

**BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA ELEKTROMANYETİK
KUMANDALI SUPAP MEKANİZMASININ TASARIMI, İMALATI VE
UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Selami SAĞIROĞLU

**DOKTORA TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2006
ANKARA**

**BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA ELEKTROMANYETİK
KUMANDALI SUPAP MEKANİZMASININ TASARIMI, İMALATI VE
UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Selami SAĞIROĞLU

**DOKTORA TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2006
ANKARA**

Selami SAĞIROĞLU tarafından hazırlanan BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA ELEKTROMANYETİK KUMANDALI SUPAP MEKANİZMASI TASARIMI, İMALATI VE UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



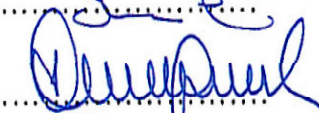
Prof.Dr. M. Sahir SALMAN

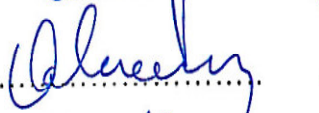
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof.Dr. Veli ÇELİK.....

Üye : Prof.Dr. Selim ÇETİNKAYA.....

Üye : Prof.Dr. Duran ALTIPARMAK.....

Üye : Prof.Dr. M.Sahir SALMAN.....

Üye : Doç.Dr. Serdar YÜCESU.....

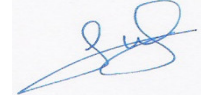
Tarih : 22/06/2006

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



TEZ BİLDİRİMİ

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



Selami SAĞIROĞLU

**BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA ELEKTROMANYETİK
KUMANDALI SUPAP MEKANİZMASI TASARIMI, İMALATI VE
UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI
(Doktora Tezi)**

Selami SAĞIROĞLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2006**

ÖZET

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

Bilim Kodu : 708.3.026
Anahtar Kelimeler : Elektromanyetik supap mekanizması
Sayfa Adedi : 161
Tez yöneticisi : Prof. Dr. M. Sahir SALMAN

**THE DESIGN, PRODUCTION OF ELECTROMAGNETIC VALVE TRAIN,
MECHANISM IN A SPARK IGNITION ENGINE AND THE INVESTIGATION
OF TO APPLICABLE
(Ph.D. Thesis)**

Selami SAĞIROĞLU

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF THE SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2006**

ABSTRACT

In this study, to be able to open and close the intake valve of one cylinder and four stroke spark ignition engine in time, an electromagnetic mechanism has been prepared and a prototype is constructed. A 42 volts power supply has been employed to power the electromagnetic valve mechanism. To control the opening and closing of intake valve PIC16F84A microcontroller which works with the signal fed by the hall-effect sensors has been used. The effects of the valve opening and closing times on the volumetric efficiency, torque, power, break specific fuel consumption have been investigated by changing the positions of hall-effect sensors on the engine and a comparison with the classical cam mechanism. Due to bouncing of inlet valve and armature, and delay of valve opening and closing especially at the high speeds, decrease on the volumetric efficiency, torque and break horse power, deterioration of air/fuel rate have been observed.

**Science Code : 708.3.026
Key Words : Electromagnetic valve train
Page Number : 161
Adviser : Prof. Dr. M. Sahir SALMAN**

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında yakın ilgi ve desteğini esirgemeyip rehberlik eden ve beni sürekli olarak motive eden tez danışmanım Prof. Dr. M. Sahir SALMAN'a, deneysel çalışmalarım sırasında beni yönlendiren ve her türlü destek ve yardımını esirgemeyen Doç. Dr. Osman GÜRDAL'a, Arş. Gör. Fatih Şahin'e, tüm G.Ü.T.E.F. Otomotiv Anabilim Dalı Öğretim Üyeleri ve personeline, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Öğr. Gör. Mustafa NARTKAYA'ya, her zor günümde bana destek olan ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli eşim Dilek SAĞIROĞLU'na teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	6
3. ELEKTROMANYETİK KUMANDALI SUPAP MEKANİZMASINDA KULLANILAN FERROMANYETİK MALZEMELER VE ELEKTROMANYETİZMA.....	15
3.1. Malzemelerde Mıknatıslanma.....	15
3.2. Manyetik Malzemelerin Sınıflandırılması.....	16
3.3. Histeresis Olayı ve Isı Kayıpları.....	18
3.4. Girdap Akımı Kayıpları.....	21
3.5. Manyetik Geçirgenlik.....	22
3.6. Endüktans.....	22
3.7. Manyetik Enerji.....	24
3.8. Manyetik Devreler.....	25
3.9. Çekme Kuvveti.....	27

	Sayfa
4. ELEKTROMANYETİK KUMANDALI SUPAP MEKANİZMASI TASARIMI.....	28
4.1. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizmasında Kullanılan Supap Yayları ile İlgili Hesaplamalar.....	29
4.2. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizmasında Kullanılan Yayın Frekans, Hız ve İvme Hesabı	32
4.3. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizması Tasarımı İçin Selenoid Bobinde Manyetik Alan Şiddetinin En Güçlü Olduğu Noktanın Tespiti.....	33
4.4. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizması İçin İlk Selenoid Bobin Tasarımı, Bobin Sarımı ve Bobin Çekme Kuvveti Deneyi.....	35
4.5. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizmasında Manyetik Modelleme.....	40
4.6. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizması Tek Sargılı Selenoid Bobinde Manyeto-motor Kuvvet, Kayıplar ve Diğer Hesaplar.....	47
4.7. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizması Çift Sargılı Selenoid Bobinde Sarım Sayısı, Manyeto-motor Kuvvet ve Diğer Hesaplar.....	63
4.8. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizmasında Montaj İşlemi.....	67
5. MİKRO DENETLEYİCİ KONTROLLU ELEKTRONİK DEVRENİN KURULMASI.....	71
5.1. Devrede Kullanılan Elektronik Elemanlar.....	73
5.1.1. Selenoid bobin.....	73
5.1.2. PIC16F84A mikro denetleyici.....	74
5.1.3. Mosfet transistör.....	76
5.1.4. Hall-effect sensörü.....	77

	Sayfa
5.1.5. Optokuplör (Işıklı bağlayıcı).....	79
5.1.6. Optik sensör.....	80
5.1.7. Hızlı diyot.....	81
5.2. Çalışma Sırasında Elektro-mekanik Sistemde İntikal Sürelerinin Ölçümü	81
5.3. Sistemin Çalıştırılması Sırasında Karşılaşılan Sorunlar.....	92
5.4. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizması Deney Düzeneği	96
6. MATERYAL VE METOT.....	99
6.1. Materyal	99
6.1.1. Deney yeri	99
6.1.2. Deney motoru	99
6.1.3. Dinamometre.....	101
6.1.4. Motor analizörü.....	102
6.1.5. Kronometre	103
6.1.6. Ampermetre	103
6.1.7. Termokupıl	103
6.1.8. Osiloskop	104
6.2. Deney Metodu	104
6.2.1. Motor momenti ve yükü	104
6.2.2. Yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi	105
6.2.3. Hava tüketimi ve volumetrik verim	107
6.2.4. Hava/yakıt oranı	110

Sayfa

7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	111
7.1. Volumetrik Verim	111
7.2. Hava Yakıt Oranı	115
7.3. Moment	116
7.4. Motor Gücü	118
7.5. Özgül Yakıt Tüketimi	119
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	121
KAYNAKLAR	126
EKLER	131
EK-1 Selenoid bobin tasarımı için tutucu sargı direnç ve akım tespit deney sonuçları	132
EK-2. Tipik bir mikro denetleyici sistemi.....	133
EK-3 Mikro denetleyici'nin Pin tablosu.....	134
EK-4 Mikro denetleyici'de pin tanımlama.....	135
EK-5 Mikro denetleyici'nin özellikleri.....	136
EK-6 Hall effect sisteminin özellikleri	137
EK-7 Motorun kam mekanizması kumandası ve orijinal supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları.....	138
EK-8 Tek sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları (çizelgeler).....	139
EK-9 Çift sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları.....	153
ÖZGEÇMİŞ	160

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Bazı ferromanyetik malzemelerin özellikleri	18
Çizelge 4.1. Supap mekanizmasının her bir parçasının ağırlıkları	30
Çizelge 4.2. Yay uzunluğu ve yaya uygulanan kuvvet	30
Çizelge 4.3. Selenoid bobinde manyetik alanın en şiddetli olduğu nokta tayini	35
Çizelge 4.4. Gerilime bağlı olarak selenoid bobinin çektiği akım ve kaldırılan ağırlık	37
Çizelge 4.5. Manyetik modellemede 840 sarım bobinde 1 mm'lik aksenal uzunluk ve değişik akımlar için elde edilen sayısal sonuçlar	46
Çizelge 4.6 840 Sarım ve 7,5 A akım için hesaplanan sayısal sonuçlar	62
Çizelge 4.7. Sarılan çift sargılı selenoid bobinin supabı kapalı tutma deney sonuçları	67
Çizelge 4.8 Tek sargılı elektromanyetik supap mekanizması ile ilgili ölçülen, hesaplanan ve manyetik modelleme ile elde edilen kuvvet, endüktans ve diskin frekansı.....	68
Çizelge 4.9. Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasının tasarımı ile ilgili hesaplanan veriler	69
Çizelge 5.1. Emme supabı zamanlamasına göre motorun relanti (kısmi gaz) ve yüksek hız devri (tam gaz)	95
Çizelge 6.1. Deney motorunun teknik özellikleri ..	101
Çizelge 7.1. 2200 d/d Motor devrinde klasik kamlı mekanizma, tek ve çift sargılı EMV emme supap zamanlaması.....	115

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Mıknatıslanma.....	16
Şekil 3.2. Manyetik alan şiddeti (H)'ne bağlı olarak manyetik akı yoğunluğu (B)'nin değişimi, Histeresis eğrisi	19
Şekil 3.3. Manyetik devre kesitinde girdap akımı (Eddy akımı) kayıpları.....	21
Şekil 4.1. Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasının çalışması	29
Şekil 4.2. Selenoid bobinde sarımın yapıldığı çapraz bölge ve manyetik alan şiddeti (H).....	34
Şekil 4.3. Selenoid bobinde manyetik akı hattı, bobin boyutları ve bobinde kullanılan malzemeler.....	36
Şekil 4.4. Bobinde hava aralığı (3,25 mm)'na bağlı olarak akım şiddeti-kuvvet ilişkisi	37
Şekil 4.5. Bobinde hava aralığına bağlı olarak akım şiddeti-kuvvet ilişkisi.	38
Şekil 4.6. Sıcaklık ile bobin direnci arasındaki ilişki.....	38
Şekil 4.7. Elektromanyetik supap mekanizması tek sargılı bobinde diskin konumu ve endüktans.....	39
Şekil 4.8. Manyetik modellemede selenoid bobin boyutları	41
Şekil 4.9. Manyetik modellemede devre şekli, bobinin akım şiddeti (I) ve sarım sayısı (N)	42
Şekil 4.10. Manyetik modellemede manyetik akı hattı.....	43
Şekil 4.11. Manyetik modellemede manyetik kuvvet hattının geçtiği bölgelerin kuvvetli (kırmızı renk) ve zayıf (mavi renk) olduğu bölgeler	44
Şekil 4.12. Manyetik modellemede bobinde depolanan enerji ile Ko-enerji	45

Şekil	Sayfa
Şekil 4.13 Manyetik modellemede 840 sarım bobinde 1 mm'lik aksenel uzunluk için kuvvet - akım şiddeti	47
Şekil 4.14 Manyetik modellemede 840 sarım bobinde 1 mm'lik aksenel uzunluk için endüktans - akım şiddeti.....	47
Şekil 4.15. Ç 1010 Ferromanyetik malzemede, mıknatıslanma eğrisi, (manyetik alan şiddeti (H), manyetik akı yoğunluğu) (B).....	50
Şekil 4.16. Hesaplanan hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğu (B_h)' na göre Ç-1010 eğrilerinden interpolasyon yöntemi ile manyetik alan şiddeti (H_h).....	50
Şekil 4.17. Manyetik devre.....	52
Şekil 4.18. Manyetik devrenin benzeri olan elektrik devre.....	52
Şekil 4.19. Elektromanyetik kumandalı supap mekanizması.....	70
Şekil 5.1. Mikro denetleyici kumandalı elektronik devre şeması.....	72
Şekil 5.2. Mikro denetleyici programının akış diyagramı.....	73
Şekil 5.3. Hall-effect sensörünün daimi mıknatısı algılaması	78
Şekil 5.4. Optokuplör.....	80
Şekil 5.5. Optik sensör.....	81
Şekil 5.6. Tek sargılı EMV'de zamana bağlı olarak akım ve supap kalkma miktarı	82
Şekil 5.7. Tek sargılı EMV 2200 d/d motor hızında emme supabı açılma gecikmesi, kapanma gecikmesi ve açık kalma süresi.....	85
Şekil 5.8. Çift sargılı EMV'de zamana bağlı olarak akım ve supap kalkma miktarı	87
Şekil 5.9. Çift sargılı EMV 2200 d/d motor hızında emme supabı açılma gecikmesi, kapanma gecikmesi ve emme supabı açık kalma süresi	89

Şekil	Sayfa
Şekil 5.10. Çift sargılı EMV 2200 d/d motor hızında emme supabı kapanma gecikmesi, açılma gecikmesi ve emme supabı kapalı kalma süresi.....	91
Şekil 5.11. Elektromanyetik kumandalı supap mekanizması deney düzeneği.....	98
Şekil 6.1. Cussons P8160 elektrikli dinamometre	102
Şekil 6.2. Hava akış orifisi	108
Şekil 7.1. Tek ve çift sargılı EMV ile emme supabı zamanlamasının değiştirilmesi	111
Şekil 7.2. Emme supabı zamanlamasının motor hızına bağlı olarak volumetrik verim üzerine etkileri	112
Şekil 7.3. Emme supabı zamanlamasının motor hızına bağlı olarak hava-yakıt oranı üzerine etkileri	116
Şekil 7.4. Emme supabı zamanlamasının motor hızına bağlı olarak moment üzerine etkileri	117
Şekil 7.5. Emme supabı zamanlamasının motor hızına bağlı olarak motor gücü üzerine etkileri	119
Şekil 7.6. Emme supabı zamanlamasının motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi üzerine etkileri	121

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. PIC16F84A mikro denetleyici.....	75
Resim 5.2. Mosfet transistör	76
Resim 5.3. 2200 d/d Motor hızında (yükli) emme açma Hall-effect sensörü ile emme supabı açma sensörü sinyalleri arasındaki gecikme osiloskop görüntüsü	84
Resim 5.4. 2200 d/d motor hızında (yükli) emme kapatma Hall-effect sensörü ile supap kapatma sensörü sinyalleri arasındaki gecikme osiloskop görüntüsü	86
Resim 5.5. Çift sargılı EMV 2200 d/d motor hızında emme kapatma Hall-effect sensörü ile supap kapatma sensörü sinyalleri arasındaki gecikme osiloskop görüntüsü	90
Resim 6.1. Deney yerinin genel görünümü	99
Resim 6.2. Dinamometreye bağlı elektromanyetik supap mekanizmalı deney motoru	100
Resim 6.3. Sun MEA 1500 SL motor analizörü	103
Resim 6.4. 40 MHz osiloskop	104

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar açıklamalarıyla birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a, r_2	Solenoid bobinin dış yarı çapı (m)
$a_{\max}$	Maksimum ivme (m/s^2)
B	Manyetik akı yoğunluğu (Wb/m^2)
$B_{\text{ç}}$	Çelik malzemedeki manyetik akı yoğunluğu (Wb/m^2)
b_e	Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
B_h	Hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğu (Wb/m^2)
B_r	Kalıcı manyetiklik (Wb/m^2)
B_y	Yakıt tüketimi (kg/h)
C	Yay indeksi
D	Yay çapı (mm)
d	Yay tel çapı (mm)
d_o	Orifis çapı (mm)
d_{tel}	Solenoid bobine sarılan bakır tel çapı (mm)
E	Gerilim (Volt)
e	Disk in et kalınlığı (m)
F	Kuvvet (N)
f	Frekans (Hertz)
F_h	Hava aralığındaki çekici kuvvet (N)
F_{mmf}	Manyeto motor kuvvet ($A \times \text{sarım}$)
F_{mmfh}	Hava aralığındaki manyeto motor kuvvet ($A \times \text{sarım}$)

Simgeler	Açıklama
g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
G	Kesme modülü (N/mm^2)
H	Manyetik alan şiddeti (A/m)
h	Manometredeki su sütunu yüksekliği (mm)
H_c	Koerzif kuvvet (A/m)
H_h	Hava aralığındaki manyetik alan şiddeti (A/m)
H_{max}	Maksimum manyetik alan şiddeti (A/m)
I	Akım (Amper)
J	Akım yoğunluğu (A/m^2)
k	Yay sabiti (rijitliği) (N/mm)
l	Bobinde sarım yapılan çapraz alanın uzunluğu (m)
L	Endüktans (Henry)
l_h	Hava aralığının uzunluğu (m)
m	Kütle (kg)
M	Manyetik alan şiddeti (Manyetiklik) (A/m)
M_e	Motor efektif moment (Nm)
n	Motor devri (d/d)
N	Solenoid bobinin sarım sayısı
N_a	Yay sarım sayısı
Ne	Motor efektif gücü (kW)
NI	A×sarım
N_T	Toplam yay sarım sayısı
P_f	Eddy akımı kayıp gücü (Watt)
P_{his}	Histeresis kayıp gücü (Watt)
P_T	Toplam kayıp güç (Watt)
Q_{max}	Hava debisi (lt/dak)

Simgeler**Açıklama**

Q_{teorik}	Motorun tükettiği teorik hava debisi (kg/h)
$Q_{\text{gerçek}}$	Motorun tükettiği gerçek hava debisi (kg/h)
R	Omik direnç (Ω)
r_1	Solenoid bobinin iç yarı çapı (m)
r_2	Solenoid bobinin dış yarı çapı (m)
R_h	Hava aralığının manyetik akıya gösterdiği direnç, Relüktans (H^{-1})
S_h	Hava aralığının kesit alanı (diskin kesit alanı) (m^2)
$S_{\text{hist.}}$	Histeresis eğrisi alanı (m^2)
T	Zaman sabiti (ms)
$V_{\text{disk.}}$	Diskin hacmi (m^3)
V_h	Kurs hacmi (m^3)
v_{max}	Hız (m/s)
W_{his}	Histeresis çevriminde yayılarak kaybolan enerji (Watt)
W_m	Manyetik alanda biriken enerji (Watt)
X_m	Manyetik hassaslık (H/m)
Y	Helisel sıkıştırılan yayın dönmesi (mm)
Φ_h	Bir sarımın hava aralığında oluşturduğu manyetik akı (Wb/N)
η_v	Volumetrik verim (%)
μ	Manyetik geçirgenlik (H/m)
μ_0	Havanın manyetik geçirgenliği (H/m)
μ_r	Bağıl geçirgenlik
μ_{rdemir}	Demirin relatif (havaya oranlı) geçirgenliği
ρ_{cu}	Bakırın öz direnci ($\Omega mm^2/m$)

Simgeler**Açıklama** σ_{Cu} Bakırın iletkenliği (Ωm)⁻¹ ω

Hareketin periyodu (s)

 Ψ_h

N sarımın hava aralığında oluşturduğu manyetik akı (Wb)

Kısaltmalar**Açıklama****A.Ö.N.**

Alt Ölü Nokta

ABS

Anti Blokaj Fren Sistemi

CAN bus

Kontrol Edici Alan Ağı Yolu

CO

Karbon monoksit

CPU

Merkezi İşlem Ünitesi

DC

Doğru Akım

ECU

Elektronik Kontrol Ünitesi

EGR

Egzoz Gazı Resirkülasyonu

Em.A.A.

Emme Açılma Avansı

Em.K.G.

Emme Kapanma Gecikmesi

EMV

Elektromanyetik supap mekanizması

EMV'li motor

Elektromanyetik supap mekanizmalı motor

HC

Hidrokarbon

K.M.A.

Krank Mili Açısı

LVDT

Doğrusal Değişkenli Fark Transformatörü

NO_x

Azot Oksitler

PFM

Dalga Frekans Modülasyonu

PIC

Mikro denetleyici

PW

Dalga Genişliği

PWM

Dalga Genişliği Modülasyonu

TTP

Zaman Kontrollü Haberleşme

Ü.Ö.N.

Üst Ölü Nokta

Kısaltmalar**Açıklama****VCU**

Supap Kontrol Ünitesi

VVT

Değişken Supap Zamanlaması

1. GİRİŞ

Elektronik ve bilgisayar dünyasındaki son derece hızlı gelişmeler, otomotiv endüstrisini de etkilemiştir. Bunlardan bazıları; elektronik ateşleme sistemi, mikro denetleyici kumandalı elektronik yakıt enjeksiyon sistemi, ABS fren sistemi, çarpışma sensörlü ön gerilmeli emniyet kemeri ve hava yastığı (air bag) ile araç pasif emniyet sistemi, değişken supap zamanlama sistemi (VVT) ve benzeri sistemlerdir.

20. Yüzyılda elektronik dünyasındaki bunca gelişmeye rağmen motorlardaki kam mekanizmasına uzun yıllar dokunulmamıştır. Kam mili mekanizmasının basit mekanik yapısı ile supapları açma/kapama görevini yumuşak bir şekilde ortalama bir hız için yerine getirmesi, tasarımcıların bu alanı bir problem olarak görmesine engel olmuştur. Problem olarak görülmeyen bir durum için buluş yapmak olası değildir [1].

Yakıt ekonomisi, zaman ekonomisi, çevre kirliliğine karşı toplumun hassas olması ve üretim anlayışının müşteri memnuniyetine göre şekillenmesi, devletin emisyon standartlarını daha aşağılara çekmesi, tasarımcıları egzoz emisyonlarını düzeltmeye, kam mekanizmasını geliştirmeye yöneltmiştir. Özellikle Amerika ve Avrupa'daki emisyon standartlarının aşağılara çekilmesi ve yok edici rekabet şartları, otomobil firmalarını ve üniversiteleri kam mekanizması üzerinde araştırma geliştirme çalışmalarına itmiştir. Araştırmalar emme ve egzoz supaplarının açılma/kapanma zamanları üzerinde yoğunlaşmıştır. Çünkü motor yanma odalarında yakıt atomlarının oksijen atomları ile birleşememesi, yanmanın iyi olmamasına dolayısıyla da egzozdan insan sağlığına zararlı, kanserojen maddeler olan azot oksitler (NOx), karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbon (HC), vb. emisyonlarına sebep olmaktadır.

Motorlu taşıtlarda petrol türü yakıt kullanımının bir sonucu olarak ortaya çıkan en önemli sorun hava kirliliğidir. Taşıt egzozundan çıkan insan sağlığına

zararlı kirleticilerin (CO, HC, NO_x) hava kirliliğini önemli ölçüde arttırdığı bilinmektedir. Yanmadan önce, yanma sırasında ve yanmadan sonra alınan tedbirlerle egzoz emisyon seviyelerinin azaltılması sağlanmaktadır [2].

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

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

Klasik supap zamanlamasının motorun ortalama çalışma devirlerine göre optimize edildiği, ancak bu devirlerin altında ve üzerindeki çalışmalarda volumetrik verimin düştüğü dikkate alınırsa, son yıllardaki motorun tüm çalışma devirleri için volumetrik verimi optimize etme çalışmalarının gereği ortaya çıkmaktadır [3].

Son zamanlarda, yakıt ekonomisi ve zararlı egzoz emisyonlarını daha da azaltma ihtiyacı, motor tasarımcılarını klasik supap mekanizmasını değiştirmeye ve alternatif supap mekanizmaları üzerinde düşünmeye zorlamıştır. Bunun üzerine yapılan araştırmalar neticesinde bir çok kam mili ve supap mekanizması geliştirilmiştir. Bu mekanizmalardaki temel prensip aynıdır ve günümüzde yaygın olarak araçlar üzerinde kullanılmaktadır.

İlk olarak, Honda firması, elektronik kontrollü değişken kam mekanizmasını geliştirmiş ve 1980'lerin ortalarında seri üretim otomobillerinde kullanmaya

başlamıştır. Bu sistem, bugün Honda otomobillerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Elektronik kontrollü değişken kam mekanizması sisteminde, orta ve yüksek hızlarda motorun performansını arttıran iki farklı kam mili kullanılmaktadır ve standart kamın olduğu yerde her bir supap için iki kam çıkıntısı vardır. Birinci çıkıntı sıradan kamın çıkıntısına benzemektedir; klasik sistemle aynı performansı sergilemektedir; külbütör mili vasıtasıyla düşük ve orta devirlerde supabı çalıştırmaktadır. İkinci çıkıntı ise yüksek devirlerde supabı çalıştırmaktadır. Verilen devirde motor kontrol bilgisayarı, külbütör milini ikinci çıkıntının külbütörüne bağlayan mekanizmayı hareket ettirerek ikinci çıkıntı, birinci çıkıntıdan supabın çalışmasını devralır. İkinci çıkıntı supabı daha fazla kaldırma ve daha uzun süre açık tutma özelliğine sahiptir.

Elektronik kontrollü değişken kam mekanizması ve benzeri kam mili esaslı mekanizmalar, birtakım olumsuzluklara ve engellere sahiptir. Bunlar; iki adet kam mili ve bir çok hareket eden parçanın olması, motorun düşük hız performansını fazla düzeltememesi ve biri orta hızlarda diğeri de yüksek hızlarda olmak üzere iki safhada çalışmasına karşılık ara hızlarda çalışamamasıdır.

Honda'nın elektronik kontrollü değişken kam mekanizmalı motorunun üç farklı kam çıkıntısı kullanan tipleri de vardır. Bu tip motorlarda her bir kam, belirli bir motor hızında optimum çalışma için tasarlanmıştır. Motor hızının her değişmesinde devreye giren kam değiştirme mekanizması çok komplekstir ve niteliği gereği hata yapma olasılığı yüksektir [4].

Günümüzde kam mekanizması olmayan motorlar da geliştirilmektedir. Bu motorlarda kam mili kumandalı mekanizmanın yerini, kam mili olmayan mikro denetleyici kumandalı elektro-mekanik, elektromanyetik, elektro-hidrolik veya elektro-pnömatik supap mekanizmaları almaktadır.

Elektro-hidrolik supap mekanizmalı bir deneysel motor, Ford araştırma laboratuvarında hazırlanmıştır. Yeni mekanizma ile motorun yüksekliği ve ağırlığı azaltılmıştır. Hidrolik güç, supapların her ikisini de açmakta ve kapatmaktadır. Her bir silindir iki emme ve iki egzoz supabına sahiptir. Supabın hızlanması sırasında sıkıştırılan akışkanın potansiyel enerjisi, supabın kinetik enerjisine dönüşmekte ve yavaşlama sırasında supabın kinetik enerjisi, akışkana tekrar geri dönmektedir. Elektro-hidrolik sistemde kinetik enerjinin tekrar geri kazanılması mekanizmanın düşük enerji tüketimi için anahtar rol oynamaktadır. Sistem, supap hareketinin hemen hemen tüm parametrelerinin kontrolünü bağımsız ve değişken olarak sürekli sağlamaktadır. Tüm çalışma durumları için supap olaylarının optimizasyonuna izin vermektedir [5].

Gould, Richeson, Erickson, kam mili olmayan motorlarda kullanılan elektro-pnömatik supap mekanizmaları üzerine bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada motor 1500 ve 2000 d/d'da çalıştırılmıştır. 2000 Devrin altındaki hızlarda, elektro-pnömatik mekanizma ile klasik kamli motorlara göre torkta ortalama olarak %11 artış sağlanmıştır (kayıplar eşit farz edilmiştir). Egzoz gazı resirkülasyonu (EGR) ile klasik motor performans karşılaştırmasında, emme supabı erken kapanması ve emme supabı geç kapanması yük kontrolü kullanan elektronik supap zamanlamalı motor, azot oksitler (NO_x) emisyonlarında %60 azalma ve özgül yakıt tüketiminde (bsfc) %4,4 azalma göstermiştir. Fakat hidrokarbon (HC) ve karbon monoksit (CO) emisyonları artmıştır, bu da yanmanın iyileştirilmeye ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. 1500 Devirde, en düşük yakıt tüketimi için optimize edilen supap zamanlamasında klasik motor ile elektronik supap zamanlamalı motor arasında özgül yakıt tüketiminde bir fark görülmemiştir. Bununla beraber, en düşük NO_x için optimize edilen supap zamanlamasında özgül yakıt tüketiminde EGR'siz %90 azalma elde edilmiştir. Dış EGR kullanan klasik motor ile karşılaştırılan EGR'siz elektronik supap zamanlamalı motorda NO_x'te %15, HC'da %9, CO'de %5, özgül yakıt tüketiminde %4 azalma elde edilmiştir [6].

Hidrolik ve pnömatik sistemler birtakım dezavantajlara sahiptir. Bunlardan hidrolik tahrik sisteminin dezavantajları; Servo ve oransal valflerin yüksek maliyeti, yüksek doğruluğa sahip pozisyon transduserlerine olan ihtiyaç, yağ sıcaklığının motor performansını değiştirme üzerindeki etkisi, çok küçük silindirlerin bulunmasındaki zorluklar, sızıntılar, sistemin kire karşı hassasiyeti, akışkan gücü için lokal bir kaynak ihtiyacı ve sistem elemanlarında ortaya çıkan lineersizlik (non-linear), örneğin valf kilitlenmeleri, asimetri, sızıntılar, vb.'dir. Ayrıca küçük hidrolik sistemlerin üretimi için elemanlar genelde hazır olarak bulunmayabilirler, bundan dolayı bu gibi materyallerin maliyeti sınırlayıcı olmaktadır [7].

