından geliştirilen Vanos sisteminin temsili resmi görülmektedir.



ekil 4.14. Vanos sistemi (BMW) [41,50].

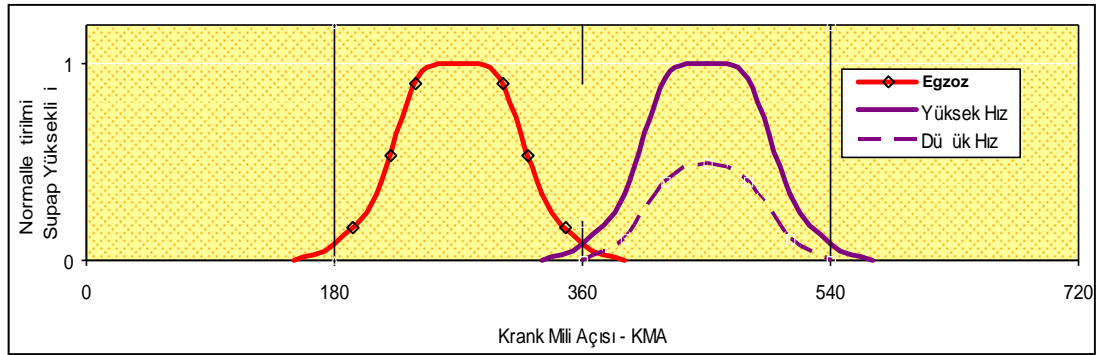
Emme kam miline uygulanan bu mekanizma, egzoz kam miline de uygulanır ve Double Vanos olarak adlandırılmıştır. Emme kamının fazı en fazla rötardan en fazla avansa azami 60° KMA, egzoz kamının fazı da 40° KMA kaydırılabilmektedir. Bu mekanizma vasıtasıyla düşük ve orta hız aralığında tork artışı sağlanmıştır ve daha az supap bindirmesi sayesinde relanti hız karakteristikleri iyileştirilmiştir.

Toyota tarafından geliştirilen VVT (Variable Valve Timing) sisteminde emme kamının fazı, bir uçtan diğer uca 60° KMA sürekli olarak değiştirilmiştir. Bu mekanizma sayesinde NOx emisyonlarında %40, HC emisyonlarında %10 azalma gerçekleştirilmiştir, yakıt ekonomisinde ise yaklaşık %6 iyileştirme sağlanmıştır [41,50].

4.6.2. Supap Yüksekliği için Kam Profili Değişimi ile Ayarlanması

Kam fazının ayarlandığı sistemlerde supabın açık kalma süresi ve yüksekliği yapılan ayarlardan etkilenmez. Eğer emme supabının açılması geciktirilirse, emme supabının kapanması da aynı miktarda geciktirilir. Sonuç olarak bazı durumlarda motora giren dolgu miktarının azalmasına yol açar. Bu durum, supap açık kalma süresinin değiştirilmesi ile önlenebilir. Bu sayede yüksek motor hızlarında supap bindirme süresi uzatılmak ve emme supabı kapanması ayarlanmak suretiyle maksimum volümetrik verim elde edilebilir.

Supap yüksekliği için değişimi motor performansını etkileyen bir diğer faktördür. Yüksek motor hızlarında daha fazla türbülans oluşması nedeniyle supap yüksekliği az olması tercih edilir. Yüksek motor hızlarında ise etkili bir dolgu için supap yüksekliği maksimum değere ayarlanmalıdır. Şekil 4.15’ de iki konumlu kam profili değişimine sahip sistemde supap zamanlaması ve yüksekliği için görülmektedir.



Şekil 4.15. İki konumlu kam profilinin emme supabına uygulanması.

Bu tür uygulamalarda değişken supap zamanlaması ile iki kam profili arasındaki seçim elektronik kontrol ünitesi tarafından değerlendirilip kontrol edilmektedir.

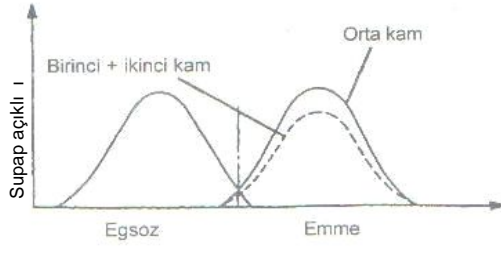
Supap yüksekliği için değişimi üzerine uygulamalar incelendiğinde, bu sistemler kam fazını kaydıran sistemlere göre daha karmaşık ve esnek yapıya sahip olup supap çalışma aralığını değiştirirler.

Honda tarafından geli tirilen VTEC (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control) sisteminde, kam mili üzerine iki adet dü ük hız kamı ve bir adet yüksek hız kamı olu turulmu tur. Motor devrinin de i ik çalı ma bölgelerine kaymasıyla birlikte elektronik kontrol ünitesi, kam mili üzerindeki farklı kamları devreye almak suretiyle supap zamanlamasını ve de i ik kam yüksekliklerini de i tirebilmektedir. Bu sayede en son geli me olan dü ük hız kamı ile yüksek hız kamı aynı motorda kullanılabilmektedir.

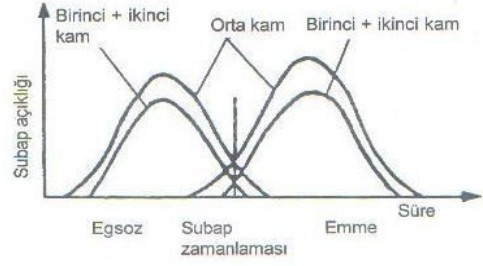
Üstten tek kamlı (SOHC) VTEC sisteminde emme kam mili üzerinde farklı profillere sahip yüksek devir ve dü ük devir kamları vardır. Dü ük ve orta motor devri aralıklarında, dü ük devir kamları devrededir ve her iki emme supabını da e it miktarda açarak dü ük çalı ma aralı ı sa larlar. Yüksek devir aralı ında ise yüksek devir kamları devreye girer ve her iki emme supabına da yüksek çalı ma aralı ı sa larlar.

Üstten çift kamlı (DOHC) VTEC sisteminde, hem emme ve hem de egzoz kam mili üzerinde farklı profillere sahip alçak ve yüksek devir kamları yer alır. Motor ko ullarına göre supapları açan kamın seçimi yapılarak uygun olan supap yüksekli i ayarlanır [41,50].

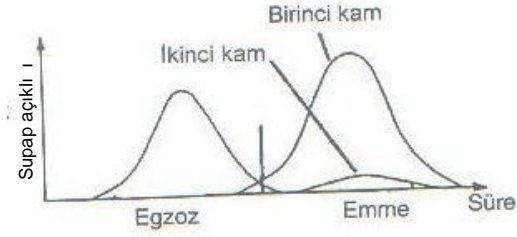
ekil 4.16' da VTEC supap çalı ma aralıklarınının de i imi ifade edilmekte, ekil 4.17' de ise standart supap mekanizması ile üstten tek kamlı VTEC sisteminin külbütör mekanizması görölmektedir.



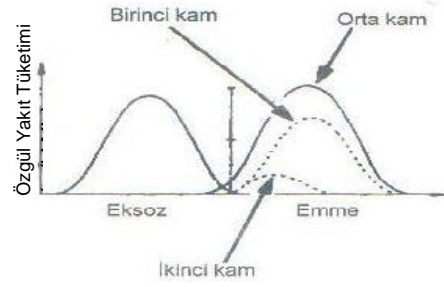
a) Sohc VTEC supap çalışma aralığı



b) Dohc VTEC supap çalışma aralığı

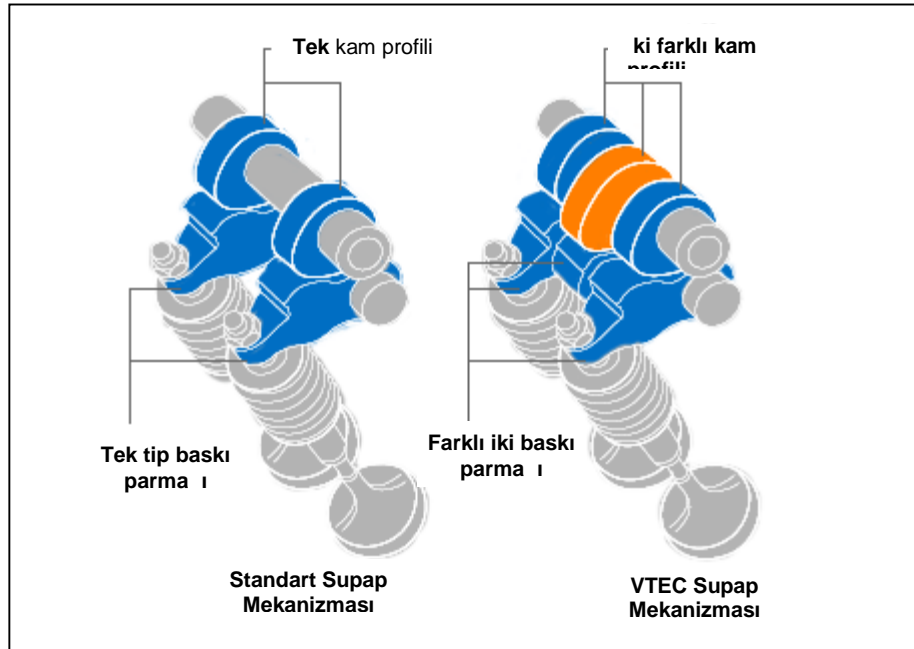


c) VTEC-E tipi supap çalışma aralığı



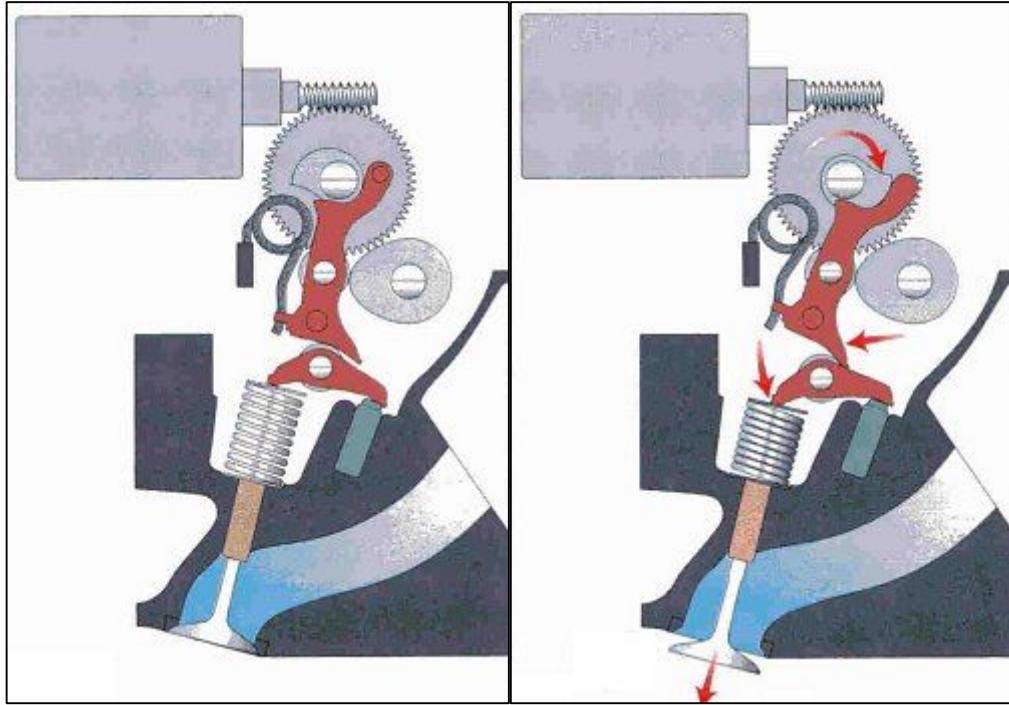
d) Yeni VTEC supap çalışma aralığı

ekil 4.16. Honda VTEC supap çalışma aralıklarının değişimi(Honda) [43].



ekil 4.17. VTEC sistemi [Honda].

BMW firması, de i ken supap çalı ma aralı mı sa layabilmek için yukarıda sayılan sistemlerden farklı olarak Valvetronic olarak isimlendirdi i sistemi geli tirmi tir, ekil 4.18. Bu sistemde gaz kelebe i kullanılmamaktadır. Bunun yerine supap çalı ma aralı ı de i tirilerek motor devri ayarlanır. Bunu yapabilmek için kam milinden ayrı olarak kullanılan ve step motor tarafından döndürülen ikinci kam mili kullanır. Bu mil ile külbütör iticisi arasına kam milinden hareket alan ba ka bir itici mekanizması uygulanmı tir. Valvetronic sistemi sayesinde motorda gaz kelebe inin olmayı ı pompalama kaybını minimize etmi ve silindire daha fazla dolgu girmesini sa lamı tir [41,50].

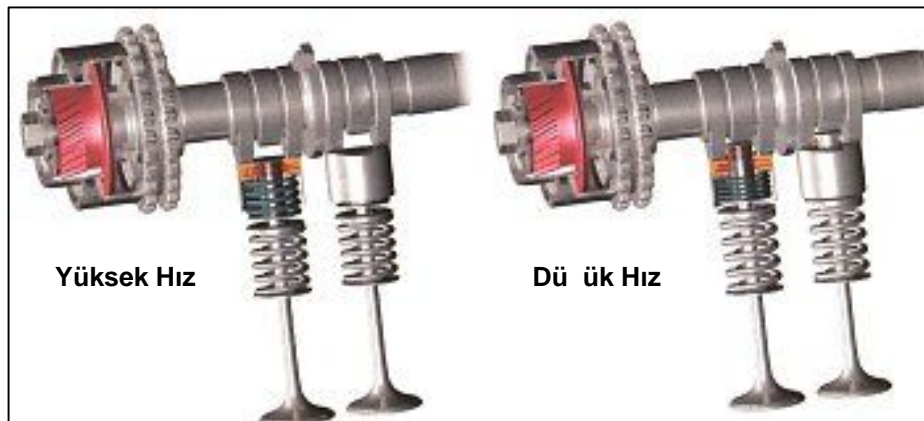


ekil 4.18. Valvetronic sistemi (BMW) [41,50].

Valvetronic mekanizması vasıtasıyla yakıt hava karı mının kontrolü için gerekli temel sinyal gaz pedalının mekanik hareketinden elde edilir, step motor yardımı ile ikinci eksantrik milinin fazı de i tirilerek emme supabının hareketi sa lanmı tir. So ukta ilk çalı tırmanın kolayla tı ı, egzoz emisyonlarının iyile ti i ve dü ük devirlerde yakıt tüketiminin %10 azaldı ı ifade edilmi tir.

Benzer bir sistem Mitsubishi tarafından geliştirilen MIVEC (Mitsubishi Innovative Valve Timing and Lift Electronic Control) sistemidir. VTEC sisteminde yüksek hızlarda tüm kam profilleri ve baskı parmakları kullanılırken, MIVEC sisteminde yalnız yüksek hız kam profilleri kullanılmakta, düşük hız kamları ve baskı parmakları kullanılmamaktadır. Böylece hareketli kütle azalması sayesinde daha çabuk supap ivmelenmesi elde edilebilmektedir. Ayrıca, düşük motor hızlarında bazı silindirler devre dışı bırakılabilmekte ve daha düşük yakıt tüketimleri elde edilebilmektedir.

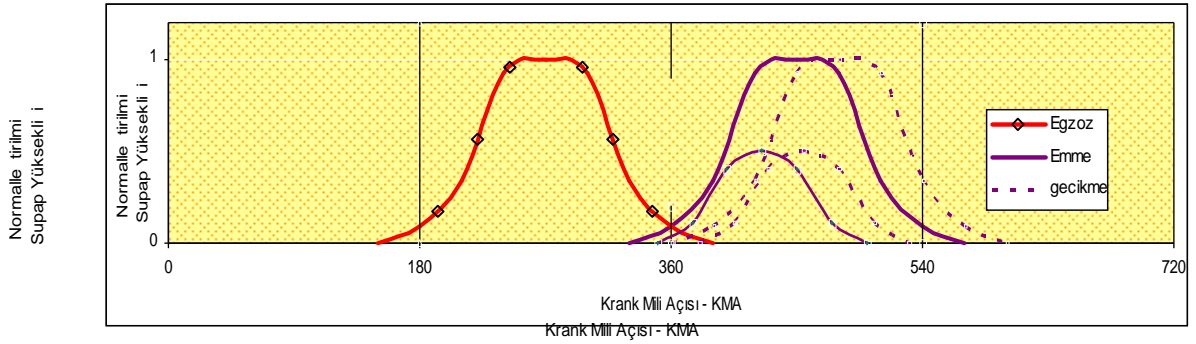
Porsche tarafından geliştirilen Vario Cam Plus sisteminde her supap için üç ayrı kam profili kullanılmaktadır, ekil 4.19. Bunlardan birisi küçük supap yüksekliğini kontrol ederken diğeri daha büyük supap yüksekliğini kontrol etmek üzere tasarlanmıştır. Sistem toplam olarak dört farklı supap yüksekliği ve kam mili ayarlamasının kombinasyonunu gerçekleştirebilmektedir. Kısmi yüklerde ve 3700 1/dk'nın altındaki devir bölgelerinde optimum yanma kararlılığı için gecikmeli kam fazı uygulaması ile birlikte küçük supap yüksekliği tercih edilmektedir. Buna karşılık, tam yükte ve 1200 devirin üzerindeki çalışma bölgelerinde ise kam fazı öne alınarak avans uygulaması ve büyük supap yüksekliği kullanılmaktadır. Dört kenar supap zamanlaması ve supap yüksekliğinin birlikte kombinasyonu sayesinde; yakıt tüketiminde %18 azalma, motor torkunda %40 artma elde edilmiştir.



ekil 4.19. Vario Cam Plus sisteminde düşük ve yüksek hız kamlarının çalışma pozisyonu (Porsche) [50].