Pnömatik tahrik sisteminin dezavantajları ise; pnömatik sistemle kullanılan havanın yağlanma gereği, servo kontrollü hareket için havanın sıkıştırılabilir özelliğinden dolayı tepki zamanı gecikmeleri, tahrik katılığı (rijitliğinin) azlığı, servo uygulamalarında direkt tahrikle kullanıldığında yüksek kararlılık özelliği olan (resolution) pozisyon transduserlere olan ihtiyaç, servo valflerin sınırlı bulunabilirliği, yüksek doğrusal olmayan (non-linear) sistem elemanlarının servo kontrolü kompleks yapmaları vb.'dir [7].

Yasalarla tespit edilen egzoz emisyonlarının her geçen gün daha da aşağılara çekilmesi, kam mili esaslı supap mekanizmalarının bu emisyonları karşılayamaması, kam mili olmayan supap mekanizmalarından elektro-hidrolik ve elektro-pnömatik supap mekanizmalarının dezavantajları, araştırmayı elektromanyetik supap mekanizmasına yöneltmiştir.

Bu araştırmanın amacı, kam mili olmayan motor sistemlerinden elektromanyetik supap mekanizmasının tasarımı, imalatı ve performansa etkilerinin araştırılması üzerine bir çalışmadır.

2. KAYNAK TARAMASI

Renault firması bir elektromanyetik supap mekanizması geliştirmiştir. Bu mekanizma ile tüm motor hızlarına ve yüklerine göre supapları açma ve kapama sağlanmıştır. Elektromanyetik supap mekanizmalı motor, aynı kapasitedeki klasik kam mekanizmalı motora oranla %15-20 daha az yakıt tüketmiştir ve egzoz gazlarında Avrupa emisyon standartlarını yakalamıştır.

Bu motor, düşük hızlarda %10-20 tork artışı potansiyeline sahiptir. Bu sayede dişli oranları arttırılmıştır. Elektromanyetik supap mekanizmalı motorda hava akışı gaz kelebeği ile kısılmak yerine gaz kelebeği tam açıkken supapların açık kalma süresi azaltılarak ayarlanmıştır. Böylece pompalama kayıpları azaltılmış ve relanti devri daha aşağılara çekilmiştir. Tahrik sistemlerine geçici bir süre akım verilmemiştir. Mıknatıslık olmadığından supaplar yarım açık pozisyonda motor çalıştırılmıştır. Hafif yükler için örneğin motorun 4 tahrik sisteminin 2'si çalıştırılıp 2'si çalıştırılmayarak gerçekte yalnız ihtiyaç duyulan güç üretilmiştir. Sonuç olarak yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları azaltılmıştır.

Fakat elektromanyetik supap mekanizması sistemi iki dezavantaja sahiptir. Bunlardan birincisi, sistemin çalışması için 42 volt'luk güç kaynağına ihtiyaç duyulmasıdır. Elektromanyetik supap mekanizmalı motorlar boşta 300 W ve maksimum güçte 2000 W arasında elektriğe ihtiyaç duymaktadırlar. Bu miktar elektrik tüketimi, bugünkü klasik motorlardan çok daha fazladır. İkincisi, alçak basınç bölgesini (ve pompalamayı) yok etmektedir [8].

Siemens Automotive ikinci nesil elektro-mekanik supap mekanizması geliştirmiştir. Bu mekanizma 4 silindirli 16 supaplı bir motora uygulanmıştır. Motorda yakıt tüketimi, egzoz emisyonları azaltılmış ve torkta iyileşmeler görülmüştür.

Elektro-mekanik supap mekanizması krank miline montajlı starter jeneratör tarafından üretilen 42 voltluk elektrik dağıtım sistemi ile çalıştırılmıştır [9].

Podnar, D.J. ve Kubesh, J.T. tarafından doğal gazla çalışan elektro-mekanik supap tahrik sistemi geliştirilmiştir. Motor için supap olaylarını kısmi/tam yükte bağımsız olarak kontrol etmek için verilen stratejiler çalışma motorunun gücünü ve verimliliğini arttırmıştır. Doğal gaz ile çalışan motor üzerinde elektro-mekanik supap tahrik sistemi ile kam sürücülü kam mekanizması karşılaştırılmıştır. Elektro-mekanik supap tahrik sistemi ile optimize edilen supap olayı 2600 devre kadar motor hızlarında süper performans sağlarken, bu hızların yukarısında supap geçiş zamanı gerçekte kamli supap mekanizmasından daha yavaş olarak gerçekleşmiştir. Elektro-mekanik supap tahrik sistemi supap geçiş zamanı 4 milisaniye bulunmuştur. Bu eğilim volumetrik verim üzerinde negatif etki yapmıştır. Bu nedenle 2600 devrin üzerinde motor gücü çıkışı ve termik verim azalmıştır.

Güç tüketimi, tüm yük şartlarında verilen bir motor hızı için sabittir; motor hızı ile doğrusal olarak artmıştır ve 2500 devir, 16 supap için 3 kW (4 supap için 0,75 kW, 1 supap için 185 W) bulunmuştur” [10].

Wang, Y., Megli, T., and Haghgooie, M., Peterson, K.S. and Stefanopoulou, A.G. tarafından elektro-mekanik supap tahrik sistemi geliştirilmiştir. Bir kapalı devre, geri döngü pozisyon kontrol ediciyle supap inme hızı 0,55 m/s'den 0,16 m/s'ye düşürülmüş ve 3,42 milisaniye supap geçiş hızına ulaşılmıştır. Tahrik sistemi gürültüsü en önemli problem olarak tespit edilmiştir [11].

Alfa Romeo ve Spica otomobil firmaları tarafından bir elektro-enjektör geliştirilmiştir. Elektro-enjektördeki elektro-mekanik tahrik sistemi 0,75 milisaniye açma/kapama geçiş zamanları ile çalıştırılmıştır. Elektro-mekanik tahrik sistemi sistemi için kabul edilen temel ölçütler aşağıdadır:

- Yüksek manyetik geçirgenlik, küçük histeresis kayıpları ve düşük elektrik iletkenlik, farklı ferromanyetik malzemeler kullanma.
- Uygun devre tasarımı, bobin ve manyetik devre arasında iletken parçaların yokluğu ile girdap akımlarını (Eddy akımlarını) sınırlama.
- Tanımlanan bobin zaman sabiti, supap açma geçişleri ile minimum enerji tüketimini optimize etmek için uygun olması.
- Çalışma akımı puls (pulse) şekli göz önünde bulundurularak elektro-enjektör değiştirmenin kolay ayarlanmasına izin vermesi için esnek mod (mode) geliştirilmiştir.
- Sprey numunesi, çalışma akım sinyali, harici tüm boyutlar ve yakıt bağlantıları geliştirilmiştir [12].

Butzman, S., Melbert, J. ve Koch, A., tarafından buji ile ateşlemeli motorlarda değişken supap mekanizması için hiç bir sensör kullanmaksızın bir elektromanyetik tahrik sistemi geliştirilmiştir. Deney, 4 silindirli ve 16 supaplı motor üzerinde yapılmıştır. Sistemin güç kaynağı gerilimi, 30 Volt ila 55 Volt arasında (ortalama 42 V'luk gerilim) değişmektedir ve sistem basıncı 0,4 bar'dır. Sistemin uygulamalı kontrol devresi, supap pozisyonu ve hızı için hiç bir ek sensör gerektirmemekte ve yalnız elektriksel bobin sinyallerinin görünmesini esas almaktadır. Pozisyon sinyali bir lazer ölçme cihazından (interferometer) elde edilmiştir.

Bu mekanizmada akım kontrol edilerek diskin elektromıknatıs tarafından çekilme anında yüksek hızla karşı dayanma yüzeyine çarpması engellenmiştir. Bu çalışmada akım değiştirilerek diskin 0,1 m/s hızla karşı dayanma yüzeyine çarpması sağlanarak supapları yumuşak açma/kapama sağlanmıştır. Bu değer, emme supapları için 0,2 m/s ve egzoz supapları için

0,3 m/s'dir. Sonuç olarak akustik gürültü engellenmiş, tahrik sisteminin ömrü uzatılmış, sistemin kompleksliği azaltılmış, maliyetler minimize edilmiştir [13].

Chun T., Stubbs A. Ve Tsao T. tarafından elektromanyetik kam mili olmayan supap mekanizması için kontrol eksenli doğrusal bir model tasarlanmıştır. Bu model gri-kutu (gray-box) yaklaşımını esas almaktadır. Gri-kutu yaklaşımı, matematik modelleme ile sistem tanımlamayı birleştirir. Bir iç devre geri döngü devre kontrol edici ve tur-tur tekrarlı öğrenen ileri besleme kontrol edici ile supapların açma/kapamaları daha sessiz bir hale getirilmiştir. Bu kontrol sisteminin performansı deneysel sonuçlarla sunulmuştur [14].

Domanski S.J. tarafından elektromanyetik tahrik sistemlerin sıcaklığını arttıran sebepler üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada dizel yakıt enjeksiyonu için dijital valflerde kullanılan tahrik sistemlerini enerjilemek için, sabit akım dalga genişliğini ayarlayan PWM (Pulse Width Modulation) elektronik sürücü devrelerle, ısının kollara ayrılarak yayılımı tartışılmıştır. Araştırmada tahrik sistemi, bir fırına benzetilerek farklı bir denklem modellemesi geliştirilmiştir. Modelde bakır telden sarımı yapılan bobin, ısı elemanıdır, termoplastik bir kapsül içindedir ve onu çevreleyen çelik kısım ise fırının duvarları olarak düşünülmüştür. Bu faktörler, fırında elektrik model eşitliği geliştirmek için uygulanmıştır. Güç yayılımı, sıcaklık ve zaman ilişkisini tanımlayan farklı bir eşitlik, kompleks problemleri çoğunlukla basit modeller kurarak çözebilen Laplace dönüşümleri kullanılarak tanımlanmıştır. Enjektör içinde bobinler etrafında dolaşan yağın ilk sıcaklığı, motor sıcaklığıdır. Referans alınan motor sıcaklığına (105,5 °C), bobin sıcaklığı (101,98 °C) eklenerek bobinin son sıcaklığı (207,5 °C) bulunmuştur. Yağ karteri içindeki yağ sirkülasyonu ile tahrik sisteminin etrafını çevreleyen çelik kasanın üzerindeki ısı taşınarak azaltılmaktadır [15].

Ting Y., tarafından gelecek nesil elektromanyetik tahrik sistemlerin ileri tasarımları için orijinal özellikler sunulmuştur. Birinci özellik ön mıknatıslanma

metodudur. Bu metot, toplam elektro-mekanik enerji dönüşümünü iyileştirmek amacıyla doğrusal veya dairesel (rotational) elektromıknatıs için global değişme turunu etkileyen genelleştirilmiş bir metot olarak uygulanmaktadır. Ferromanyetik malzemede akımın doğrusal olmayan bir şekilde artmaması avantajı kullanılarak parametrelerin dolayısıyla değişme turunun aralığı arttırılır. İkinci özellik, tahrik sistemini sensörsüz kontrol metodudur. Sensörsüz kontrol metodu, pozisyon sensörünün yerini alır. Elektromıknatıslar, sensörsüz kontrol metodu ile donatıldığı zaman basit, güvenilir ve pahalı olmayan kompleks görevleri yerine getirme kabiliyetindedirler; gelecekte imal edilmesi ve koruması zor olan pahalı cihazların yerini alacaklardır. Sensörsüz kontrol, yeni tahrik sistemlerde kompleksliği arttırırken daha yüksek kârlar sağlamaktadır [16].

Adams, W.T., tarafından PW (Pulse Width) ve PFM (Pulse Frequency Modulation) kullanarak, selenoid kontrolü ile supabı orantılı tahrik etme üzerine bir çalışma yapılmıştır. Supap açma/kapama olayı, deneysel veri kullanılarak ölçülmüştür. Akımın fonksiyonu olarak supabın açma/kapama pozisyonundaki değişmelerin basitleştirilmiş bir modeli geliştirilmiştir. Akım, gerilimin bir fonksiyonu olarak ve supabın pozisyonu akımın bir fonksiyonu olarak modellenmiştir. Bu çalışma, supabın hareketini kontrol etme ve düzeltmenin mümkün olduğunu göstermiştir [17].

FEV, klasik motoru, elektro-mekanik supaplı motora dönüştürmüştür. Taşıt yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarında önemli kârlar elde etmiştir. Taşıtların esas alınan çizgisine göre motor çalışma devrinde, %15'den daha fazla yakıt tüketimini iyileştirmiştir. Taşıt bundan başka Euro IV emisyon standartlarını da karşılamıştır. Kapama düğüm kontrol sistemi, supabın 0,05 m/s (0,16 ft/s) hızla yerine oturmasını sağlamaktadır [18].

FEV, ayrı bir elektro-mekanik supap tahrik sistemi geliştirmiştir. Yakıt ekonomisinde % 15'e kadar iyileşme sağlanmıştır. Egzoz gaz emisyonu hidrokarbon (HC)'da % 5-10, azot oksitler (NO_x)'de % 40-60 azaltılmıştır.

Soğuk ve ısınırken çalışmada HC emisyonları yok denecek kadar az bir seviyeye indirilmiştir. Volumetrik verim ve tork artmıştır. Minimum art gaz kalıntıları ve geliştirilmiş supap geçiş davranışı ile relanti devrini düşürmenin mümkün olduğu tespit edilmiştir [19].

Salber, W., Kemper, H., Staay, F. ve Esch T. tarafından buji ile ateşlemeli motorlarda elektro-mekanik supap mekanizması geliştirilmiştir. Deney, 4 silindirli, 16 supaplı ve silindir hacmi 1,6-2,4 olan bir motor üzerinde yapılmıştır. Elektro-mekanik supap mekanizması 1,4-1,6 kW güç sarfetmiştir.

Bir krank açısı derecesinden daha az supap zamanlaması için yük ve hıza göre kontrol sinyalleri krank milinden alınmıştır. ECU, krank açısı vericisi (transmitter) ve armatürden supap kalkma sinyallerine ek olarak bobindeki akım ölçümünü de değerlendirmektedir. ECU, sensörlerden gelen giriş bilgilerini hesaplar ve manyetik çekme için tahrik sistemlerine (actuator) çıkış bilgileri olarak dağıtır. CAN bus (Controller Area Network) denen haberleşme kanalları ile diğer kontrol sistemleri arasında bilgi değişimi yapılır. Zaman kontrollü haberleşme kontrolü, TTP (Time-Triggered Protocol) bir kaç mikro saniyede iletişimi sağlar.

Elektro-mekanik supap mekanizmasında 42 volt'luk güç kaynağı kullanılmıştır. Yakıt tüketimi, elektro mekanik supap mekanizması ile %8-9, art gazlarla %1-2 ve 4 silindir tahrik sisteminden 2'sine akım verip 2'sine akım vermeyerek %6 ve toplamda %16 azaltılmıştır. Tork artışı, kısmi devirlerde %15-20 arttırılmıştır. Nitrik asit %50'den fazla ve karbon monoksit de % 35 azaltılmıştır. Supap kalkma miktarı düşük hızlarda 1,5 ile 2 mm gerçekleştirilmiştir. Kütle salınımını azaltmak için hafif malzemeler üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir [20].

FEV, bir başka çalışmada 16 supaplı bir prototip motorda, bir elektro-mekanik supap tahrik sistemi geliştirmiştir. Tahrik sisteminde 4 adet kişisel bilgisayar (PC) kullanılmış ve kapalı devre kontrol uygulanmıştır. Tahrik

sisteminin ürettiği çarpma gürültüsünü minimize etmek için akım kontrol edilmiş ve azaltılmıştır. Böylece tahrik sisteminin karşı pozisyona varma hızının azaltılması sağlanmıştır.

Kullanıcı çeşitli şartlar altında ölçüm verilerinin elde edilmesi ve analizinde kişisel bilgisayar grafiği ile birlikte MATLAB'ı kullanmıştır. Bord üzerinde giriş/çıkış üniteleriyle her bir silindirin 4 adet supabı, bir kişisel bilgisayar kontrol edici bord ile yönetilmiştir. 4 Silindirli motoru çalıştırmak için 4 adet kontrol edici bord Tandem Autobox'ta birleştirilir. Bordun Analog/Dijital (A/D) kanalları, her bir supabın pozisyon sensörleri ve bobin akımlarını okumak için kullanılır. Buna ek olarak dijital giriş/çıkış (I/O) ve ağ alanı kontrol edici (CAN) arabirimleri ECU/VCU arabirimleri ile haberleşmek ve güç kontaklarını kontrol etmek için kullanılır. Bu konfigürasyonla elektro-mekanik supap mekanizmasında supap oturma hızları, düşük hızlarda azaltılmıştır [21].

Tai C. Ve Tsao T.C. tarafından elektromanyetik supap tahrik sistemi için supap sessiz oturma kontrol tasarımı yapılmıştır. İki adet DC güç kaynağı ile iki adet dalga genişlik ayarlayıcı (PWM-Pulse Width Modulator), elektromanyetik supabının iki manyetik bobinini çalıştırmıştır. 42 Volt'luk güç kaynağı kullanılmıştır. Numune frekansı 20 kHz seçilmiştir. Motor sensör çıkış dalgaları (pulse) 0,6328 μ m'dir. Dalga aralığı, giriş/çıkış (I/O) bordunun encoder kanalı vasıtasıyla DSP borduna geri gönderilir. Ayrıca bir PC bilgisayar kullanılmıştır. Kapalı devre kullanarak ortalama supap hızı 0,057 m/s'ye ulaşılmıştır [22].

Park s., Lee J. And Yoo J. tarafından yapılan bir çalışmada, Elektromanyetik supap mekanizmasının tahrik sistemi tek bir gövdede paralel bağlı iki elektromıknatıs olarak tasarlanmıştır. Tahrik sisteminin termal, statik ve dinamik performansı üzerine tasarım ve çalışma parametrelerinin etkileri Sonlu Elemanlar Metodu ve bilgisayar simulasyon modelleri ile incelenmiştir. Simulasyon modelinin doğruluğunu ispatlamak için yeni tasarlanan tahrik sistemi, tek silindirli bir motor üzerinde denenmiş ve başarılı bir şekilde

çalışmıştır. Tahrik sistemi, tüm hız aralıklarında supap zamanlamada uygun performansı yakalamıştır.

Bu çalışmada kullanılan elektromanyetik tahrik sisteminin üstteki yayının sertliği 70 N/mm iken alttaki supabın kendi yay tansiyonu 30 N/mm olarak ayarlanmıştır. Bununla beraber, modelde hareketli parçaların (armatür ve supap) ağırlığının 146,5 gram, armatürün kalınlığı 4 mm, supap açılma miktarı 8 mm'dir ve uygulanan akımlar 1, 5, 30 ve 70 Amper'dir. 5 Amper'lik akım, supabı kapalı pozisyonda tutabilmiştir. Armatür malzemesi % 3 Si çelik ve bobini çevreleyen göbek malzemesi 0,36 mm kalınlığında Ni-Fe'dir. Elektromanyetik güç ölçümü için bir güç ölçüm cihazı geliştirilmiştir. Bu cihaz hava aralık sensörüdür ve armatür tutucusuna bağlanan bir hücreye yüklenmiştir. Supabın açılıp kapanması supap başının alt yüzeyine yerleştirilen LVDT (Linear Variable Differential Transformer) sensörüyle takip edilmiştir. Sensör gövdesinin ağırlığı 4 gramdır. Elektromanyetik supap mekanizmasının hareketi için 6 kW'lık güç kaynağı kullanılmıştır. O, 16-bit'lik bir mikro denetleyici ve güç sürücü modülü olan bir supap kontrol ünitesi (VCU) tarafından kontrol edilmiştir.

Emme supabı kapama zamanı ABDC 50, 70, 90, 120 derece ve egzoz supabı açma zamanı BBDC için 10 ve ABDC için 50 derece değiştirilmiştir. Supabı açmak için çekme akımı 50~70 Amper ve supabı kapalı tutmak için tutma akımı 5 Amper akım uygulanmıştır. Tutma ve yakalama akım basamakları arttırıldıkça güç tüketiminin de arttığı tespit edilmiştir [23].

Uhlenbrock R. Ve Melbert J., 2001 tarafından, mekatronik yaklaşımı esas olarak sensorsüz elektromanyetik değişken supap hareketi için bir smart tahrik sistemi geliştirilmiştir. Tahrik sistemi mikro denetleyici kumandalıdır. Tahrik sistemine 50 Amper akım ve 150 Volt'a kadar gerilim uygulanmıştır. Tahrik sistemi zeminindeki sıcaklık, motor silindir kapağında akan soğutma

su devresi ile tanımlanmıştır. Bu sıcaklık maksimum yükte 125 °C'ye ulaşmıştır. Tepe sıcaklık ise 150 °C'nin altında kalmıştır [24].

Chang, W.S., Parlikar, T.A., Seeman, M.D., Perreault, D.J., Kassakian, J.G. and Keim, T.A. tarafından yeni bir elektromanyetik supap sürücü geliştirilmiştir. Elektromanyetik supap sürücü için güç elektroniği ve kontrol ediciler kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları ile tasarlanan elektromanyetik supap sürücü sistemi, daha önce tasarlanan tahrik sistemlerine göre önemli avantajlar sağlamıştır. Supap oturma hızı 600 d/d'da 0,03 m/s (3 cm/s) ve 6000 d/d'da 0,3 m/s (30 cm/s)'den daha azdır. Klasik kamlı içten yanmalı motorun gücü 3 kW iken elektromanyetik supap sürücü'lü motorun gücü 1,5 kW'tır. Elektromanyetik supap sürücü'lü motorun gücünün % 50'sinin elektrik ve mekanik kayıplar için harcandığı ifade edilmektedir [25].

Chiara, B., Felize, P.D., Santini, E. tarafından FEM software teknikleri vasıtasıyla elektro-mekanik supap tahrik sistemlerin dinamik analizi yapılmıştır. Manyetik alan, bobin akımı sabit tutularak hareketli parçanın farklı pozisyonları için hesaplanmıştır. Akustik gürültü ana problem olarak tespit edilmiştir. Denge ve kontrol konuları kritik ve ileri araştırma konuları olarak öngörülmüştür. Simülasyonlar, yay rijitlik oranı $k=75$ N/mm ve $k=200$ N/mm için yapılmıştır.

Akım değişimi $k=75$ N/mm için 3,25 A ile 4,88 A ve motor devri 1000 d/d ile 5000 d/d seçilmiştir. Maksimum akım yoğunluğu 5000 d/d'da 0,26 A/mm² bulunmuştur. Değerler $k=200$ N/mm için daha yüksektir; akım değişimi 5,30 A ile 7,46 A ve akım yoğunluğu 0,45 A/mm²'dir.

Güç tüketimi, 1000 d/d için $k=75$ N/mm için 0,297 kW ve $k=200$ N/mm için 1,093 kW iken 5000 d/d'da bu değerler 1,268 kW ve 6,249 kW'a çıkmıştır. 1000 d/d'da ortalama güç değerleri $k=75$ N/mm için 0,188 kW ve $k=200$ N/mm için 0,502 kW tespit edilmiştir [26].

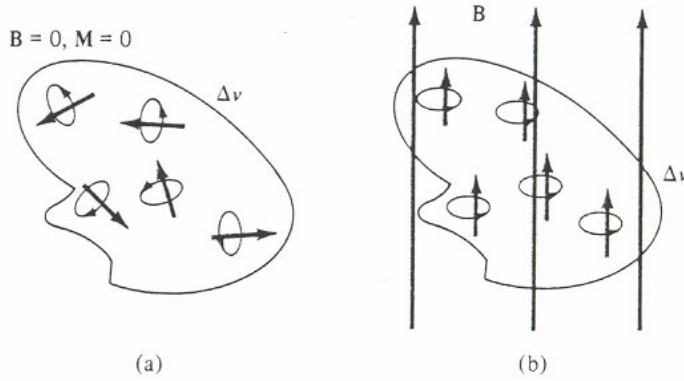
3. ELEKTROMANYETİK KUMANDALI SUPAP MEKANİZMASINDA KULLANILAN MANYETİK MALZEMELER VE ELEKTROMANYETİZMA

3.1 Malzemelerde Mıknatıslanma

Maddenin en küçük parçası atomdur. Elektronlar atom çekirdeği çevresinde ve kendi eksenleri etrafında dönerken dönme yönüne bağlı olarak her elektronda bir manyetik kutup çifti (N-S) oluşur. Bu nedenle her elektron bir mıknatıs sayılabilir. Bir elektronun sahip olduğu momente Bohr magnetronu denir ve değeri $9,27 \times 10^{-24}$ ($A \times m^2$)'dir. Bir elektron, çekirdek etrafında yörünge hareketi yaparken ve kendi eksenini etrafında dönerken atomun çevresinde bir manyetik alan oluşturur.

Dış yörüngede bulunan serbest valans elektronlar kütle içinde birbirleriyle rasgele girişim halinde olduklarından kutup çiftleri de rasgele yönlendirilmiştir, dolayısıyla kütlelerin manyetikliğini etkilemezler (Şekil 3.1. a). Diğer taraftan valans altı enerji düzeyleri tam dolu olan atom, bir kutup çiftine sahip olamaz. Eğer bir atomun valans altı yapısında dolmamış enerji düzeyi varsa yani tek elektron içerirse atomda bir manyetik kutup çifti oluşur (Demir, Nikel, kobalt atomu gibi). Buna karşın çift elektron içeren elektronun valans altı yapısında dolmamış enerji düzeyleri bulunmayan bakır (Cu) atomunun net manyetikliği yoktur. İki elektronun aynı enerji düzeyinde dönme yönleri birbirlerine zıt olduğundan biri diğerinin alanını yok eder ve manyetik moment oluşmaz.

Manyetik kutup çiftine sahip atomlar grup halinde yönlendirilerek yerel net manyetik kutup çifti oluştururlar (Şekil 3.1. b). Mikroskobik düzeydeki bölgelerde dağınık olan bu yerel kutup çiftleri bir manyetik alanın etkisinde yönlendirilerek kütlelerin tümünde makro düzeyde net bir manyetizma meydana gelir. Bu durumda bazı malzemeler kuvvetli bir manyetizmaya sahip olabilirler.



Şekil 3.1. Mıknatıslanma; a. Mıknatıslanma sıfır, kutup çiftleri rasgele yönelmiştir; b. Mıknatıslanma var, kutup çiftleri aynı yöne yönelmiştir [27]

Manyetik malzemeler, manyetik enerjiyi geçici veya kalıcı depo etmelerine göre ikiye ayrılır. Bunlardan birincisi yumuşak manyetik malzemelerdir ve geçici mıknatıslanma özelliğine sahiptirler. İkincisi ise sert manyetik malzemelerdir ve kalıcı, daimi mıknatıslanma özelliğine sahiptirler. Yumuşak manyetik malzemeler, kolay mıknatıslanır, mıknatıslıklarını çabuk kaybederler, çoğunlukla transformatör, elektrik motoru ve jeneratörlerde çekirdek malzemesi olarak kullanılırlar. Sert manyetik malzemeler ise zor mıknatıslanırlar ve mıknatıslıklarını kolay kolay kaybetmezler. Bunlar genellikle mikrofonlarda, telefon alıcılarında, senkron motorlarda ve benzeri yerlerde kullanılır [28].

3.2. Malzemelerin Sınıflandırılması

Manyetik özellik veya davranışlarına göre malzemeleri sınıflandırmak için bağıl manyetik geçirgenlik (μ_r) ve manyetik hassaslık (X_m) kullanılır. Eğer malzemede $X_m=0$ yani $\mu_r \cong 1$ ise o malzeme manyetik olmayan malzemedir. Hava aralığı da $X_m=0$ yani $\mu_r \cong 1$ olan malzemeler grubuna girer.

Genel olarak manyetik malzemeler, Diamanyetik, paramanyetik ve ferromanyetik malzemeler olmak üzere üç ana sınıfta gruplanır [27]. Bir malzeme eğer $\mu_r \leq 1$ (yani çok küçük negatif X_m) değere sahipse diamanyetik

olarak söylenir. Bir malzeme eğer $\mu_r \geq 1$ (yani çok küçük pozitif X_m) değere sahipse paramanyetiktir. Bir malzeme eğer $\mu_r \gg 1$ (yani çok büyük pozitif X_m) ise ferromanyetiktir. Pratik olarak, diamanyetik ve paramanyetik malzemeler için $\mu_r \cong 1$ olarak farz edilir. Onun için diamanyetik ve paramanyetik malzemeler doğrusal ve manyetik olmayan malzemeler olarak sayılır. Ferromanyetik malzemeler ise sıcaklıkları Curie noktasının üzerine çıktığı zaman hariç daima manyetikler. Curie noktası, demir için 770°C 'dir.

Manyetik malzemeler ikiye ayrılır [27]:

1. Lineer, yani doğrusal (linear)
 - a. Diamanyetik (Diamagnetics), $\mu_r \leq 1$ ($\mu_r \cong 1$ olarak farz edebiliriz)
 - b. Paramanyetik (Paramagnetics), $\mu_r \geq 1$ ($\mu_r \cong 1$ olarak farz edebiliriz)
2. Lineer olmayan (nonlinear)
 - a. Ferromanyetik (Ferromagnetics), $\mu_r \gg 1$ olarak sınıflandırılır.

Ferromanyetizma atomları, bağıl olarak büyük daimi manyetik momente sahip olan malzemelerden meydana gelir ve ferromanyetik malzeme olarak adlandırılır. Çünkü en iyi bilinen üyesi Demir'dir; diğer üyeler: Kobalt, Nikel ve onların alaşımlarıdır. Ferromanyetik malzemeler için Çizelge 3.1'de gösterilen μ_r 'nin değerleri yalnızca tipiktir. Örnek olarak nikel için bazı şartlar altında $\mu_r = 50$ 'dir, diğer şartlar altında $\mu_r = 600$ 'dür.

Diamanyetik ve paramanyetik malzemelerden farklı olarak ferromanyetik malzemeler aşağıdaki özelliklere sahiptir [27]:

- Bir manyetik alan ile güçlü olarak mıknatıslanma kabiliyetindedirler.
- Manyetik alandan bir başka yere taşındığı zaman mıknatıslıklarının önemli derecedeki miktarını tutarlar.

- Sıcaklık, Curie sıcaklığı olarak bilinen belirli bir sıcaklığın üzerinde artış gösterdiği zaman ferromanyetik özelliklerini kaybederler ve doğrusal, paramanyetik olurlar. Onun için daimi bir mıknatıs Curie sıcaklığı'nın üzerinde ısıtılırsa, tamamen mıknatıslanma özelliğini kaybeder.
- Doğrusal olmayandırırlar. Yani manyetik akı yoğunluğu (B) ile manyetik alan şiddeti (H) arasındaki ilişki $B=\mu_0\mu_r H$ şeklindedir, dolayısıyla bağıl manyetik geçirgenlik (μ_r), B'ye bağlıdır ve bir tek değer tarafından sunulamaz.

Çizelge 3.1. Bazı Ferromanyetik malzemelerin özellikleri [28]

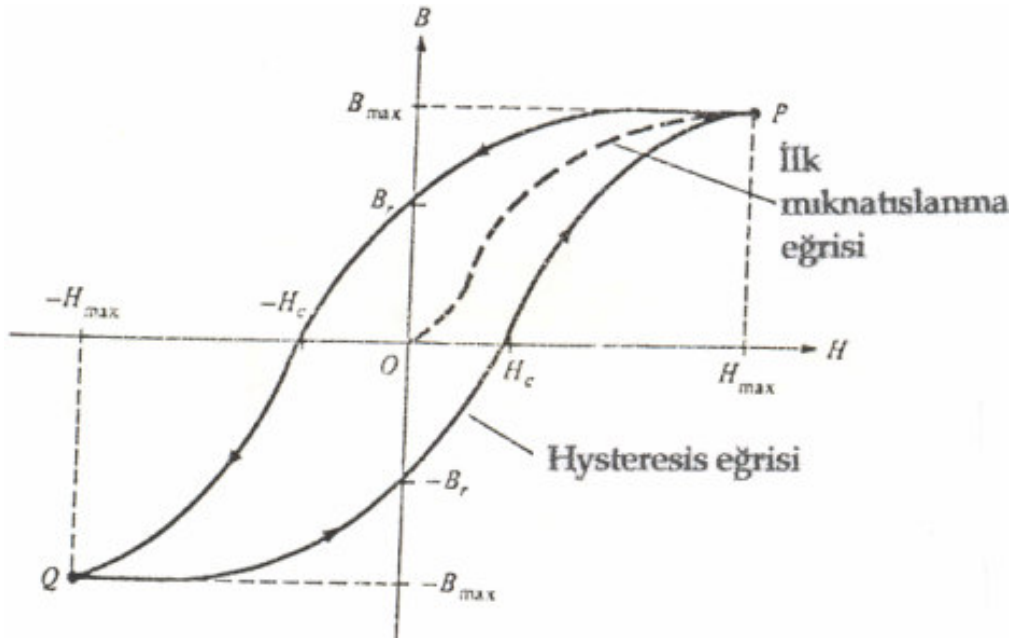
Malzeme Türü	Bileşim	Bağıl Geçirgenlik (μ_r)	Kalıcı manyetiklik (Gauss)	Koerzif kuvvet (Hc)
Ferroman-yetik (Metal)	Saf Demir	5 000	21 500	88,0
	Demir Alaşımı (45Ni-55Fe)	2 000	20 000	2,4
	Süper Alaşım (79Ni-15Fe, 6Mo)	100 000	8 000	0,4
	Trafo Sacı (97Fe-3Si)	15 000	20 400	36,0

Manyetik akı yoğunluğu (B) ile manyetik alan şiddeti (H) arasındaki ilişki $B=\mu_0(H+M)$, ferromanyetik tüm malzemeler için geçerli olmasına rağmen, ferromanyetik malzemenin önceki mıknatıslanmasına yani onun manyetik tarihine bağlıdır. Manyetik akı yoğunluğu (B) ile manyetik alan şiddeti (H) arasındaki doğrusal ilişki ($B=\mu H$) olmasının yerine bir mıknatıslanma eğrisi yani B-H eğrisi ile bu ilişkiyi sunmak mümkündür.

3.3. Histeresis Olayı ve Isı Kayıpları

Daha önce mıknatıslanmamış ferromanyetik bir malzemede B-H eğrisi üzerinde akım, O noktasından başlayarak maksimum manyetik alan şiddeti H_{max} artışı ile birlikte artar ve OP eğrisi üretilir. Bu eğri, ilk mıknatıslanma

eğrisi olarak referans alınır; mıknatıslanmayı oluşturan akıma uyarma akımı veya ilk mıknatıslanma akımı denir. Eğer manyetik alan şiddeti H , P'de doyuma ulaştıktan sonra azalır, manyetik akı yoğunluğu B , ilk eğriyi izlemez, H 'nin arkasına geri kalır; B 'nin H 'nin arkasına geri kalma olayı, histeresis olarak adlandırılır. Hysteresis kelimesi Yunanca'da "geri kalma" demektir. Tipik bir B-H eğrisi Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Manyetik alan şiddeti (H)'ne bağlı olarak manyetik akı yoğunluğu (B)'nin değişimi, histeresis eğrisi [27]

Eğer akım kesilirse, H sıfıra düşse bile B sıfıra düşmez; alan sıfır olduktan sonra ölçülen daimi akı yoğunluğu olarak esas alınan kalıcı manyetiklik (B_r) meydana gelir. B_r 'nin değeri, maksimum uygulanan alan şiddeti olan H_{max} 'a bağlıdır. B_r 'nin varlığı, daimi mıknatıslığın sonucudur. Bu kalıcı manyetikliği yok etmek için ters yönde uygulanması gereken alan H_c 'ye koerzif kuvvet denir.

Eğer H , negatif olarak yani zıt yönde akım ile artarsa ve manyetik alan şiddeti (H), koerzif alan şiddeti (H_c)'ye eşit olursa B , sıfır olur. H_c Değeri büyük olan malzemeler sert (hard), küçük olan malzemeler yumuşak

manyetik malzemeler olarak söylenir. H_c 'nin değeri, H_{max} 'a bağlıdır. İleriye doğru Q noktasına ulaşmak için negatif yönde H'deki artış ve P noktasına ulaşmak için sondan başa doğru, ters yöndeki artış, histeresis büklümü (loop) olarak adlandırılan bir kapalı eğri verir.

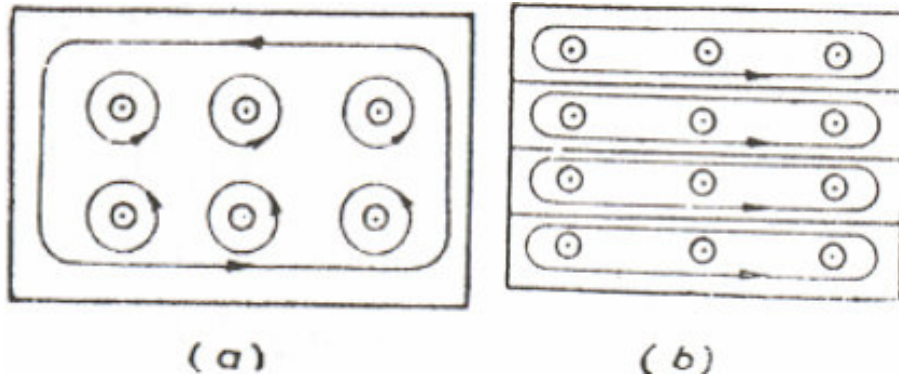
Akımın sisteme tekrar verilmesi anında akım sıfırdan başlamaz ve histeresis eğrisini dolaştıktan sonra sıfırdan başlayarak artar. Histeresis kaybı, cihazda ısı kaybı şeklinde ortaya çıkar, o nedenle bu alanın dar olması istenir. Elektromıknatıs malzemelerinde bu alan küçüktür, fakat daimi mıknatıs malzemelerinde büyüktür [28].

Gerçekte değişken manyetik alan içinde kutup çiftleri dönerken aralarında itme-çekme kuvvetleri etkisi ile bağ boyları değişir, bu arada iç sürtünmelerden dolayı ısı enerjisi oluşur. Manyetik alan içinde malzeme boyutlarının değişmesine manyeto striksiyon denir. Boyutların değişme oranı 10^{-6} kadardır. Bundan dolayı değişken manyetik alandaki manyetik malzemedeki mekanik titreşimler meydana gelir. Trafo çekirdeklerinde meydana gelen vınlamanın nedeni bu tür titreşimlerdir. Benzer şekilde kuvvet etkisinde oluşan şekil değiştirmeler manyetikleşmeyi güçleştirir.

Histeresis kayıplarını azaltabilmek için tek çare histeresis kapalı alanı optimum küçük olan ferromanyetik malzeme üretmektir. Manyetik malzemenin histeresis çevrimi kapalı alanı, malzemenin cinsine (alaşım ve içinde bulunan yabancı maddeler), madde yapısına, kristal yapısına ve malzemenin imali sırasında gördüğü ısı ve mekanik işlemlere bağlıdır. Bununla beraber bobine uygulanan uyarma akımı, mıknatıslığın doyuma ulaşmadığı bir noktada yani mıknatıslanma eğrisinde yatay kıvrımın başladığı noktadan önce olacak şekilde Amper×sarım uygulanmalıdır. Manyetik akı yoğunluğu, B malzemenin cinsine bağlı olarak 0,7 ile 1,5 Wb/m²'dir [29].

3.4. Girdap Akımı Kayıpları

Girdap akımı kayıplarına Eddy akımı ve Joule kayıpları da denmektedir. Bu akımların oluşumunu incelemek için Şekil 3.3. a.'da görülen dikdörtgen kesitli malzemedan manyetik akı geçen bir kesiti incelediğimiz zaman şekil düzleminde aşağıdan yukarı doğru giden manyetik alan çizgileri yani manyetik akı (Ψ), zamanla değişmektedir. Bu değişimin $\Psi = \Phi \times \sin \omega t$ şeklinde sinüsoidal olduğunu farz edelim. Buradaki açısal frekans $\omega = 2 \times \pi \times f$ 'dir. Bu akı değişken olduğundan dolayı, Şekil 3.3'te gösterildiği gibi, akıyı halkalayan kapalı elektrik devrelerinde Faraday'ın indüksiyün kanunu gereğince $e = -\frac{d\Psi}{dt} = -\omega \times \Phi \cos \omega t$ gerilimi indüklenir.



Şekil 3.3. Manyetik devre kesitinde girdap akımı (Eddy akımı) kayıpları, a) tek parça, b) bölünmüş ince saçlar [29]

Ferromanyetik malzeme aynı zamanda iletken bir malzeme olduğundan dolayı, yukarıda söz konusu olan kapalı devrelerin direnci R 'dir , bu kapalı

devrelerden, yani malzeme içinden $i = \frac{e}{R} = -\frac{\omega \times \Phi}{R} \times \cos \omega t$ değerinde, yine

sinüs biçiminde değişen, alternatif girdap akımları akar. Bu girdap akımları ferromanyetik malzeme içinde girdap akımları dolayısıyla

$p = i^2 \times R = \frac{\omega^2 \times \Phi^2}{R} \times \cos^2 \omega t$ gibi güç kayıpları meydana getirir, ısı enerjisine

dönüşerek malzemeyi ısıtır ve etrafa yayılarak kayıp olur. Girdap akımlarının

sebebi olduğu bu enerji kaybı frekansın karesi ile doğru orantılı ve malzeme direnci ile ters orantılıdır [29].

Girdap akımı kayıpları, ferromanyetik malzemede akımın verilmesi ve kesilmesi anında, manyetik alanın değişmesi nedeniyle meydana gelen ısı kayıplarıdır [30].

Bu kayıpları azaltmak için manyetik malzeme olarak kaliteli ve ince silisli saçlar kullanılabilir. Mümkünse hiç demir kullanılmaz fakat bir manyetik çekirdek kullanılacaksa, manyetik malzeme tozları yalıtkan bir macun ile karıştırılır, yoğurulur, hamur haline getirilerek pres altında sıkıştırılmak suretiyle özel manyetik çekirdekler imal edilir ve bunlar kullanılabilir [29].

3.5. Manyetik Geçirgenlik

Ferromanyetik malzemelerde manyetik kuvvet hatlarının malzemedan geçmesi yani manyetik geçirgenlik (μ), sabit bir değer olmayıp havanın manyetik geçirgenliği (μ_0) ve malzemenin bağıl manyetik geçirgenliğine (μ_r) bağlı olarak sürekli değişir. Manyetik geçirgenlik ($\mu = \mu_0 \times \mu_r$), malzemenin permabilitesi olarak isimlendirilir ve her bir malzemeye göre B-H eğrilerinden elde edilmektedir. Eş. 3.1'den manyetik geçirgenlik μ ;

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (3.1)$$

hesaplanır.

3.6. Endüktans

Bir elektrik devresini halkalayan toplam manyetik akının, yani bobin akısının, bu akıyı meydana getiren akıma oranı sabittir. Devrenin yeri, ortamın

boyutları, cinsi değiştirilmedikçe bu oran sabit kalır. Böyle sabitlere endüktans katsayısı veya sadece endüktans denir [29]. Endüktans, devrenin fiziksel düzeneğini ve manyetik özelliğini gösteren bir büyüklüktür; L ile gösterilir ve birimi Henry'dir. Eş. 3.2'den endüktans, L;

$$L = \frac{\Psi}{I} \quad (3.2)$$

hesaplanır. Devrede kullanılan bir bobin, bir ortalama manyetik uzunluk (l) ve bir çapraz alana yani kesit alana (S) sahiptir. Bobinin sarımlarından geçen akımın (I) selenoid bobin içinde oluşturduğu manyetik kuvvet hatlarına manyetik akı yoğunluğu denir ve birimi Weber/m² yani Tesla'dır. Eş. 3.3 ile manyetik akı yoğunluğu, B;

$$B = \mu_0 \frac{N \times I}{l} \quad (3.3)$$

ifade edilir. Manyetik alan çizgileri, yalnız bobin içerisinde bulunacağından manyetik devreyi oluşturan manyetik malzemede bir sarımdan geçen manyetik akı Φ ;

$$\Phi = B \times S \quad (3.4)$$

Eş. 3.4 ile ifade edilir ve birimi Weber'dir. Eş. 3.3, Eş. 3.4'te yerine yazılırsa Eş. 3.5'den bir sarımdan geçen manyetik akı Φ ;

$$\Phi = \mu_0 \frac{NI}{l} \times S \quad (3.5)$$

hesaplanır. Bu akı her sarımdan geçmektedir; Eş. 3.6'dan bobinin toplam akısı Ψ ,

$$\Psi = N \times \Phi \quad (3.6)$$

bulunur. Eş. 3.5, Eş. 3.6'da yerine yazılırsa Eş. 3.7. bobinin toplam akısı Ψ ,

$$\Psi = N^2 \frac{\mu_0 \times S}{l} \times I \quad (3.7)$$

elde edilir. Eş. 3.7, Eş. 3.2.'de yerine yazılırsa Eş. 3.8 ile endüktans L;

$$L = N^2 \frac{\mu_0 \times S}{l} \quad (3.8)$$

bulunur. Endüktans, devredeki manyetik direnç şeklinde tekrar düzenlenirse Eş. 3.9 ve Eş. 3.10 ile endüktans L;

$$L = \frac{N^2}{\frac{l}{\mu_0 \times S}} \quad (3.9)$$

$$L = \frac{N^2}{R} \quad (3.10)$$

hesaplanır.

3.7. Manyetik Enerji

Statik manyetik alandaki enerji, indüktörün B manyetik alanı içinde depolanan enerji olarak ifade edilir. Eş. 3.11'den endüktans cinsinden manyetik enerji (W_m);

$$W_m = \frac{1}{2} L I^2 \quad (3.11)$$

hesaplanır.

3.8. Manyetik Devreler

Ohm kanunu ($E=I \times R$) elektrik devre elemanları için geçerli olduğu gibi manyetik devre elemanları için de geçerlidir. Manyetik devrede manyeto-motor kuvvet (F_{mmf}), gerilim (E) ile; akım (I), akı (Ψ) ile ve direnç (R), relüktans (R) ile eşdeğerdir.

Manyetik devreye manyeto-motor kuvvet (NI) uygulandıktan sonra, devreden geçecek olan toplam akının (Ψ) değerini, o devrenin manyetik direnci (R) sınırlar. Manyetik devrenin manyetik direncini ise manyetik devrenin boyu (l), kesit alanı (S), ve devrenin yapıldığı malzemenin manyetik geçirgenliği (μ) belirler. Manyetik direnç, yani relüktans, endüktansın tersi olduğu için birimi $1/\text{Henry}$ (H^{-1})'dir. Eş. 3.12'den manyetik direnç, (R);

$$R = \frac{l}{\mu S} \quad (3.12)$$

hesaplanır. Eş. 3.13'den manyeto-motor kuvvet F_{mmf} ;

$$F_{mmf} = \Psi R \quad (3.13)$$

hesaplanır. Manyetik devrelerdeki eşitlikler, elektrik devrelerdeki eşitliklere benzerdir ancak aralarında isim vb. bazı farklar vardır. Bu farklara rağmen pratik manyetik devrelerin yaklaşık analizinde elektrik devrelerden yararlanılır. Elektrik ve manyetik devreler arasındaki benzerlikler ve farklar aşağıda sıralanmıştır [27]:

- Elektrik devrelerinde akım akar, manyetik devrelerde akım akmaz, onun yerine manyetik alan kuvvet hatları akar.

- Elektrik alan çizgileri pozitif yüklerden çıkıp negatif yüklerde son bulan uçlu çizgilerdir. Manyetik alan çizgileri ise N kutbundan çıkıp S kutbundan kendi üzerlerine kapanan kapalı eğrilerdir.
- Bir elektrik devresinde iletkenlik (σ), akım yoğunluğundan (J) bağımsızdır, fakat bir manyetik devrede manyetik geçirgenlik (μ), manyetik akı yoğunluğu (B) ile değişir.
- Elektrik devresindeki direnç Rezistans (omik direnç) ve manyetik alandaki direnç ise Relüktans (endüktif direnç) denir. Her ikisinde de Ohm kanunu geçerlidir.
- Belirli bir yüzeyden geçen elektriksel alan çizgilerinin toplam sayısı, o yüzeyden geçen elektrik akısını verdiği gibi, belirli bir yüzeyden geçen manyetik alan çizgilerinin toplam sayısı o yüzeyden geçen manyetik akıyı verir.
- Elektro-statik alanın meydana geliş nedeni hareketsiz elektrik yükleridir. Manyeto statik alanın meydana geliş nedeni ise o ortamda sabit doğru akım halkalarının bulunmuş olmasıdır. Her bir manyetik alan çizgisinin sınırladığı alanı elektrik akımı deler.
- Elektro statik alanın yakın bir noktasındaki elektriksel alan çizgilerinin sıklık derecesini belirten büyüklük, elektrik akısı yoğunluğu Culon/m^2 ile ölçülen deplasman vektörü iken manyeto statik alanın yakın bir noktasındaki manyetik alan çizgilerinin sıklık derecesini belirten büyüklük Wb/m^2 ile ölçülen manyetik akı yoğunluğu vektörüdür.

3.9. Çekme Kuvveti

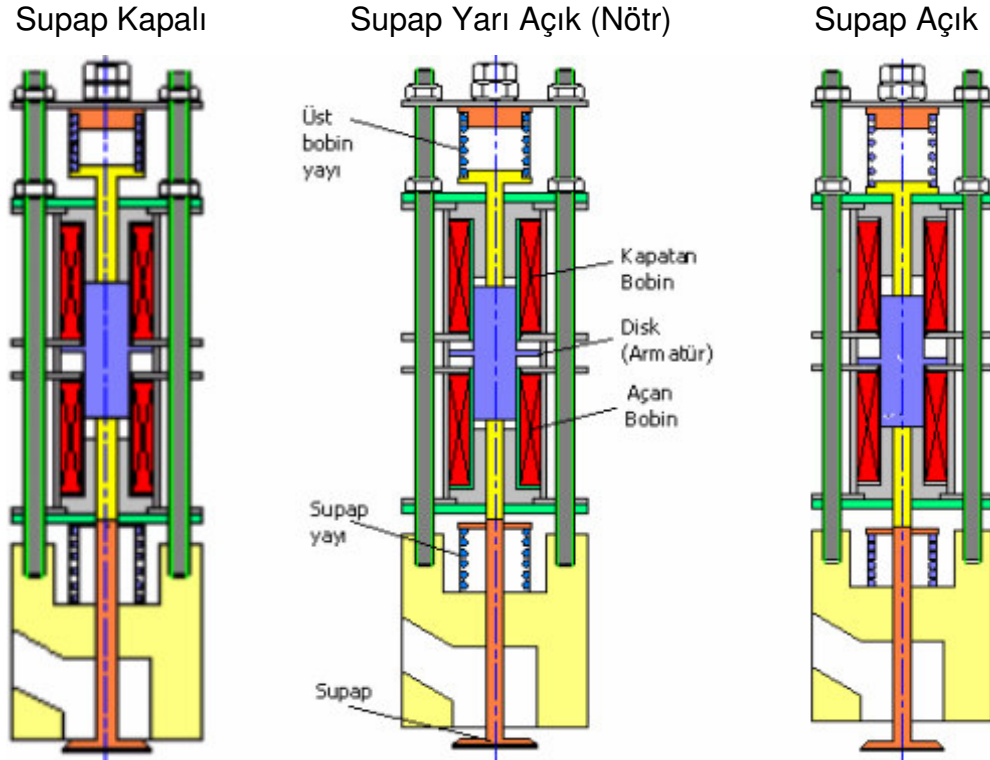
Elektromanyetik sistemlerin tasarımında manyetik alanın, alandaki manyetik bir parçayı üzerine doğru çekme kuvveti Eş. 3.14'ten yararlanarak hesaplanır. Eş. 3.14'te (-) işareti, kuvvetin hava aralığını azaltma eğilimini ifade eder (yani kuvvet çekicidir); S ise hava aralığının kesit alanıdır [27].

$$F = -\frac{B^2 S}{2\mu_0} \quad (3.14)$$

4. ELEKTROMANYETİK KUMANDALI SUPAP MEKANİZMASI TASARIMI

Elektromanyetik kumandalı değişken supap zamanlı motorlar, değişken supap zamanlama (VVT) içinde yer alan; en son geliştirilen ve geliştirilmekte olan bir sistemdir. Bu sistemde kam mili yoktur ve mikro denetleyici ile kontrol edilen tahrik sistemi, supaplar üzerine doğrudan açma ve kapama kuvveti uygulamaktadır. Supapları açma/kapama zamanlaması ve supapların kalkma (açılma) miktarı, bir mikro denetleyici ile tüm motor yüklerinde ve tüm motor hızlarında hem değiştirilebilmekte hem de optimize edilebilmektedir. Mekanizmada her bir supap hareketi için bir tahrik sistemine ihtiyaç vardır.

Elektromanyetik kumandalı supap mekanizması kütle yay prensibine göre çalışmaktadır. Tahrik sistemi (Aktuator), supap gövdesini tamamen çevreleyecek şekilde montajlı iki adet selenoid bobin ve onlar arasında bir disk (demir nüve) ile karşılıklı çalışan iki adet yaydan oluşmaktadır (Şekil 4.1). Başlangıçta supap, karşılıklı yayların etkisi ile yarı açık durumdadır ve ön gerilimlidir. Mikro denetleyici kumandası ile selenoid bobinler, yayların direncini yenerek supapları açar ya da kapatırlar. Supap kapandığı zaman üstteki yay, üstteki bobinin uyarması ile sıkıştırılır ve disk yukarıdaki bobine kenetlenir. Bu zaman sırasında alttaki yay serbesttir ve alttaki bobin aktif değildir. Supabı açmak için üstteki bobinin elektrik akımı kapatılır. Serbest kalan üstteki yay aşağı doğru hareket ederek supabı aşağı doğru iter ve tekrar supabı yarı açık pozisyona getirir. İki yay salınımı dengeye geldiği an elektrik akımı alttaki bobine gönderilir ve alttaki yay uyarılır. Bu durumda alttaki yay sıkıştırılır, alttaki bobin üzerine disk kenetlenir ve supap tam olarak açılır. Supabı kapatmak için alttaki bobine gönderilen akım kapatılır. Bobinlerin her ikisinin akım almadığı zaman disk, yukarı doğru hareket ederek kaldığı yerden devam etmek üzere orta kurs içine, supabın yarı açık olduğu pozisyona geri döner [8].



Şekil 4.1. Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasının çalışması

Elektromanyetik kumandalı supap mekanizması tasarımına, öncelikle yay tansiyonu ölçümü ve ilgili hesaplamalar yapılarak başlanmıştır. İlk selenoid bobin tasarımı, bobin sarımı ve bobin çekme kuvveti deneyi yapılarak sistemin çalışabileceği görülmüştür. Daha sonra elektromanyetik kumandalı supap mekanizması için manyetik modelleme, tek ve çift sargılı selenoid bobin tasarım hesapları, bobin sarım işlemleri ve montaj işlemi ile devam etmiştir.

4.1. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizmasında Kullanılan Supap Yayları ile İlgili Hesaplamalar

Supap mekanizması üzerinde bulunan hareketli parçaların ağırlıkları dijital bir tartı ile ölçülmüştür. Emme supabı (supap, supap yayı, üst tabla ve 2 adet tırnak) toplam ağırlığı 56,6 gram ve egzoz supabı (supap, supap yayı, üst tabla ve 2 adet tırnak) toplam ağırlığı 51,2 gramdır. Supap mekanizmasının her bir parçasının ağırlığı Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Supap mekanizmasının her bir parçasının ağırlıkları

Parça ismi	Ağırlık (gr)	Parça ismi	Ağırlık (gr)
Emme supabı	31,9	Egzoz supabı	26,9
Emme supabı yayı	15,2	Egzoz supabı yayı	14,8
Emme supabı tırnağı	1,1×2=2,2	Egzoz supabı yayı	14,8
Supap üst tablası	8,4	Egzoz supabı tırnağı	1,1×2=2,2
Disk ve ara çubuk	70,0736	Supap üst tablası	8,4

Yaya kuvvet uygulayarak, emme supabı yay uzunluğu yay tansiyon metre ile ölçülmüştür. Yayın serbest uzunluğu 28 mm, yerine takılı iken yaya uygulanan kuvvet 68,67 N'dur ve yay uzunluğu 24,2 mm'dir. Supap yarı açık pozisyonda yani 3,25 mm supap kalkma durumunda yaya uygulanan kuvvet 98,1 N ve supap uzunluğu 21 mm'dir. Supap yarı açık pozisyonda olduğu için supabı tam açma/kapama işlemi için supap yayına en az 29,43 $\approx$ 30 N'luk bir kuvvet uygulamak gerekmektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Yay uzunluğu ve yaya uygulanan kuvvet

Yay uzunluğu (mm)	Yaya uygulanan kuvvet (N)
serbest durumda	28
yerine takılı	24,2
	23
	22
3,25 mm (supap yarı açık)	21
	20
	19
6,5 mm(supap açık/kapalı)	18

Yay kuvvet rijitlik sabitini (k) hesaplamak için [31];

ASTM 227 soğuk çekilmiş yay teli, yay tel çapı d = 2,5 mm

$$\text{Kesme modülü } G = 11,5 \times 10^6 \text{ lb/in}^2 = \frac{4,536 \text{ N}}{(25,4 \text{ mm})^2} = 80854,36169 \text{ N/mm}^2$$

$$G = 80854,36169 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Yay çapı } D = 32 - 2,5 = 29,5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Toplam yay sarımı } N_T = 6$$

$$\text{Yay sarımı } N_a = N_T - 2 = 6 - 2 = 4$$

$$\text{Yay indeksi } C = \frac{D}{d} = \frac{29,5}{2,5} = 11,8$$

Olarak hesaplanır. Yay indeksi $C < 4$ ise yay imalatı zordur ve $C > 12$ ise yay yumulmaya dayanıksızdır ve elle bastırıldığı zaman kolayca yumulur. Yay indeksi 4 ile 12 arasında ise uygulanan kuvvete karşı yayın rijitliği uygundur. Eş. 4.1 ile yaya uygulanan kuvvet F;

$$F = k \times y \quad (4.1)$$

hesaplanır. Yaya kuvvet uygulandığında, Eş. 4.2 ile yayın dönmesi (y);

$$y = \frac{8 \times F \times D^3 \times N_a}{d^4 \times G} \quad (4.2)$$

hesaplanır. Eş. 4.1 ve Eş. 4.2 ile yay sabiti (k);

$$k = \frac{F}{y} = \frac{F}{8 \times F \times D^3 \times N_a / (d^4 \times G)} = \frac{d^4 \times G}{8 \times D^3 \times N_a} = \frac{(2,5)^4 \times 80854,36169}{8 \times (29,5)^3 \times 4}$$

$$k = 3,8445 \text{ N/mm}$$

bulunur. Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasında kullanılan her iki yay, motorun orijinal supap yayıdır ve hesaplanan yay sabiti (yayın rijitlik sabiti) $k = 3,8445 \text{ N/mm}$ 'dir. Yay indeksi ise 4 ile 12 arasındadır ve uygulanan kuvvete karşı yayın rijitliği uygundur.