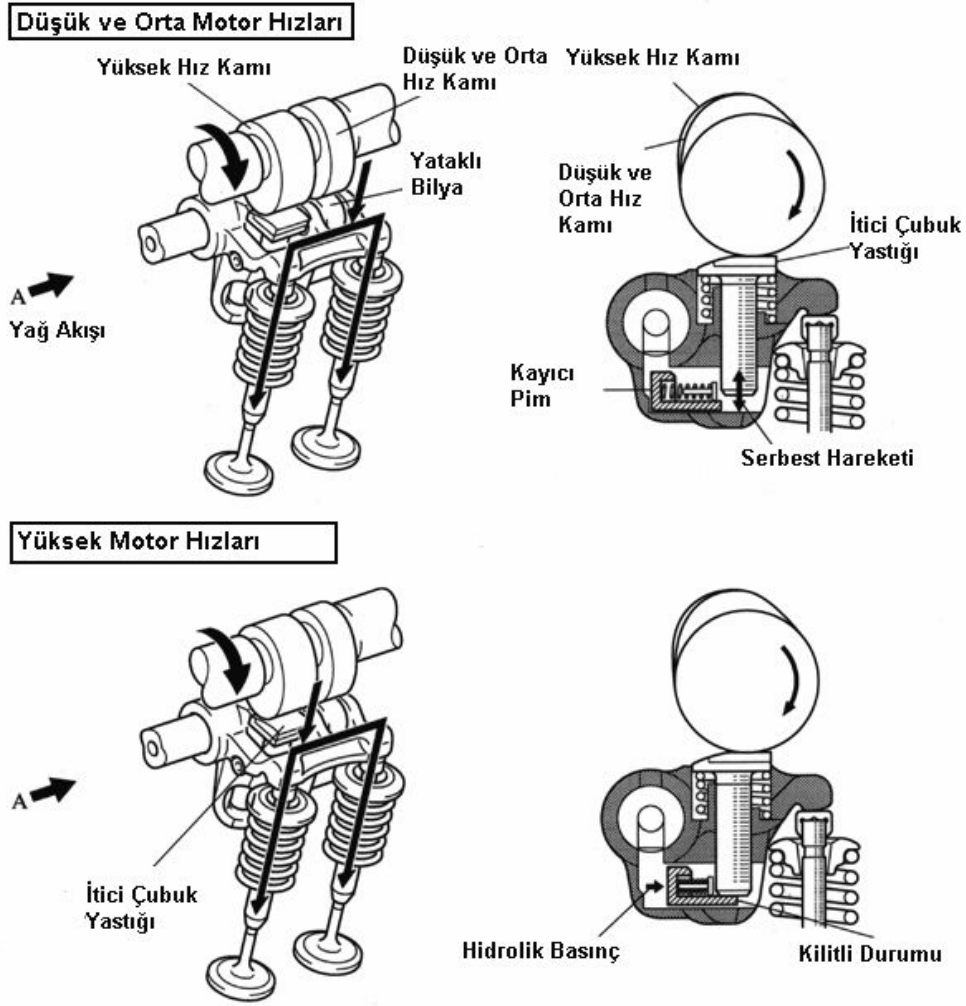
4.6.3. Kam Fazının Kaydırılması ve Supap Yüksekliği Değişiminin Birlikte Kombinasyonu

Kam fazının kaydırılması supap zamanlamasının değişimine imkan tanırken; kam profilinin değişimi supap çalınma aralığının (yüksekliğinin) değişimini sağlar. Her iki sistemin ayrı kullanılmaları durumunda bile standart motorlara göre karşılaştırıldığında oldukça büyük performans artışı sağlar. Ayrıca iki sistemin birlikte kombinasyonu motor karakteristiklerini daha da iyiye götürerek yüksek motor torkunun değişik devirlere yayılmasını, daha yüksek çıkış gücünün daha düşük yakıt tüketimi ile elde edilmesini sağlar. Değişken supap zamanlaması ve supap yüksekliğinin birlikte kombinasyonuna ilişkin supap çalınma profili ekil 4.20’de verilmiştir.



ekil 4.20. Kam fazının kaydırılması ve farklı kam profilinin birlikte kombinasyonu.

Toyota tarafından geliştirilen ve VVTL-i olarak adlandırılan sistemin daha önce geliştirilmiş olan kam fazının değiştirildiği sistem ile kam profilinin değiştirildiği sistemin birlikte kombinasyonu olduğu vurgulanmıştır, maksimum güçte %26 artış sağlamıştır. Bu sistemin çalınma konumları ekil 4.21’de, verilmiştir. Bu sistemde her iki emme supabı için tek külbütör mekanizması bulunur. Aynı anda farklı profildeki iki kam, külbütör mekanizmasına hareket verir. Düşük ve orta hızlarda; küçük çalınma kamı supaplara kumanda eder. Yüksek hız kamı düşük devirlerde devrede değildir. Yüksek devirlere çıkılıp hız değişim bağına gelindiğinde supaplar yüksek hız kamından hareket alır. Supaplara elektronik kontrol ünitesi tarafından hesaplanan süreler göre açık kalma periyodu uygulanır.



ekil 4.21. VVTL-i sisteminin çalışma konumları (Toyota) [41].

4.6.4. Tam Esnek Supap Sistemleri (Elektromekanik, Elektrohidrolik, Elektropnömatik)

Supap yüksekli inin de i imine imkân tanıyan sistem ile supap zamanlamasının sunmu oldu u avantajlardan daha iyi faydalanmak amacıyla birleştirilerek tam de i tirilebilir supap ayarlama sistemleri oluşturulmu tur.

Kam mili ile çalıştırılan birçok supap ayarlama sistemleri üretilmiş olsa da bu sistemlerin supap zamanını ve yüksekli ini ayarlama olayları kendi esneklikleri ile sınırlıdır. Tüm sınırlamalara son vermek üzere kam milinden bağımsız çalışabilen elektrikli, hidrolik veya pnömatik kontrollü sistemlerin geliştirilme çabaları sürmektedir. Bu tür sistemlerde supap zamanlaması ve yüksekli i bir bilgisayar

tarafından elektronik olarak kontrol edilir. Bilgisayar, sensörler yardımıyla motordan aldığı veriler ile motorun o anki durumunu kontrol programı ile değerlendirilir ve en uygun supap zamanlaması, süresi ve yüksekliği belirlenir. Böylece bu sayede supap zamanlaması her çevrim için yeniden hesaplanabilir ve değiştirilebilir.

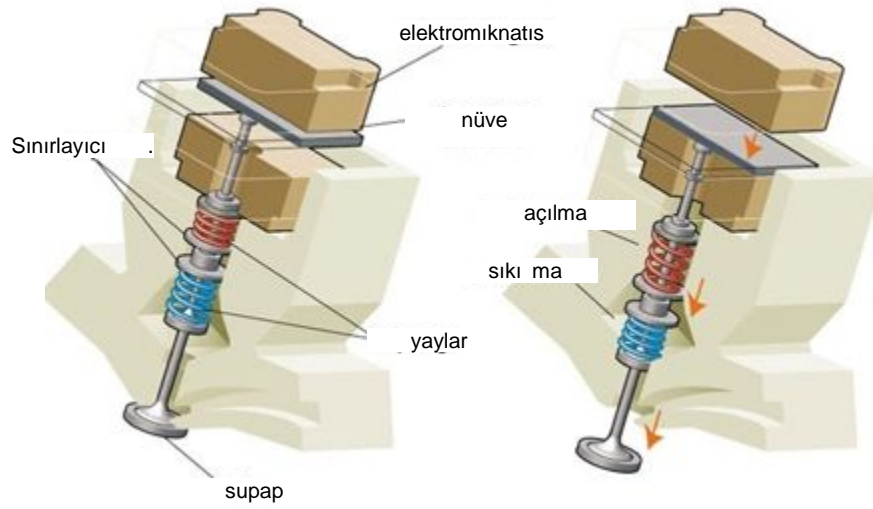
Standart supap sistemi motorun tüm devirlerinde sabit açılıp kapanma profili sergilediği halde, elektromekanik supap (EMS) sisteminde supabın açılıp-kapanma olayları ile açık-kapalı kalma olayları krank milinden bağımsız olarak gerçekleştirilir. Krank milinden elde edilen konum bilgisi elektronik kontrol birimi tarafından değerlendirilir; motorun çalışma koşullarına uygun olan süre ve konum belirlenerek supaplar çalıştırılır. EMS sisteminde supaplar daha kısa sürede açılıp kapandıktan sonra devir düştükçe supapların açık kalma süresi artar. Bu nedenle içten yanmalı motorlarda ideal çalışma sergileyebilecek supap sistemlerinin başında yer alır.

Krank milinden bağımsız EMS sisteminin en büyük avantajı, çok kısa sürede anahtarlanabilmesidir. Bu özelliği ile supap zamanlamasında gerekli kontrolü sağlamak mümkün olmaktadır.

Sayılan özellikleri nedeniyle, EMS sistemleri standart sistemlere göre değerlendirilen kam mili ile kontrol edilen diğer supap zamanlama sistemlerinin tümüne göre tam örnek bir supap zamanlaması sunar.

Geliştirilen bir elektromekanik supap sistemi Şekil 4.22’de görülmektedir. Sistemi oluşturan parça sayısının az olması en büyük avantajlarından biridir. Konvansiyonel supap sistemleri ve günümüzün geliştirilmiş diğer supap ayarlama sistemleri ile karşılaştırıldığında oldukça sade bir tasarıma sahip olduğu görülür. Sistem yapısal olarak iki adet selenoid, birer adet açma ve kapama yayı, hareketli nüve ve supaptan oluşur. Ayrıca motorun çalışma pozisyonunu belirleyen krank mili pozisyon sensörü bulunur. Sensör tarafından iletilen sinyalleri değerlendiren ve motorun çalışma pozisyonuna uygun açma-kapama sinyali üreten elektronik kontrol ünitesi, sisteme elektrik enerjisi sağlayan batarya, sistemi tamamlayan diğer elemanlardır. Enerji yokken yaylar supabı yarı açık konumda tutar. Sensör tarafından krank mili

pozisyonu elektronik kontrol ünitesine bildirilir. İemci tarafından sinyal de erlendirilir ve motorun devrine ve çalı ma artlarına uygun olarak üretilen kumanda sinyali ile selenoidler enerjilendirilir. Bu ekilde supap açılır veya kapanır. Üst selenoide enerji verildi inde olu an elektromanyetik kuvvet, hareketli nüveyi yukarı do ru hareket ettirir ve supabı kapalı konumda tutar. Bu durumda üst yay sıkı arak potansiyel enerji depolar.



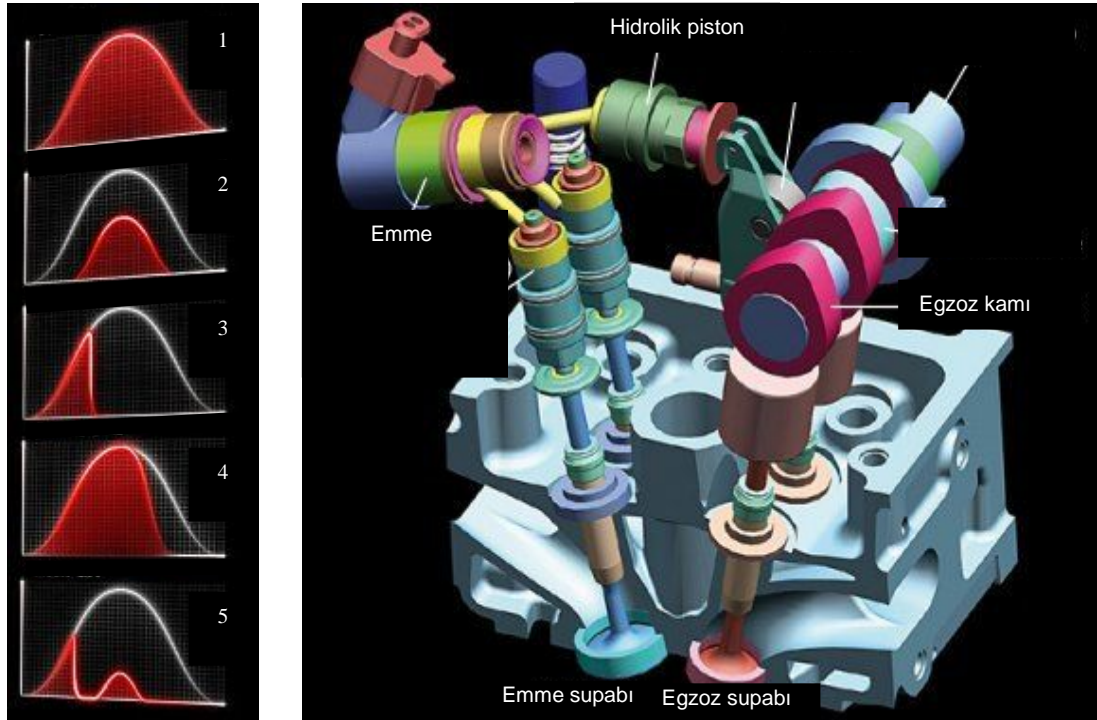
ekil 4.22. Elektromekanik supap sistemi (Valeo).

Supap açılaca ı zaman üst selenoid enerjisi kesilir, alt selenoid enerjilendirilir. Bu durumda, sıkı an yay üzerindeki potansiyel enerji kinetik enerjiye dönü ür ve hareketli nüveyi açma yönünde hareket ettirir. Bununla birlikte enerji verilen alt bobinin olu turdu u elektromanyetik kuvvet de nüvenin hareketine etki eder ve supabı açma yönünde hareket ettirir. Supabın açık kaldı ı süre boyunca selenoid enerji verilmi durumda kalır. Supap tekrar kapatılaca ı zaman üst bobin enerjilendirilir, alt bobin enerjisi kesilir. Sıkı mı olan alt yay nüveyi kapatma yönünde hareket ettirir. Üst bobin kuvvetiyle birle erek kapatma kuvvetini olu turur. Elektronik kontrol ünitesi tarafından ilgili bobinlerin enerjiledirilmesi suretiyle supabın açılıp kapanma hareketinin tekrarı sa lanır.

Elektrohidrolik ve elektropnömatik supap sistemleri de elektromekanik supaplar gibi gelecek vaad eden ve oldukça fazla ara tırmacı tarafından geli tirme çabaları devam

eden sistemlerdir. Bu sistemler de EMS sisteminde oldu u gibi krank milinden ba ımsız olarak kontrol edilebilir ve daha kısa sürede açılıp kapanabilirler.

Fiat tarafından geli tirilen ve “Multiair” olarak adlandırılan, oldukça esnek, de i ken supap zamanlaması ve hareketi sa layan elektrohidrolik supap sistemi, ekil 4.23’ te görülmektedir. İlk olarak 1,4 litre motor üzerine uygulanmı olan sistem, son olarak 900cc 2 silindirli bir motor üzerine uygulanmı tır. İmkiye kadar üretilen de i ken supap sistemleri içerisinde en yüksekli e sahip sistemdir. Ekilde 5 de i ik sürü artına uygun çalı ma sa layan supap çalı ma grafikleri görülmektedir. Uzun ve kısa açık kalma periyotları, yüksek ve alçak hareket mesafelerinde çalı ma, geç açılma, erken supap kapanma, emme zamanında çoklu açılma periyodu gibi çalı ma parametrelerinin olu umunu sa layabilmektedir. Sistem mekanizması incelendi inde, iki emme ve iki egzoz supabından emme supapları elektrohidrolik olarak kumanda edilmekte, egzoz supapları ise kam mili ile i letilmektedir [45].



ekil 4.23. Fiat Multiair sistemi [50].

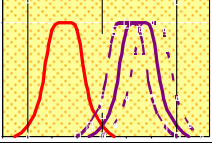
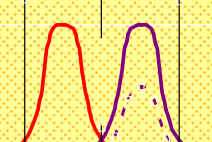
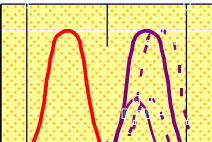
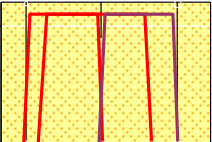
ekil 4.23’ te yer alan supap hareket grafikleri incelendi inde; 1’inci grafik; yüksek hızlardaki çalı malar için, 2’inci grafik; dü ük yüklerdeki çalı malar için, 3’üncü

grafik; kısmi yüklerdeki geniş bir devir aralığı için, 4'üncü grafik; düşük hızlardaki ivmelenmeler için geliştirilmiştir. 5'inci grafik; oldukça düşük hızlardaki çalışmalarda yakıt ekonomisi ve performans için uygun olup 2 ve 3 numaralı grafiklerde verilen performansların kombinasyonunu barındırmaktadır.

4.7. AYARLANABİLİR SUPAP SİSTEMLERİNİN KARILAŞTIRILMASI

Ayarlanabilir supap sistemlerinin bir karşılaştırması Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. DSA sistemlerinin sınıflandırılması ve karşılaştırılması [49].

Tip		Supap Çalışma Profili	Faz Değişimi	Yükseklik Değişimi	Açık Kalma Süresi	Silindir Deaktivasyonu	Sürekli Kontrol	Motor Performansı	Montaj Kolaylığı	Maliyet
Kam Mili Var	Değişken Supap Zamanlaması		E	H	H	H	E	D		Y
	Kam Profili Değişimi		KE	E	E	E	KE	D	Y	Y
	Değişken Supap Zamanlaması ve Yüksekliği		KE	E	E	E	E	D	Y	Y
Kam Milinden Bağımsız	Elektromekanik, Elektrohidrolik veya Pnömatik		E	E	E	E	E	Y	D	Y
D: düşük E: evet		H: hayır	: iyi	K: kısmen		Y: yüksek				

Buna göre, supap çalışma aralığı, supap açık kalma süresinin değişimi ve istenildiğinde silindirin devredışı bırakılmasına imkân tanıması yönleriyle Kam

Profili De i imi Sisteminin, De i ken Supap Zamanlaması Sistemine göre daha üstün oldu u, De i ken Supap Zamanlaması ve Yüksekli i sisteminin ise kam mili ile çalı tırılan sistemler içerisinde en esnek çalı mayı sa ladı ı görülmektedir.

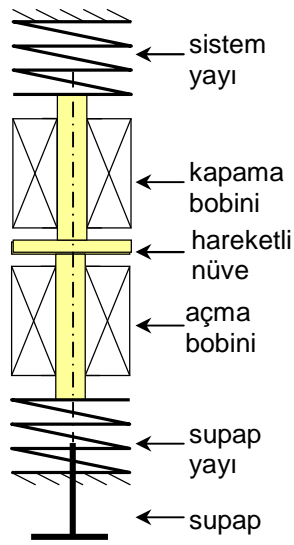
Kam milinden ba ımsız supap sistemlerinin, faz, supap çalı ma aralı ı, supap açık kalma süresinin de i imi ile istenildi inde silindirin devre dı ı bırakılmasına imkan tanınması, tam esnek kontrole uygun olması ve yüksek motor performansı sa laması yönleriyle gelece in en avantajlı sistemleri oldu u görülmektedir.

BÖLÜM 5

MATERYAL VE METOT

5.1. ELEKTROMEKANİK SUPAP SİSTEMİ – EMS

Elektromekanik supap (EMS) sistemleri, supapları kam milinden bağımsız olarak çalıştıracak biçimde tasarlanmıştır. Sistem, temel olarak bir elektronik kontrol ünitesi, iki adet bobin, iki adet yay, bir nüve ve bir supaptan meydana gelmektedir. Şekil 5.1’de sistemi oluşturan elemanlarematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1. EMS sistemi.

Sistemin denetimi için gerekli sinyaller elektronik kontrol ünitesi tarafından sağlanmaktadır. Elektronik kontrol ünitesi (modülü) tarafından gönderilen denetim sinyaline göre bobinlerden birinden akım iletilerek, diğerinden akım kesilerek supap açılıp kapatılmaktadır. Meydana gelen elektromanyetik kuvvet nüveyi iki bobin arasında yer alan mesafede hareket ettirir. Nüve ucunda yer alan supap ise nüve

hareketini takip ederek açma ve kapama görevini yerine getirmektedir. Mekanizmada yer alan sistem yayı supabı açma yönünde, supap yayı ise supabı kapama yönünde kuvvet uygular. Sisteme herhangi bir sinyal uygulanmadı ında, hareketli nüve yay kuvvetleri etkisi altında orta konumda, supap yarı açık konumda tutulmaktadır.

5.2. HAREKETLİ KÜTLE-YAY L K S , MANYETİK KUVVET

EMS sistemi üzerine uygulanması dü ünülen motoru tüm çalı ma devirlerinde herhangi bir kısıtlama olmaksızın destekleyebilecek kapasiteye sahip olmalıdır. Bu nedenle tasarım ba langıcında supap açılıp kapanma süreleri dikkate alınmalı ve motorun çalı ma frekansına uyumlu tasarımlar yapılmalıdır.

Elektromekanik supap sistemlerinde hareketli kısımlar; supap, nüve ve yaylardan olu an sistemdir ve bu sistem basit kütle yay sistemi olarak adlandırılır. Supap hareket süresi açık konumdan kapalı konuma geçi ya da kapalı konumdan açık konuma geçi süresi olarak adlandırılır ve yakla ık olarak kütle-yay sisteminin do al frekansı ile ili kili olup E itlik 5.1 ile hesaplanabilir [1,15,16].

$$\tau_t = \pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (5.1)$$

Burada, τ_t açık konumdan kapalı konuma geçi ya da kapalı konumdan açık konuma geçi süresini, m hareketli toplam kütle, k ise yay sabitini ifade etmektedir. Hareketli kütle hesabında E itlik 5.2 kullanılmı tır [15,19]. Burada supap, nüve ve yayların kütleleri dikkate alınırken kullanılan sistem yayı ile supap yayı aynı özellikte kabul edilebilir.