4.2. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizmasında Kullanılan Yayın Frekans, Hız ve İvme Hesabı

142,5736 gramlık kütle (emme supabı, emme supabı yayı, 2 adet emme supabı tırnağı, supap tablası, ara çubuk, disk, üst çubuk), kuvvet sabiti 3844,5 N/m olan bir yaya bağlıdır ve sürtünmesiz dikey bir düzlemde serbestçe titreşmektedir. Kütlenin denge konumundan 6,5 mm ayrılarak durgun halden serbest bırakıldığı düşünülerek hareket analizi yapılmıştır; sürtünme kuvveti ihmal edilmiştir. Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasında kullanılan yayın frekans, hız ve ivme hesabı aşağıdadır [32]; Eş. 4.3'ten açısal hız, ω ;

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4.3)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{3844,5 \text{ N/m}}{142,5736 \times 10^{-3}}}$$

$$\omega = 164,2 \text{ s}$$

bulunur. Eş. 4.4'ten yay titreşiminin periyodu, T;

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (4.4)$$

$$T = 2\pi / 164,2 = 0,03826 \text{ s} = 38,26 \text{ ms}$$

bulunur. Eş. 4.5'ten yay titreşiminin frekansı, f;

$$f = \frac{1}{2\pi} \omega \quad (4.5)$$

$$f = 1 / (2\pi) \times 164,2 = 26,1348 \text{ Hertz}$$

bulunur. Eş. 4.6'dan yaya bağlı kütlenin maksimum hızı, $v_{\max}$;

$$v_{\max} = \omega \times A \quad (4.6)$$

$$v_{\max} = 164,2 \times 6,5 \times 10^{-3} = 1,0673 \text{ m/s}$$

bulunur. Eş. 4.7'den yaya bağlı kütlenin maksimum ivmesi, $a_{\max}$;

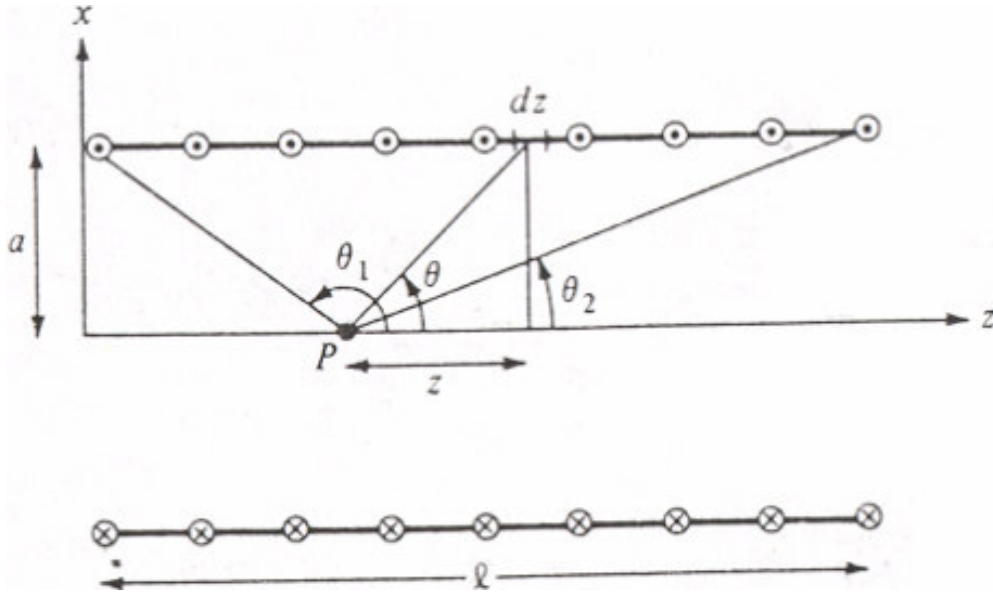
$$a_{\max} = \omega^2 \times A \quad (4.7)$$

$$a_{\max} = 164,2^2 \times 6,5 \times 10^{-3} = 175,25066 \text{ m/s}^2$$

bulunur.

4.3. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizması Tasarımı İçin Selenoid Bobinde Manyetik Alan Şiddetinin En Güçlü Olduğu Noktanın Tespiti

Biot-Savart kanunu selenoid bobine uygulanmış ve selenoid bobinde manyetik alan şiddetinin en kuvvetli ve zayıf olduğu nokta x;y;z koordinat sistemine göre tespit edilmiştir. Selenoid bobine sarım yapılan çapraz bölge Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Selenoid bobinde sarımın yapıldığı çapraz bölge ve manyetik alan şiddeti (H) [27]

Yukarıdaki 142,5736 gramlık kütleyle, yayı 3,25 mm sıkma kuvveti 3 kg eklenerek 3,1425736 kg için $NI=1843$ Amperxsarım hesaplanmıştır. $NI = 1843$ Amperxsarım, $l = 36 \times 10^{-3}$ m, $a = r_2 = 15 \times 10^{-3}$ m'dir ve Eş. 4.8 ile manyetik alan şiddeti H;

$$H = \frac{N \times I}{2 \times l} (\cos \theta_2 - \cos \theta_1) a_z \quad (4.8)$$

- Selenoid bobinin orta noktasından yani merkezinden 3,25 mm uzaktaki bir noktada (0;0;21,25) manyetik alan şiddeti H;

$$H = \frac{1843}{2 \times 36 \times 10^{-3}} \left(\frac{14,75 \times 10^{-3}}{\sqrt{((14,75 \times 10^{-3})^2 + (15 \times 10^{-3})^2)}} - \frac{21,25 \times 10^{-3}}{\sqrt{((21,25 \times 10^{-3})^2 + (15 \times 10^{-3})^2)}} \right)$$

$$H = 38859,3430 a_z \quad A/m$$

- Merkezde (0;0;18) manyetik alan şiddeti H;

$$H = \frac{1843}{2 \times 36 \times 10^{-3}} \left(\frac{18 \times 10^{-3}}{\sqrt{((18 \times 10^{-3})^2 + (15 \times 10^{-3})^2)}} + \frac{18 \times 10^{-3}}{\sqrt{((18 \times 10^{-3})^2 + (15 \times 10^{-3})^2)}} \right)$$

$$H = 39328,6615 a_z \quad A/m$$

- Selenoid bobinin bir ucunda (0;0;36) manyetik alan şiddeti H;

$$H = \frac{1843}{2 \times 36 \times 10^{-3}} \left(0 - \frac{36 \times 10^{-3}}{\sqrt{((36 \times 10^{-3})^2 + (15 \times 10^{-3})^2)}} \right)$$

$$H = -23628,2051 a_z \quad A/m$$

hesaplanır. Bulunan sonuçlara göre manyetik alan şiddeti (H)'nin en büyük olduğu nokta selenoid bobinin merkezidir (Çizelge 4.3).

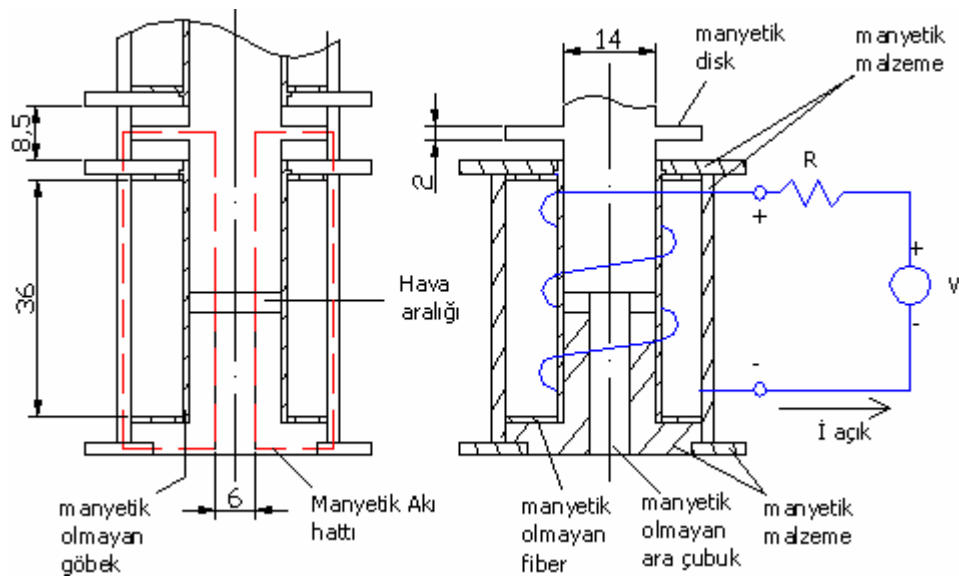
Çizelge 4.3 Selenoid bobinde manyetik alanın en şiddetli olduğu nokta tayini

Koordinatlar	H Merkezden 3,25 mm uzakta (0;0;21,25)	H Merkezde (0;0;18)	H Selenoid bobinin bir ucunda (0;0;36)
H (A/m)	38859,3430	39328,6615	-23628,2051

4.4. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizması İçin İlk Selenoid Bobin Tasarımı, Bobin Sarımı ve Bobin Çekme Kuvveti Deneyi

Elektromanyetik kumandalı supap mekanizması için selenoid bobin tasarımında Bendix tipi marş motoru selenoid bobin boyutları esas alınarak ilk bobin boyutlandırılmıştır. Supap kapağının, supapların, supap yaylarının, supap eksenlerinin, vb. boyutları motorun supap kapağından ölçülerek tespit edilmiştir. Elektromanyetik kumandalı supap mekanizması, supapların direkt üzerine gelecek şekilde supap kapağı üzerine montajı tasarlanmıştır.

Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasında tasarlanan selenoid bobinde manyetik akı sirkülasyon hattı (kesik çizgiler, kırmızı hat), bobin boyutları ve malzeme özellikleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi manyetik akı hattı, disk, selenoid bobin ve bobinin dışını kaplayan çelik borunun orta noktalarından geçer. Bobinin sargılarından geçen akım, manyetik alan meydana getirerek hareketli demir göbeği hava aralığının direncini yenerek selenoid bobinin merkezine doğru çeker.

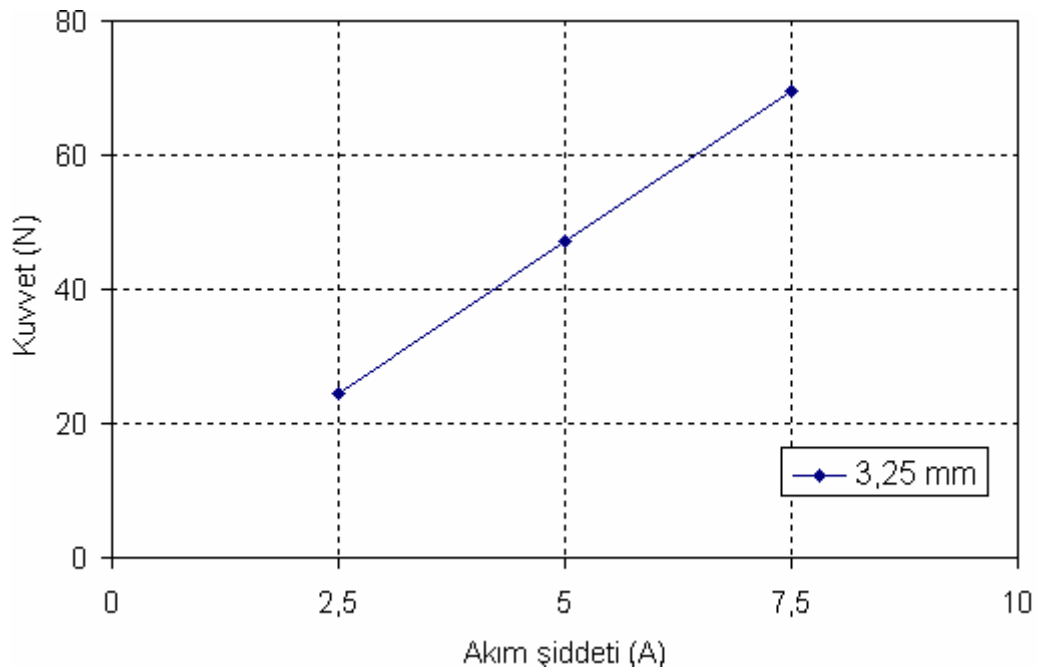


Şekil 4.3. Selenoid bobinde manyetik akı hattı, bobin boyutları ve bobinde kullanılan malzemeler

Tasarlanan boyutlardaki ilk selenoid bobinin sarım sayısı 730'dur. Selenoid bobin, çekme kuvveti deneyi yapılmıştır. Bu deneyin sonuçları Çizelge 4.4'te gösterilmiştir. Selenoid bobin, 12 voltluk gerilim altında, 2,5 Amper akım çekerek 24,525 N ağırlığı 3,25 mm mesafeden kaldırırken; 24 voltluk gerilim altında, 5 Amper akım çekerek 47,088 N ağırlığı kaldırmış, 36 voltluk gerilim altında, 7,5 Amper akım çekerek 69,651 N ağırlığı kaldırmıştır. Bobinde akım şiddeti ve kuvvet arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.4).

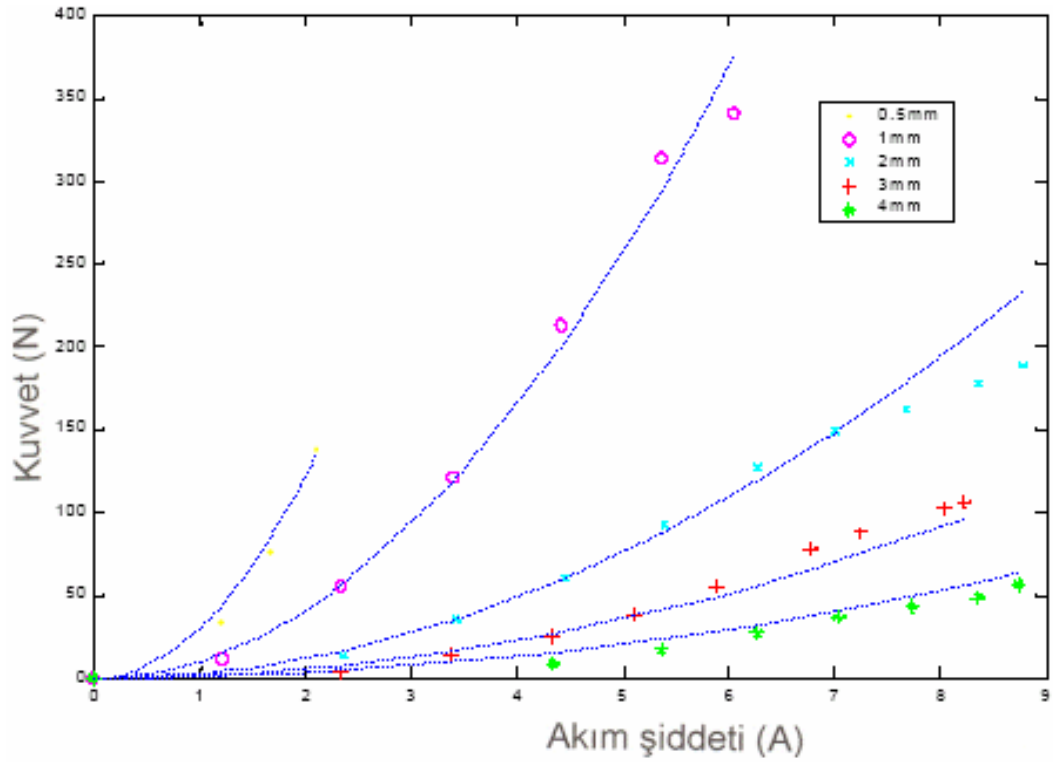
Çizelge 4.4. Gerilime bağlı olarak selenoid bobinin çektiği akım ve kaldırılan ağırlık

Gerilim (V)	Akım (A)	Kaldırılan Ağırlık (N)
12	2,5	24,525
24	5	47,088
36	7,5	69,651



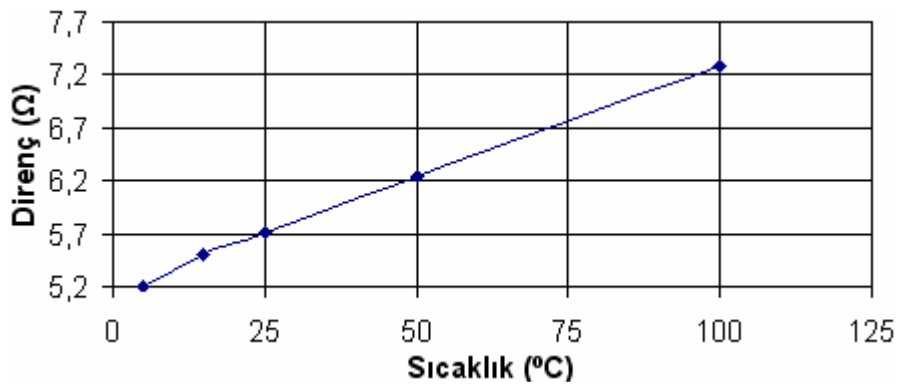
Şekil 4.4. Bobinde hava aralığı (3,25 mm)'na bağlı olarak akım şiddeti-kuvvet ilişkisi

Selenoid bobinin supabı açık/kapalı tutabilmek için supap kalkma miktarındaki yani hava aralığındaki direnci yenmesi gerekmektedir. Selenoid bobinde hava aralığına bağlı akım şiddeti, kuvvet ilişkisi Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi bobin, hava aralığı 3 mm ve akım şiddeti 7,5 A iken 75 N'luk çekme kuvvetine sahiptir.



Şekil 4.5. Bobinde hava aralığına bağlı olarak akım şiddeti-kuvvet ilişkisi [33]

Bobinde sıcaklık ile direnç doğru orantılı olarak artmaktadır. Şekil 4.6'dan da görüldüğü gibi, bobinde 25 °C'lik bir sıcaklık artışı için dirençte sadece 0,5 Ω 'luk ihmal edilebilecek çok küçük bir artış olduğu görülmektedir.

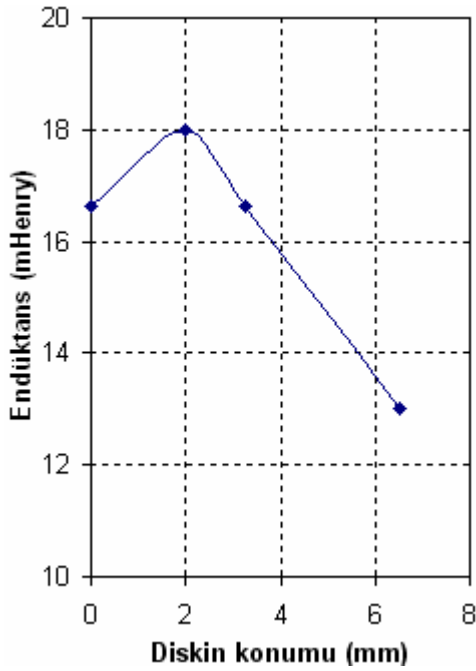


Şekil 4.6. Sıcaklık ile bobin direnci arasındaki ilişki

Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasında selenoid bobinlerin supapların açılması/kapanması için en az 30 N'luk bir çekme kuvvetine

ihtiyaç olduğu ve gerilimin de 42 volt olacağı düşünüldüğünde elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasının çalışabileceği açıktır. Buna ek olarak ilk sarılan bobinin sarım sayısı 730 sarım iken ikinci sarılan bobinin sarım sayısı 840 sarıma yükseltilmiştir.

Sarım sayısı 840 olan bobinin endüktansı L-C-R metre ile ölçülmüştür. Ölçüm üç konumda yapılmıştır: Sıfır konumu, disk bobin içinde; bir konumu, disk 3,25 mm dışarı çekilmiş durumda ve iki konumu disk 6,5 mm dışarı çekilmiş durumdadır. Şekil 4.7'den görüldüğü gibi diskin sıfır ve bir konumu için endüktans, 16,62 mHenry iken; iki konumu için, 13 mHenry'dir. Endüktans, başlangıçta artan daha sonra azalan bir yol izlemiştir.



Şekil 4.7. Elektromanyetik supap mekanizması tek sargılı bobinde diskin konumu ve endüktans

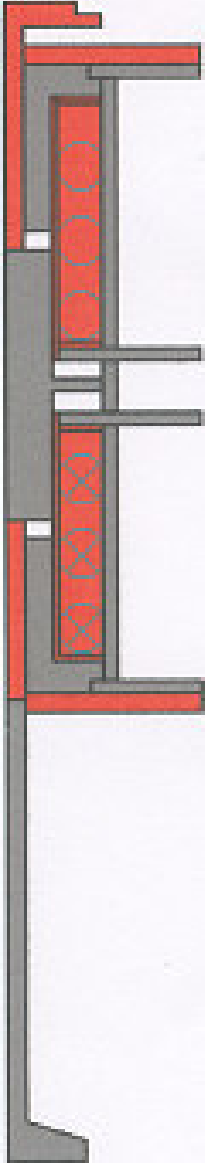
4.5. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizmasında Manyetik Modelleme

Gemini iki boyutlu problemlerin çözümü için tasarlanmıştır; manyetik malzeme ve sargılardan oluşan model ile sanal bir laboratuvar ortamı hazırlar, alan çizimleri, grafik görüntüler oluşturur. Çoğu durumlarda manyetik şartlar alanın değişim oranı ile çok az etkilendiğinden statik bir çözüm mükemmel sonuçlar verir. Selenoid bobinin boyutları, bobinde kullanılan malzemeler, bobinin sarım sayısı ve akım şiddeti girilerek manyetik inceleme yapılır. Manyetik alan şiddetinin en yoğun ve zayıf olduğu bölgeler tespit edilir; halka akısı veya endüktans değerlerinden indüklenen gerilim, kuvvet, tork, bobinde depolanan enerji ve ko-enerji hesaplanır.

İki boyutlu manyetik modellemede hava aralığındaki girdap akımı kayıpları ve histeresis kayıpları ihmal edilir. Manyetik akı yoğunluğu (B)'nin mevcut değeri, manyetik alan şiddeti (H)'nin mevcut değeri ile beraber geçmişteki değerine de bağlıdır; bu da ihmal edilir.

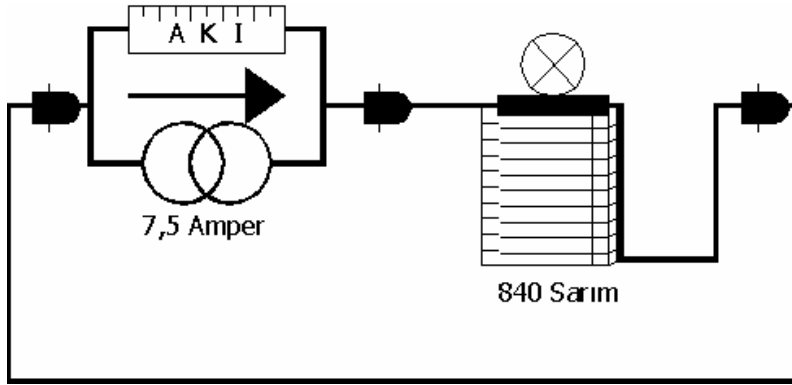
Yeni bir model tasarlanıp mm olarak çizimi yapıldıktan sonra, çözünürlük sıra ile 1, 2, 3, 4, 5 hassaslık seviyesine göre ayarlanır. Bu seviyelerden 1. hassaslık seviyesi en düşük seviye iken 5. hassaslık seviyesi ise en hassas seviyedir. Çözünürlük 5 seviyesine göre işlem basamakları aşağıda sıralanmıştır:

1. Adım: Şekil 4.8'de görüldüğü gibi Editör penceresinde bobinin şekli çizilir. Çizimde uzunluklar mm ve aygıt geometrisi dairesel (rotational) geometri olarak seçilmiştir. Şekilde manyetik kuvvet hatlarının geçtiği malzeme seçimi yapılır. Sarımın yapıldığı çapraz alan kırmızı renk; supap, demir nüve, plakalar ve diğer Ç 1010 ferromanyetik malzemeler gri renk; ferromanyetik olmayan pirinç malzeme kırmızı renk; hava boşluğu ise beyaz renk olarak bölgeler seçilmiştir.



Şekil 4.8. Manyetik modellemede selenoid bobin boyutları

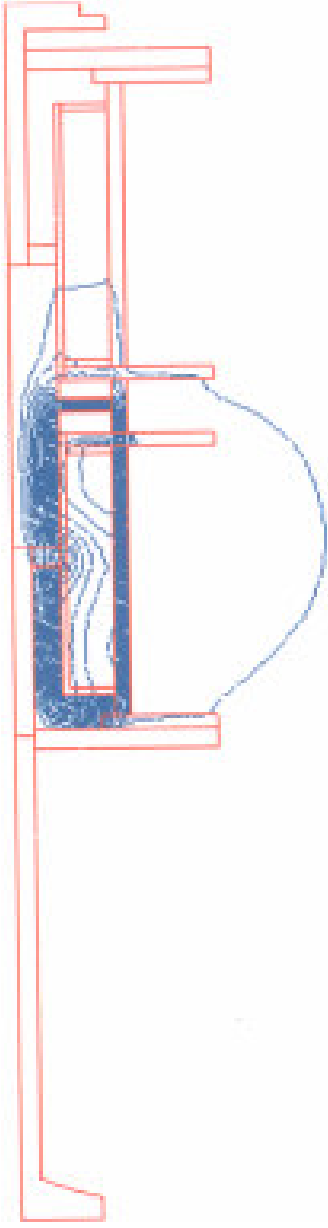
2. Adım: Devre (Circuits) penceresinden bobinin akım ve sarım sayısı seçilir; bobinin akımı 7,5 Amper ve sarım sayısı 840 sarım seçilmiştir (Şekil 4.9).



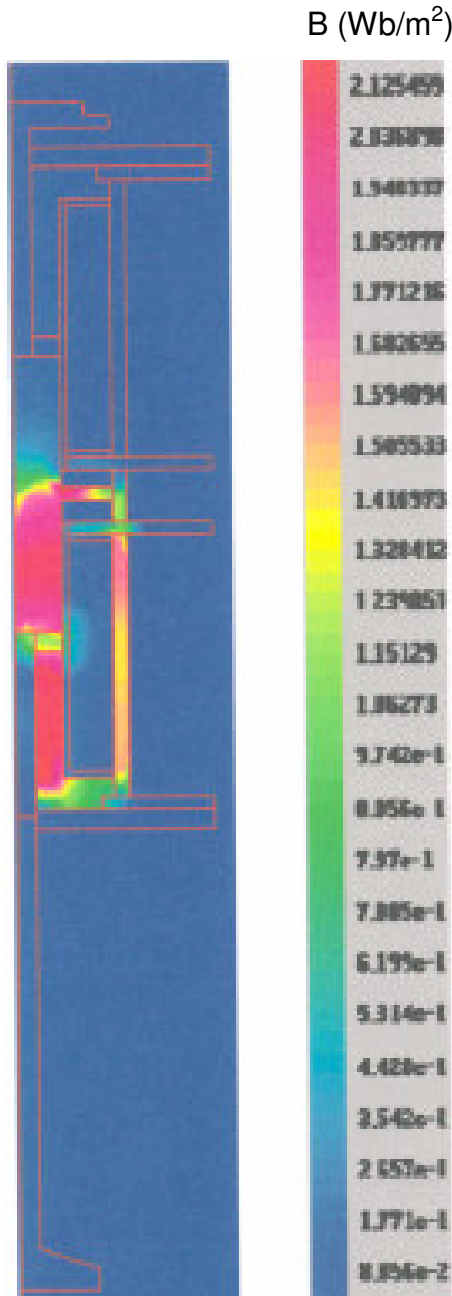
Şekil 4.9. Manyetik modellemede devre şekli, bobinin akım şiddeti (I) ve sarım sayısı (N)

3. Adım: Çözünürlük (set solving parameters) seçilir; 5 numara seçilmiştir

4. Adım : Çöz (Solve)'ye tuşlanır. Flux plot ekranından manyetik akı hattı (Şekil 4.10) ve region plot'tan manyetik kuvvet hattı görülür (Şekil 4.11). Şekil 4.11'de manyetik alan şiddetinin kuvvetli (kırmızı renk) ve zayıf (mavi renk) olduğu bölgeler görülür.