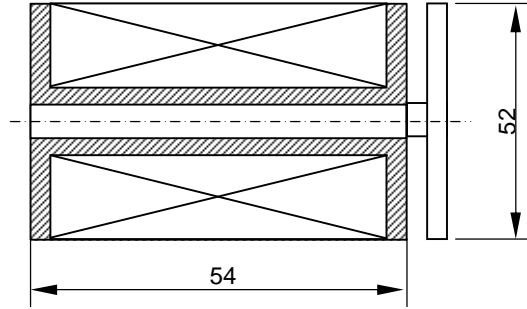
$$\text{Hareketli kütle} = \text{supap} + \text{nüve} + [1/3 (\text{supap yayı} + \text{sistem yayı})] \quad (5.2)$$

Bu çalı mada, kullanılan hareketli kütle elamanlarının özellikleri Çizelge 5.1'de verilmi tir. Bu özellikler dikkate alınarak hareketli kütle 215g olarak hesaplanmı tır.

Çizelge 5.1. Hareketli kütle elemanlarının özellikleri.

Nüve	200 g
Supap	60 g
Supap yayı	20 g
Sistem yayı	20 g
Yay sabiti	10 N/mm

Elektromanyetik supap mekanizmasında kullanılan disk tipi mıknatıs devresinin genel yapısı, disk ekindeki hareketli nüve ve manyetik alanın oluşmasını sağlayan bobin devresinden oluşmaktadır. Uygulamada kullanılan bobin, 3mm et kalınlığına sahip teflon malzemeden yapılmış olan makara üzerine sarılmıştır. Disk ise elektromanyetik kuvvet hatlarını en iyi biçimde kesecek özelliğe sahip ferromanyetik malzemeden yapılmıştır. Eki 5.2’de tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen selenoid kesiti, Çizelge 5.2’te ise bobin özellikleri verilmiştir.



ekil 5.2. Selenoid kesiti.

Çizelge 5.2. Selenoid özellikleri.

iletken çapı	1 mm
Sarım sayısı (çift sarım)	168x2
Endüktans	0,352 mH
Direnç	1,2 Ohm

Hareketli nüve ile sabit kutup arasında meydana gelen elektromanyetik kuvvet E itlik 5.3 ve 5.4 yardımıyla hesaplanabilir [19].

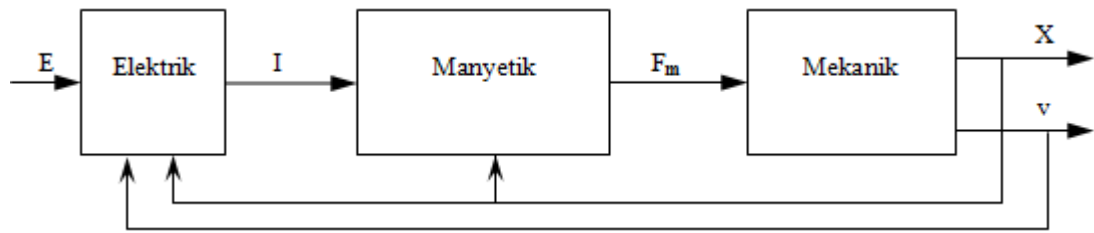
$$F_m = \frac{z B_h^2 A}{2\mu} \quad (5.3)$$

$$F_m = \frac{\mu A (NI)^2}{2z(x_h - x)^2} \quad (5.4)$$

E itliklerde yer alan F_m elektromanyetik kuvveti (N), μ hava aralı ı geçirgenli ini ($4\pi 10^{-7}$), A etkin kesit alanını (m^2), N sarım sayısını, I bobinden geçen akımı (A), z hava aralı ı sayısını, x hareketli nüvenin tam açık konuma olan uzaklı ını, x_h ise toplam hareket mesafesini (m) ve B_h mıknatıs akısı yo unlu unu (Wb/m^2) ifade etmektedir.

5.3. EMS S STEM N N D NAM

EMS sistemi, elektrik, manyetik ve mekanik olmak üzere üç ana alt sistemin bile iminden olu ur. Hareket bu üç bile enin birlikte etkile imi neticesinde meydana gelir. Burada, elektrik alt sistemi bobinden geçen akım dinamiklerini belirlerken, mekanik alt sistemi ise hareketli nüve dinami inden sorumludur. Elektrik ve mekanik bölümlerin etkile imi manyetik bölümü olu turur. Hareket, bobin akımının olu turdu u ve direkt olarak nüve üzerine etkileyen manyetik kuvvet tarafından gerçekle tirilir. EMS sisteminin blok diyagramı ekil 5.3'te verilmi tir. ekilde yer alan büyüklüklerden E: selenoidlere uygulanan gerilimi (V), I: bobinlerden geçen akımı (A), F_m : elektromanyetik kuvveti (N), X ve v ise sırasıyla supabın konumunu (m) ve hızını (m/s) temsil eder.



ekil 5.3. EMS sistemi blok diyagramı.

Elektromıknatıs ba ıntı, Kirchhoff yasası ile kurulabilir ve E itlik 5.5 ile verilmi tir. Burada, e giri gerilimini (V), r bobin direncini (ohm), N sarım sayısını, ϕ ise mıknatıs akısını (Wb/m^2) ifade etmektedir.

$$e(t) = r i(t) + \frac{d(N\phi)}{dt} \quad (5.5)$$

EMS sisteminde yayların hareketli kütle üzerine uyguladığı yay kuvveti Eşitlik 5.6 ile verilir. Burada, k yay sabitini (N/m) belirtmektedir. Elektromanyetik kuvvet, yaylar tarafından uygulanan kuvveti yenebilecek büyüklükte olmalıdır. Ayrıca, silindir içi basınç kuvvetleri de söz konusudur.

$$F_{\text{yay}} = 2k\left(\frac{x_h}{2} - x\right) \quad (5.6)$$

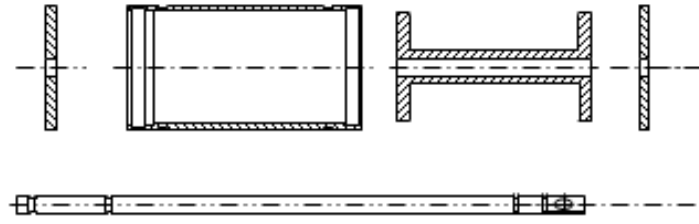
Mekanik sistemin dinamiği Eşitlik 5.7 numaralı denklemler kullanılır.

$$F_m = m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + b \frac{dx(t)}{dt} \pm F_{\text{yay}} + F_b + F_s \quad (5.7)$$

Burada, F_{yay} yay kuvvetini (N), F_m elektromanyetik kuvvetini (N), F_b sürtünme kuvvetini (N), F_s silindir içi basınç kuvvetini (N) temsil etmektedir.

5.4. DENEYSEL KURULUM

Elektromekanik supap sisteminin supapları çalıştıracak kısımları olan elektromanyetik selenoidlerin tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Bu kapsamda her bir supap için bir açma ve bir kapama selenoidi ile nüve elemanı üretilmiştir. Üretilen EMS sisteminin tasarımı Eşitlik 5.4'te görülmektedir.



a) Selenoid parçaları.



b) Parçaların birleşimi.

ekil 5.4. Elektromekanik supap sistemi tasarımı.

Elektromekanik supap sistemini silindir kapa ına ba lama aparatlarının tasarımı yapılmı ve imalatı gerçekte tirilmi tir. Bu kapsamda selenoidlerin alüminyum bir duvara montajı ile bir silindir kapa ına montajı yapılmı tir. Montajı tamamlanan sistemin foto rafı ekil 5.5'te sunulmu tur.

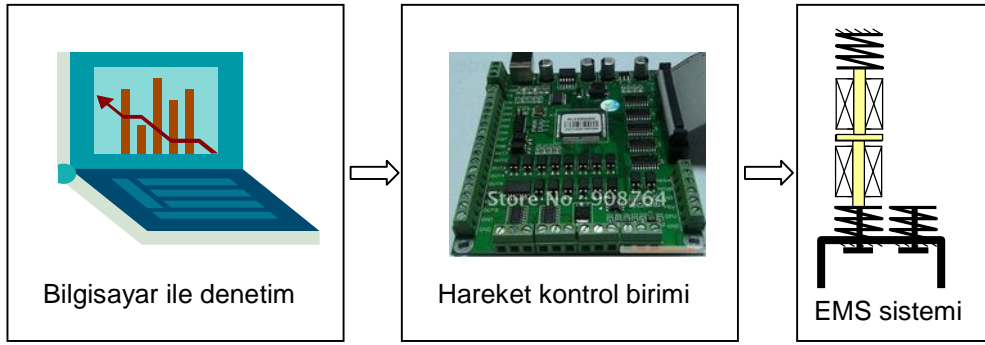


ekil 5.5. EMS sisteminin emme supabına ve silindir kapa ına montajı.

Elektromekanik sistemin test i lemleri için ba langıçta,

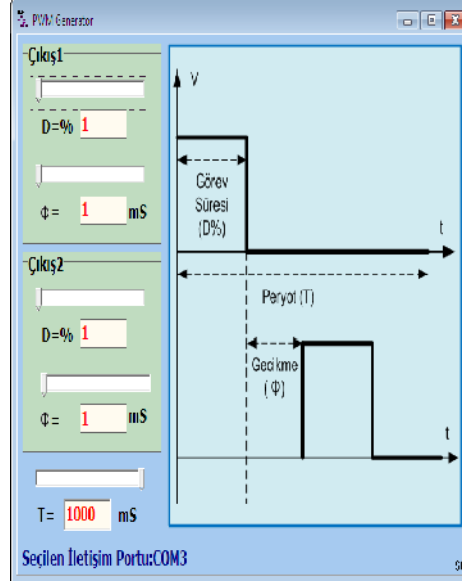
- Bilgisayar,
- Hareket kontrol (Motion kontrol) kartı,
- Veri toplayıcı (Data logger) veya osiloskop kullanılması planlanmı tır.

Ba langıç testlerinde ve sistem sınırlarının belirlenmesinde kullanılan test sisteminin eması ekil 5.6'da verilmi tir. Buna göre bilgisayar yardımıyla verilen komutlar, hareket kontrol (motion kontrol) kartı sayesinde e zamanlı olarak sisteme iletilmekte, sistemin çalı ması kontrol edilmektedir.

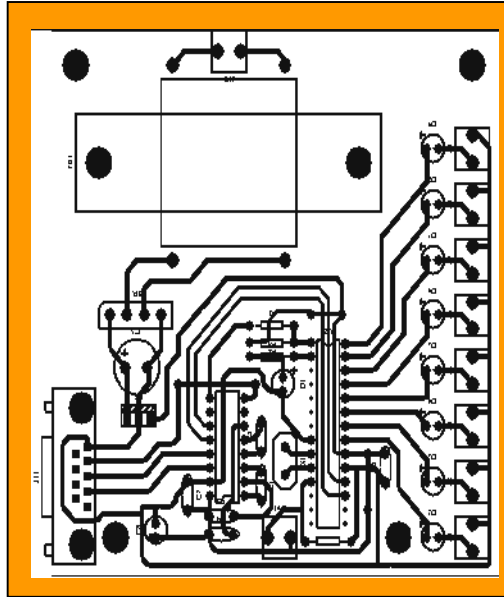


ekil 5.6. Sistem sınırlarının belirlenmesinde kullanılan ilk test sistemi.

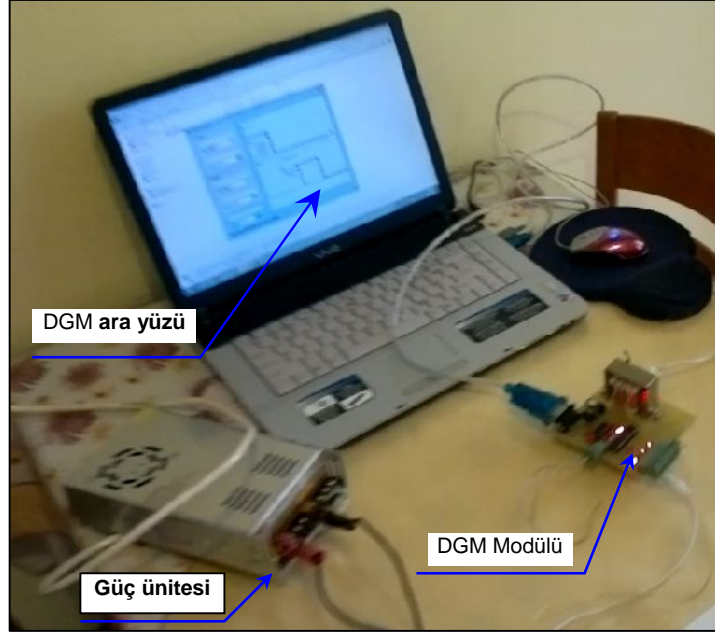
Ancak, çalı malar sırasında sistemin daha kolay kontrolünü sa layabilmek maksadıyla, hareket kontrol kartı yerine yine bilgisayardan daha kolay kontrol edilebilen mikro denetleyici tabanlı, görev süresi (duty cycle) ayarlanabilen bir darbe genilik modülatörü -DGM (Puls Width Modulation - PWM) tasarlanmı ve üretimi gerçekleştirilmi tir. Üretimi gerçekleştirilen modüle ait bilgisayar görsel kullanıcı arayüz ekran görüntüsü, baskı devre kartı görüntüsü ve bilgisayarla birlikte kullanım sırasında elde edilen foto rafı sırasıyla ekil 5.7, 5.8 ve 5.9'da verilmi tir.



ekil 5.7. Darbe geni lik modülatörü DGM'nin bilgisayar arayüz ekran görüntüsü.



ekil 5.8. Darbe geni lik modülatörü DGM'nin devre kartı.



ekil 5.9. Üretimi tamamlanan darbe genlik modülörü (DGM) ünitesi.

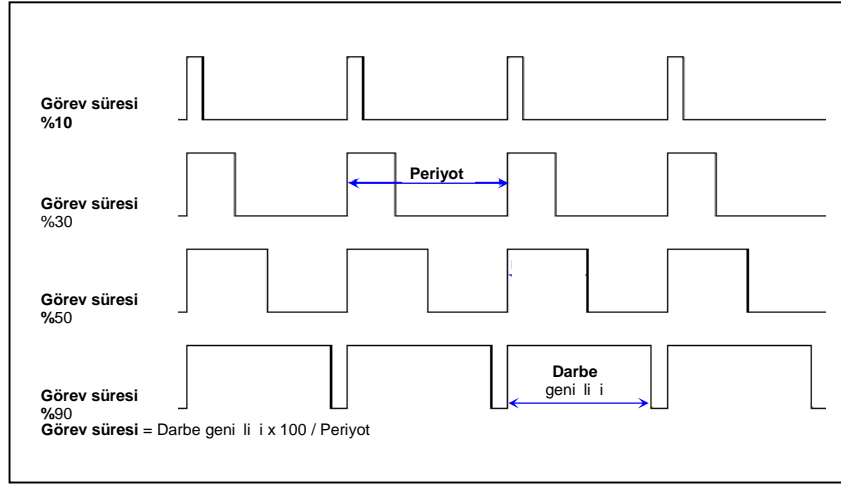
DGM modülü:

- Dört adet çıkışa sahiptir.
- Bilgisayarın USB portundan haberleşebilmektedir.
- 1-1000ms aralığında darbe genliğini ayarlanabilmektedir.
- İki sinyal arasında gecikme zamanı ms olarak ayarlanabilmekte, bu sayede faz farkını gerçekleştirilebilmektedir.

DGM, üretilecek olan sinyallerin genliklerini denetleyerek, çıkışta üretilmek istenen analog elektriksel denerin veya sinyalin elde edilmesi tekniğidir. Elektrik ve elektronikte birçok alanda, farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Telekomünikasyon, güç üreteçleri, gerilim düzenleyiciler, ses üreteçleri veya yükselteçler gibi çeşitli uygulamaları ve farklı uygulama alanları bulunmaktadır. Bir DGM ünitesi ile sistemin denetimini yapmak üzere dijital görev sürelerinde denetim sinyalleri gönderilebilmektedir. Bu özelliği sayesinde bazı güç kaynaklarında çıkış gerilimi değiştirilebilmekte, bu sayede çıkış gerilimi ayarlanabilir güç üniteleri elde edilebilmektedir. Buradaki kullanım amacı; dijital genlikte kare dalga üretimi ile EMS sisteminin çalışmasını denetlemektir. ekil 5.10'da bir DGM ünitesinde üretilen kare dalgada darbe genliğinin değeri gösterilmiştir. Burada görev süresi (Duty Cycle) Etkilik 5.8 ile hesaplanabilir.

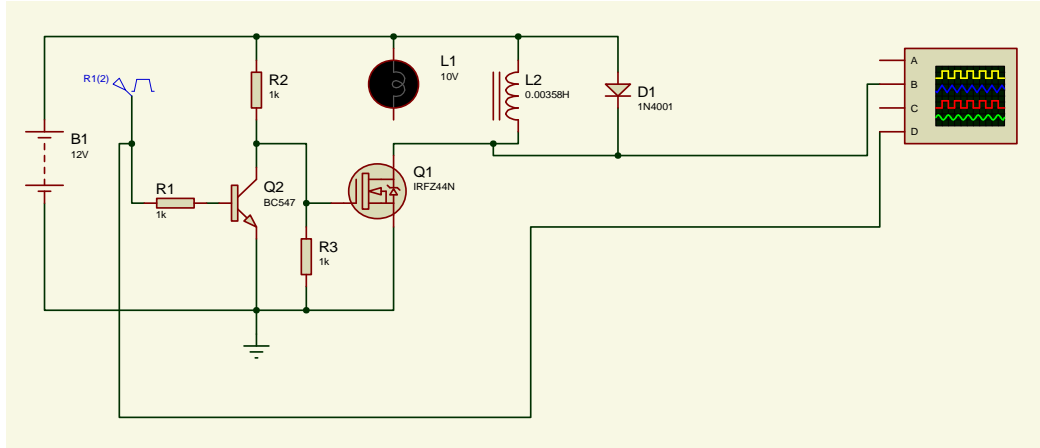
$$\text{Görev süresi} = \text{Darbe geni li i} \times 100 / \text{Periyot}$$

(5.8)



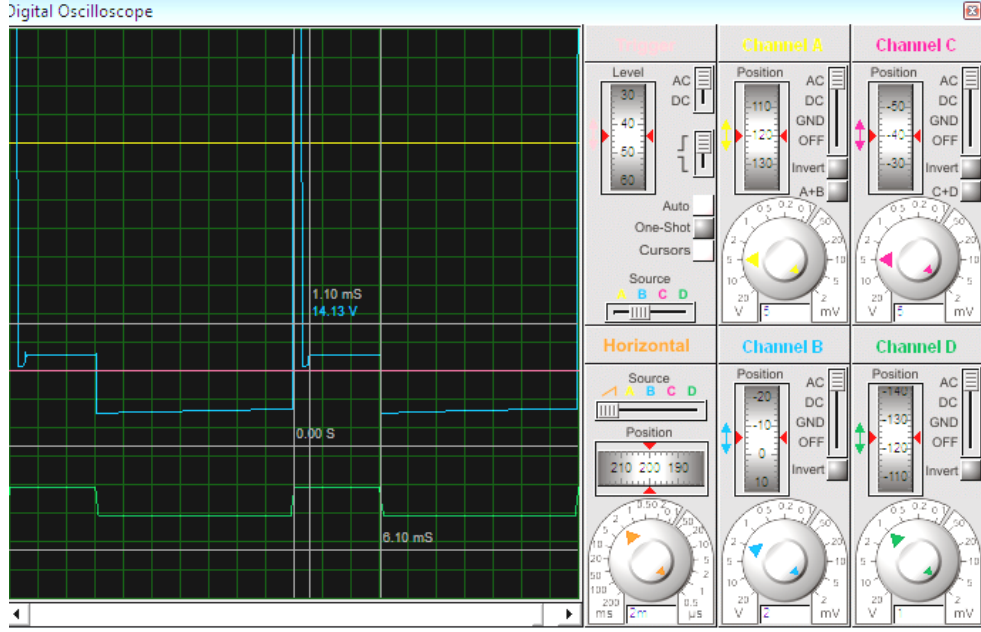
ekil 5.10. Darbe geni li inin de i imi.

EMS sisteminin analizinde kullanmak ve daha iyi yorumlamalarda bulunabilmek amacıyla ISIS elektronik devre analiz programı yardımıyla bilgisayar üzerinden analizi yapılmı tır. Söz konusu programda olu turulan elektronik e de er devre ve devreye ait osiloskop görüntüsü sırasıyla ekil 5.11 ve 12’de verilmi tir.

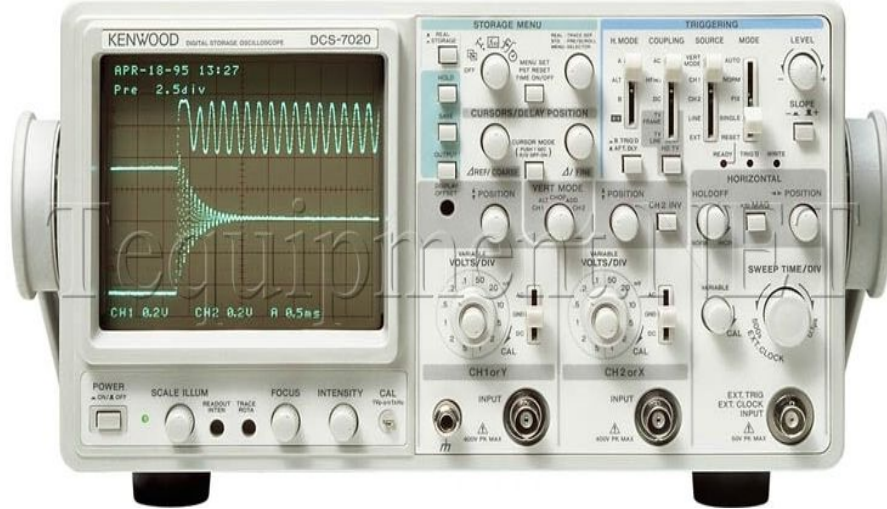


ekil 5.11. DGM’nin ISIS devre analiz programında analiz amaçlı kullanımı.

EMS sisteminin çalı ma parametrelerini ortaya koymak ve zamanlama kontrolü yapmak üzere KENWOOD marka DCS 7020 model osiloskop cihazından yararlanılmı tır. Devrenin çalı ması sırasında elde edilen görüntü örne i, ekil 5.13’te verilmi tir.



ekil 5.12. DGM'nin ISIS devre analiz programında analizi sırasında elde edilen osiloskop görüntüsü.

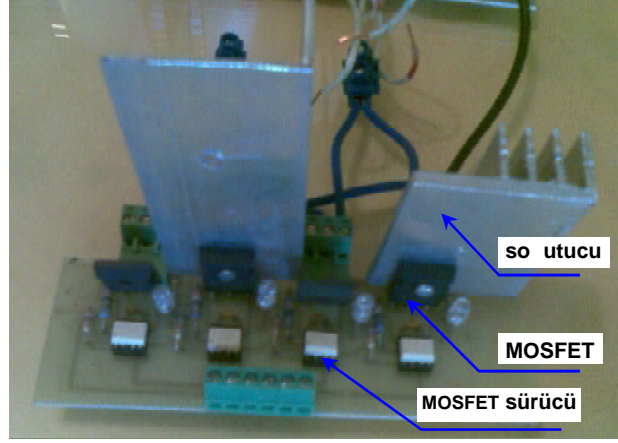


ekil 5.13. EMS sistemi testinde kullanılan osiloskop.

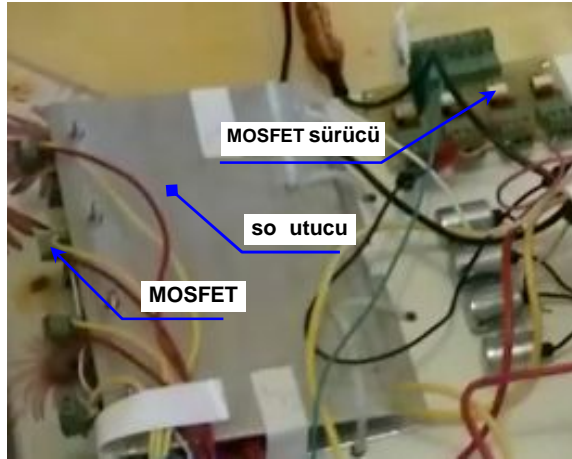
EMS sisteminde açma ve kapama görevini üstlenen selenoidlerin sürülmesinde MOSFET entegreler kullanılmı tır. Üretimi yapılan ilk devre kartında yer alan MOSFET' ler a ırı ısındıklarından, sistem kontrolünü zorla tırdıkları görülmü tır.

İk yapılan sürücü devre ekil 5.14'te verilmi tir. Bunun üzerine, sürücü MOSFET' ler ayrı bir so utucu plaka üzerine yerle tirilerek a ırı ısınmaları önlenmi tir. Söz konusu montaj sonrasında çalı ma sıcaklıklarını güvenilir seviyede tutabilmek

mümkün olmu tur. So utucu plaka üzerine yerle tirilen sürücü devre ekil 5.15'te görülmektedir.



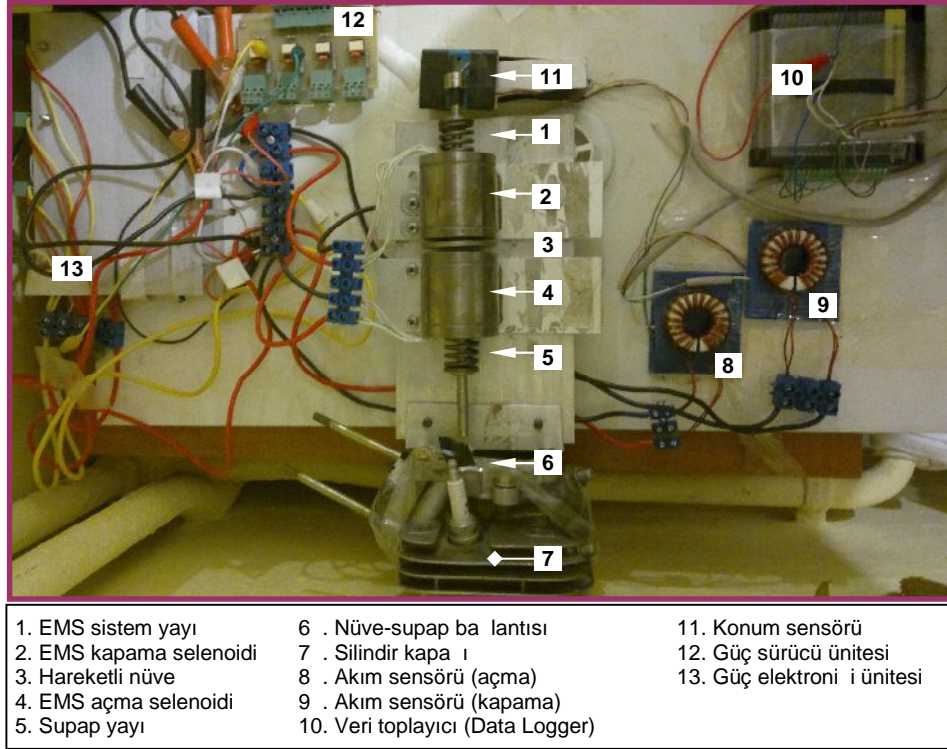
ekil 5.14. EMS sistemi için ilk üretilen sürücü devresi.



ekil 5.15. EMS sistemi için geli tirilen sürücü devresi.

Deney sel kurulumun foto rafı ekil 5.16'da verilmi tir. Deney düzene ini olu turmak üzere 12V çalı ma gerilimine sahip EMS sistemi, tek silindirli bir motora ait silindir kapa na ba lanmı tur. Sistemin denetimini yapmak üzere güç elektroni i devresi montajı yapılmı tur. EMS sisteminin bilgisayar yardımıyla denetimini sa lamak üzere Darbe Geni lik Modülatörü (DGM) üretilmi tir. DGM ile sisteme kolay veri giri i sa layabilmek için bir bilgisayar arayüz programı olu turulmu tur. Bu sayede arzu edilen DGM sinyali verileri kolayca bilgisayara aktarılabilmekte,

arayüz modülü ve DGM üzerinden EMS sistemine istenilen denetim sinyalleri gönderilebilmektedir.



ekil 5.16. Deney düzene i.

Gerçek zamanlama testleri ve de i ik kontrol parametreleri uygulanmak suretiyle test i lemleri gerçekleştirilebilmektedir. Burada kullanılan DGM ve güç elektroni i devreleri ile bobinlere gönderilen denetim sinyalleri ayarlanmaktadır.

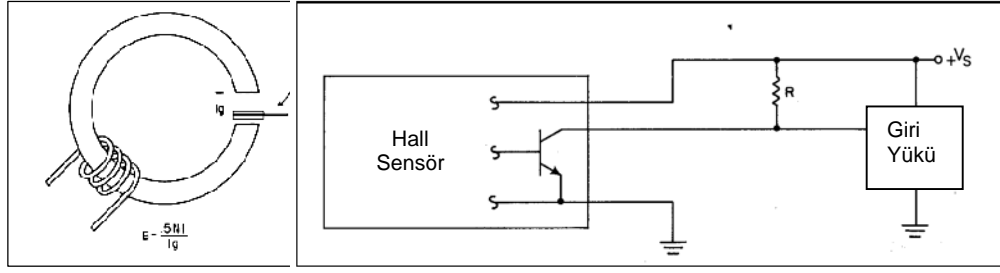
Sistemin ihtiyacı olan enerji, 220AC gerilimi 12V, 30A'e dönü türebilen bir güç kayna ı tarafından sa lanmaktadır. Güç kayna ına ait foto raf, ekil 5.17'de verilmi tir.



ekil 5.17. EMS sisteminde kullanılan besleme ünitesi.

Sistemin dinamik çalışma parametrelerini ortaya çıkarabilmek için bobin akımının, denetim sinyallerinin ve supap hareketinin ölçülmesine ihtiyaç vardır. Bu amaçla hall sensörlerden faydalanılmıştır. Hall sensörler manyetik alandan etkilenerek çıkış geriliminde de iklik elde edilebilen algılayıcılardır. Burada, her bir bobin akımını ölçmek için iki adet hall sensör, supap hareketini algılayabilmek için de bir adet hall sensör kullanılmıştır ve akım ve konum bilgileri bu sensörler yardımıyla elde edilmiştir. malatı yapılan sensör devresine ait ema ekil 5.18’de verilmiştir.

Sensörlerden elde edilen akım, pozisyon ve kontrol bilgilerini toplamak ve kayıt yapabilmek amacıyla, ART USB5935 veri toplama modülü kullanılmıştır. Bu modül 100 kS/s hızında bilgi toplama kapasitesine sahip, dijital ve analog giriş çıkış ünitelerinden oluşmaktadır. Toplanan bilgilerin analizi ve değerlendirilmesinde, ART USB5935 veri toplama modülü ile birlikte elde edilen gelişmiş ölçme ve kontrol programı kullanılmıştır. Veri Toplama Modülüne ait resim ekil 5.19’da verilmiştir.



ekil 5.18. Akım ölçmede kullanılan hall sensör devresi.



ekil 5.19. ART USB5935 veri toplama modülü.

ART USB5935 veri toplama modülü özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

AD analog giri özellikleri:

- Giri Aralığı : $\pm 10V, \pm 5V, \pm 2.5, 0\sim 10V$
- Çözünürlük : 12-bit çözünürlük, 13. bit işaret biti
- AD dönüştürme Frekansı : 500KS/s
- Kanal sayısı : 16SE/8DI
- Data Okuma Modu : yazılım sorgu modu
- Analog giri direnci : 10 M
- Programlanabilir amplifikatör tipi : AD8251(default), uyumlu AD8250, AD8253
- Amplifikatör kurulum zamanı : 785nS(0.001%)(max)
- Doğrusal olmayan hata : $\pm 1LSB$ (Maksimum)

- Sistem ölçüm doğruluğu : 0.1%
- Çalışma sıcaklık aralığı : 0°C~55°C
- Depolama sıcaklığı : -20°C~70°C

DI dijital giri özellikleri:

- Kanal sayısı : 6 kanal
- Elektrik standardı : TTL uyumlu
- Maksimum kaçak akım : <0.5V
- Yüksek seviye : $\geq 2V$
- Alçak seviye : $\leq 0.8V$

Deneysel kurulum ile;

- Statik özelliklerin belirlenebilmesi için elektromanyetik kuvvetin doğrudan kuvvet ölçer ile ölçülmesi,
- Dinamik ölçme imini gerçekleştirerek akım ve gerilim karakteristiklerinin belirlenmesi,
- Model değerlendirilmesinin, deneyler sonrasında elde edilen dataların sayısal analiz teknikleri ve grafik çözüm yöntemleri kullanılarak yapılması,
- Kontrol algoritmasının sistem sınırları belirlenerek oluşturulması hedeflenmiştir.

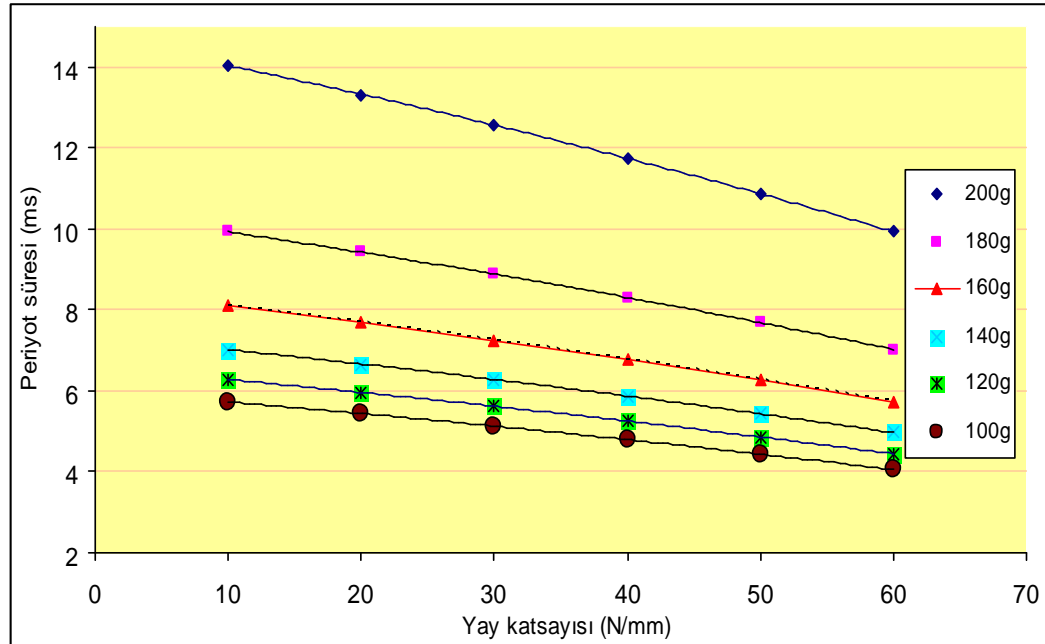
BÖLÜM 6

BULGULAR VE TARTI MA

Bu bölümde, ilk olarak üretimi yapılan EMS1 sisteminin statik ve dinamik testlerine ait sonuçlar verilmiş ve bu sonuçlara göre sistemin geliştirilebilir potansiyeline yönelik öngörülerde bulunulmuş ve grafik analizlere yer verilmiştir. Geliştirme sonunda üretilen EMS2 sisteminin statik ve dinamik analizlerine ait sonuçlar verilmiştir. EMS2 sistemi ile EMS1 sisteminden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve böylece sistemin geliştirilmesine yönelik yapılan tahminlerdeki başarı oranları ile geliştirmeye yönelik uygulama başarıları ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

6.1. STATİK ÖZELLİKLER

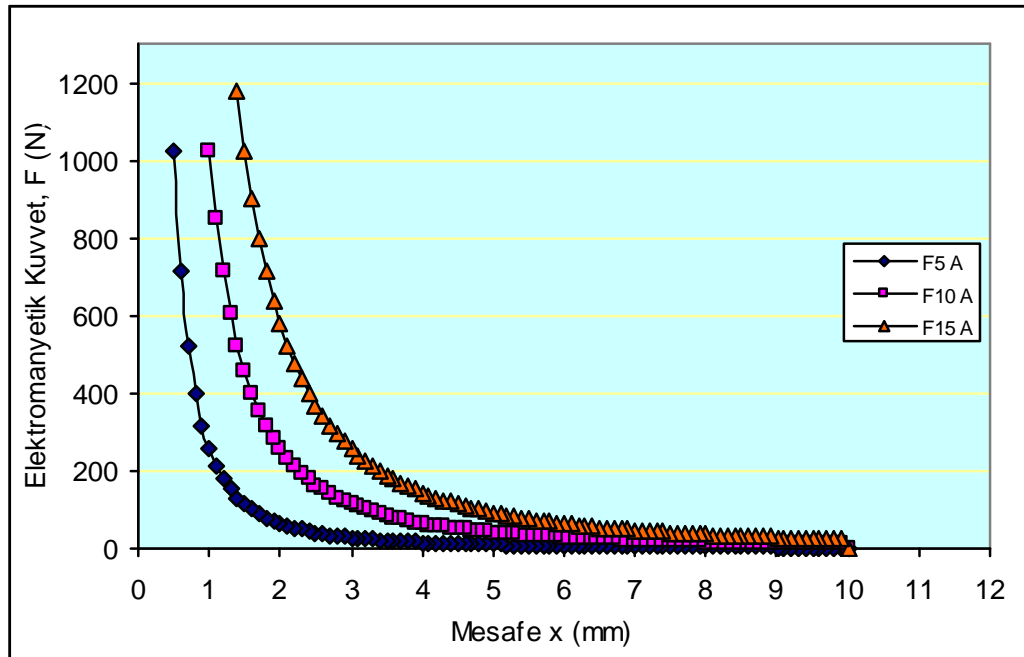
Değişik miktarlardaki hareketli kütle-yay sisteminin açma kapama süresi üzerindeki etkisi Şekil 6.1'de verilmiştir. Hareketli kütle azaldığında, çalınma hızı artmaktadır.



Şekil 6.1. Hareketli kütle-yay sisteminin açma kapama süresi üzerindeki etkisi.

Motorun yüksek hızlarda çalışabilmesi için düşük açma kapama sürelerine ihtiyaç vardır. Yüksek yay katsayısının seçimi, açma kapama süresini kısaltmaktadır, fakat ihtiyaç duyulan elektromanyetik kuvvetin de artırılmasını gerektirmektedir. Bu durum, kullanılacak olan elektromagnetik boyutlarının büyümesine, sistemin hantallaşmasına ve maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle hareketli kütle mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır.