Şekil 4.10. Manyetik modellemede manyetik akı hattı



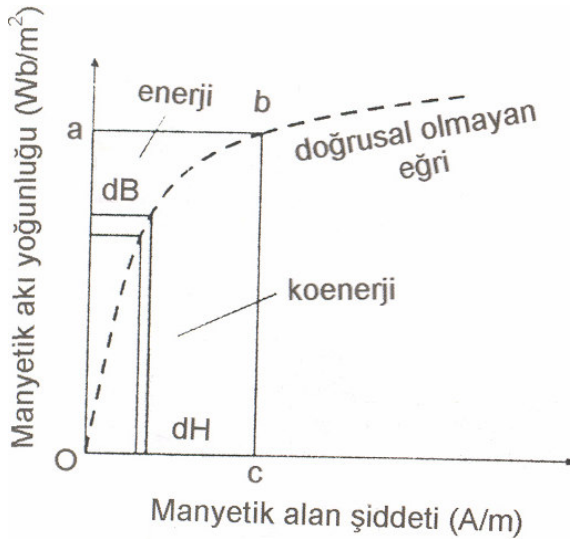
Şekil 4.11. Manyetik modellemede manyetik akı yoğunluğu (B)'nun geçtiği alanın kuvvetli (kırmızı renk) ve zayıf (mavi renk) olduğu bölgeler

5. *Adım:* Sayısal sonuçların pratik olarak incelemesi yapılır: Sayısal sonuçlarda depolanan enerji ve koenerji olmak üzere iki tane enerji yer alır. Bunlardan depolanan enerji, bobin sargılarında akım sıfırdan bir son değere artırılarak manyetik alan oluşturulduğunda iletken malzemedeki ısı (I^2R , Joule, Eddy akımı) kayıplarına ek olarak enerji verilmesi gerekir. Bu enerji

manyetik alanda depolanan enerji olarak düşünülür. Burada histeresis kayıpları ihmal edilir ve akım kesilip tekrar verildiğinde tekrar sıfırdan başladığı kabul edilir.

Şekil 4.12’de manyetik malzemenin B-H eğrisinin bir kısmı gösterilmektedir. Enerji yoğunluğu B-H eğrisi ile ve B eksenini arasındaki alan olup Şekil 4.12’deki oab alanıdır.

Koenerji ise eğri ve H eksenini arasındaki alan olup Şekil 4.12’deki ocb alanına eşittir. Malzeme doğrusal ise, bu durumda enerji yoğunluğu, oabc dikdörtgeninin alanının yarısına eşittir. Doğrusal olmayan bir malzeme için enerji yoğunluğu, bu alandan daha küçük ve koenerji yoğunluğu bu alandan daha büyüktür. Sayısal sonuçlarda, bobinde depolanan enerji ile koenerji karşılaştırılır (Şekil 4.12):



Şekil 4.12. Manyetik modellemede bobinde depolanan enerji ile koenerji [34]

- İkisi aynı ise doğrusal yani manyetik alan şiddeti (H)'nin, az miktarda artışının manyetik akı yoğunluğunda (B) büyük artış sağladığı, bobinde akım artışı eğrisinin (B-H eğrisi) başlangıçtaki dik kısmı,
- Farklı ise orta bölgede, yani eğrinin bükülen kısmı,

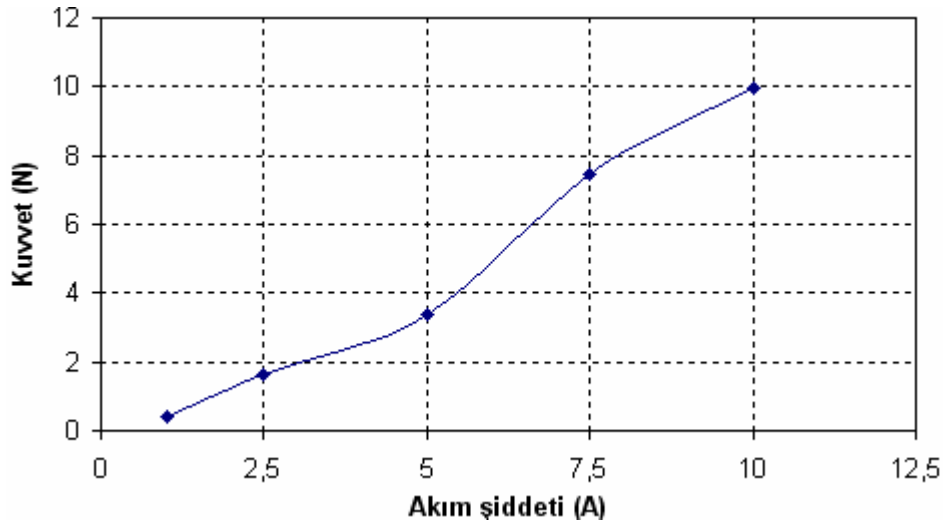
c. Çok farklı ise doyum bölgesinde yani B'de çok az fark edilebilir bir artış için H'nin büyük bir artışının gerektiği bu bölgenin ötesindeki doyum bölgesi,

Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi sayısal sonuçlara göre depolanan enerji 0,58 ve koenerji 1,42'dir ve değerler farklı olduğu için b şıkkına girmektedir; orta bölgede, yani eğrinin bükülen kısmındadır. Dolayısıyla, bobinde 7,5 A olan akım şiddetini arttırmanın çok az faydası olacaktır.

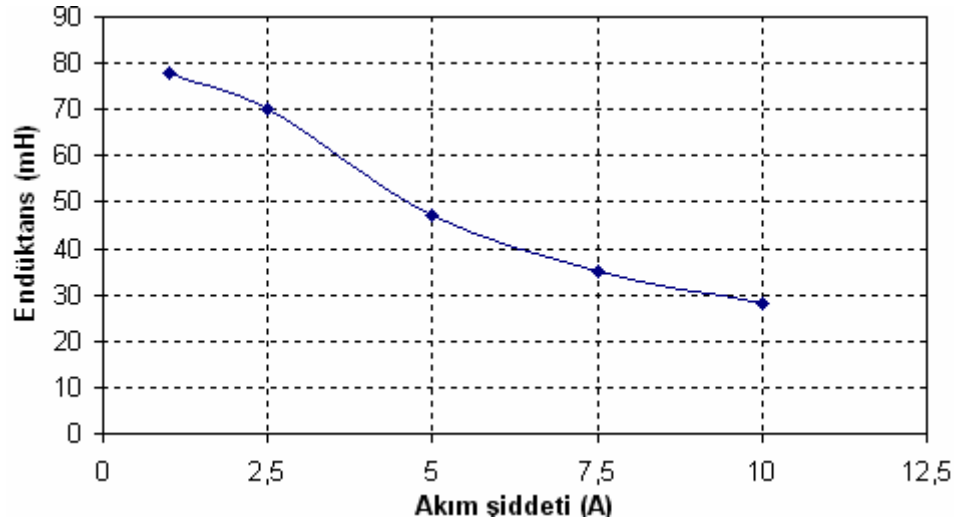
6. Adım: 1 mm'lik aksenal uzunluk için verilen sayısal veri, derinlik ile çarpılarak selenoid bobinin toplam enerji, çekici kuvvet ve endüktans verileri elde edilir. Derinlik 46,25 mm'dir. Çizelge 4.5'ten görüldüğü gibi 7,5x840 Axsarım'lık manyeto-motor kuvvet için, X eksenini doğrultusunda elde edilen kuvvet sıfırdır ve Y eksenini doğrultusunda 1 mm'lik uzunluk için elde edilen kuvvet 7,47819 N'dur. Endüktans ise 35,1408 mHenry'dir. Kuvvet, akım şiddeti ile doğru orantılı olarak artarken (Şekil 4.13) endüktans, akım şiddeti ile ters orantılı olarak azalmaktadır (Şekil 4.14).

Çizelge 4.5. Manyetik modellemede 840 sarım bobinde 1 mm'lik aksenal uzunluk ve değişik akımlar için elde edilen sayısal sonuçlar

Manyeto motor kuvvet (Axsarım)	840x10	840 x 7,5	840x5	840x2,5	840x1
Depolanan Enerji (J/mm),	0,755081	0,589214	0,423127	0,202383	0,0387305
Ko-Enerji (J/mm)	2,16201	1,42851	0,804957	0,237101	0,0389798
Kuvvet (N/mm), (x;y):	0;9,97761	0;7,47819	0; 3,35249	0;-1,62953	0;-0,407237
Self İndüktans (mH/mm)	28,3389	35,1408	47,3009	69,8874	77,6776



Şekil 4.13. Manyetik modellemede 840 sarım bobinde 1 mm'lik aksel uzunluk için kuvvet - akım şiddeti



Şekil 4.14. Manyetik modellemede 840 sarım bobinde 1 mm'lik aksel uzunluk için endüktans - akım şiddeti

4.6. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizması Tek Sargılı Selenoid Bobinde Manyeto-motor Kuvvet, Kayıplar ve Diğer Hesaplar

Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasında başlangıçta supap yayı ön gerilimlidir ve supap yarı açık yani orta pozisyonundadır. Dolayısıyla bobinin supabı açma/kapama için hareket ettireceği uzaklık supap kalkma miktarının

yarısıdır yani diskin hareket edeceği mesafe 3,25 mm'dir. Diskin hareket edeceği göbeğin yarıçapı ise 7 mm'dir. Supabı açma anında supap kalkma miktarının yarısı olan 3,25 mm'lik mesafede manyetik kuvvet hatlarının, supap yayının direncini yenebilecek en küçük değer 30 N'dur. Bununla beraber hava aralığının, hareketli parçaların ağırlıklarının direncini ve supabın çarpıp sıçramasını da dikkate alarak 30 N'a ek olarak 75 N için ve 220 N için de hesaplamalar yapılmıştır [27]:

$$l_b : 36 \times 10^{-3} \text{ m},$$

$$\mu_0 : 4 \pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$r_1 : 7 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$r_2 : 15 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$d_{tel} : 0,55 \text{ mm (emaye kaplı)}$$

Kaldırılması gereken toplam kütle; $m = \text{yayı } 3,25 \text{ mm sıkma kuvveti} + (\text{supap} + \text{supap tablası} + \text{ara çubuk} + \text{disk} + \text{üst çubuk} + \text{üst tabla ağırlığı})$

$$m = 3 \text{ kg} + 142,5736 \times 10^{-3} \text{ kg} = 3,1425736 \text{ kg} = 30,8286 \text{ N}$$

Hava aralığının kesit alanı (Diskin kesit alanı), S_h ;

$$S_h = \pi \times r_1^2 = \pi \times (7 \times 10^{-3})^2 = 0,153938 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Eş. 4.9 ile diski çeken elektromanyetik kuvvet, F :

$$F = \frac{B_h^2 \times S_h}{2 \times \mu_0} = m \times g \quad (4.9)$$

Hava aralığındaki çekici kuvveti dengelemek için, Eş. 4.10 ile hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğu, B_h ;

$$B_h^2 = \frac{2 \times \mu_0 \times m \times g}{S_h} \quad (4.10)$$

$$B_h = \sqrt{\frac{2 \times 4 \times \pi \times 10^{-7} \times 3,1425736 \times 9,81}{0,153938 \times 10^{-3}}}$$

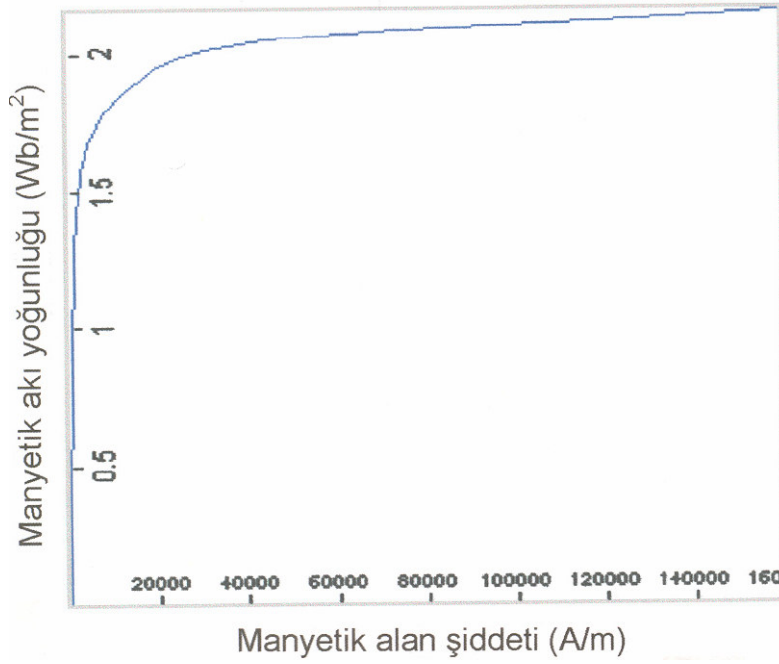
$$B_h = 0,709454001 \text{ Wb/m}^2$$

bulunur. Manyetik devrede bobinde hesaplanacak akım, hava aralığında manyetik akı yoğunluğu (B_h) 0,7094 Wb/m² üretecektir.

75 N için $B_h=1,1065 \text{ Wb/m}^2$ ve 220 N için $B_h=1,8952 \text{ Wb/m}^2$ hesaplanır.

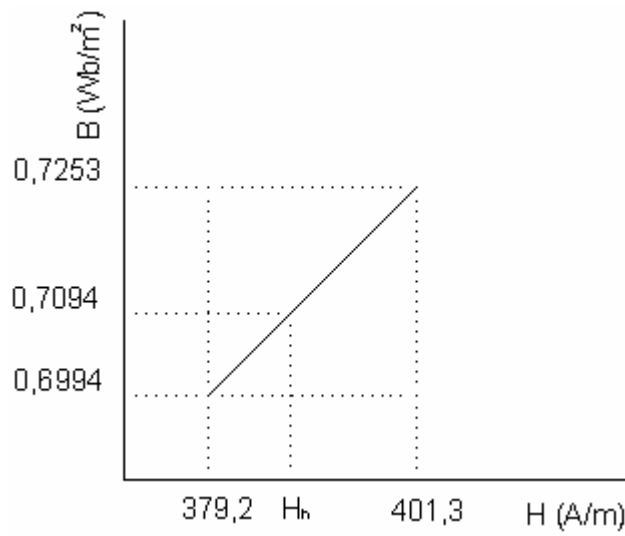
Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasında selenoid bobinin iç kısmında hareket eden disk ve sabit kısımda kullanılan ferromanyetik malzemeyi tespit etmek için KOSGEB'de Spektro analiz yaptırılmıştır. Ferromanyetik malzeme numunesinin çapı 35 mm ve kalınlığı 5 mm'dir. Spektro analiz sonuçlarına göre malzeme Ç 1020 olarak tespit edilmiştir.

Ç-1020 ile Ç-1010 malzeme manyetik özellik bakımından birbirlerine çok benzemektedir. Bu nedenle hesaplamalarda Ç-1010 malzemenin mıknatıslanma (B-H) eğrilerinden faydalanılmıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Ç 1010 Ferromanyetik malzemedde, mıknatıslanma eğrisi (B-H)

Şekilden görüldüğü gibi mıknatıslanma, doyuma ulaştıktan sonra yatay bir seyir izlemektedir. Hesaplanan hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğu (B_h)'na göre Ç1010 B-H eğrilerinden interpolasyon yöntemi ile manyetik alan şiddeti (H_h) bulunmuştur (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Hesaplanan hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğu (B_h)'na göre Ç-1010 eğrilerinden interpolasyon yöntemi ile manyetik alan

$$\frac{\text{şiddeti } (H_h)}{(0,7094 - 0,6994)} = \frac{(H_h - 379,2)}{(401,3 - 379,2)}$$

$$H_h = \frac{(0,7094 - 0,6994) \times (401,3 - 379,2)}{(0,7253 - 0,6994)} + 379,2$$

$$H_h = 387,7328 \text{ A/m}$$

hesaplanır. 75 N için hesaplanan hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğu $B_h=1065 \text{ Wb/m}^2$ için Ç1010 B-H eğrilerinden interpolasyon yöntemi ile manyetik alan şiddeti $H_h=843,2125 \text{ A/m}$ bulunur.

220 N için hesaplanan hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğu $B_h=1,8952 \text{ Wb/m}^2$ için Ç1010 B-H eğrilerinden interpolasyon yöntemi ile manyetik alan şiddeti $H_h=15231,1538 \text{ A/m}$ bulunur.

Eş. 4.11 ile bağlı manyetik geçirgenlik, μ_r :

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = \frac{B/H}{\mu_0} \quad (4.11)$$

$$\mu_r = \frac{B/H}{\mu_0} = \frac{0,7094/387,7328}{4 \times \pi \times 10^{-7}}$$

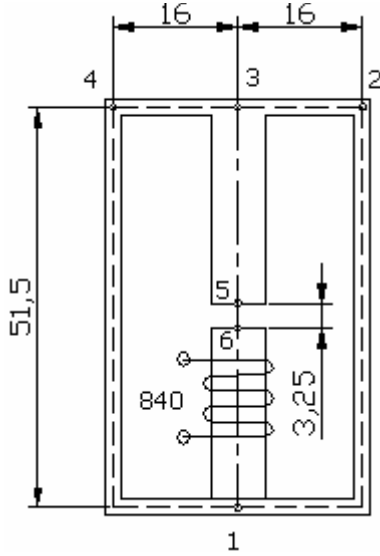
$$\mu_r = 1455,9578$$

hesaplanır. 75 N için $\mu_r=1044,2488$ ve 220 N için $\mu_r=99,0176$ hesaplanır.

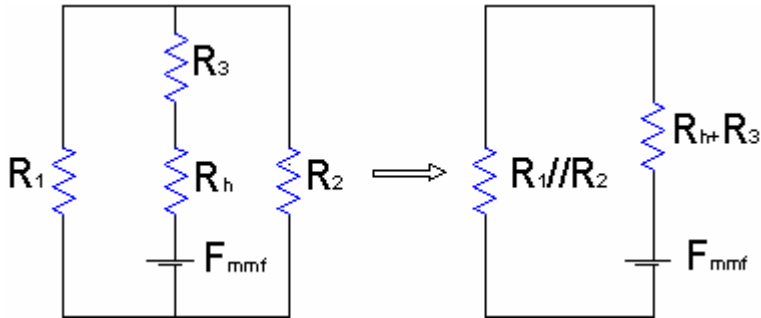
Şekil 4.17'de manyetik devre ve Şekil 4.18'de bu devrenin benzeri olan elektrik devresi gösterilmiştir. Şekil 4.17'de manyetik akı hattının uzunlukları l_{143} , l_{123} , l_{35} , l_{16} , l_{56} (hava aralığı) ve Şekil 4.18'de ferromanyetik malzemenin

manyetik akıya gösterdiği manyetik dirençler R_1 , R_2 , R_3 , R_h , gösterilmiştir.

Eş. 4.12 ile manyetik dirençler aşağıda sıra ile bulunmuştur;



Şekil 4.17. Manyetik devre



Şekil 4.18. Manyetik devrenin benzeri olan elektrik devre

Eş. 4.12 ile manyetik direnç, R :

$$R = \frac{l}{\mu \times S_h} \quad (4.12)$$

$l_{143} = l_{123}$ hattının manyetik direnci, $R_1=R_2$;

$$R_1 = R_2 = \frac{l_{1,2,3}}{\mu_0 \times \mu_r \times S_h} = \frac{83,5 \times 10^{-3}}{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 1455,9578 \times 0,153938 \times 10^{-3}}$$

$$R_1 = R_2 = 296470,8403 \quad H^{-1}$$

hesaplanır. 75 N için $R_1=413358,4184 \quad H^{-1}$ ve 220 N için $R_1=4359316,2462 \quad H^{-1}$ hesaplanır.

l_{35} ve l_{16} hattının manyetik direnci, R_3 ;

$$R_3 = \frac{l_{1,3}-l_{5,6}}{\mu_0 \times \mu_r \times S_h} = \frac{48,25 \times 10^{-3}}{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 1455,9578 \times 0,153938 \times 10^{-3}}$$

$$R_3 = 171313,9885 \quad H^{-1}$$

hesaplanır. 75 N için $R_3=238856,8106 \quad H^{-1}$ ve 220 N için $R_3=2519006,0944 \quad H^{-1}$ hesaplanır.

Hava aralığının manyetik direnci, R_h ;

$$R_h = \frac{l_{5,6}}{\mu_0 \times S_h} = \frac{3,25 \times 10^{-3}}{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 0,153938 \times 10^{-3}}$$

$$R_h = 16800710,8397 \quad H^{-1}$$

R_1 ve R_2 Paralel dirençlerdir. Onun için;

$$R_1 // R_2 = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_1}{2} = \frac{296470,8403}{2}$$

$$R_1 // R_2 = 148235,4201 \quad H^{-1}$$

hesaplanır. 75 N için $R_1//R_2=206679,2092 \quad H^{-1}$ ve 220 N için $R_1//R_2=2179658,1231 \quad H^{-1}$ hesaplanır.

- Hava aralığındaki manyeto-motor kuvvet, Eş. 4.13 ile bulunur. Hava aralığındaki manyeto-motor kuvvet, F_{mmfh} ;

$$F_{mmfh} = \frac{R_h}{R_h + R_3 + R_1 // R_2} \times F_{mmf} \quad (4.13)$$

$$F_{mmfh} = \frac{16800710,8397}{16800710,8397 + 171313,9885 + 148235,4201} \times NI$$

$$F_{mmfh} = 0,9813 \times NI$$

hesaplanır. 75 N için $F_{mmfh}=0,9742 \times NI$ ve 220 N için $F_{mmfh}=0,7815 \times NI$ hesaplanır.

Bobinin Amper×sarım (NI) değeri, Eş. 4.14'te F_{mmf} yerine NI yazılarak ve Eş. 4.14 ile bulunur. Bobinin Amper×sarım değeri, NI:

$$F_{mmfh} = \frac{B_h \times l_h}{\mu_0} \quad (4.14)$$

$$0,9813 \times NI = \frac{B_h \times l_h}{\mu_0}$$

$$NI = \frac{B_h \times l_h}{\mu_0 \times 0,9813} = \frac{0,7094 \times 3,25 \times 10^{-3}}{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 0,9813}$$

$$NI = 1869,6610 \cong 1870 \quad A \times sarım$$

hesaplanır. 75 N için $NI=2938$ Amper×sarım ve 220 N için $NI=6271,9063$ Amper×sarım hesaplanır.

- Bobin sargılarından geçen akım şiddeti (I): Bobinin sarım sayısı, $N=840$ Sarım için akım şiddeti (I), Eş. 4.15 ile bulunur. Akım şiddeti, I:

$$I = \frac{NI}{N} \quad (4.15)$$

$$I = \frac{1870}{840} = 2,2261 \text{ A}$$

hesaplanır. 75 N için $I=3,4970$ A ve 220 N için $I=7,4665 \approx 7,5$ A hesaplanır.

• Eş. 4.16 ile bir sarımın hava aralığında oluşturduğu manyetik akı, Φ_h :

$$\Phi = \frac{\mu_0 \times N \times I \times S}{l_h} \quad (4.16)$$

$$\Phi_h = \frac{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 840 \times 2,2261 \times 0,153938 \times 10^{-3}}{3,25 \times 10^{-3}}$$

$$\Phi_h = 1,1130 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

hesaplanır. 75 N için $\Phi_h=1,7484 \times 10^{-4}$ Wb ve 220 N için $\Phi_h=3,7331 \times 10^{-4}$ Wb hesaplanır.

Eş. 4.17 ile $N=840$ sarımın hava aralığında oluşturduğu toplam manyetik akı, Ψ_h :

$$\Psi = N \times \Phi \quad (4.17)$$

$$\Psi_h = 840 \times 1,1130 \times 10^{-4}$$

$$\Psi_h = 934,9224 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

hesaplanır. 75 N için $\Psi_h=1468,6778 \times 10^{-4}$ Wb ve 220 N için $\Psi_h=3135,7891 \times 10^{-4}$ Wb hesaplanır.

• Bobinin endüktansı, L : Endüktans, bir elektrik devresini halkalayan toplam manyetik akının, yani bobin akısının, bu akıyı meydana getiren akıma oranıdır. Ortamda demir cinsinden manyetik malzeme bulunmadığında bir devrenin endüktansı sabit olur, yani akımın değerine bağlı olmaz, dolayısıyla sadece devrenin geometrik tasarımı ile değişir. Bu yüzden endüktansa, bir devre sabitesi denir (R direncinde olduğu gibi). Belli uzunlukta bir tel doğru hat şeklinde gerildiği zaman endüktansı minimumdur. Aynı teli bir bobin şeklinde sararsak endüktansı artar. Bir bobinin endüktansı sarım sayısının karesiyle doğru orantılıdır. Bobini demir çubuk üzerine sarmak ve sarım sayısını artırmak endüktansı artırır. Endüktans, mekanikteki atalet katsayısına (kütle) benzer. Endüktansı büyük olan devrede akım yavaş yükselir ve yavaş söner; tersi durumda yani endüktansı küçük olan devrede akım hızlı yükselir ve hızlı söner [35].

Endüktans, bobinin sarım sayısının karesi ile doğru orantılı ve hava aralığındaki manyetik direnç ile ters orantılıdır (Eş. 4.18). Endüktans, L :

$$L = \frac{N^2}{R_h} \quad (4.18)$$

$$L = \frac{840^2}{16800710,8397}$$

$$L = 0,0419982 \text{ Henry}$$

$$L \cong 42 \text{ mHenry}$$

hesaplanır.

• Manyetik alanda biriken enerji, W_m : İndüktif devrede anahtarı kapattığımızda akımın doğması, yükselmesi ve sabit değerini alması anında zıt yönde bir Elektro-Motor-Kuvvet (E.M.K.) doğar. Akımın yükselebilmesi için bu E.M.K.'nın yenilebilmesi, dolayısıyla üretcin bu gerilim altında iş yapması gerekir. Üretcin kaybettiği bu enerji manyetik alanda birikecektir [35].

Manyetik alanda biriken enerjinin self endüktans (L) cinsinden ifadesi Eş. 4.19'da gösterilmiştir. Manyetik alanda biriken enerji, W_m :

$$W_m = \frac{1}{2} \times L \times I^2 \quad (4.19)$$

$$W_m = \frac{1}{2} \times L \times I^2 = \frac{1}{2} 42 \times 10^{-3} \times 2,2261^2 = 0,1040 \text{ J}$$

hesaplanır. 75 N için $W_m=0,2568 \text{ J}$ ve 220 N için $W_m=1,1707 \text{ J}$ hesaplanır.

• Zaman Sabiti, T: Akımın son değeri Ohm Kanunu ile bulunur ve $I=E/R$ dir. Akım, matematik olarak son değere asla ulaşmaz. Akımdaki artma oranını vermek için zaman sabiti kullanılır. Zaman sabiti (T), akımın Ohm kanunu değerinin %63,2'sine ulaşması için geçen zamandır ve L/R saniyedir [35]. Bobinde mıknatıslanma eğrisi, yükselirken akımın % 63,2'sinden sonra yatay bir seyir izlemekte ve akım arttıkça, manyetik akı yoğunluğu (B)'na oranla manyetik alan şiddeti (H) daha fazla artmaktadır. Zaman sabiti, Eş. 4.20 ile bulunur. $L_b=42 \text{ mH}$, $R_b=5,2 \text{ } \Omega$ ve $V=42 \text{ Volt DC}$ gerilim için Zaman sabiti, T:

$$T = \frac{L}{R_b} \quad (4.20)$$

$$T = \frac{42 \times 10^{-3}}{5,2}$$

$$T = 8,0769 \text{ ms}$$

hesaplanır. Bir D.C. gerilim L endüktansı ve R direncine sahip bir bobine ansızın uygulanırsa Kirchhoff'un ikinci (gerilim) kanunu t saniye zamandaki gerilimi verir (Eş. 4.21);

$$V = iR + L \frac{di}{dt} \quad (4.21)$$

Eş. 4.21'de i akımı, bobinde akımın ilk yükselme akımıdır ve Eş. 4.22 ile bulunur [35]. Akım, i ;

$$i = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L} \times T} \right) \quad (4.22)$$

$$i = \frac{42}{5,2} \left(1 - 2,718281828^{-\frac{5,2}{42 \times 10^{-3}} \times 8,0769 \times 10^{-3}} \right)$$

$$i = 5,1055 \text{ A}$$

Akımın son değeri Ohm Kanunu'ndan yararlanarak bulunur:

$$I_{son} = \frac{V}{R} = \frac{42}{5,2} = 8,0769 \text{ A}$$

• Girdap akımı kayıpları P_f [30]:

Bakırın iletkenliği, $\sigma_{Cu} = 10^7 \text{ } (\Omega\text{m})^{-1}$

Açısal hız, $\omega = 164,2 \text{ rad/s}$

Disk in et kalınlığı, $e = 0,014 \text{ m}$

Manyetik akı yoğunluğu, $B_{max} = 0,7094 \text{ Wb/m}^2$

hesaplanır. 75 N için $B_{max} = 1,1065 \text{ Wb/m}^2$ ve 220 N için $B_{max} = 1,8952 \text{ Wb/m}^2$ hesaplanır.

Girdap akımları ile Eş. 4.23 ve Eş. 4.24'ten diskte birim hacim başına kaybolan güç, P_f :

$$P_f = \frac{P_F}{V} \quad (4.23)$$

$$P_f = \frac{1}{24} \sigma \times \omega^2 \times e^2 \times B_{\max}^2 \quad (4.24)$$

$$P_f = \frac{1}{24} \times 10^7 \times 164,2^2 \times 0,014^2 \times 0,7094^2$$

$$P_f = 1108086,0908 \text{ Watt / m}^3$$

hesaplanır. 75 N için $P_f=2695839,1234 \text{ Watt/m}^3$ ve 220 N için $P_f=7908629,5041 \text{ Watt/m}^3$ hesaplanır.

Disk hacmindeki toplam gücü elde etmek için, güç yoğunluğu diskin hacminin yarısı ile çarpılır [30]. Diskin tüm hacmindeki toplam güç, P_f

$$P_f = \frac{1108086,0908 \times 3,7856 \times 10^{-6}}{2}$$

$$P_f = 2,0973 \text{ Watt}$$

hesaplanır. 75 N için $P_f=5,1026 \text{ Watt}$ ve 220 N için $P_f=14,9694 \text{ Watt}$ hesaplanır.