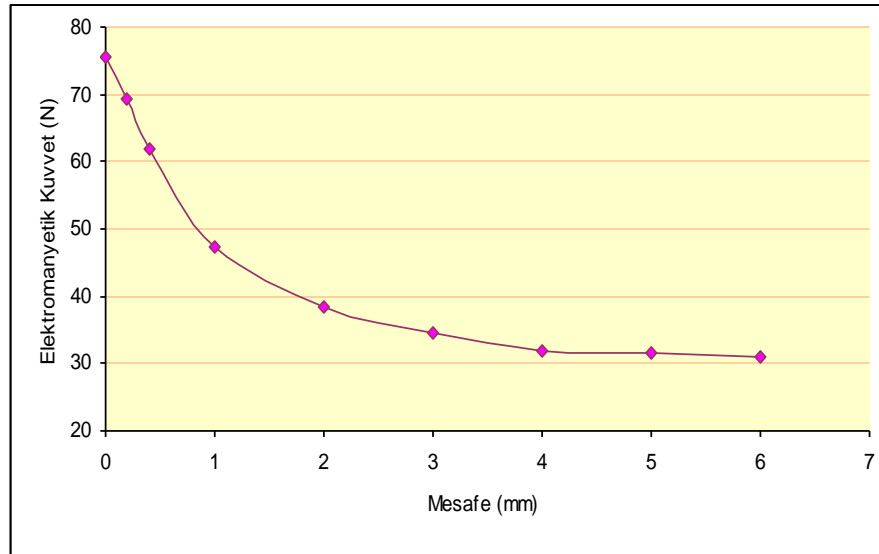
EMS sisteminin statik özelliklerini belirleyebilmek için; selenoidin tasarımında kullanılan statik hava aralığı δ de i imine bağlı olarak üretilebilecek elektromanyetik kuvvet değerleri Şekil 6.2’de verilmiştir. Buna göre, 10 A de i erinde elde edilen elektromanyetik kuvvet değerlerinin tasarımda kullanılan orjinal supap yay kuvvetini yenebilecek kapasitede olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.2. Statik hava aralığı δ de i imine bağlı olarak üretilebilecek kuvvet değerleri.

malatı tamamlanan selenoid için 10 A akım de i erinde elde edilen kuvvet - mesafe ilişkisi, Şekil 6.3’te, üretilen kuvvetin di er çalı malarla karşılaştırılması Çizelge 6.1’te verilmiştir. Burada elde edilen kuvvet değeri, kullanılan gerilim ve akım değerleri bakımından di er çalı malar ile karşılaştırıldığında oldukça küçük değere sahip olmakla birlikte, yay sabiti 10 N/mm olan orjinal supap yayını çalıştırabilecek

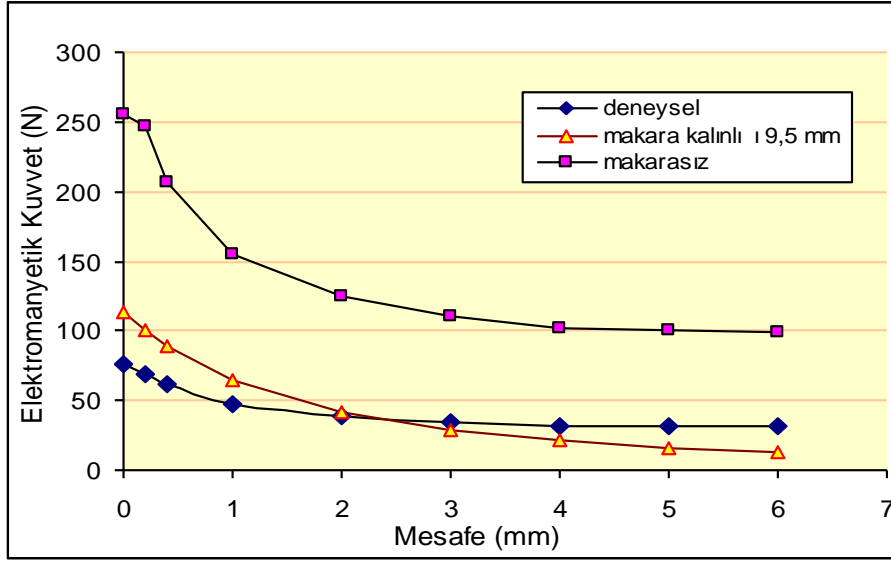
kapasiteye sahiptir. Grafikte yer alan mesafe, hareketli kütlenin yer de i tirme mesafesidir. Bobinin üzerine sarılı oldu u makara kalınlı ı çok etkilidir. Buradaki sıfır olarak gösterilen mesafe, gerçekte makara et kalınlı ı ve di er yapısal nedenlerden dolayı 9,5 mm mesafeyi temsil etmektedir. Makara kalınlı ı azaltıldı ı takdirde elde edilen kuvvet de erleri de artacaktır. Bu durum mıknatis devresinin boyutlarının küçülmesine de büyük ölçüde katkıda bulunacaktır. Burada yer alan deneysel de erler ile makara kalınlıkları nedeniyle ula ılabilecek hesaplama de erleri ve makarasız bobinden elde edilebilecek de erlerin bir kar ıla tırması ekil 6.4'te verilmi tir. Teorik olarak 9,5 mm ve sonrasındaki hesaplanan de erler ile deneysel de erlerin birbiri ile son derece uyumlu oldu u, fakat makara kalınlı ı olmadan hesaplanan de erlerle kar ıla tırıldı ında, bobinin yüksek bir geli tirilebilme potansiyeline sahip oldu u, iyile tirme sonrasında ortalama 3,28 kat daha fazla kuvvet elde edilebilece i de erlendirilmi tir.



ekil 6.3. Ölçülen kuvvet - Mesafe de i imi; I=10 A.

Çizelge 6.1. EMS bobininin kar ıla tırılması.

Çalı ma	Gerilim (V)	Akım (A)	Kuvvet (N)
EMS	12	10	76
[37]	42	7,5	69,6
[29]	42	15	600
[27]	180	5	1300



ekil 6.4. EMS bobini geli tirilme potansiyeli.

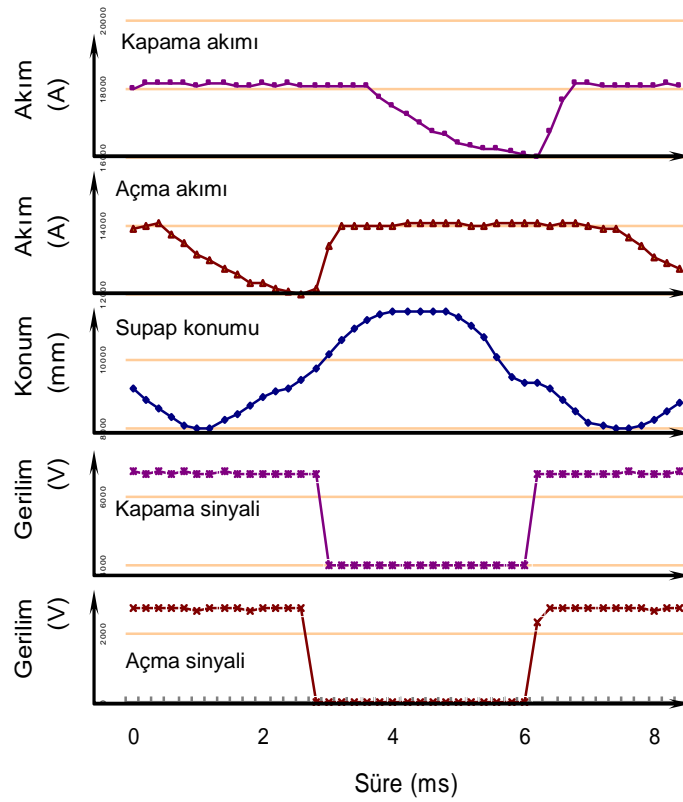
6.2. D NAM K ÖZELL KLER

EMS sisteminin dinamik özelliklerini belirleyebilmek amacıyla 2-7mm supap çalı ma aralı nda performans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümleri gerçekleştirilebilmek için, bir taraftan bilgisayar yardımıyla gerekli denetim sinyalleri darbe genilik modülasyonu (DGM) ünitesine gönderilmiş, diğer taraftan veri toplama sistemi ile sensörlerden elde edilen veriler kaydedilmiştir. Bu verilere ait bir ekran görüntüsü ekil 6.5'te, dijital veri kayıtlarından elde edilen ve değerlendirilmelerde kullanılan sinyal grafikleri ise ekil 6.6'da verilmiştir. Buna göre elde edilen sinyaller üstten alta doğru sayılacak olursa, sırasıyla açma bobini akımı, kapama bobini akımı, supap konumu, bobin açma DGM sinyali ve bobin kapama DGM sinyalidir.

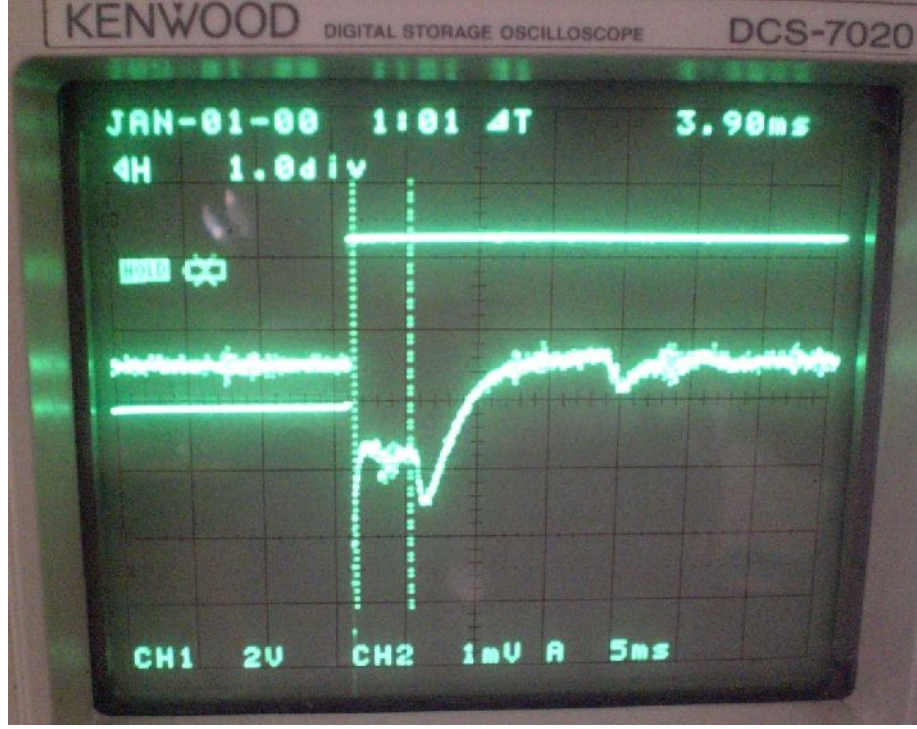
EMS sisteminde kullanılan selenoidlerin daha ayrıntılı analizini yapmak üzere osiloskop görüntüleri de incelenmiştir. Buna göre deneyler sırasında elde edilen ekran görüntüsü ekil 6.7'de verilmiştir. Ekranda EMS1 sisteminde bobinden kaynaklanan problem sahası analiz edilmiştir.



ekil 6.5. Veri toplama sistemi ekran görüntüsü.

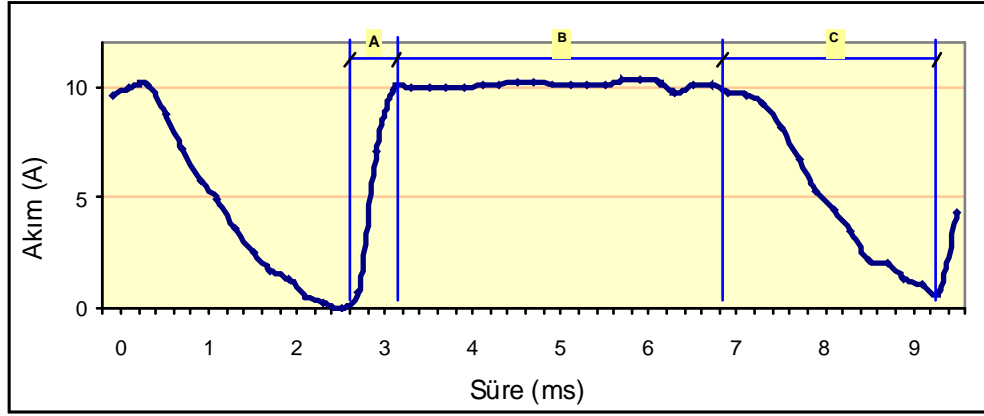


ekil 6.6. Dijital verilerden elde edilen de erler.



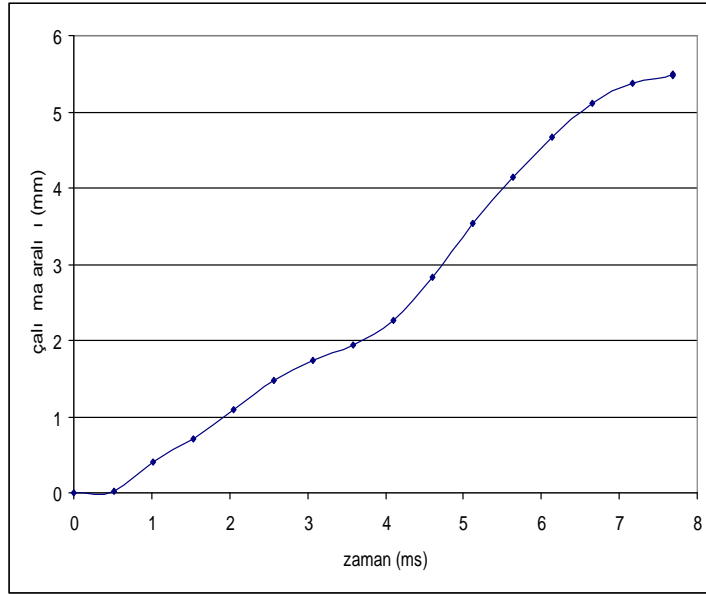
ekil 6.7. EMS sisteminin osiloskopta elde edilen ekran görüntüsü.

EMS sisteminde, supabın açma ya da kapama hareketi sırasında bobin üzerinde meydana gelen ve hall sensörler yardımıyla elde edilen akımın de i im grafi i, ekil 6.8'de verilmi tir. Burada verilen grafik herhangi bir test sırasında elde edilen grafiktir. Buna göre akım grafi i üç bölümden olu maktadır. Birinci bölüm (A), akım yükselme bölümüdür. Bu bölümde, bobinin sahip oldu u endüktans, akım de i imini engelleyecek yönde zıt elektromotor kuvvet (ZEMK) meydana getirdi i için bobin içinden geçen akım, ani de erler alamaz ve ancak zamanla de er de i tirir. Bu nedenle akımın bir de erden ba ka bir de ere de i imi için belirli bir süre gerekir. Burada, akım yükselme bölümünün yakla ık lineer bir artı gösterdi i görülmü tür. İkinci bölüm (B), akımın doygunlu a ula tı ı bölümdür. Bu bölümde akım ula abilece i en yüksek de ere ula mı ve hemen hemen sabit seviyede kaldı ı görülmü tür. Üçüncü bölüm (C), bobin üzerine uygulanan enerjinin kesildi i bölümdür. Bobin uçlarındaki gerilimin kesilmesi sonrasında bobinde depolanmı olan enerji zamanla ısıya dönü erek minimum de erine yakla an bir azalma grafi i çizdi i görülmü tür.



ekil 6.8. EMS sisteminde bobin üzerinden geçen akımın zamana göre değişimi.

Sisteminin dinamik performansının analizinde, supabın kapalı konumdan açık konuma geçi sırasında elde edilen supap hareketi ile supap hızının zamana göre değişim grafikleri ekil 6.9 ve ekil 6.10'da verilmiştir.



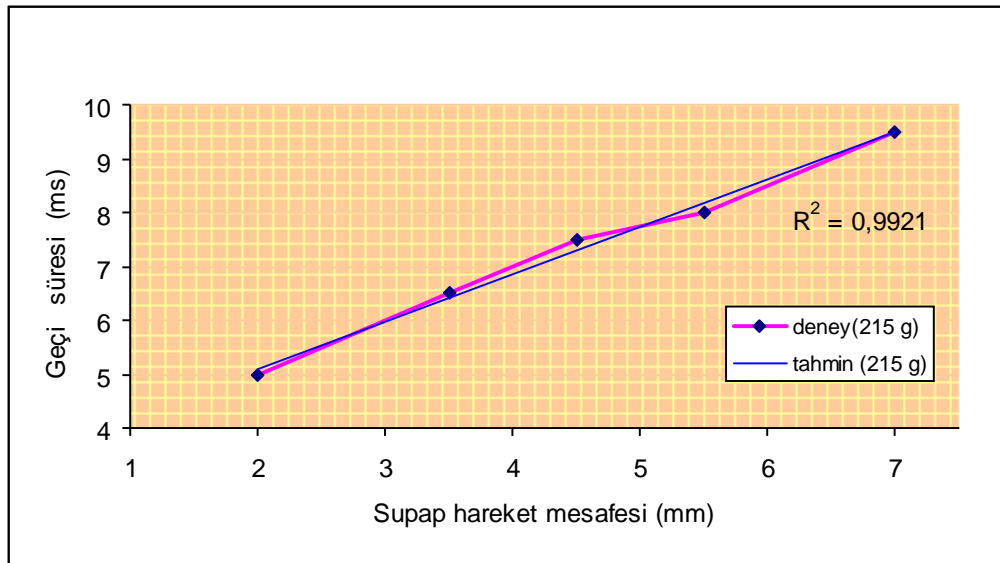
ekil 6.9. Konum zaman grafiği.

Buna göre 215g hareketli kütleye sahip sistem, 5.5 mm çalışma aralığını 8 ms sürede kat etmiştir. Supabın açma hareketi sırasında ulaştığı en yüksek hız 0,76 m/s, açma hareketi sonrasında ulaştığı hız da 0,71 m/s olarak belirlenmiştir.



ekil 6.10. Supabın açılması sırasında hız de i imi.

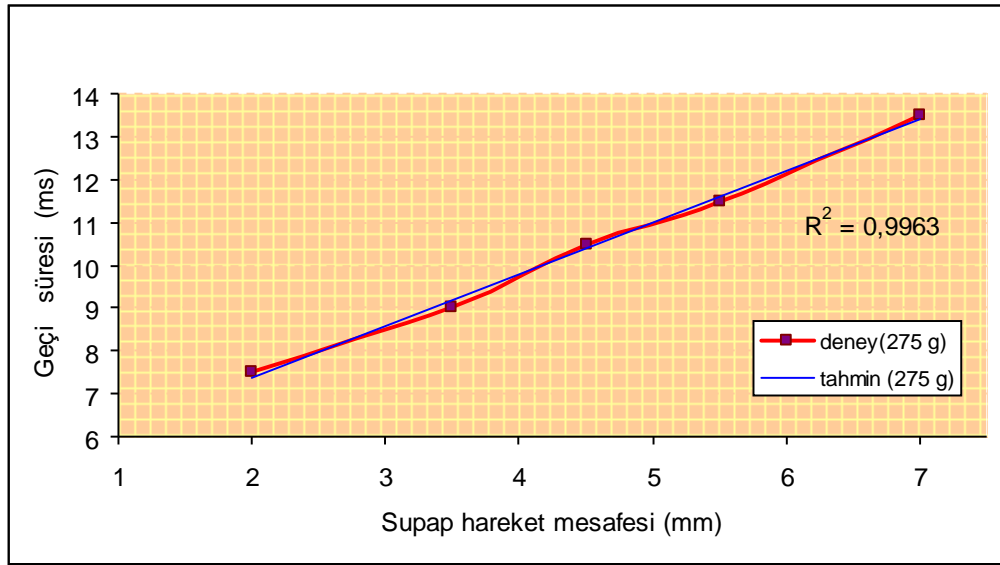
Dinamik çalı ma sınırlarının belirlenebilmesi amacıyla 2, 3,5, 4,5, 5,5 ve 7 mm supap açılma miktarlarında ula ılabilecek açma kapama hareketi süreleri test edilmi tir. Deneyler sırasında farklı kütlelerin dinamik davranı a etkisini de ortaya koyabilmek maksadıyla 215 g ve 275 g olmak üzere iki ayrı kütle için ölçümler gerçekleştirilmi tir. Elde edilen test verilerine göre eri ilbilecek çalı ma hızları ekil 6.11 ve ekil 6.12’de verilmi tir.



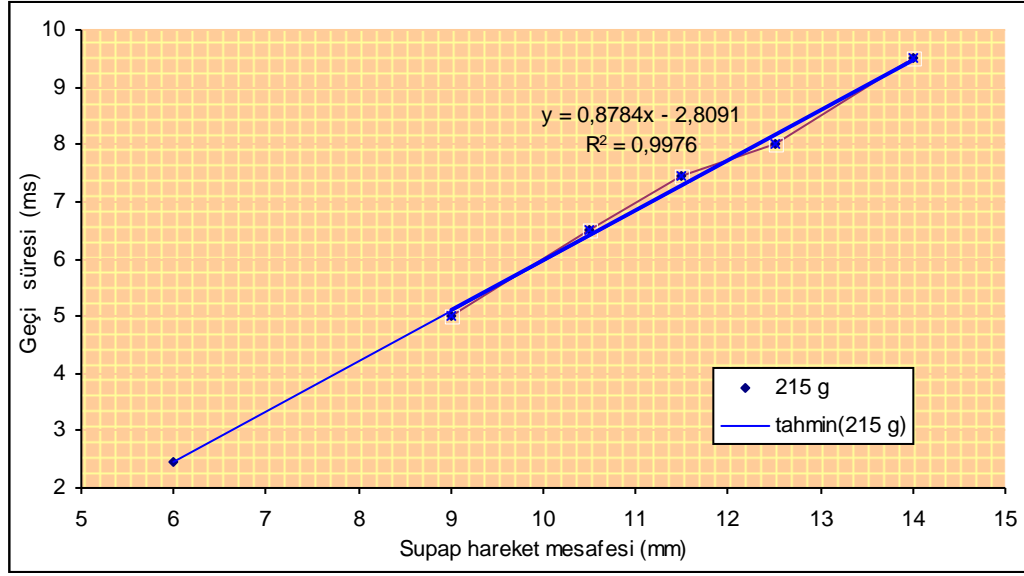
ekil 6.11. EMS sisteminin farklı çalı ma aralıklarındaki dinamik performansı (K=10N/mm, m=215g).

Buna göre, 215 g hareketli kütle için en küçük ve en büyük değerler sırasıyla 5ms ve 9,5 ms olarak ölçülmüştür, 275 g'lık kütle için ise bu değerler sırasıyla 7,5 ms ve 13,5 ms olarak belirlenmiştir. Elde edilen değerlerin uyumunu test edebilmek amacıyla en küçük kareler tekniği kullanılmıştır, buna göre verilerin lineer olarak değerlendirildiği görülmüştür. Test değerleri arasındaki uyumu gösteren R^2 değerleri 215 g ve 275 g hareketli kütleler için sırasıyla 0,9921 ve 0,9963 olarak belirlenmiştir.

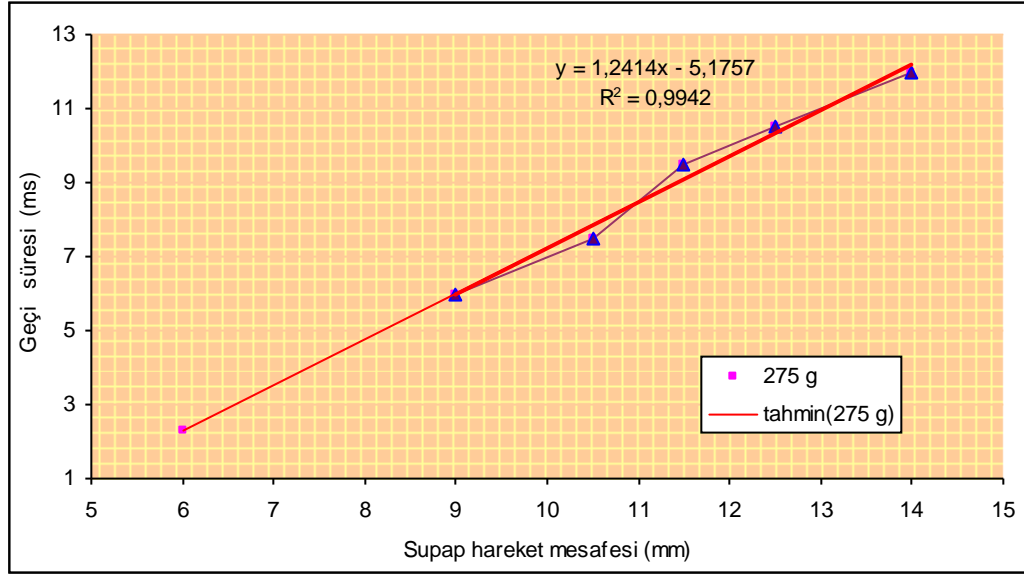
Deneysel verilerden elde edilen değerler ile bobinin geliştirilmesi sonrasında elde edilebilecek kuvvet artışı neticesinde, sistemin dinamik davranışında meydana gelebilecek iyileşme durumu ayrıca incelenmiştir. Söz konusu inceleme sonrasında açma kapama süresinin tahmini ekil 6.12 ve 6.13'te, optimum sürenin tahmini ise ekil 6.14'te verilmiştir.



ekil 6.12. EMS sisteminin farklı çalışma aralıklarındaki dinamik performansı ($K=10N/mm$, $m=275g$).



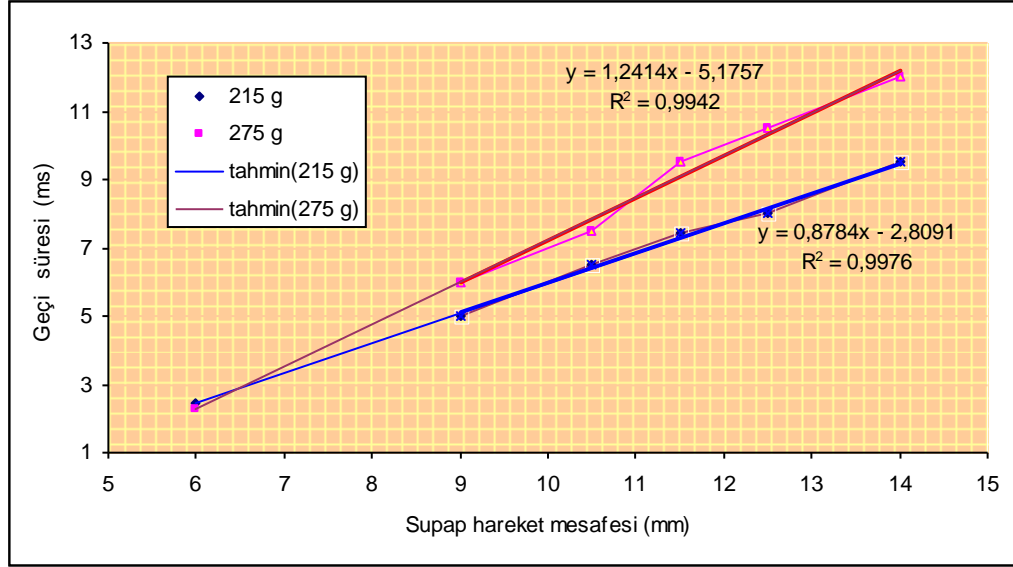
ekil 6.13. EMS sisteminin yeniden tasarımı ve iyile tirilmesi sonrasında ula ılabilecek açma ya da kapama hareketi için gerekli sürenin tahmini (215g).



ekil 6.14. EMS sisteminin yeniden tasarımı ve iyile tirilmesi sonrasında ula ılabilecek açma ya da kapama hareketi için gerekli sürenin tahmini (275 g).

Yapılan de erlendirmelerin ı ı ı altında; elektromanyetik kuvvetin elde edildi i bobinlerde kullanılan makara et kalınlı mın azaltılması yönünde yapılacak bir iyile tirme sonrasında, 6,52mm'lik supap hareket mesafesini (açma ya da kapama

hareketini) gerçekte tırebilmek için geçecek sürenin 2,91ms olabilece i öngörölmü tür, ekil 6.15.



ekil 6.15. EMS sisteminin yeniden tasarımı ve iyile tirilmesi sonrasında ula ılabilecek optimum sürenin tahmini.

Elde edilebilece i de erlendirilen bu 2,91ms'lik süre, hali hazırda bu güne kadar yapılan çalı maların yo unla tı ı ve 42V'luk çalı ma gerilimi ile çalı tırılabilce i öne sürölen sistemlerin açma ya da kapama süresi olan 3,42ms de eri ile kar ıla tırıldı nda oldukça iyi bir geli me gösterilebilece i sonucuna varılmı tır.

Bir de erlendirme yapabilmek için bazı çalı malarda elde edilen büyüklükler ile bu çalı mada elde edilen büyüklükler Çizelge 6.2'de verilmi tir. Çizelgede EMS ile ifade edilen çalı ma burada anlatılan çalı maya ait özellikleri içermektedir.

Çizelge 6.2. Diğer kaynaklarda verilen bazı büyüklükler.

Çalışma (Tasarım)	EMS	[27]	[29]	[31]	[38]
Maksimum Hız (m/s)	0,76	3	4	3	-
Maksimum Hız (m/s)	0,76	3	4	3	-
Açma süresi (ms)	8	3,42	3,33	4	9,5
Hareket mesafesi (mm)	5,5	8	8	8	4,5
Gerilim (V)	12	180	42	100	33
Akım (A)	10	5	15	-	10

Bir motorda 275 KMA'lık supap açık kalma süresi için gerekli olan EMS açma ya da kapama süresinin motor hızına göre de i mi hesaplanmı tır. Buna göre, üzerinde çalışılan bu sistemin bir motora uygulanması durumunda 2mm, 3,5mm, 4,5mm, 5,5mm ve 7mm'lik supap çalışma aralıkları için Çizelge 6.3'te belirtilen hızlarda içten yanmalı, dört zamanlı bir motoru destekleyebilece i de erlendirilmi tir.

Çizelge 6.3. EMS sisteminin bir motoru destekleme limitleri.

Çalışma aralığı (mm)	2	3,5	4,5	5,5	7
Motor hızı (1/min)	4575	3525	3050	2850	2400

6.3. LK TASARLANAN EMS S STEM N N DE ERLEND R LMES

Birinci çalışma mada, günümüz ta ıt elektrik sistemlerine uygun çalışabilecek bir EMS sisteminin tasarım ve imalatı gerçekleştirilmi tir. Bu sistemin 12V çalışma gerilimi altında ve maksimum 10A akım ile içten yanmalı bir motoru destekleme limitleri belirlenmi tir. Tasarlanan sistem, 2 mm ile 7 mm supap çalışma aralığı arasında, 2400-4575 1/min çalışma hızlarında bir motoru destekleyebilece i de erlendirilmi tir.

Yapılan testler neticesinde, üretimi yapılan bobinin oldukça yüksek bir geli tirme potansiyeline sahip oldu u, hareketli kütle üzerine yapılacak iyile tirme çalı maları ile geli tirmenin daha etkin hale getirilebilece i tespit edilmi tir. Bundan sonraki açıklamalarda ilk üretilen sistem ile yeni geli tirilecek sistemi ifade edebilmek için sistemler sırasıyla EMS1 ve EMS2 olarak adlandırılacaktır.

6.4. EMS S STEM N N GEL İ T R LEMESİ

Bundan önce belirlenen kıstaslar ve de erlendirmeler 1 1 1 altında EMS sistemi için öngörülen iyile tirme ve geli tirme çalı maları planlanmı ve uygulanmı tir.

Ürün geli tirme çalı malarında EMS1 sisteminin cevap hızını artırmak ve içten yanmalı bir motoru destekleme hız limitlerini artırmak temel hedef olmu tur. Bu hedefe ula abilmek amacıyla a a ıdaki i lem basamakları olu turulmu tur:

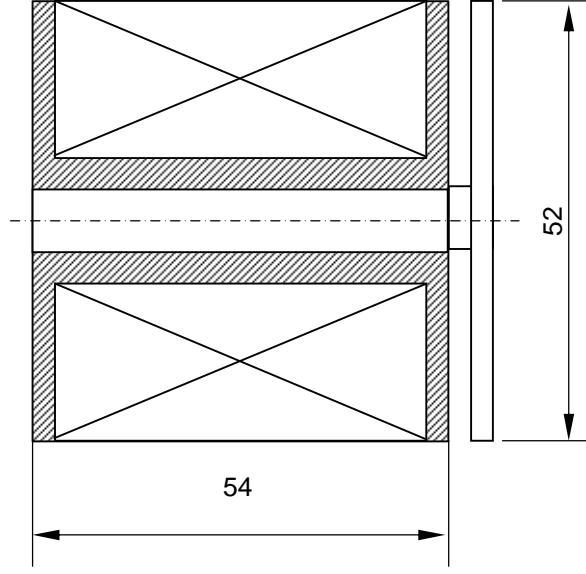
Üretim kapsamında yapılacak çalı malarla;

- Çekim kuvvetinin artırılması,
- Hareketli kütlenin azaltılması.

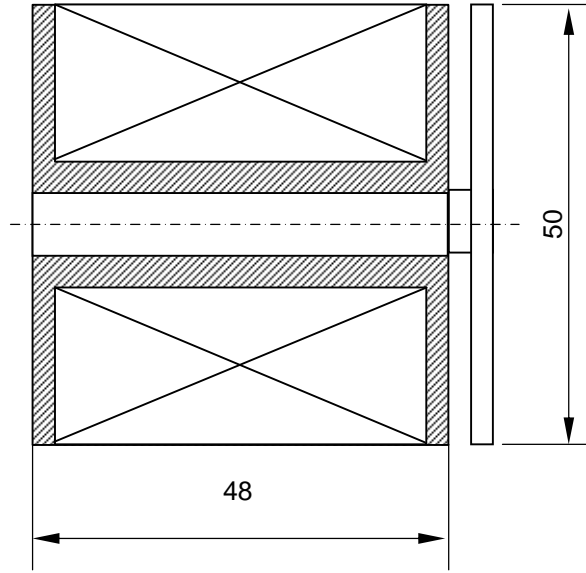
Ölçme ve de erlendirme kapsamında yapılacak çalı malarla;

- Sistem sınırlarının belirlenmesi,
- Motoru destekleme durumunun belirlenmesi hedeflenmi tir.

Çekim kuvvetinin artırılması ve hareketli kütlenin azaltılması kapsamında; Elektromanyetik kuvvetin elde edildi i selenoid üzerinde sarım tekni i ile hareketli nüve kütlesinin azaltılması konularında ürün geli tirme çalı maları yürütölmü tür. EMS1 için yapılan selenoid ile EMS2 için yeniden tasarlanan selenoid ölçüleri ekil 6.16'da görölmektedir.



a) EMS1



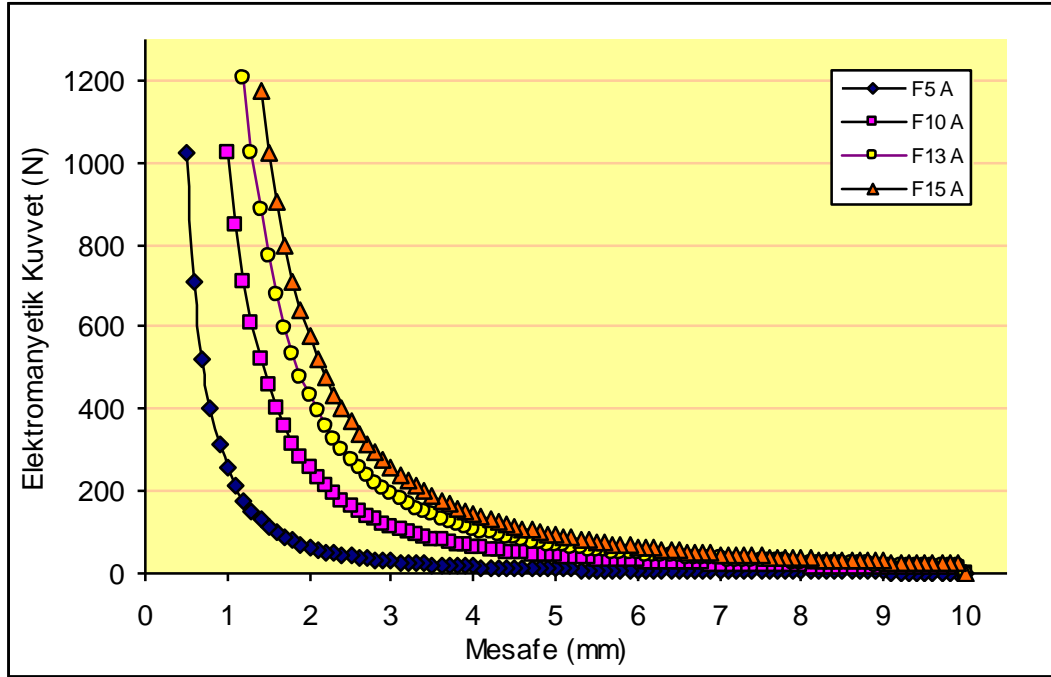
b) EMS2

ekil 6.16. Selenoid ölçüleri.

Buna göre, yeni tasarlanan selenoid 2mm daha dar ve 6mm daha kısa olarak üretilmi , sarım sayısında de i iklik yapılmamı tır.

Sarım tekni inin iyile tirilmesi sonrasında Üretimi yapılan bobinin direnci 0,9 ohm olarak elde edilmi tir. Bu durum, EMS1'in 1,2 ohm olan direnci ile kar ıla tırıldı nda %25 oranında bir azalma sa lanmı tır. Bu sayede, çekilen akım

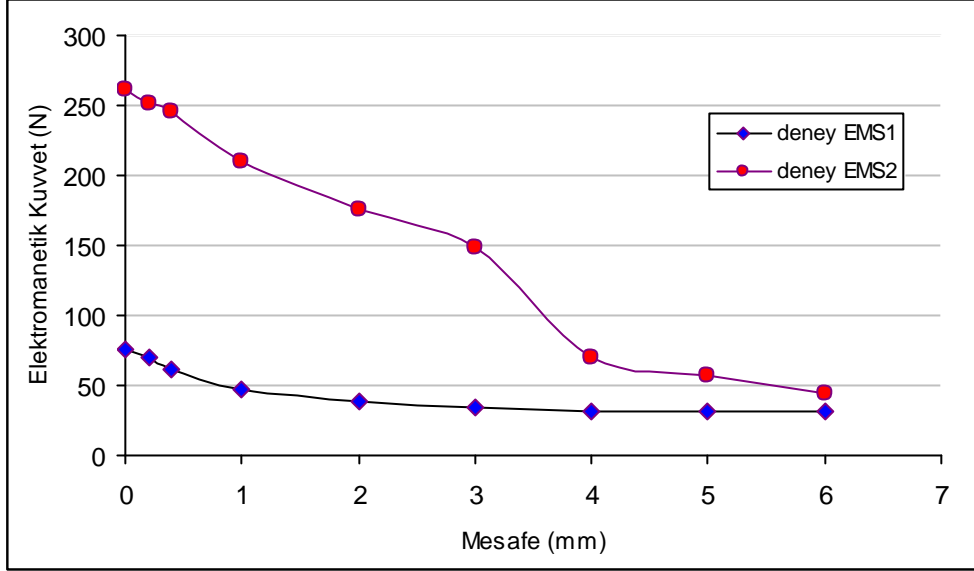
de eri 10A de erinden 13,33A de erine yükseltilerek, %33,33'lük bir artı ile daha fazla kuvvet üretilmesi sa lanmı tır. Yeni çalı ma akımını temsilen 13A akım de erinde statik hava aralı ı de i imine ba lı üretilebilecek elektromanyetik kuvvet de erleri ekil 6.17'de grafik olarak verilmi tir. Buna göre, 10A grafi i ile kar ıla tırıldı nda, aynı hava aralı na kar ılık daha büyük kuvvetler elde edilebilece i görölmektedir.



ekil 6.17. De i ik akımlarda statik hava aralı ndaki kuvvet de i imi.

letken çapı EMS1'de oldu u gibi 1mm olarak seçilmi tir. EMS1 ve EMS2 için üretilen selenoidlerde elde edilen kuvvet-mesafe de i imi grafi i ekil 6.18'de, daha önce yapılan tahmin de erlendirmeleri ile kar ıla tırmasını içeren grafik ekil 6.19'da verilmi tir. Buna göre, yeni tasarlanıp üretilen EMS2 selenoidinden elde edilen maksimum kuvvet 260,85N olarak ölçölmü tür. Bu de er EMS1'in 76 N olan maksimum kuvvet de eri ile kar ıla tırıldı nda ortalama 3,30 oranında bir artı sa landı ı, EMS1 sisteminin de erlendirmesinde belirtilen ortalama 3,28 kat geli tirilebilme potansiyel oranı ile kar ıla tırıldı nda, bobin akımında sa lanan akım artı ıyla birlikte hedeflenen de erin de üzerine çıkıldı ı, sonuç olarak tasarım çalı masının, üretim ve tahmine ait de erlendirmelerinin oldukça ba arılı çalı ma ve

de erlendirmeler oldu u görülmü tür. EMS2 sisteminin di er çalı malarla kar ıla tırması izelge 6.4'te verilmi tir.