- Birim hacim başına kaybolan güç (P_f), disk çapının karesi (e^2) ile orantılıdır.
- Birim hacim başına kaybolan güç (P_f), ω^2 'ye bağlıdır
- İletkenliği (σ) düşük malzemeler, küçük kayıplara sahiptir.

DC Alanlar ($\omega = 0$) için veya yalıtkan ($\sigma = 0$) malzemelerde, Eddy akımları ile güç kaybı yoktur. Güç İfadesi:

$N=840$ Sarım ve $I=2,2261 \text{ A}$

$$\sigma_{Cu} = 10^7 (\Omega m)^{-1}$$

$$r_{Cutel}=0,50/2 \text{ mm}$$

Bakır telin uzunluğu Eş. 4.25 ile bulunur. Bakır telin uzunluğu, l_{Cutel} :

$$l_{Cutel} = N \times 2 \times \pi \times \left(\frac{r_1 + r_2}{2} \right) \quad (4.25)$$

$$l_{Cutel} = 840 \times 2 \times \pi \times \left(\frac{7 + 15}{2} \right) \times 10^{-3}$$

$$l_{Cutel} = 58,0566 \text{ m}$$

Bloğun direnci, Eş. 4.26 ile bulunur. Bloğun manyetik direnci, R:

$$R = \frac{l}{\sigma \times S} \quad (4.26)$$

$$R = \frac{58,0566}{10^7 \times \pi \times \left(\frac{0,50}{2} \right)^2}$$

$$R = 2,9568 \times 10^{-5} H^{-1}$$

Eş. 4.27 ile ısı etkisiyle yayılarak kaybolan güç, P;

$$P = I^2 \times R \quad (4.27)$$

$$P = 2,2261^2 \times 2,9568 \times 10^{-5}$$

$$P = 0,14652 \times 10^{-3} \text{ Watt}$$

hesaplanır. 75 N için $P = 0,3616 \times 10^{-3} \text{ Watt}$ ve 220 N için $P = 1,6483 \times 10^{-3} \text{ Watt}$ hesaplanır.

- Histeresis Kayıpları, PHist.: Cihazdaki enerjinin bir kısmı histeresis eğrisi içindeki çevrimde tüketilir. Histeresis kayıpları, genellikle cihazın çalışmasına zarar verir. Çünkü malzemenin ısı üretmesine sebep olur. Histeresis yüzünden meydana gelen kayıpları hesaplamak için Eş. 4.28 ile histeresis eğrisi alanı, $S_{hist.}$:

$$S_{hist.}=B_h \times H_h \times 4 \quad (4.28)$$

$$S_{hist.}=0,7094 \times 392,7671 \times 4$$

$$S_{hist.}=1114,5159 \text{ J/m}^3$$

hesaplanır. 75 N için $S_{hist.}=3732,063 \text{ J/m}^3$ ve 220 N için $S_{hist.}=115464,3307 \text{ J/m}^3$ hesaplanır.

Bir bobine ait manyetik akı hattı diskin yarısından geçtiği için, öncelikle diskin hacmi, V_{Disk} :

$$V_{Disk} = (\pi \times r_1^2 \times h_b + \pi \times r_2^2 \times h_d) \times 10^{-9} = (\pi \times 7^2 \times 40 + \pi \times 15^2 \times 2) \times 10^{-9}$$

$$V_{Disk} = 7,5712 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

hesaplanır. Eş. 4.29 ile histeresis eğrisinin bir saniyede tekrarlanma sayısı yani frekans, f:

$$f = \frac{1}{2 \times \pi} \times \omega \quad (4.29)$$

$$f = \frac{1}{2 \times \pi} \times 164,2$$

$$f = 26,1348 \text{ Hertz}$$

hesaplanır. Eş. 4.30'dan histeresis eğrisi ile kaybolan toplam güç, P_{his} :

$$P_{his} = S_{hist.} \times \frac{V_{Disk}}{2} \times f \quad (4.30)$$

$$P_{his} = 1114,5159 \times \frac{7,5712 \times 10^{-6}}{2} \times 26,1348$$

$$P_{his} = 0,1102 \text{ Watt}$$

hesaplanır. 75 N için $P_{his}=0,3692$ Watt ve 220 N için $P_{his}=11,4235$ Watt hesaplanır.

Eş. 4.31 ile bir histeresis çevriminde yayılarak kaybolan enerji, W_{his} :

$$W_{his} = S \times \frac{V_{Disk}}{2} = P_h \times T = \frac{P_h}{f} \quad (4.31)$$

$$W_{his} = \frac{0,1102}{26,1348}$$

$$W_{his} = 0,004219 \text{ Watt}$$

hesaplanır. 75 N için $W_{his}=0,01413$ Watt ve 220 N için $W_{his}=0,4371$ Watt hesaplanır.

Eddy akımı ve histeresis akımı kayıpları toplanarak toplam kayıplar bulunur.

$$P_T = P_f + P_{his} = 2,0973 + 0,1102 = 2,2075 \text{ Watt}$$

hesaplanır. 75 N için $P_T=5,4718$ Watt ve 220 N için $P_T=26,3929$ Watt hesaplanır. Tek sargılı 840 sarım bobinde 7,5 A akım için hesaplanan ve tasarımda baz alınan sayısal sonuçlar Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. 840 Sarım ve 7,5 A akım için hesaplanan sayısal sonuçlar

Manyeto motor kuvvet (Axsarım)	840 x 7,5 (6300)
Depolanan Enerji (J)	1,1707
Kuvvet (N)	220
Endüktans (mH)	42

4.7. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizması Çift Sargılı Selenoid Bobinde Sarım Sayısı, Manyeto-motor Kuvvet ve Diğer Hesaplar

Selenoid bobinler, ilk anda supapları açma/kapama işlemi için yüksek çekme akımı, daha sonra ise supabı açık/kapalı durumda tutmak için düşük tutma akımı ile çalışmaları halinde bobinlerin içinde hareket eden diskin elektromıknatıs tarafından çekilme anında karşı dayanma yüzeyine çarparak supapta zıplamaya ve gürültüye neden olmasının ve tutma anında da düşük tutma akımı ile bobinlerin ısınmasının önleneceği düşünülmüştür. Bunun için akımın kontrol edilmesi gerekmektedir.

Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasında akım bir kaç yolla kontrol edilmektedir. Bunlardan birincisi transistörün beyzindeki direnci değiştirerek akımı kontrol etmektir. Bunun için direnç değerinin tespit edilmesi ve elektronik devredeki mikro denetleyici programının yeniden yazılması gerekmektedir. İkincisi, mekanik olarak kontakların devreye girmesi/çıkması sağlanacaktır. Ancak kontaklarda meme yapma problemi söz konusudur. Üçüncüsü, gerilim regülatörü ile gerilimi kontrol etmektir. Bunun için gerilim değerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Dördüncüsü, marş motorunda olduğu gibi selenoid bobinde çift sargı kullanmaktır. Bunun için selenoid bobinin az sarımlı kalın kesitli sargı ve çok sarımlı ince kesitli sargı ile yeniden sarılması, manyeto-motor kuvvetin hesap ve deney yoluyla bulunması gerekmektedir. Daha sonra elektronik (transistör) veya mekanik (kontaklar) yol ile çekici sargıdaki akımın kesilmesi sağlanacaktır. Beşincisi, devreye seri seramik (taş) direnç eklenerek elektronik veya mekanik yolla akımı kontrol etmektir. Seramik direncin değerinin tespit edilmesi gerekir.

Bu yöntemlerin dışında yalnızca supabın karşı yüzeye çarpmasını önleyecek pnömatis olarak kumanda edilen yastıklı silindir yöntemi, basınçlı havanın sızdırmazlığının sağlanma zorluğu, yüksek devirlerde hava yastığının

olumsuz etkisi nedenleriyle ve PID (Proportional- Integral-Derivative) kontrol yöntemi ise ayrı bir çalışma konusu olması nedeniyle terk edilmiştir.

Akım kontrolü için marş sisteminde kullanılan dördüncü yöntem kabul edilmiştir. Bunun için öncelikle supabın karşı dayanma yüzeyine ulaşmasını algılayacak, işlemciye sinyal gönderecek ve işlemcinin de direnci düşük hattan geçen akımı kesecek ek bir elektronik devre yapılacak daha sonra da akımın, direnci yüksek hattan geçmesi sağlanacaktır.

Silindir kapağı motordan sökülmüş ve silindir kapağına tek sargılı bobin montajlanmıştır. Tek sargılı bobine çeşitli dirençler eklenerek ve selenoid bobinin en fazla 21,3 Ω 'luk direnç ve 1,42 Amper akım ile supabı kapalı tuttuğu tespit edilmiştir (EK-1). Zamanla bobinin ısınarak direncinin artacağı da dikkate alınarak, tutucu bobinin direnci 18 Ω ve akım değeri 2 Amper kabul edilmiştir. Bobin göbeğinin iç kısmına tutucu sargı ve onun üzerine çekici sargı sarılmıştır. Çift sarımlı bobinde tutucu sargı tel çapı 0,30 mm, 1200 sarım, 18,8 Ω direnç, 1,9 A akım şiddeti ve çekici sargı tel çapı 0,55 mm, 360 sarım, 3,4 Ω direnç, 10,6 A akım şiddeti olarak hesaplanmıştır. Güç kaynağı gerilimi 36 Volt'tur. Çift sargılı bobin tasarım hesapları:

Çift sargılı bobin tasarımı için sınır Şartları:

- Çok sarımlı ince sargılı bobin direnci en fazla 21,3 Ω
- Az sarımlı kalın sargılı bobin akımı anahtar açık iken ortalama 7,5 A
- Bobin dış çapı en fazla 31 mm
- Bobin manyeto-motor kuvvet $N \times I = 840 \times 7,5 = 6300$ Amperxsarım

Bobinde tutucu sargı, sarım sayısı ve direnç hesabı (tel çapı: 0,30 mm): Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasında supabı açık tutma anında akım yalnız ince sargılı bobinden geçer. Kontak açıkken bobinin iki ucundaki gerilim $E_b = 8,4$ V iken Ohm kanunu'ndan bobinden geçen akım

şiddeti $I_b = E_b / R_b = 8,4 / 5,9 = 1,42$ A idi. En az manyeto-motor kuvvet, $NI = 840 \times 1,42 = 1192,8$ Axsarım olmalıdır. Hesaplamalarda akım 2 A kabul edilmiştir; dolayısıyla $NI = 840 \times 2 = 1680$ Axsarım olur. Buna göre tel çapı 0,30 ve bobin direnci 18 Ω için hesaplamalar:

$$N = 36 / 0,30 \times 10 = 1200 \text{ sarım}$$

$$I = E_b / R_b = 36 / 18 = 2 \text{ A için } NI = 1200 \times 2 = 2400 \text{ Axsarım}$$

Eş. 4.32'den tel boyu, l_{tel} :

$$l_{tel} = \frac{l_b}{d_{tel}} 2\pi \times r_b \quad (4.32)$$

$$l_{0,30} = \frac{36}{0,30} \times 2\pi \times (8 + 8,3 + 8,6 + 8,9 + 9,2 + 9,5 + 9,8 + 10,1 + 10,4 + 10,7)$$

$$l_{0,30} = 70,497 \text{ m}$$

bulunur. Eş. 4.33'te l : tel uzunluğu (m); S : tel kesiti (mm^2); ρ : öz dirençtir ve bakır için 20 °C'de $\rho_{cu} = 0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ 'dir [36]. Eş. 4.33'ten bobin tutucu sargı direnci, R :

$$R = \rho \times \frac{l}{S} \quad (4.33)$$

$$R_{0,30} = \rho \times \frac{l_{0,30}}{S} = 0,0178 \times \frac{70,497}{\pi \times 0,30^2 / 4}$$

$$R_{0,30} = 17,75 \cong 18 \Omega$$

bulunur.

Bobinde çekici sargı, sarım sayısı ve direnç hesabı (tel çapı: 0,55 mm): Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasında supabı çekme anında

eklenen direnç $R_d=21,3 \Omega$, kablo direnci $R_k=0,7 \Omega$, bobinin direnci $R_b=5,9 \Omega$ 'dur. Bobinin iki ucundaki gerilim $E_b=33,5 \text{ V}$ iken paralel bağlı R_d direnci, çok az akım geçtiği için ihmal edilmiştir. Ohm kanunu'ndan bobin akımı, $I_b=E_b/R_b=33,5/5,9+0,7=5 \text{ A}$ bulunur. En az manyeto-motor kuvvet, $NI=840 \times 5=4200$ Axsarım olmalıdır. Tel çapı $0,55 \text{ mm}$ ve bobin direnci $3,5 \Omega$ için hesaplamalar:

$N=36/0,55 \times 8=523$ sarım ve $I=E_b/R_b=36/3,5=10 \text{ A}$ için $NI=523 \times 10=5230$ Axsarım

Eş. 4.32'den tel boyu, l_{tel} :

$$l_{0,55} = \frac{36}{0,55} \times 2\pi \times (11 + 11,55 + 12,10 + 12,65 + 13,20 + 13,75 + 14,30 + 14,85)$$

$$l_{55} = 42,5 \text{ m}$$

bulunur. Eş. 4.33'ten bobin çekici sargı direnci, R :

$$R_{0,55} = \rho \times \frac{l_{0,55}}{S} = 0,0178 \times \frac{42,5}{\pi \times 0,55^2 / 4}$$

$$R_{0,55} = 3,18 \Omega$$

bulunur. Bobin sarıldıktan sonra çekici sargı sarım sayısı 340 sarım, sargı direnci, $R_{0,55}=3,4 \Omega$ gerçekleşmiştir. Ohm kanunundan akım, $I_1=E_b/R_b=36/3,4=10,6 \text{ A}$ ve manyeto-motor kuvvet, $NI=340 \times 10,6=3604$ Axsarım gerçekleşmiştir. Tutucu sargı sarım sayısı ise 1200 sarım, sargı direnci, $R_{0,30}=18,8 \Omega$ gerçekleşmiştir. Ohm kanunundan akım, $I_2=E_b/R_b=36/18,8=1,915 \text{ A}$ için $NI_2=1200 \times 1,915=2298$ Axsarım ve $NI_T=NI_1+NI_2=3604+2298=5902$ Axsarım'lık manyeto-motor kuvvet supabı çekme anında (açma ya da kapatmak için) elde edilir. Supabı tutma anında (açık ya da kapalı) ise yalnız $NI_2=2298$ Axsarım'lık manyeto-motor kuvvet

elde edilir. Tasarlanan selenoid bobin üretilmiş ve denenmiştir. 33,3 V Gerilim altında tutucu sargı supabı kapalı tutmuştur (Çizelge 4.7). Gerilim 42,5 Volt olduğunda akım $E=42,5$ V iken $I_2=E/R_2=42,5/18,8=2,26$ A ile tutucu sargının supabı daha güçlü bir şekilde tutacağı açıktır.

Çizelge 4.7. Sarılan çift sargılı selenoid bobinin supabı kapalı tutma deney sonuçları

Kontak kapalı	Kontak açık ($I_1=0$ A)	Sonuç
$R_1=3,4 \Omega$, $R_2=18,8 \Omega$, $E=33,3$ V iken $I_1=E/R_1=33,3/3,4=9,79$ A; $I_2=E/R_2=33,3/18,8=1,77$ A $I_T=I_1+I_2=9,79+1,77=11,56$ A	$E=33,3$ V iken $I_2=E/R_2=33,3/18,8=1,77$ A	Tutucu sargı supabı kapalı tuttu.

4.8. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizmasında Montaj İşlemi

Elektromanyetik supap mekanizması tasarımında iki parametre önemlidir. Bunlardan birincisi kuvvettir. Kuvvet, supap yayının, sürtünme kuvvetinin ve silindir yanma odası iç basıncının yenilerek supabın açılıp kapanmasını sağlamaktadır. Bobinde elde edilen çekici kuvvet, manyetik akı yoğunluğu (manyetik kuvvet hatları sayısı)'nın karesi ve disk (demir nüve)'in kesiti ile doğru orantılı ve hava aralığının manyetik geçirgenliği ile ters orantılıdır. Manyetik akı yoğunluğu ise ferromanyetik malzemenin manyetik geçirgenliği ve manyetomotor kuvvete yani bobinin akım şiddeti ve sarım sayısına bağlıdır.

İkincisi gecikme süresidir. Elektromanyetik supap mekanizmasında Hall effect sensöründen aç/kapa sinyalini alan mikro denetleyicinin supabın açma/kapama işlemi için komut vermesi ve supabın açılmaya ya da kapanmaya başladığı süredir. Gecikme süresi, bobinin endüktansı ile doğru orantılıdır. Bobinin sarım sayısının karesi ile doğru orantılı ve hava aralığının manyetik direnciyle ters orantılıdır. Akım şiddeti ile de ters orantılıdır. Bobinin

sarım sayısı azaldıkça ve akım şiddeti arttıkça gecikme süresi azalmaktadır. Ancak akımın artmasını da elektronik elemanların yüksek akım, gerilim, hız kapasiteleri ve bobinde depolanan enerji, ko-enerji sınırlamaktadır.

Tek sargılı elektromanyetik supap mekanizması ile ilgili ölçülen, hesaplanan ve manyetik modelleme ile elde edilen kuvvet, endüktans ve diskin frekansı ile ilgili sonuçlar Çizelge 4.8’de gösterilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi tasarlanan mekanizma ile kuvvet olarak baz alınan 75 N’luk çekici kuvvetin elde edildiği ve bu kuvvetin de üzerine çıkıldığı açıktır. Supap yayının 3,25 mm direncini yenmek için sadece 30 N’luk bir kuvvete ihtiyaç duyulmaktadır. Gecikme süresini etkileyen endüktans ise mHenry düzeyindedir. Diskin frekansı için hesaplamada yalnız supap yayının frekansı baz alınırken, ölçümde 2200 d/d’da motor çalışırken supap yayı ve bobinin çekme kuvvetinin her ikisi birlikte baz alınmıştır.

Çizelge 4.8. Tek sargılı elektromanyetik supap mekanizması ile ilgili ölçülen, hesaplanan ve manyetik modelleme ile elde edilen kuvvet, endüktans ve diskin frekansı

Parametreler	Ölçülen	Hesaplanan	Manyetik modelleme
Kuvvet (N) (840x7,5 Axsarım)	69,651 (730x7,5 Axsarım)	220	345,8663 (7,47819x46,25)
Endüktans (mH) (840x7,5 Axsarım)	16,62	42	1625,262 (35,1408x46,25)
Disk frekansı (hertz)	19,231 (yay ve bobin)	26,1348 (yalnız yay)	-

Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasının tasarımı ile ilgili tüm veriler Çizelge 4.9’da gösterilmiştir. Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasının tüm mekanik parçaları tasarlanıp imal edilerek ve 2 adet selenoid bobin sarımı yapılarak motorun supap kapağına 4 adet saplama ile montajı yapılmış ve deneye hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.19).

Çizelge 4.9. Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasının tasarımı ile ilgili hesaplanan tüm veriler

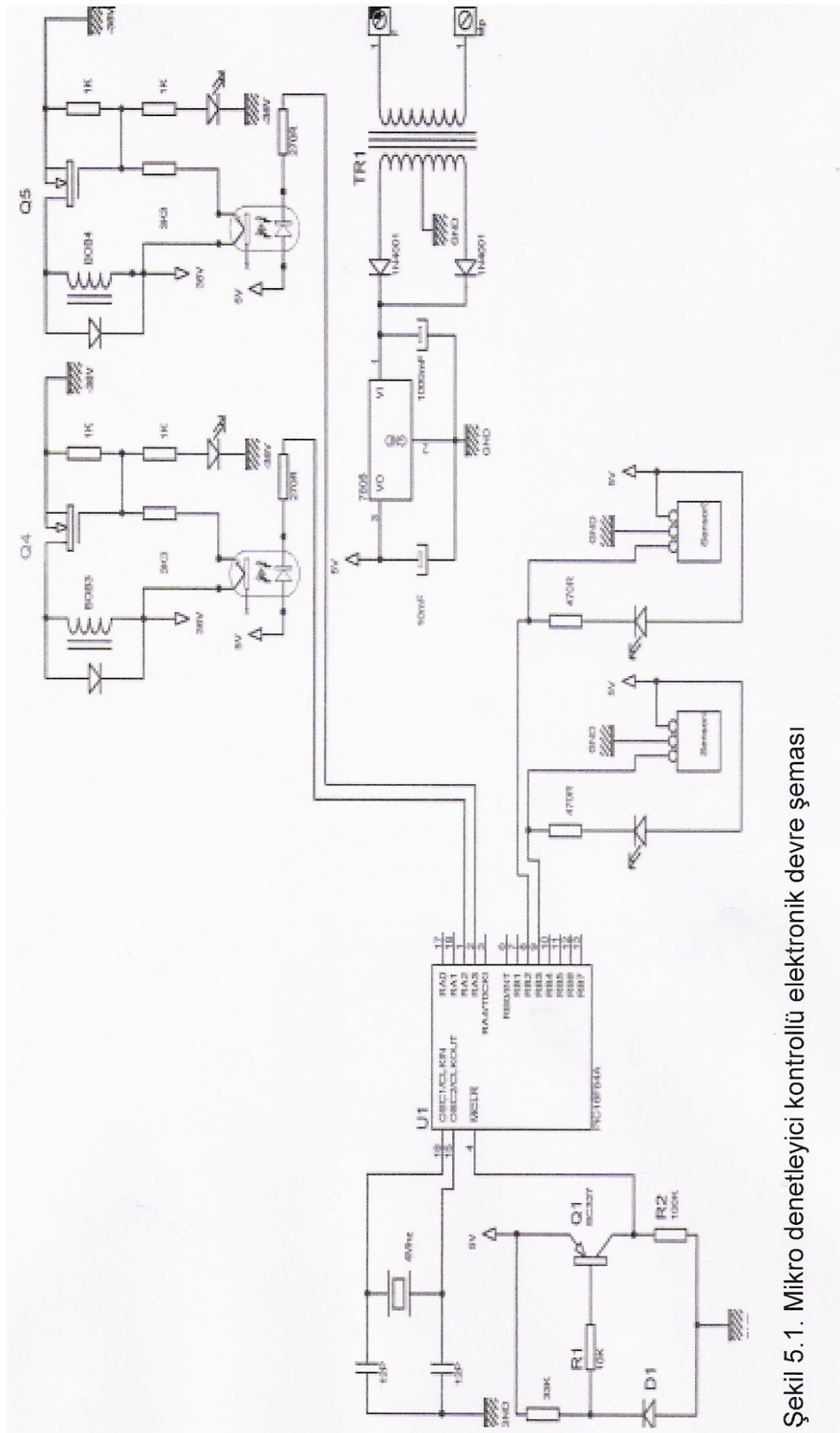
	Simge	75 N için hesaplanan değer
Supap yayı rijitlik katsayısı (N/mm)	k	3,8445 N/mm
Yay titreşiminin periyodu (ms)	T	38,26
Yay titreşiminin frekansı (Hertz)	f	26,1348
Kütlenin maksimum hızı (m/s)	$V_{\max}$	1,0673
Bobinin boyu (m)	λ_b	36×10^{-3}
Disk (demir nüve) yarı çapı (m)	r_1	7×10^{-3}
Disk (demir nüve) halka yarı çapı (m)	r_2	15×10^{-3}
Bakır tel çapı (emaye kaplı), (mm)	d_{tel}	0,55
Hava aralığındaki manyetik akı (Wb/m ²)	B_h	1,1065
Hava aralığının manyetik alan şiddeti (A/m)	H_h	843,2135
Havanın manyetik geçirgenliği (H/m)	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$
Disk (demir nüve)'in bağıl geçirgenliği	μ_r	1044,2488
Bobin $\lambda_{143} = \lambda_{123}$ hattının manyetik direnci (H ⁻¹)	$R_1 = R_2$	413358,4184
Bobin λ_{35} ve λ_{16} hattının manyetik direnci (H ⁻¹)	R_3	238856,8106
Bobin λ_{56} hava aralığının manyetik direnci (H ⁻¹)	R_h	$16800710,84 \text{ H}^{-1}$
Bobinin manyeto-motor kuvveti (A×Sarımlar)	NI	2938
Bobin 840 sarım için akım (A)	I	3,4970
Bobinde bir sarımın hava aralığındaki akısı (Wb)	Φ_h	$1,7484 \times 10^{-4}$
Bobinde 840 sarımın hava aralığındaki akısı (Wb)	Ψ_h	$1468,6778 \times 10^{-4}$
Bobinin endüktansı (mHenry)	L	42
Zıt E.M.K. nedeniyle manyetik alanda biriken enerji (J)	W_m	0,2568
Zaman sabiti (ms)	T	8,0769
Zaman sabiti içinde bobinde ilk yükselen akım (A)	I_{ilk}	5,1055
Eddy akımı kayıpları (W)	P_f	5,1026
Histeresis kayıpları (W)	P_{his}	0,3692
Toplam kayıplar (W)	P_T	5,4718
Çift sargılı bobin çekici sargı sarım sayısı (sarım)	N	340
Çift sargılı bobin tutucu sargı sarım sayısı (sarım)	N	1200
Çift sargılı bobin bakır tel çapı (çekici/tutucu sargı) (mm)	d_{tel}	0,55 / 0,30

5. MİKRO DENETLEYİCİ KONTROLLU ELEKTRONİK DEVRENİN KURULMASI

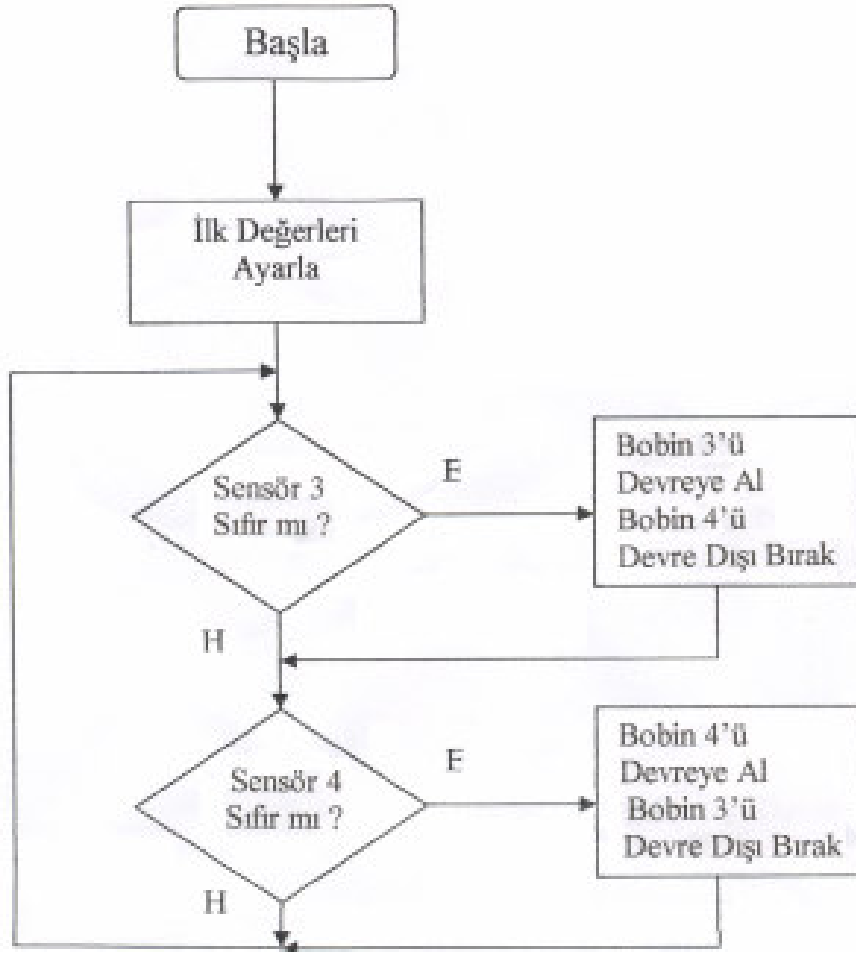
Elektromanyetik kumandalı supap mekanizması için mikro denetleyicili elektronik devre kurulmuş, deneyler yapılmış ve birtakım sorunlarla karşılaşmıştır. Elektromanyetik kumandalı supap mekanizması ile başlangıçta emme ve egzoz supabının her ikisine birden kumanda edilmiş; sorunlar nedeniyle daha sonra yalnız emme supabına kumanda edilmiş ve egzoz supabına ise kam mili ile kumanda edilmiştir.

Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasındaki elektronik devrede mikro denetleyici, Hall-effect sensöründen gelen sinyale göre, mosfet transistörler vasıtasıyla emme supabını açma/kapama işlemini gerçekleştiren selenoid bobinlere akım göndermekte ve akımı kesmektedir. Akım kesilme anında bobinde meydana gelen endüksiyon gerilimi nedeniyle akmaya devam eden akım, bir hızlı diyot vasıtasıyla bobin üzerinde geri döngü yaparak ısı enerjisi şeklinde deşarj olmaktadır (Şekil 5.1).

Mikro denetleyici programının akış diyagramı Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Akış diyagramına göre, motor çalışmazken sisteme akım verilmemiştir ve emme supabı yarı açık pozisyonudadır. Motor çalıştırılınca, sisteme akım verildiği anda mikro denetleyici supabı otomatik olarak kapatır ve ilk değerler ayarlanır. Sonra eğer ilk olarak Sensör 3 (emme supabına aç sinyalini veren Hall effect sensörü) mıknatısla karşılaşır, aldığı sinyalle mikro denetleyici, bobin 3’e akım gönderir ve emme supabını açar; eğer ilk olarak Sensör 4 (emme supabına kapat sinyalini veren Hall effect sensörü) mıknatısla karşılaşır, aldığı sinyalle mikro denetleyici bobin 4’e akım gönderir ve emme supabı kapalı kalmaya devam eder. Sensörün mıknatısla karşılaşmasına göre mikro denetleyici bobinleri dolayısıyla emme supabını açma/kapama işlemini kontrol etmeye devam eder.



Şekil 5. 1. Mikro denetleyici kontrollü elektronik devre şeması



Şekil 5.2. Mikro denetleyici programının akış diyagramı

5.1. Devrede Kullanılan Elektronik Elemanlar

Devrede kullanılan elektronik elemanlar, bobinler başta olmak üzere PIC16F84A mikro denetleyici, mosfet transistör, Hall-Effect Sensörü, optik sensör, Optokuplör (Işıklı bağlayıcı), optik sensör, hızlı diyot vb'dir

5.1.1. Selenoid bobin

Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasının en önemli ve güç tüketen elemanı selenoid bobinlerdir. Selenoid terimi, genellikle serbestçe hareket eden demir göbekli elektromıknatıslar için kullanılır. Selenoid bobinin sargılarından geçen akım, manyetik alan (elektromıknatıs) meydana

getirerek hareketli demir göbeği bobinin merkezine doğru çeker. Elektromıknatısın kuvvet hatları birbirlerini kesmezler ve en kısa yolu tercih ederek bir çekme veya itme kuvveti oluştururlar. Selenoid bobindeki manyetik alanın kuvvet hattı, kuzey (N) kutbundan çıkar ve güney (S) kutbuna doğru akar.

Bobinde çekme kuvveti, manyeto-motor kuvvet (Amperxsarım) olarak ifade edilir. Selenoid bobinin verimli bir şekilde çalışabilmesi için hareketli diskin hareket edebileceği mesafe, göbeğin yarıçapını aşmamalıdır [37]. Elektromanyetik supap mekanizmasında diskin hareket edebileceği mesafe 3,25 mm ve göbeğin yarıçapı 7 mm'dir.

5.1.2. PIC16F84A mikro denetleyici

Elektromanyetik kumandalı supap mekanizması, mikro denetleyici kumandalıdır. Tipik bir mikro denetleyici veya bilgisayar, üç temel kısımdan (CPU - Merkezi İşlem Ünitesi, I/O – Girdi/Çıktı, Bellek) ve buna ek olarak bazı destek devrelerden oluşur. CPU (Central Processing Unit – Merkezi İşlemci Birimi) sistemin kalbidir. Birim hesapları yapmak ve verileri yönetmek için 4,8 veya 16 bit'lik veri formatlarında çalışır. I/O (Input/Output – Girdi/çıkı) sayısal, analog ve özel fonksiyonlardan oluşur ve dış dünya ile iletişimi sağlayan kısımdır. Bellek RAM, ROM, EPROM, EEPROM veya bunların herhangi bir kombinasyonu olabilir. Bu kısım program ve veri depolamak için kullanılır. Osilatör, mikro denetleyicinin düzgün çalışabilmesi için gereklidir. İşlevi, veri ve komutların CPU'ya kaydedilmesinde, sonuçların hesaplanmasında ve sonra bilgi çıktısının verilmesinde zamanlama için gerekli olan palsleri üretmektir. Osilatör farklı bileşenlerden oluşturulabilir veya hazır yapılmış bir modül olabilir.

Mikro denetleyiciye bağlı diğer devreler şunlardır: Sistemin kilitlemesini önleyen Watcdog timer, mantık aşamalarını bozmadan birden fazla yonganın birbirine bağlanmasını sağlayan adres ve veri yolları (data bus) için tampon

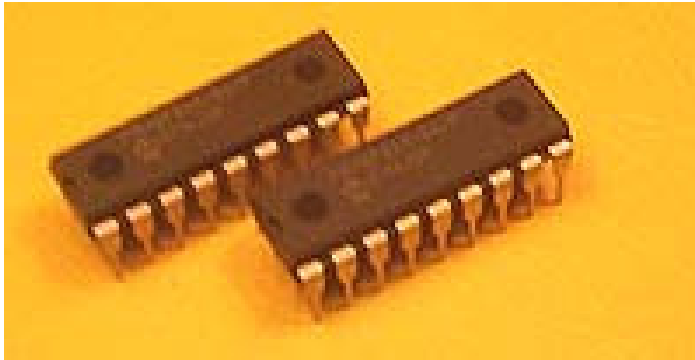
(buffering) ve aynı yola bağlanmış devrelerden birini seçmeyi sağlayan adres ve I/O için kod çözücü elemanlardır (decoder).

Mikro denetleyici, genellikle sistemin CPU bölgesinde bulunan bir ürün olarak tanımlanır: I/O ve bellek farklı yongalardan oluşturulabilir ve doğru işlemeyi sağlamak için bir Veri Yolu (Data Bus), Adres Yolu (Adress Bus) ve Adres Kod Çözücü (Adress Decoding) gerektirir.

PIC ise CPU, bellek, Osilatör, Watcdog ve I/O'nun tek bir yonga üzerinde bulunduğu bir mikro denetleyicidir (EK-2) [38].

Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasında kullanılan mikro denetleyici PIC16F84A flash 18 pin, 4 MHz, 1 kB'lık bir mikro denetleyicidir; 4dijital giriş, 8 dijital çıkış 1 ses (sound) çıkışı sağlar ve tekrar programlanabilir [38].

18 Pin'li mikro denetleyicinin fotoğrafı Resim 5.1'de, Pin tablosu EK-3'de, Pin tanımlama EK-4'te ve teknik özellikleri EK-5'te gösterilmiştir:



Resim 5.1. PIC16F84A mikro denetleyici [39]

Mikro denetleyici yazılımı, mikro denetleyicinin çalışmasını ve işletmesini sağlayan bilgidir. Yazılım, Pascal veya Assembler gibi çeşitli dillerde veya ikili (binary) olarak yazılır. Yazılım, Assembler dili ile yazılırsa doğrudan

kullanılabilirken; C veya Pascal dili ile yazıldıktan sonra Assembler diline çevrilmiştir [38].

5.1.3. Mosfet transistör

Mosfet transistörler, alan etkili transistorler içinde yer alır. Alan etkili transistörlere kumanda eden büyüklük gerilimdir. Yani transistör girişine uygulanan gerilimin transistör içinde meydana getirdiği elektrik alanı transistöre kumanda etmektedir. Kanal içinden geçen akıma (I_D Drain-Source akımına) kumanda eden büyüklük Geyt gerilimidir (U_{GS} Geyt-Source gerilimi). Giriş direncini büyütüp akım göndermeden transistöre kumanda edebilmek için G elektrodu, transistör kütlesinden yalıtılır. Geyti kanaldan yalıtma işlemi metal oksit yarı iletken ile yapılan alan etkili transistörler MOSFET (Metal Oksid Semiconductor Field Effect Transistors) transistör olarak adlandırılırlar. Bu transistörler çeşit olarak P kanallı ya da N kanallı olarak isimlendirilirler. N kanallı bir alan etkili transistörde, P tipinde yarı iletken olan bir silisyum kristali alınıp bunun üzerine, madeni S ve D elektrotlarının degeceği bölgelere N^+ olacak biçimde, yani yüksek yoğunlukta yabancı atom katılır [40].

Elektromanyetik supap mekanizmasında kullanılan mosfet transistörler, N kanallıdır ve IRFP 250 malzeme kodu ile isimlendirilirler (Resim 5.2). Mosfet transistörler, hızlı kontaklama performansına sahiptirler, hafiftirler, verimlilikleri yüksektir ve ani yüksek enerji değişimlerine karşı koyarlar.



Resim 5.2. Mosfet transistör [41]

5.1.4. Hall-effect sensörü

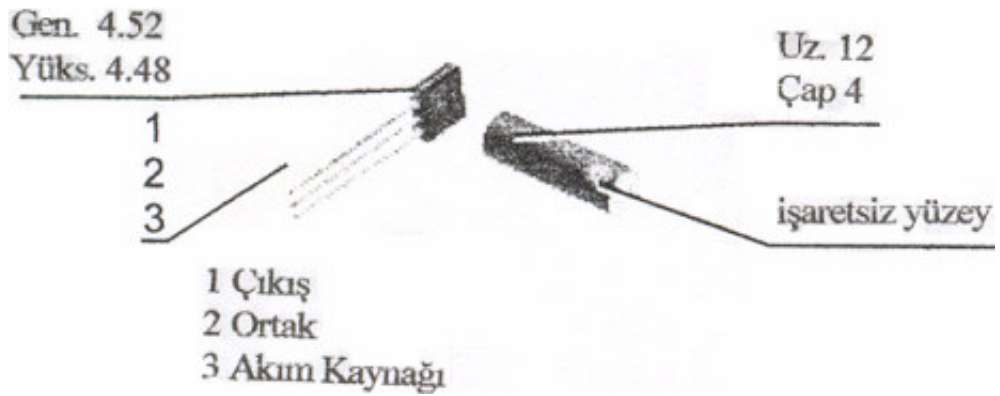
Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasında supap açma/kapama açılarını algılama işlemi, sinyal gönderme veya tetikleme Hall-effect (Hall etkisi) sensörü yardımıyla yapılır. Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasında daimi mıknatıs, dönen hareketli diske ve Hall-effect sensörü ise onun karşısına, bir çelik saç üzerine sabitlenmiştir. Hall-effect sensörü ile mıknatıs arasındaki hava aralığında mıknatıs varken mıknatısın kuvvet hatları, Hall-effect sensörüne etki eder ve elde edilen gerilim sinyali, mikro denetleyiciye gönderilir. Bu gerilim sinyalini alan mikro denetleyici, transistörün beyz akımını iletme geçirerek ilgili selenoid bobine akım gönderir ve mikro denetleyici, programlanan yazılıma göre supaba kumanda eder.

Hall-effect sensörü ile mıknatıs arasındaki hava aralığında mıknatıs yokken, kuvvet hatları alıcıya etki etmez ve bu sürede alıcı olan Hall effect sensörü, supap mekanizmasının mikro denetleyicisine bir gerilim sinyali göndermez. Bu gerilim sinyalini alamayan mikro denetleyici, transistörün beyz akımını yalıtıma geçirerek transistörün selenoid bobine akım iletmesini önler.

Yarı iletken levhaya elektrik akımı uygulanıp manyetik alan uygulanmadığı zaman levha üzerinde (+) yük taşıyıcıları metal parça üzerinde homojen olarak dağılırlar. Eğer aynı plakaya dik bir manyetik alan uygulanırsa, manyetik alanın kuvveti etkisiyle (+) yük taşıyıcıları metal parça üzerinde bir tarafta toplanırlar. Hall sensörlerinde manyetik alan şiddeti değişken akım ise sabittir [42]. Hall effect sensörünün çalışma prensibi, üzerinden akım geçen bir yarı iletken levha, dik olarak bir manyetik alanın kuvvet hatları tarafından kesilirse iletkenin kenarları arasında bir gerilim meydana gelir; şeklindedir [43]. Hall effect sensöründe gerilim, akım ve manyetik akının aktığı yöne diktir. Yalnızca daimi mıknatıs, hall-effect sensörünün karşısına geldiği zaman sinyal üretilir (Şekil 5.3). İndüklenen gerilim motor hızından

bağımsızdır ve mikro denetleyici, motor çalışmıyorken supap zamanlama ayarı yapabilir [44]. Hall effect sensörünün özellikleri EK-6'da verilmiştir.

Hall-effect sensörüyle mıknatıs arasındaki mesafe tipik olarak 2 mm'dir, eğer Hall effect sensörü ferromanyetik yüzeye karşı montajlanırsa mesafe artabilir ve yalnızca mıknatısın işaretli olan güney kutbu Hall-effect sensörünü görünce sinyal üretilir, mıknatısın N kutbu Hall effect sensörünü görünce sinyal üretilmez [45].



Şekil 5.3. Hall-effect sensörünün daimi mıknatısı algılaması [45]

Yarı iletken levhanın iki ucunda meydana gelen gerilim oluşumu, Hall-effect elemanı ve mıknatıs arasındaki hava aralığı ile ters orantılıdır. Dolayısıyla hava aralığı azaldıkça sinyal algılama güçlenirken, mesafe arttıkça sinyal zayıflar ve belli mesafeden sonra hall-effect sensörü mıknatısı algılayamaz ve sinyal üretilemez.

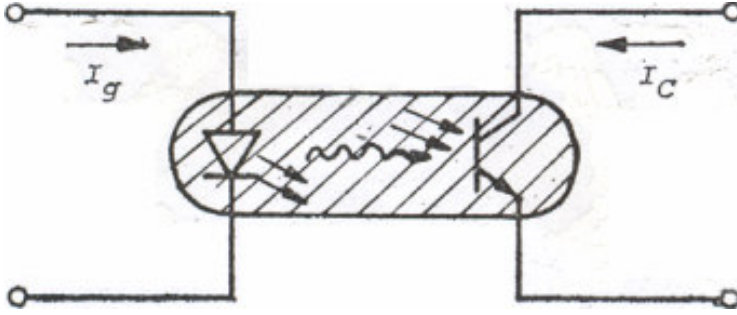
Hall-effect sensörü ile daimi mıknatıs arasındaki mesafe kısaldıkça sinyal eğimi ve % gerilim yükselir, algılama mükemmel olur; bunun tersi durumunda algılama zayıflar. Manyetik olay, mesafenin fonksiyonudur. Geçiş bölgesinin genişliği de (mıknatıs çapı) çok büyük olmamalıdır. Hall-effect sensörü ile daimi mıknatıs arasındaki en uygun mesafe (0,25 veya 1 mm) ve Optimum geçiş bölgesi genişliği (0,8 mm) olmalıdır [46]. Hall-effect sensörüyle mıknatıs arasındaki hava aralığı 0,5 ile 1,5 mm, dönme açısı 0 ile 360°'dir [47].

Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasında mıknatıs ile hall-effect sensörü arasındaki mesafe 0,30 mm'den daha küçük ayarlandığı zaman mıknatıs hall-effect elemanına sürtünmüş ve sensör algılama özelliğini kaybetmiştir. Bu mesafe 2 mm'den fazla ayarlandığı zaman ise algılama olmamıştır. Bu nedenle bu mesafe deneylerde 0,30 mm ile 0,50 mm arasında uygulanmıştır. Mıknatıs geçiş bölgesi (mıknatıs çapı) ise 4 mm'dir.

5.1.5. Optokuplör (Işıklı bağlayıcı)

Elektronik devrede optokuplör (optocoupler) kullanılmıştır. Optokuplör, bir ışık kaynağı ve ışığa duyarlı dedektörün kombinasyonudur. Optokuplör veya foton bağlı çiftte bağlantı, saydam yalıtım hava aralığının bir tarafında ışık üretilir ve aralarında hiçbir bağlantı olmaksızın aralığın diğer tarafından algılanır. Işık, kızıl ötesi ışık yayan diyot tarafından üretilir ve foto dedektör bir yükseltici yani transistör çalıştıran silikon diyot tarafından algılanır. Silikon malzemenin hassaslığı, LED (ışık yayan diyot) tarafından yayılan sinyalin dalga boyunu maksimum noktaya çıkarır [48].

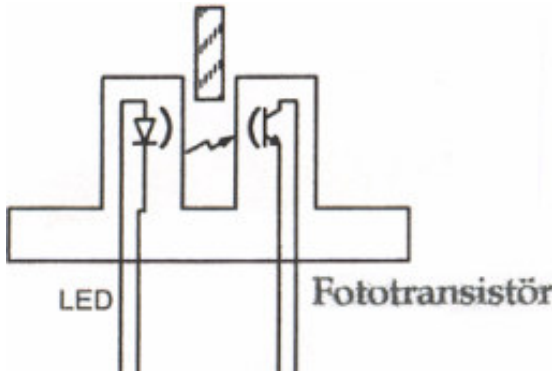
Optokuplör, giriş devresindeki bir ışık diyotu ile çıkış devresindeki bir fotodiyottan ya da bir foto transistörden oluşur. Şekil 5.4'te görüldüğü gibi her ikisi de aynı kristal üzerine tüm devre tekniğiyle yapılabildiği gibi; ikisi, ışığı iletecek bir ışık kanalının iki ucuna yerleştirilmiş de olabilir. Çevirme oranı adı verilen I_c/I_g oranı % 20 ila % 200 arasında değerler alabilir. Alıcı olarak fotodiyot yerine fototransistör kullanılırsa çevirme oranı büyür fakat gecikme süresi de büyür [40].



Şekil 5.4. Optokuplör [40]

5.1.6. Optik sensör

Çift sargılı elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasında (EMV), tek sargılı EMV'deki devreye ek olarak optik sensörün de içinde bulunduğu ek bir elektronik devre kurulmuştur. Bu devrede supabı açma/kapatma anında başlangıçta her iki sargıya akım verilmekte, supap açılma/kapanma işlemi sonrası supabı açık/kapalı tutma anında az sarımlı çekici sargıya verilen akım kesilmektedir. Bir optik sensör vasıtasıyla az sarımlı çekici sargıya verilen akımın kesilme anı bir sinyalle mikro denetleyiciye gönderilmektedir. Optik sensörün çalışma prensibi, ışık yayıcı diyod (LED) ile fototransistör arasında bir engel olmadığı sürece akımın devreden geçişine müsaade etmek (supapları açmak/kapamak için ilk anda yüksek çekme akımı); bir engel bu yolu kapattığı an devreyi kesmektir (düşük akımlı tutma akımı). Optik sensör Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Bu tip sensörlerde anahtar olarak kullanılan fototransistörlerin açıp/kapama süreleri 2 ile 10 μ s'dir [40].



Şekil 5.5. Optik sensör [49]

5.1.7. Hızlı diyot

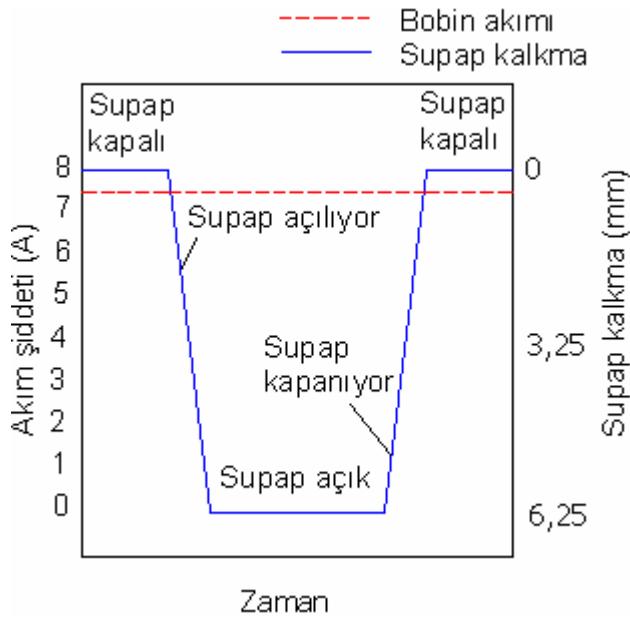
Bobinde endüksiyon gerilimi, akım yükselme anında akımın yükselmesini geciktirici buna karşın akım kesilme anında ise bobinde akımı devam ettirici yönde etki gösterir. Özellikle akım kesilme frekansına bağlı olarak endüksiyon gerilimleri aşırı derecede çok yükselmekte ve devre elemanlarını çalışamaz hale getirmektedir. Bu olumsuz durumu önlemek için bobinlerin her iki ucuna, paralel devre şeklinde, ters polariteli, hızlı diyot eklenmiş ve akımın elektronik devreye ve mikro denetleyiciye geri dönmesi yerine bobin üzerinde deşarj olması sağlanmıştır. Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasında kullanılan hızlı diyot, 10 Amper akım, 1000 Volt gerilim ve 75 nano saniye iletim hızına sahiptir.

5.2. Çalışma Sırasında Elektro-mekanik Sistemde İntikal Sürelerinin Ölçümü

Elektromanyetik kumandalı supap mekanizması (EMV), tek sargılı ve çift sargılı olarak tasarlanmıştır. Tek sargılı EMV'de bobinlerin tükettiği güç kaynağından sağlanan akım sabittir ve supap açık ya da kapalı iken 7,5 A'dır (Şekil 5.6). Bu akımla selenoid bobinlerin çalışması yüksek ısı meydana getirmiş, yüksek ısı ise bobinin çektiği akımı azaltarak manyeto-motor kuvveti olumsuz etkilemiş ve soğutulmadığı takdirde bobinin yanmasına neden

olacağı için bobinler basınçlı hava ile soğutulmuş ancak havanın soğutmada yetersiz kalması ve bobinlerin çalışma sıcaklığının ölçülememesi nedeniyle sisteme su devresi ilave edilerek bobinler su ile soğutulmuş ve maksimum 24 °C'de bobinlerin çalışması sağlanmıştır.

Isı probleminin yanında karşı dayanma yüzeyine yüksek çarpma kuvveti nedeniyle kapanma aşamasında supabın sıçraması ile emme manifolduna karışımın geri kaçması ve hareketli paçalardan ara çubuğun supap tarafında şişme dolayısıyla supabın kalkma miktarında zamanla azalma, diskin karşı dayanma yüzeyine sürekli çarpması nedeniyle diskin halka kısmında kırılma tespit edilmiştir.

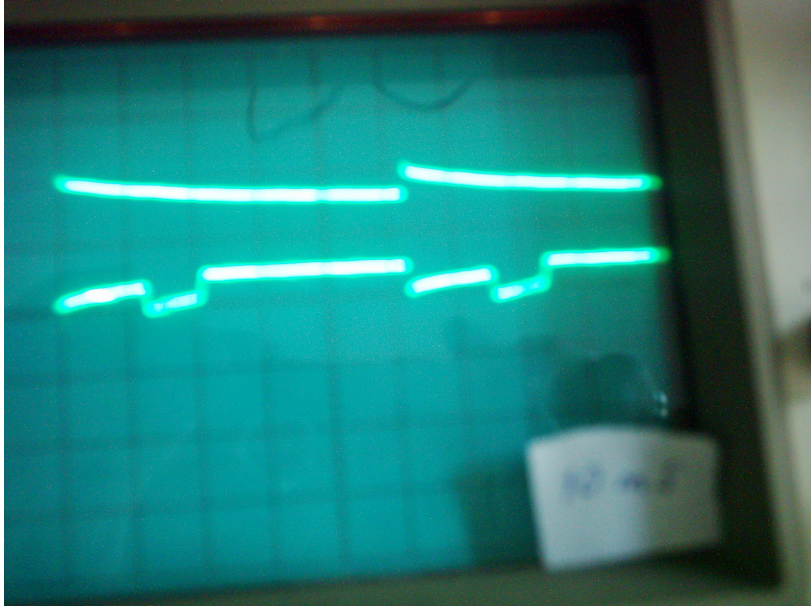


Şekil 5.6. Tek sargılı EMV'de zamana bağlı olarak akım ve supap kalkma miktarı

Buna ek olarak tek sargılı EMV'de emme supabının açılma/kapanma gecikmesi ve düşük açık kalma süresi problemi ile karşılaşılmıştır. Mikro denetleyicinin Hall-effect sensöründen emme supabını aç/kapa sinyalini alması ve emme supabını sürmesi arasında bir süre geçmektedir. Bu süre

emme supabının açılması sırasında ise emme supabı açılma gecikmesi, kapanma sırasında ise emme supabı kapanma gecikmesi olarak isimlendirilmiştir. Tasarım aşamasında bu gecikme süresi dikkate alınmış ve mıknatıs, 10° KMA avansa alınarak dönen disk üzerine montajlanmıştır. Tek sargılı bobinde supabın açılma gecikmesi, açılması, kapanma gecikmesi, kapanması ve supabın açık kalma süresi osiloskop ile ölçülmüştür. Aynı şekilde supabın kapanma gecikmesi, kapanması, açılma gecikmesi, açılması ve supabın kapalı kalma süresi osiloskop ile ölçülmüştür. Bu ölçüm sonuçları çok yer kaplayacağı için yalnız 2200 d/d ortalama motor devri esas alınmıştır. 2200 d/d Motor devrindeki sonuçlar, aşağıdaki şekillerde emme supabı açma sensörü ve kapama sensörü için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Emme supabı açma sensörü osiloskop görüntüsü 10 ms Time/Div skalasında 2200 d/d için Resim 5.3'te gösterilmiştir. Bu veriler koordinat sisteminde ve 360° lik çember üzerinde Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Resim 5.3 ve Şekil 5.7'de görüldüğü gibi supap açılma gecikmesi 2200 d/d'da 166° KMA'dır. Emme supabı, Ü.Ö.N.'dan 96° KMA rötarla açılmaktadır ve A.Ö.N.'dan 29° KMA rötarla kapanmaktadır. Emme supabının açık kalma süresi 113° KMA'dır. Bu da klasik kamlı motorun supap açık kalma süresinden (240° KMA) oldukça düşük bir değerdir; volumetrik verimin düşmesine neden olmakta ve motor performansını olumsuz etkilemektedir.



Resim 5.3. 2200 d/d Motor hızında (yükli) emme açma Hall-Effect sensörü ile emme supabı açma sensörü sinyalleri arasındaki gecikme Osiloskop görüntüsü

Emme Supabı Açma: Ü.Ö.N'dan 70° KMA Avans

Emme Supabı Kapanma: A.Ö.N'dan 50° KMA Avans

Devir: 2200 d/d (Yükli)

Osiloskop Time/Div.: 10 ms

Hall-effect Açma sinyali ile bir sonraki açma sinyali arasındaki Kare sayısı: 5,2

$T = 5,2 \times 10 \text{ ms} = 52 \text{ ms} = 0,052 \text{ s}$ (periyod)

$f = 1/T = 1/0,052 = 19,231 \text{ 1/s}$ (frekans),

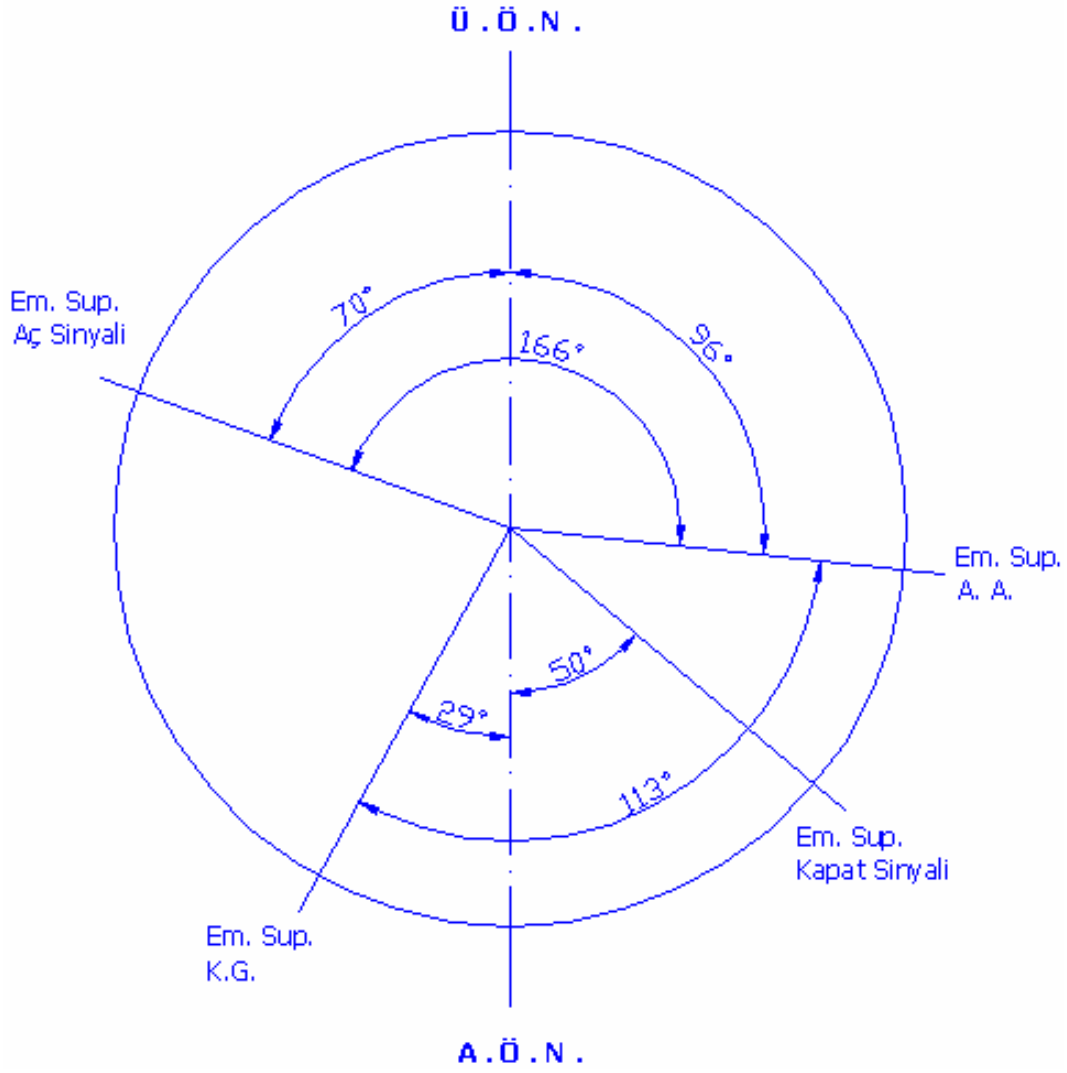
Devir sayısı = $19,231 \times 60 = 1153,86 \text{ sin/dak} \times 2 = 2307,72 = 2308 \text{ d/d}$ (Hall-effect sensörü kam dişlisine bağlı disk üzerinde olduğundan ve devir krank devrinin yarısı olduğu için 2 ile çarpılır)

Hall-effect Açma sinyali ile supap açma sinyali arasındaki Kare sayısı: 1,2

$T = 1,2 \times 10 \text{ ms} = 12 \text{ ms}$ (periyod) (supap açılma gecikmesi)

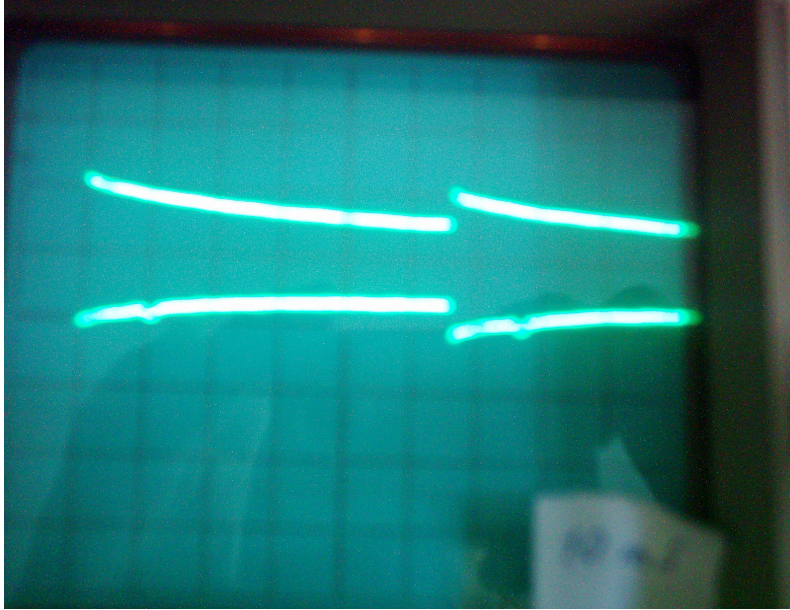
Supap Açma sinyali ile supap kapama sinyali arasındaki Kare sayısı: 1

$T = 1 \times 10 \text{ ms} = 10 \text{ ms}$ (periyod) (supap açık kalma süresi)



Şekil 5.7. Tek sargılı EMV 2200 d/d motor hızında emme supabı açılma gecikmesi, kapanma gecikmesi ve açık kalma süresi

Emme supabı kapama sensörü osiloskop görüntüsü 10 ms Time/Div skalasında 2200 d/d için Resim 5.4'te gösterilmiştir. Resim 5.4'te görüldüğü gibi supap açık kalma periyodu çok kısa olduğundan supap kapanma gecikmesi tespit edilememiştir.