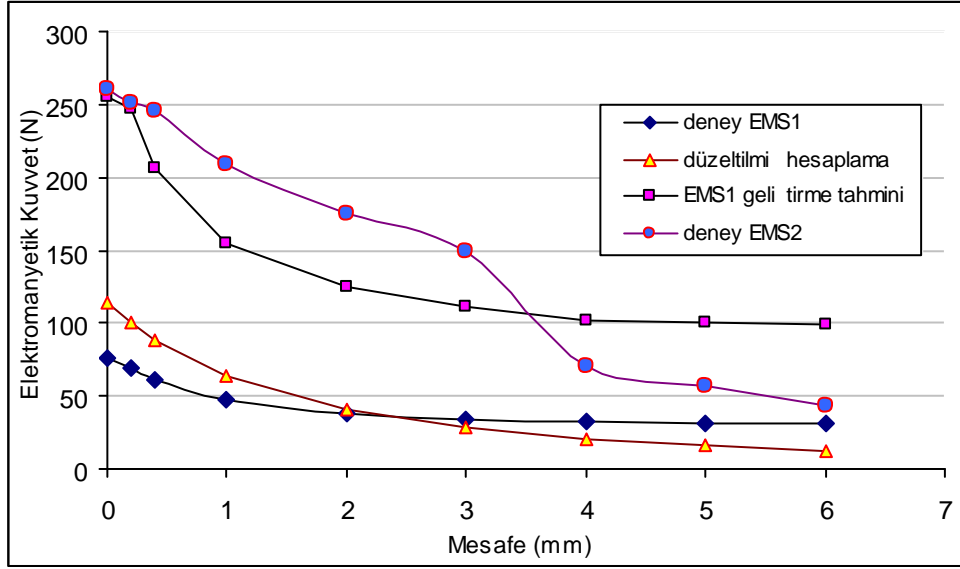


ekil 6.18. EMS1 ve EMS2’de ölçülen kuvvet de i imi.

Çizelge 6.4. EMS2 bobinin kar ıla tırması.

Çalı ma	Gerilim (V)	Akım (A)	Kuvvet (N)
EMS1	12	10	76
EMS2	12	13,33	260,9
[37]	42	7,5	69,6
[29]	42	15	600
[27]	180	5	1300

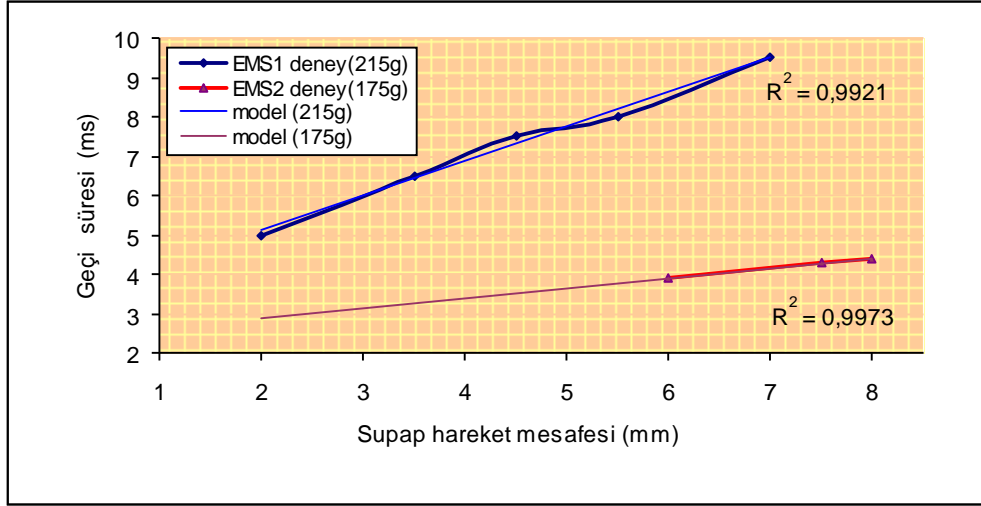
EMS2 kuvvet grafi inde 4 mm mesafeden itibaren görülen kuvvet dü üklü ünün tasarımdan kaynaklandı ı, özellikle ba langıç kısmında 2-2,5 mm’lik mesafenin yeterince de erlendirilemedi i, geli tirme çalı masının sürdürölmesi durumunda bu kısımdaki de erlerin de yükseltilebilece i de erlendirilmektedir.



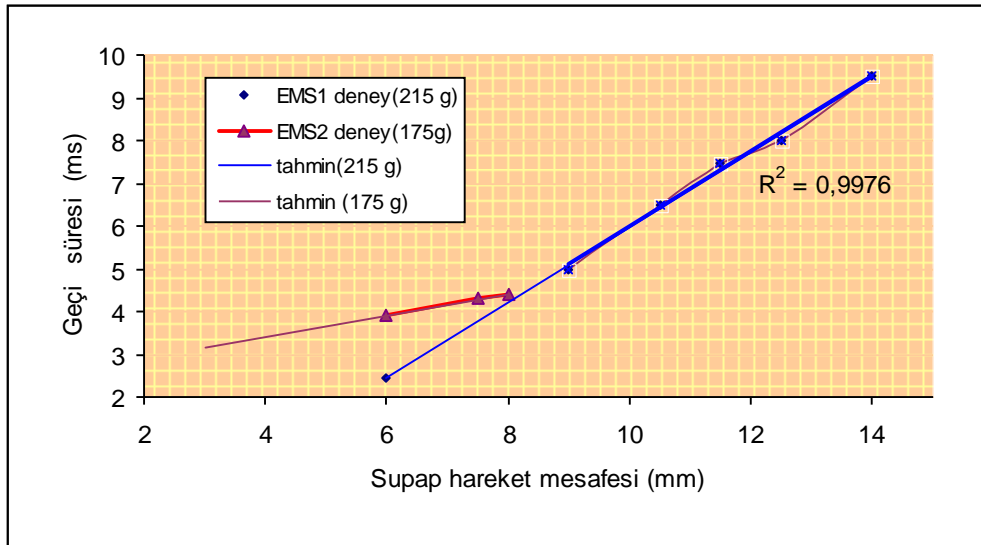
ekil 6.19. EMS1 bobini geli tirme potansiyeli ve EMS2 ile elde edilen deneysel kuvvet de i imi.

Hareketli kütlenin büyük bölümünü oluşturan nüve tasarımında titanyum malzeme kullanılmak suretiyle yeniden üretim yapılmıştır. Bu sayede hareketli kütle 175g'den erine indirilmiştir. EMS1'in 215g olan hareketli kütlesi ile karşılaştırıldığında, %18,6'lık bir kütle azaltımı sağlanmıştır.

Dinamik çalınma sınırlarının belirlenebilmesi amacıyla olarak 6mm ve 7,5mm ve 8mm supap çalınma aralıklarında çalınma testleri yapılmıştır. EMS1'de kullanılan çalınma aralıklarından farklı çalınma aralığının seçilme nedeni, daha yüksek kuvvet değerlerinin elde edilmesidir. ekil 6.20'de EMS1 ve EMS2 sistemlerinin de i iki çalınma aralıklarındaki çalınma performansları görülmektedir. Buna göre EMS2 sistemi ile 6 mm ve 7,5 mm ve 8 mm çalınma aralıklarında sırasıyla 3,9 ms ve 4,3 ms ve 4,4 ms yarı periyot süreleri elde edilmiştir. Bu değerler EMS1 değerleri ile karşılaştırıldığında, sırasıyla %54, %57 ve %58 oranında süre azalmasının sağlandığı görülmüştür. Bir önceki süre ile ilgili geli tirilebilme potansiyeli 6,5 mm mesafe için 2,91 ms olarak tahmin edilmesine karşılık EMS2 ile 6,5mm'lik mesafede 4,03ms'den er hesaplanarak elde edilmiştir, ekil 6.21. Bu değer öngörülen değerden %37 daha fazla olmakla birlikte hareketli kütle üzerinde yapılacak iyileştirmeler ile daha da azaltılabileceği değerlendirilmektedir. EMS2 sistemi ve diğer kaynaklarda verilen bazı büyüklüklerin karşılaştırması Çizelge 6.5'te verilmiştir.



ekil 6.20. EMS1(K=10N/mm) ve EMS2 (K=20N/mm)' nin dinamik performansları.



ekil 6.21. EMS1(K=10N/mm) tahmini ve EMS2 (K=20N/mm)' nin dinamik performanslarının karşılaştırılması.

Çizelge 6.5. EMS2 sistemi ve diğer kaynaklarda verilen bazı büyüklükler.

Çalışma (Tasarım)	EMS1	EMS2	EMS2	[27]	[29]	[31]	[38]
Yarı açma süresi (ms)	8	3,9	4,4	3,42	3,33	4	9,5
Hareket mesafesi (mm)	5,5	6	8	8	8	8	4,5
Gerilim (V)	12	12	12	180	42	100	33
Akım (A)	10	13,3	13,3	5	15	-	10

EMS2 sisteminin daha gerçekçi olarak bir motoru destekleme durumunun ortaya konulabilmesi için Çizelge 6.6’da de erleri verilen motor parametreleri dikkate alınmı tır.

Buna göre, supap açık kalma süresi için gerekli olan EMS2 açma ya da kapama süresinin motor hızına göre de i imi hesaplanmı tır. Buna göre, üzerinde çalı ılan bu sistemin bu motora uygulanması durumunda 6mm, 6,5mm, 7,5mm ve 8 mm supap çalı ma aralıkları için Çizelge 6.7’de belirtilen hızlarda içten yanmalı, dört zamanlı bu motoru destekleyebilece i de erlendirilmı tır.

Çizelge 6.6. çten yanmalı, dört zamanlı motor özellikleri.

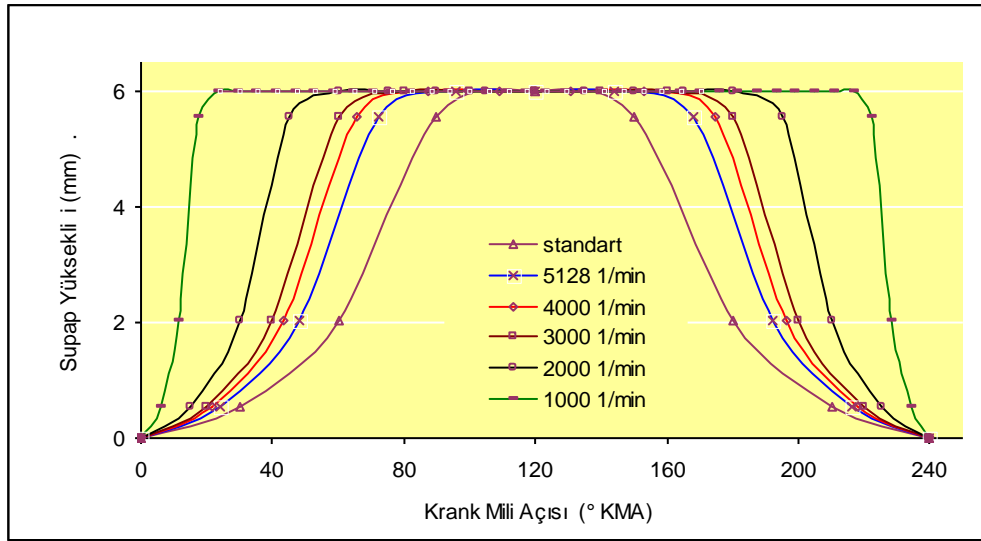
Markası	Briggs and Stratton- Vanguard
Silindir sayısı	1
Piston kursu	50 mm
Silindir çapı	68 mm
Kurs hacmi	182 cm ³
Maksimum hız	3600 1/min
EmAA	16° KMA Ö.ÜÖN
EmKG	44° KMA S.AÖN
EgAA	45° KMA Ö.AÖN
EgKG	15° KMA S.ÜÖN
Supap yüksekli i	6 mm

Çizelge 6.7. EMS2 sisteminin bir motoru destekleme limitleri.

Çalı ma aralı ı (mm)	4,5	5,5	6	7	8
Motor hızı (1/min)	5714	5263	5128	4761	4545

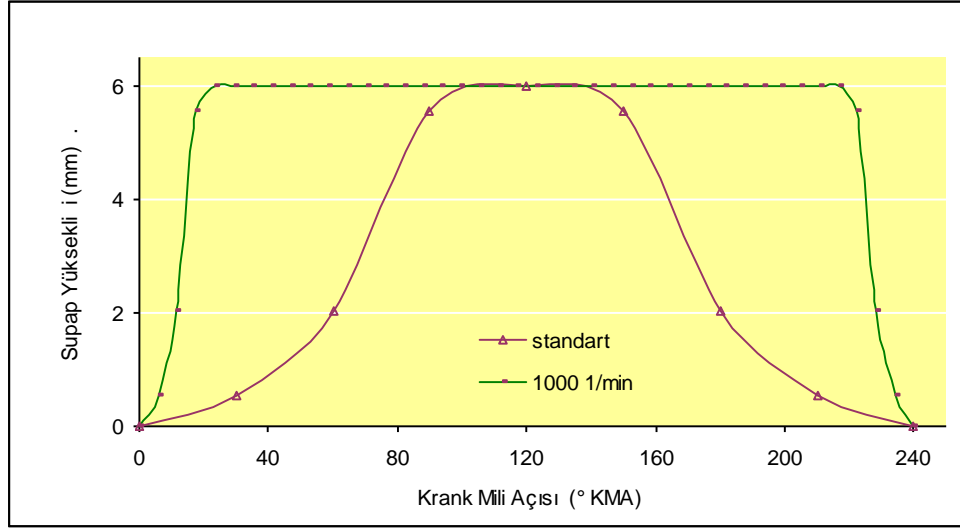
EMS2 sisteminin standart supap sistemine olan üstünlüklerini ortaya koyabilmek amacıyla de i ik devirlerdeki dinamik performansları grafik olarak ekil 6.22’de verilmi tır. Buna göre EMS2 sistemi 6 mm supap yüksekli inde, 5128.2 1/min motor

hızına kadar çalı tırılabilir. Standart supap sisteminde supapların açılıp kapanması devir de i ikli inden etkilenmez ve her devirde krank mili ile ili kilendirilmi çalı mayı sergiler. Buna kar ılık EMS2 sisteminde, motor devri azaldıkça supabın açık kalma süresi artar. 5128 1/min hızında dâhi standart supap grafi i ile kar ıla tırıldı ında, supabın tam açık konuma daha erken ula tı ı, bu nedenle daha fazla açık kalma süresine sahip oldu u görülmektedir.



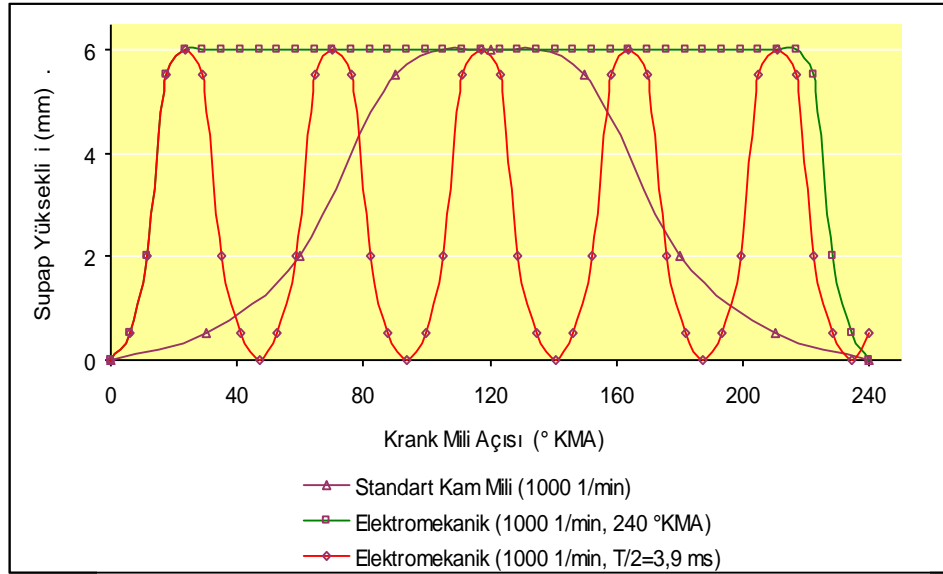
ekil 6.22. Standart supap sistemi ile EMS2 sisteminin de i ik devirlerdeki dinamik performansları.

Standart supap sistemi ile EMS2 sisteminin sabit devir performanslarının kar ıla tırması ekil 6.23'te verilmi tir. Buna göre 1000 1/min motor hızında EMS2 sistemi 30° KMA'ya kar ılık gelen bir dönü açısında tam açık konuma gelirken standart supap ise yakla ık 100° KMA'ya kar ılık gelen bir dönü açısında tam açık konuma ula maktadır. Kapanma olayı da bu sürelerle e de er olarak gerçekleşle mektedir.



ekil 6.23. Standart supap sistemi ile EMS2 sisteminin sabit devir performansları.

Standart supabın bir açılıp kapanma hareketinde, EMS2 sisteminin anahtarlanabilme kapasitesi ekil 6.24'te verilmi tir.



ekil 6.24. Standart supabın bir açılıp kapanma hareketine kar ılık EMS2 sisteminin anahtarlanabilme kapasitesi.

Standart supap sisteminin bir açılıp kapanma hareketinin gerçeikle ti i sürede EMS2 sistemi çoklu olarak anahtarlanabilme kapasitesine sahiptir. Buna göre

1000 1/min motor hızında standart supabın bir defa açılıp kapatılma süresinde EMS2 sistemi be kat daha fazla anahtarlanabilmektedir.

6.5. EMS2 S STEM N N DE ERLEND R LMES

EMS1 sisteminin geli tirilmesi yönündeki tespitler ve de erlendirmeler sonucunda EMS2 sisteminin tasarımı ve imalatı gerçeyle tirilmi tir. Bu sistemin 12V çalı ma gerilimi altında ve maksimum 13,33A akım ile içten yanmalı bir motoru destekleme limitleri belirlenmi tir. Buna göre, belirlenen destekleme hızlarına kadar herhangi bir kısıtlama olmaksızın, çalı ma aralı ının küçültülmesi sayesinde de daha üst hızlarda EMS2 sisteminin rahatlıkla motoru destekleyebilece i de erlendirilmi tir. Kam mili ile kumandalı DSA sistemlerinde oldu u gibi EMS2 sistemlerinde de avans vermek suretiyle çalı tırılabilme sınırlarının daha da üst seviyelere çıkarılabilece i de erlendirilmektedir.

Yapılan testler neticesinde, üretimi yapılan EMS2 sisteminin de yüksek bir geli tirme potansiyeline sahip oldu u, selenoid tasarımının geli tirilmesi ve hareketli kütle üzerine yapılacak iyile tirme çalı maları ile geli tirmenin daha etkin hale getirilebilece i tespit edilmi tir.

Bundan sonraki çalı malarda mevcut otomotiv sistemlerine uyumlu, içten yanmalı motorları her türlü çalı ma ko ullarında destekleyebilen, güç tüketimi dü ük EMS sistemlerinin geli tirilmesi üzerine çalı maların sürdürülebilece i, geli tirilen EMS2 sistemin motor performansı, egzoz emisyonları ve yakıt tüketimi üzerine etkilerinin ara tırılabilce i de erlendirilmi tir.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, modern tesislerin elektrik sistemlerine uyumlu, bir elektromekanik supap (EMS) sistemi tasarlanmıştır ve geliştirilmiştir. Başlangıç tasarımında, 215 g kütleyle sahip hareketli nüve kullanılmıştır, sistemin statik özelliklerinin belirlenmesi aşamasında maksimum elektromagnetik kuvvet değeri 76 N olarak ölçülmüştür. Sistemin dinamik özelliklerinin belirlenmesi aşamasında 2 mm ile 7 mm arasındaki iki çalışma aralıklarında geçiş sürelerinin 5 ms ile 9,5 ms aralığında lineer olarak değeri belirlenmiştir. Bunlardan 5,5 mm ve 6 mm supap çalışma aralıkları için geçiş süreleri sırasıyla 8 ms ve 8,5 ms olarak ölçülmüştür. Sistemin çalışma gerilimi 12 V, sistemden çekilen maksimum akım değeri de 10 A olarak gerçekleştirilmiştir.

Sistemin 275 g hareketli kütleyle sahip nüve kullanılması durumundaki dinamik davranışı ayrıca incelenmiştir. 2 mm ile 7 mm arasında iki çalışma aralıklarındaki geçiş sürelerinin 7,5 ms ile 13,5 ms aralığında lineer olarak değeri belirlenmiştir. Kütle artmasına paralel olarak geçiş süresinin artışı görülmüştür, EMS sistemlerinden maksimum faydayı sağlayabilmek için mümkün olan en az kütle ile supap hareketinin sağlanmasının uygun olacaktır değerlendirilmiştir.

Sistemin geliştirilmesi amacıyla sarım sayısı ve kullanılan iletken çapı sabit kalmakla birlikte, bobinlerin sarıldığı makara kalınlığının azaltılması, bobin sarım tekniğinin geliştirilmesi, hareketli nüve kütlelerinin azaltılması, sistemi oluşturan bazı bölümlerde titanyum malzeme kullanılması gibi çeşitli geliştirme çalışmaları yürütülmüştür.

Sistemin fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi kapsamında yapılan çalışmalar neticesinde ulaşılan sonuçları aşağıdadır:

- Elektromanyetik kuvvetin olu turuldu u selenoid çapı %4, boyu ise %11 kultilerek sırasıyla 50 mm çap ve 48 mm boy de erlerinde yeniden imal edilmi tir.
- Hareketli nüve kütlesi %18,6 azaltılarak 175 g de erine d rlm tür.
- Sistemde kullanılan supap yayı ve sistem yaylarının yay katsayıları 10N/mm de erinden 20N/mm de erine ykseltilmi tir.

Sistemin statik ve dinamik özelliklerinin geli tirilmesi ve belirlenmesi kapsamında ula ılan sonuçlar unlardır:

- Geli tirilen sistemin çalı ma gerilimi; ba langıçta üretilen sistemin çalı ma gerilimi ile aynı olacak ekilde, 12V olarak belirlenmi ve uygulanmı tir. Çalı ma gerilimi bakımından, literatür çalı malarında kullanılan 42V, 100V ve 200V'luk de erler ile kar ıla tırıldı nda; sırasıyla %71, %88 ve %94 oranında daha dü ük gerilimlerle çalı manın mümkün olabilece i sonucuna ula ılmı tir.
- Sistemden çekilen maksimum akım de eri; ba langıtaki çalı maya göre %33 artarak 10 A de erinden 13,3 A de erine ykseltilmi tir. Bu bakımdan literatürde yer alan 5 A, 7,5 A ve 10 A de erlerine göre daha büyük, 15 A de erine göre daha kk akım de erine sahip oldu u görülmü tür.
- Maksimum elektromıknatis kuvvet de eri; ba langıtaki sisteme göre 3,43 kat artarak 76 N de erinden 260,85 N de erine ykseltilmi tir. Bu de erin, literatürde yer alan 69,6 N de erinden 3,73 kat daha fazla oldu u, 600N ve 1300N de erlerine göre ise sırasıyla %57 ve %80 daha az oldu u tespit edilmi tir.
- Hareketli nüvenin geçi süresi, 6 mm ve 8 mm supap çalı ma aralıkları için sırasıyla 3,9 ms ve 4,4 ms olarak llm tür. 6 mm çalı ma aralı ndaki geçi süresi, EMS1'in 5,5 mm lik çalı ma mesafesinde elde edilen 8,5 ms de eri ile kar ıla tırıldı nda %54'lk bir süre kısalmasının sa landı ı tespit edilmi tir. Buna kar ılık, 8 mm çalı ma aralı ı için elde edilen 4,4 ms' lik geçi süresi; de i ik çalı malarda elde edildi i bildirilen geçi süreleri 3,42 ms, 3,33 ms, 4 ms ile kar ıla tırıldı nda sırasıyla %29, %40 ve %10 daha fazla geçi süresine sahip oldu u, 4,5 mm çalı ma aralı ı için elde edildi i bildirilen 9,5

ms ile karılaştırıldı. İnda ise EMS2'nin geçi süresinin %54 daha kısa sürede gerçekleştiği de erlendirilmiştir.

- Sistemin geliştirilmesi kapsamında oldukça isabetli tahminler yapılmıştır. Buna göre EMS1'in 76N olan maksimum kuvvet de erinin ortalama olarak 3,28 kat artırılabilmesi öngörülmüştür. Geliştirilme sonrasında maksimum kuvvet 3,30 kat artışı ile 260,85 N de erine ulaşmıştır. 6,5 mm çalı ma aralı ındaki geçi süresinin 2,91ms olması beklenmiştir. Ancak kütle üzerinde yeterince azalma sağlanamadığından bu de er 4,03 ms olarak gerçekleşmiştir. Bu de er tahmin edilenden %37 daha fazla olmakla birlikte sistemin daha fazla geliştirilebilme potansiyeli taşıdığı nın bir belirtisi olarak de erlendirilmiştir.
- Sistemin 4,5 mm, 5,5 mm, 6mm, 7 mm ve 8 mm çalı ma aralıklarındaki geçi süreleri belirlenmiş 240° KMA supap açık kalma süresinde sırasıyla; 4545; 4761; 5128; 5263; 5714 1/min hızlarına kadar içten yanmalı bir motoru destekleyebileceği, bu de erlerin üzerindeki hızlarda ise kısımlı olarak desteklemeye devam edilebileceği sonucuna ula ılmıştır.

Bundan sonra yürütülecek çalı malarla;

- Üretimi tamamlanan sistem tekrar geliştirilerek daha küçük hareketli kütle ile daha hızlı geçi süreleri elde edilebileceği,
- Sistemin motor üzerine montajı yapılarak tok, güç, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarına olan etkilerinin incelenebileceği de erlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Gaeta, di A., Glielmo, L., Giglio, V. and Police, G., “Modeling of an electromechanical engine valve actuator based on a hybrid analytical-FEM approach”, *IEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 13 (6): 625–637 (2008).
2. Okur, M. ve ahin, F., “Turbo döngüsel bir motorda döner valf ve elektromanyetik valf uygulamalarının türbin gücüne etkisi”, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28 (1): 51–58 (2013).
3. Karabulut, H. ve Sarıdemir, S., “Comparison of cam profiles obtained via classical spline method for different lifted – valve periods and lifts”, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 24 (3): 509–515 (2009).
4. Koç, M., Sekmen, Y., Topgül, T. ve Yücesu, H. S., “The effects of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark ignition engine”, *Renewable Energy*, 34 (10): 2101–2106 (2009).
5. Sekmen, Y., “Karpuz çekirde i ve keten tohumu ya ı metil esterinin dizel motorda yakıt olarak kullanılması”, *Teknoloji Dergisi*, 10 (4): 295–302 (2007).
6. Çelikten, . ve Gürü, M., “Petrodizel ve kanola biyodizeli performans ve emisyon kriterlerinin mangan esaslı katkı maddeleriyle geli tirilmesi”, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26 (3): 643–648 (2011).
7. Akta , A. ve Sekmen, Y., “Biyodizel ile çalı an bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi”, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23 (1): 199–206 (2008).
8. Sekmen Y., Sekmen P. ve Salman M.S., “Buji ate lemeli bir motorda sıkı tırma oranının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi”, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 22 (4): 745–751 (2007).
9. Nagaya, K., Kobayashi, H. And Koike, K., “Valve timing and valve lift control mechanism for engines”, *Mechatronics*, 16: 121–129 (2006).
10. Çınar, C., Sekmen, Y., Akba , A. ve Erduranlı, P., “Buji ile ate lemeli motorlarda emme supabı kalkma miktarının performansa etkileri üzerine bir ara tırma”, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 10 (2): 179–184 (2004).

11. Atzler, F., “On the future of the piston engine with internal combustion an overview”, *Marie Curie Fellowship Conference*, Profactor GmbH, Steyr, Austria (2001).
12. Shiao, Y. and Dat, L. V., “Efficiency improvement for an unthrottled SI engine at part load”, *International Journal Of Automotive Technology*, 13 (6): 885–893 (2012).
13. Wong, P.K. , Tam, L. M. and Li, K., “Modeling and simulation of a dual-mode electrtrohydraulic fully variable valve train for four-stroke engines”, *International Journal of Automotive Technology*, 9 (5): 509–521 (2008).
14. Heinzen, A. , Giella, P. and Sun, Z., “Iterative learning control of a fully flexible valve actuation system for non-throttled engine load control”, *Control Engineering Practice*, 19 (12): 1490–1505 (2011).
15. Gray, J., Krstic, M. and Chaturvedi, N, “Parameter identification for electrohydraulic valvetrain systems”, *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 133 (064502): 1–8 (2011).
16. Pournazri, M., Khajepour, A. and Fazeli, A., “An efficient lift control technique in electrohydraulic camless valvetrain using variable speed hydraulic pump”, *Society of Automotive Engineers (SAE)*, 2011-01-0940 (2011).
17. Trajkovic, S., Milosavljevic, A., Tunestål, P. and Johansson, B., “FPGA controlled pneumatic variable valve actuation” *Society of Automotive Engineers (SAE)*, 2006-01-0041 (2006).
18. Trajkovic, S., Tunestål, P. and Johansson, B., “Introductory study of variable valve actuation for pneumatic hybridization”, *Society of Automotive Engineers (SAE)*, 2007-01-0288 (2007).
19. Parlikar, T. A., Chang, W. S., Qiu, Y. H., Seeman, M. D., Perreault, D. J., Kassakian, Fellow, J. G., and Keim, T. A., “Design and experimental implementation of an electromagnetic engine valve drive”, *IEEE/ASME Transactions On Mechatronics*, 10 (5): 482–494 (2005).
20. Qiu, Y., Perreault, D. J., Kassakian, J. G. and Keim, T. A., “A custom-designed limited-angle actuator for an electromechanical engine valve drive. Part I: Conceptual design”, *Proceedings of the 5th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD)*, Brighton, UK (2010).
21. Shiao, Y. and Pan, W., “Design of a 3-stage voltage controller for EMV actuation in SI engines”, *2011 11th International Conference On Control, Automation And Systems*, Gyeonggi-do, Korea, (2011).
22. Park, S., Kim, D. and Jaisuk, B., “A study on the design of electromagnetic valve actuator for VVT engine”, *KSME International Journal*, 17 (3): 357–369 (2003).

23. Jieng-Jang, L., Yee-Pien, Y. and Jia-Hong, X., “Electromechanical valve actuator with hybrid MMF for camless engine”, *Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control*, Seoul, Korea, 10688–10703 (2008).
24. Kim, J. and Lieu, D. K., “Designs for a new, quick-response, latching electromagnetic valve”, *International Conference on Electric Machines and Drives*, San Antonio, TX, United States, 1773–1779 (2005).
25. Wong, P. K. and Mok, K. W., "Design and modeling of a novel electromechanical fully variable valve system", *Society of Automotive Engineers (SAE)*, 2008-01-1733 (2008).
26. Kamı , Z. ve Yüksel, ., “ An investigation of effect of applied electrical voltage on system dynamic behaviour and energy consumption of an electromechanical valve actuator”, *G.U. Journal of Science*, 17 (3): 161–177 (2004).
27. Kim, J. and Lieu, D. K., “A new electromagnetic engine valve actuator with less energy consumption for variable valve timing”, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 21: 602–606 (2007).
28. Peterson, K.S. And Stefanopoulou, A.G., “Extremum seeking control for soft landing of an electromechanical valve actuator”, *Automatica*, 40: 1063-1069 (2004).
29. Eyabi, P., “Nonlinear estimation: An experimental approach”, *IEEE ISIE 2006 Montreal*, Quebec, Canada, 102–108 (2006).
30. Wang, Y., Megli, T., Haghgoie, M., Peterson, K. S. and Stefanopoulou, A. G. , “Modeling and control of electromechanical valve actuator”, *Society of Automotive Engineers (SAE)*, 2002-01-1106 (2002).
31. Lua, C. A., Toledo, B. C., Benedetto, M. D. and Gennaro, S. D., “Output feedback regulation of electromagnetic valves for camless engines”, *Proceedings of the European Control Conference*, Kos, Greece, 1–26 (2007).
32. Miller, J., “Simulation of a novel electromechanical engine valve drive to quantify performance gains in fuel consumption”, Master of Science Thesis, *Massachusetts Institute of Technology*, 14–27 (2011).
33. Nam, K., “Development of a camless engine valve actuator system for robust engine valve timing control”, *Int. J. Vehicle Systems Modelling and Testing*, 7 (4): 372–389 (2012).
34. Mercorelli, P., “An adaptive two-stage observer in the control of a new electromagnetic valve actuator for camless internal combustion engines”, *New Trends and Developments in Automotive System Engineering*, InTech, Rijeka Croatia, 343–368 (2011).

35. Dat, L. V. and Shiao, Y., “Optimization intake valve timing in camless engine with electromagnetic valvetrain”, *Journal of Engineering Technology and Education The 2012 International Conference on Green Technology And Sustainable Development*, Hochiminh City, Vietnam, 368–373 (2012).
36. Do an, O. ve Özdalyan, B., “Effect of a semi electro-mechanical engine valve on performance and emissions in a single cylinder spark ignited engine”, *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering)* 11 (2): 106–114 (2010).
37. Sa ıro lu, S, ve Salman, M. S., “Buji ile ate lemeli bir motorda elektromanyetik kumandalı supap mekanizması tasarımı, imalatı ve egzoz emisyonlarına etkisinin ara tırılması”, *Teknoloji*, 10 (2): 113–122 (2007).
38. Do an, O., “ çten yanmalı bir motorda elektro-mekanik supap uygulaması”, Bilim Uzmanlı ı Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 25–70 (2006).
39. Perrault, D. J., Afridi, K. and Khan, I. A., “Automotive Applications of Power Electronics”, Power Electronics Handbook, Ed: Rashid, M. H., *Elsevier Inc.*, Oxford, U.K., 643–667 (2007).
40. Birgül, N. ve Sekmen, P., “Bir elektromekanik supap (EMS) sisteminin de i ik çalı ma aralıklarındaki dinamik performansının ara tırılması ve içten yanmalı bir motorun desteklenme limitlerinin belirlenmesi”, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28 (3): 607–616 (2013).
41. Gün, F., “De i ken supap zamanlamasının motor performansına etkilerinin deneysel incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 18–26 (2006).
42. Çengel, Y. A., Boles, M. A. ve Derbentli, T., “Mühendislik Yakla ımıyla Termodinamik”, *Literatür: Yayıncılık*, stanbul, 216–425 (2007).
43. Ferguson, C. R., “Internal Combustion Engines: Applied Thermosciences”, *John Wiley & Sons Inc*, Hoboken, New Jersey, US (1986).
44. Safgönül, B., “Pistonlu Motorlar (çten Yanmalı)”, *stanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Ofset Atölyesi-I*, stanbul, 88–114 (1989).
45. Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., “ çten Yanmalı Motorlar, Cilt 1” *Teknik E itim Vakfı Yayınları-2*, Ankara, 133–140 (1995).
46. Taylor, C. F., “The Internal Combustion Engine in Theory and Practice, Volume 2”, *MIT Press*, U.S.A, 157–161 (1997).
47. Parvate, P. G., “Solenoid operated variable valve timing for internal combustion engines”, Master of Sciences Thesis, *Concordia University*, Montreal, Cuebec, Canada, 24–66 (2005).

48. Akba , A., Çınar, C. ve Sekmen, Y., “Buji ile ate lemeli motorlarda de i ken supap zamanlamasının performansa etkileri üzerine bir ara tırma”, *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7 (1): 35–38 (2001).
49. Hara, S., Suga, S., Watanabe, S. and Nakamura, M., “Variable valve actuation systems for environmentally friendly engines”, *Hitachi Review*, 58 (7): 319–324 (2009).
50. Richter, H., Schwarzenhal, D. and Spiegel, L., “Variable valve actuation key technology for high specific power output and low exhaust emissions”, *International Conference Spark Ignition Engine: The CO₂ Challenge*, Venezia, 90–95 (2002).
51. Carden, P., “Calculation of friction in high performance engines”, *Software European User Conference*, Prague, Czech Republic, 1–47 (2010).

ÖZGEÇM

Nida B RGÜL, 1970 yılında Afyon'da do du; ilk ve orta ö renimini aynı ehirde tamamladı. 1987 yılında ba layan Gazi Üniversitesi, Teknik E itim Fakültesi, Makina E itimi Bölümü, Otomotiv Anabilim Dalındaki ö renimini 1991 yılında tamamladı. Aynı yıl, K.K. Balıkesir Astsubay Hazırlama Okulunda Otomotiv Ö retmeni olarak göreve ba ladı. 1996-2000 yılları arasında Yüksek Lisans ö renimini Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina E itimi alanında, "Motorlu Ta ıtlarda Patinajı Engelleyen (ASR) Bir Sistemin Tasarımı ve Modellenmesi" isimli tezi ile tamamladı. Daha sonra, 2003-2005 yılları arasında K.K. Astsb. MYO'nun kurulu unda görev aldı. Burada Otomotiv Ö retim Elemanı olarak görev yaptı. Buji ile Ate lemeli Motor Teknolojileri ve Uygulamaları, Dizel Motor Teknolojileri ve Uygulamaları, Motor Ayarları, Bakım-Yenile tirme Teknolojileri ve Uygulamaları, Güç Aktarma Teknikleri ve Uygulamaları, Elektrik ve Oto Elektroni i alanlarında teorik ve uygulamalı dersler verdi, Elektrik ve Oto Elektroni i ders kitabını hazırladı, çe itli projelerde görev aldı. 2005-2011 yılları arasında Kara Harp Okulu, Teknik Bilimler Bölümü, Makina Anabilim Dalında Ö retim Elemanı olarak görev yaptı. Bu sırada Termodinamik, Isı Transferi ve Motorlar ve Ta ıtlar derslerini okuttu. Halen, K.K. E itim ve Doktrin K.lı ında görev yapmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

ADRES B LG LER

Adres :K.K. E itim ve Doktrin K.lı 1
Türkoca ı Cad. Balgat, Çankaya/ANKARA

Tel : 0 312 2866486
e-posta : nbirgul@yahoo.com