Resim 5.4. 2200 d/d motor hızında (yükli) emme kapatma Hall-Effect sensörü ile supap kapatma sensörü sinyalleri arasındaki gecikme Osiloskop görüntüsü

Emme Supabı Açma: Ü.Ö.N'dan 70° KMA Avans

Emme Supabı Kapanma: A.Ö.N'dan 50° KMA Avans

Devir: 2200 d/d (Yükli)

Osiloskop Time/Div.: 10 ms

Hall-effect Kapatma sinyali ile bir sonraki Kapatma sinyali arasındaki kKare sayısı: 5,5

$T = 5,5 \times 10 \text{ ms} = 55 \text{ ms} = 0,055 \text{ s}$ (periyod)

$f = 1/T = 1/0,055 = 18,182 \text{ 1/s}$ (frekans),

Devir sayısı = $18,182 \times 60 = 1090,92 \text{ sin/dak} \times 2 = 2181,84 = 2182 \text{ d/d}$

Hall-effect kapatma sinyali ile supap kapatma sinyali görülemedi

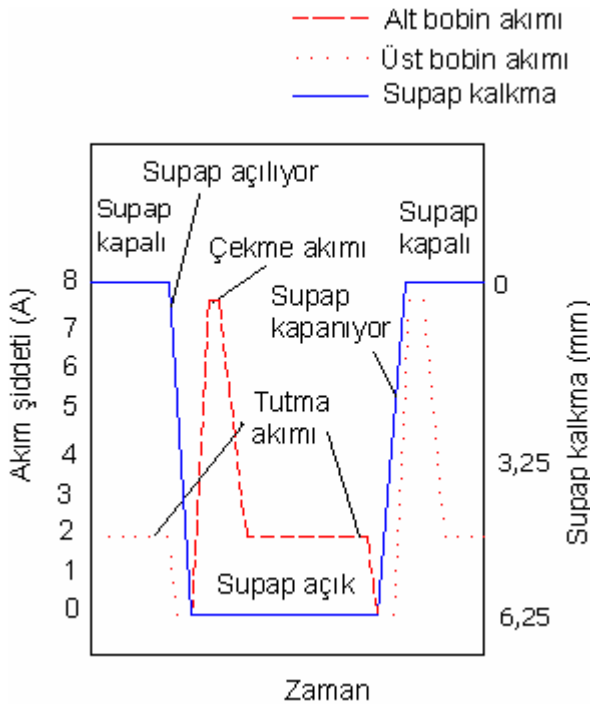
(İlk sinyal ile supap açılma arasında 1 kare vardır. $T = 1 \times 10 \text{ ms} = 10 \text{ ms}$ (periyod) (supap açılma gecikmesi)

Supap Açma sinyali ile supap kapatma sinyali arasındaki Kare sayısı: 0,2

$T = 0,2 \times 10 \text{ ms} = 2 \text{ ms}$ (periyod) (supap açık kalma süresi)

Tek sargılı EMV ile ilgili yukarıda belirtilen problemleri gidermek için çift sargılı EMV tasarlanmıştır. Tek sargılı EMV'de gecikme süresinin bu kadar

uzun olmasının nedeni olarak selenoid bobinin sarım sayısının (840 sarım) fazla olması görülmüş ve çift sarımlı EMV'de çekici sargının sarım sayısı 360 sarıma düşürülmüştür. Çift sarımlı EMV'de supabın açılma/kapanma anında selenoid bobinlere yüksek çekme akımı (7,5 A) uygulanmasına karşılık, açık/kapalı tutma anında düşük tutma akımı (2 A) uygulanmıştır. Supap kapalı durumda üst bobin akımı etkiliyken (tutma akımı), açılma anında üst bobin akımı kesilmekte ve alt bobin akımı devreye girmektedir (çekme akımı) (Şekil 5.8).



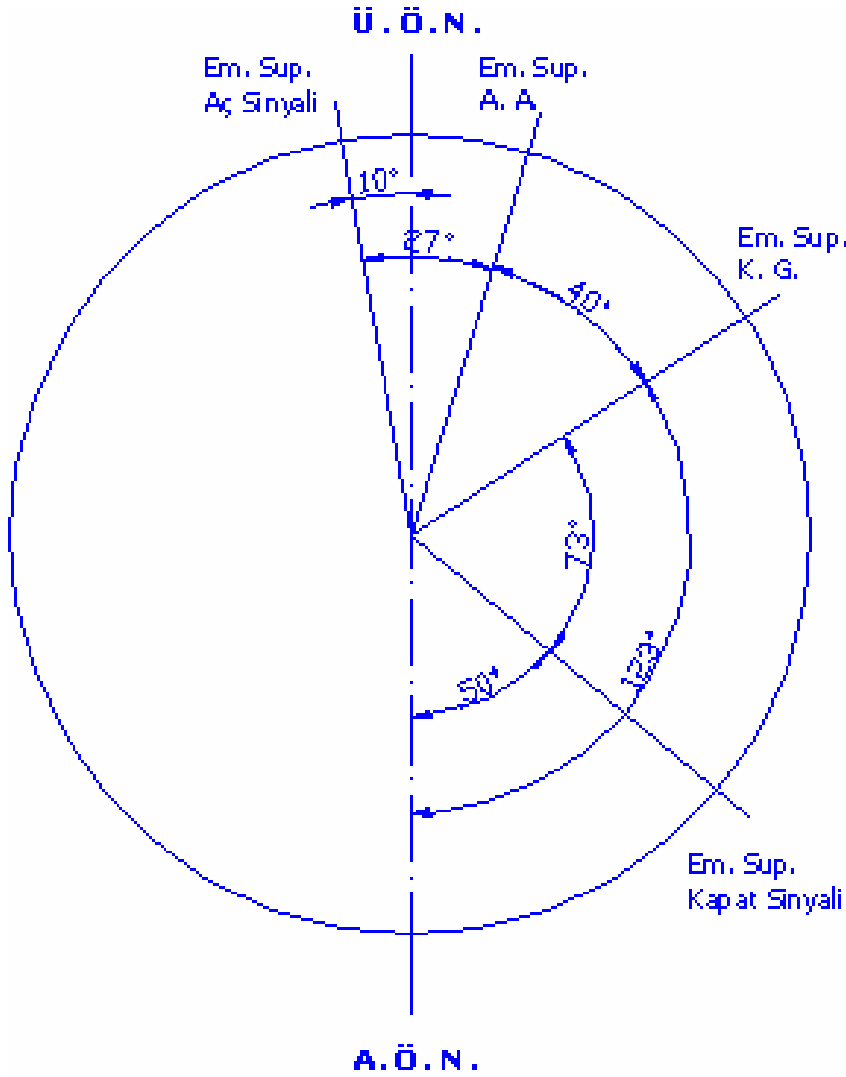
Şekil 5.8. Çift sargılı EMV'de zamana bağlı olarak akım ve supap kalkma miktarı

Emme supabı, çalışması sırasında çoğunlukla kapalı kaldığından ve tutma akımının 2 A gibi çok düşük bir değerde tutulması sayesinde tek sargı EMV'deki ısı problemi çözülmüştür. Ancak bu akımlarla selenoid bobinlerin çalışması sırasında ısı tamamen yok edilememiş; düşük seviyede ısı yine de meydana gelmiştir. Bu ısı dikkate alınarak deneylerde motor çalışma anında bobinler su ile soğutulmuş ve bobinlerin ısınmasının 12°C ile sınırlandırılması sağlanmıştır. Bununla beraber karşı dayanma yüzeyine yüksek çarpma

kuvveti nedeniyle kapanma aşamasında supabın sıçraması ile emme manifolduna karışımın geri kaçması azaltılmıştır. Ayrıca çift sargı EMV ile tek sargı EMV'deki supap açılma/ kapanma gecikme süresi azaltılmıştır. Ancak supabın açık kalma süresi de azalmıştır.

Tasarım aşamasında supabın açılma/kapanma gecikme süresi dikkate alınmış ve mıknatıs, 10 KMA avansa alınarak dönen disk üzerine montajlanmıştır. Çift sargılı bobinde supabın açılma gecikmesi, açılması, kapanma gecikmesi, kapanması ve supabın açık kalma süresi osiloskop ile ölçülmüştür. Aynı şekilde supabın kapanma gecikmesi, kapanması, açılma gecikmesi, açılması ve supabın kapalı kalma süresi de osiloskop ile ölçülmüştür. Bu ölçüm sonuçları, emme supabı açma sensörü ve kapama sensörü için ayrı ayrı alınmıştır.

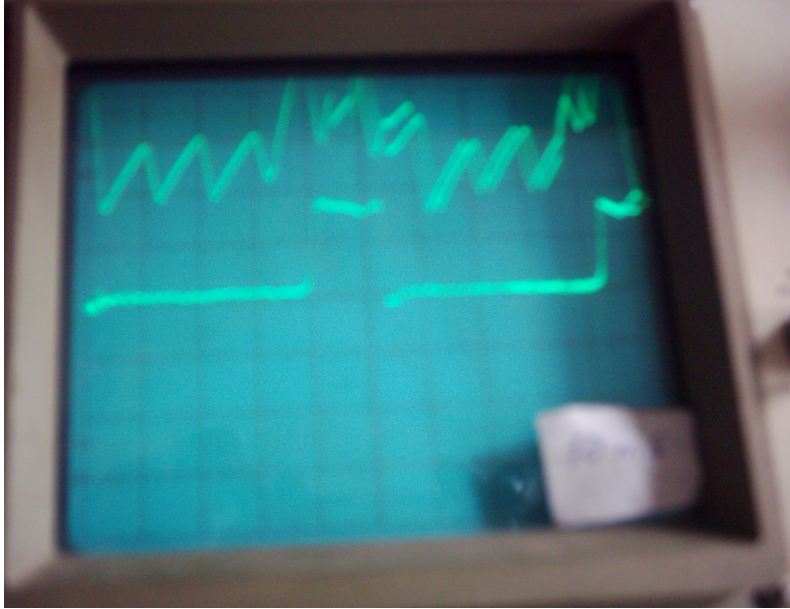
Çift sargı EMV supap açılma/kapanma gecikme süreleri osiloskoplara emme supabı açma sensörü osiloskop görüntüsü 10 ms Time/Dive skalasında 2200 d/d için ölçülmüş ve 360 derecelik çember üzerinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Bu veriler koordinat sisteminde ve 360°'lik çember üzerinde Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Şekil 5.9'da görüldüğü gibi supap açılma gecikmesi 2200 d/d 'da 27° KMA'dır. Emme supabı aç sinyali Ü.Ö.N' dan 10° KMA avansladır ve supap Ü.Ö.N'dan 17° KMA rötarla açılmaktadır. Emme supabı açılma gecikmesi 27° KMA'dır. Emme supabı kapat sinyali A.Ö.N.dan 50° KMA avansladır. Fakat supap kapatma sinyalinden 73° KMA avansla kapanır. Emme supabının açık kalma süresi 40° KMA'dır. Bu da klasik supap açık kalma süresinden (240° KMA) oldukça düşük bir değerdir. Bu da volümetrik verimin düşmesine neden olmakta ve motor performansını olumsuz etkilemektedir.



Şekil 5.9. Çift sargılı EMV 2200 d/d motor hızında emme supabı açılma gecikmesi, kapanma gecikmesi ve emme supabı açık kalma süresi

Emme supabı kapama sensörü osiloskop görüntüsü 10 ms Time/Div skalasında 2200 d/d için Resim 5.5'de gösterilmiştir. Bu veriler koordinat sisteminde ve 360°'lik çember üzerinde Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Resim 5.5 ve Şekil 5.10'da görüldüğü gibi supap kapanma gecikmesi 2200 d/d'da 133° KMA'dır. Emme supabı kapa sinyali A.Ö.N' dan 50° KMA önce verilir ve Supap A.Ö.N'dan 133° KMA sonra kapanır. Aç sinyali Ü.Ö.N.'dan 10° KMA önce verilir ve supap Ü.Ö.N.'dan 23° KMA sonra açılır. Emme supabının kapalı kalma süresi 480° KMA'dır. Bu da klasik supap açık kalma süresinden

oldukça yüksek bir değerdir; volumetrik verimin düşmesine ve motor performansının düşmesine neden olmaktadır.



Resim 5.5. Çift sargılı EMV 2200 d/d motor hızında emme kapatma Hall-Effect sensörü ile supap kapatma sensörü sinyalleri arasındaki gecikme Osiloskop görüntüsü

Emme Supabı Açma: Ü.Ö.N.' dan 10° KMA Avans

Emme Supabı Kapanma: A.Ö.N'dan 50° KMA Avans

Devir: 2200 d/d (Yüklü)

Osiloskop Time/Div.: 10 ms

Hall-effect Kapatma sinyali ile bir sonraki Kapatma sinyali arasındaki Kare sayısı: 5,4

$T = 5,4 \times 10 \text{ ms} = 54 \text{ ms} = 0,054 \text{ s}$ (periyod)

$f = 1/T = 1/0,054 = 18,5185 \text{ 1/s}$ (frekans),

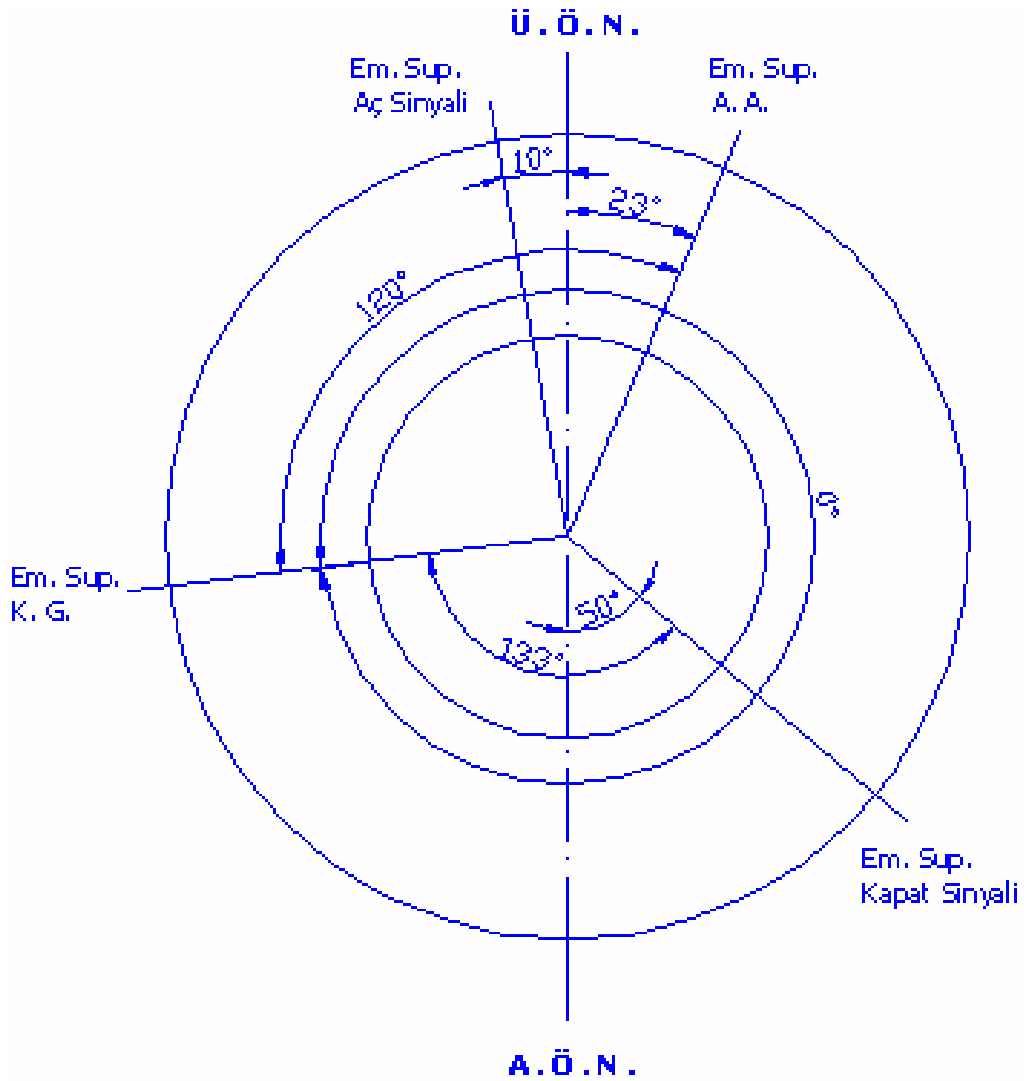
Devir sayısı= $18,5185 \times 60 = 1111,1111 \text{ sinyal/dak} \times 2 = 2222,2222 = 2222 \text{ d/d}$

Hall-effect kapatma sinyali ile supap kapatma sinyali arasındaki kare sayısı: 1

$T = 1 \times 10 \text{ ms} = 10 \text{ ms}$ (periyod) (supap kapanma gecikmesi)

Supap kapatma sinyali ile supap açma sinyali arasındaki Kare sayısı: 3,6

$T = 3,6 \times 10 \text{ ms} = 36 \text{ ms}$ (periyod) (supap kapalı kalma süresi)



Şekil 5.10. Çift sargılı EMV 2200 d/d motor hızında emme supabı kapanma gecikmesi, açılma gecikmesi ve emme supabı kapalı kalma süresi

Supabın açılma/kapanma gecikme sürelerine göre emme supabı zamanlaması tekrar ayarlandığında (Emme supabı açma Hall-effect sensörü $70+135=205^\circ$ KMA Ü.Ö.N.'dan önce ve Emme supabı kapat Hall-effect sensörü $50+135=185^\circ$ KMA A.Ö.N.'dan önce yani Ü.Ö.N.'dan 5° KMA Önce) motor çalışmamıştır. Gecikme süresi yalnız emme supabı açılması için uygulandığında motor çalışmış ancak tam gazda motor devri 1200 d/d'yı geçmemiştir. Bu nedenle gecikme süreleri dikkate alınmadan Hall-effect sensörünün yeri değiştirilerek supap zamanlaması değiştirilmiş ve deneyler yapılmıştır. Tek ve çift sargılı elektromanyetik kumandalı supap zamanlaması

ile emme supabı açma/kapama avans ve rötara alınmış ancak sistemin çalıştırılması esnasında bir çok sorunla karşılaşmıştır.

5.3. Sistemin Çalıştırılması Sırasında Karşılaşılan Sorunlar

İlk deneyler, G.Ü.T.E.F. Otomotiv Ana bilim Dalı, Elektrik Atelyesi'nde, ahşap bir masa üzerine deney motoru montajlanarak yapılmıştır. Motorda gerekli ayarlamalar yapılmış ve motor çalışır hale getirilmiştir. Elektromanyetik kumandalı supap mekanizması ile her iki supaba (emme ve egzoz supabı) kumanda edilerek yapılan deneyler aşağıdadır:

- Elektronik devre 36 V'luk güç kaynağına bağlandı, mikro denetleyici emme ve egzoz kapatma bobinlerine kumanda ederek her iki supabı kapattı ve ilk değerleri ayarladı. İple çekilerek motora ilk hareket verildi. Hall effect sensörleri daimi mıknatısla karşılaşınca, gönderilen sinyalle mikro denetleyici bobinlere kumanda etti; ancak motor çalışmadı. Motor çalıştırma uğraşları devam etti. Bir süre sonra mikro denetleyicinin bobinlere kumanda etmediği görüldü. Mikro denetleyici incelendiği zaman mikro denetleyicinin programının zarar gördüğü tespit edilerek program tekrar yüklendi ve aynı program aynı tip yedek mikro denetleyiciye de yüklendi.
- Aynı deney tekrarlandı ve mikro denetleyici yine çalışamaz hale geldi. Elektronik devrede mikro denetleyicinin bobinlere akım verme ve akımı kesmesi anında akım değişimine karşı koyan endüksiyon gerilimlerinin akımı ve gerilimi çok arttırarak mikro denetleyiciyi arızalandırdığı tespit edildi.
- Bobinlerin giriş/çıkış kablolarına paralel ve ters polariteli 1N4007 tip diyot takıldı ve deney tekrarlandı. Diyotların yandığı ve elektronik devrenin sigortasının attığı görüldü. Elektronik devreye, diyotların yönünün hatalı takıldığı, bunun da devreyi kısa devre ettirdiği tespit edildi.

- Diyotlar yönü düzeltilerek elektronik devreye tekrar takıldı ve deney yapıldı. Diyotlar yandı, mosfet transistörlerden biri ve hall-effect sensörlerinden birisi yandı. Yanan sensör ve transistörün yerine yenisi takıldı.
- Devreye daha büyük akım geçirme kapasiteli 1N4148 tip diyot takıldı ve deney tekrarlandı. Bu diyotların da yandığı, Hall effect sensörlerinden birinin LED'inin yandığı ve bir mosfet transistörün patlayarak etrafa sıçradığı görüldü. Yanan LED yenisi ile değiştirildi ve patlayan mosfet transistörün yerine daha büyük akım ve gerilim kapasiteli bir üst modeli takıldı.
- Devreye bu kez 10 A akım, 1000 V gerilim ve 75 nanosaniye'de ilettime geçen hızlı diyotlar eklendi ve deney tekrarlandı. Bu kez mikro denetleyicide arıza meydana geldi, yedek mikro denetleyici takılarak deney tekrarlandı. Yine mikro denetleyici bobinlere kumanda etmedi.
- Asıl ve yedek mikro denetleyici programı kontrol edilerek deneyler tekrarlandı. Bu defa da mikro denetleyicinin üzerine takıldığı soket yandı, elektronik devreden dumanlar çıkınca akım kesildi.
- Soket yenilendi, devrede kısa devre olup olmadığı kontrol edildi, tekrar deney yapıldı ve soket tekrar yanmaya başlayınca akım kesildi.
- Elektronik devreye Optokuplör eklendi ve deney tekrarlandı. Her iki supabın kapanma anı olan sıkıştırma sonunda her ikisinin de açıldığı görüldü ve supap açma sensör kabloları, kapama kabloları ile değiştirilerek devredeki yerlerine takıldı. Motor bir kaç tur döndü, motordan patlama sesi duyuldu fakat motor çalışmadı.
- Motor jikle kapalı iken çalıştı, sonra stop etti. Motorun emme manifolduna çiğ gaz attığı görüldü.

- Bobinler 0,15 mm yukarı alındı, supap ayarı yapıldı ve supap kapandığında supap sapının üstteki plakaya dokunması önlendi. Supap açma/kapama noktaları değiştirildi, supap bindirmesi iptal edildi. Motor jikle kapalı iken çalıştı, tam gazda çalıştı, fakat jiklesiz ve kısmi gazda çalışmadı. Ayrıca emme manifolduna çiğ gaz attı. Bunun üzerine basınçlı hava ile supap kapalı iken emme supabında silindir kaçak testi yapıldı; hiç bir kaçak görülmedi.
- Motordan elektromanyetik kumandalı supap mekanizması söküldü ve klasik kamli mekanizma itici ve külbütör mekanizması takıldı. Motorun çalışmadığı görüldü. Relanti yakıt ve devir ayarının yetersiz olduğu tespit edildi ve ayarlanarak motor çalıştırıldı.
- Emme supap ayarı yapıldı ve selenoid bobinler silindir kapağına montajlandı. Egzoz supabı kam mili kumandalı ve emme supabı elektromanyetik kumandalı olarak motor çalıştırıldı. Motor relanti devrinde çalıştı fakat devirde artış kaydedilemedi. Supap zamanlaması değiştirildi yine durum değişmedi. En üstteki yay merkezleme civatasının normalden fazla sıkıldığı ve supap açılma miktarını azalttığı ve supap yayının supabı kapanma anında tam kapatamadığı düşünüldü. Ayrıca emme supabı kapalı iken basınçlı hava ile emme supabında silindir kaçak testi yapıldı; kaçak görülmedi.
- Yay merkezleme civatası sıkılığı yeniden ayarlanarak motor çalıştırılmak istendiğinde motor çalıştı ve motorda devir artışı kaydedildi.
- Emme supabı açma/kapama açıları avans ve rötara alınarak motor kısmi gaz ve tam gazda çalıştırıldı. Manyetik takometre kullanılarak motor relanti devri ve yüksek hız devri tespit edildi (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. Emme supabı zamanlamasına göre motorun relanti (kısmi gaz) ve yüksek hız devri (tam gaz)

Deney No	1	2	3	4	5
Em. A.A.	Ü.Ö.N'dan 15 ° önce	Ü.Ö.N'dan 10 ° önce	Ü.Ö.N.	Ü.Ö.N'dan 15 ° önce	Ü.Ö.N'dan 15 ° önce
Em. K.G.	A.Ö.N.	A.Ö.N.	A.Ö.N.	A.Ö.N'dan 22 ° sonra	A.Ö.N'dan 44 ° sonra
Relanti Devri (d/d)	1400	1500	1200	1100	1020
Tam Gaz Yüksek hız devri (d/d)	2490	2500	2600	1500	1280

- Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi bobinlerin doyuma ulaşması zıt yönlü endüksiyon gerilim etkisi ile geciktiği için elektromanyetik kumandalı supap mekanizması, emme supabını klasik kamlı mekanizmanın supap açma/kapama açılarına göre (Deney No. 5) açıp/kapatarak motor çalıştırıldı ancak devir yükselmedi. Bunun nedeni, selenoid bobinlerin sarım sayısının fazla ve tel kesitinin küçük olması nedeniyle endüksiyon geriliminin yüksek olması ve bobinin doyuma ulaşma süresinin uzun olduğu düşünüldü.

- Bununla beraber motor çalışırken elektromanyetik mekanizma ile tahrik edilen emme supabının kapanma esnasında zıpladığı, emme manifolduna karışımın geri kaçtığı tespit edildi. Ayrıca emme supabının açılma ve kapanması sırasında akustik gürültü meydana geldi. Bu problemleri önlemek için bu mekanizmada akım kontrol edilerek diskin elektromıknatıs tarafından çekilme anında yüksek hızla karşı dayanma yüzeyine çarpması önlenmesi gereği ortaya çıktı.

- Deney motoru hareketli parçaların aşınma kontrolü için relanti devrinde 30 dakika süre ile çalıştırıldı. Çalışma esnasında selenoid bobinlerde aşırı

ısınama tespit edildi. Aşırı ısınan selenoid bobinler basınçlı hava ile soğutuldu. Aşırı kontrolünde, supap sapı ile disk arasında hareket ileten piring malzemedan yapılan ara çubuğun iki ucunda, şişme tespit edildi.

5.4. Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizması Deney Düzeneği

Elektromanyetik supap mekanizması mikro denetleyici kumandalıdır ve mikro denetleyici supap zamanlama verilerini Hall-effect sensöründen almaktadır. Sistemin çalışması, hareketli diskteki daimi mıknatısı, emme supabı açma/kapama noktalarına yerleştirilen Hall-effect sensörünün algılaması, mikro denetleyiciye sinyal göndermesi, mikro denetleyici (PIC)'nin de bu sinyale göre mosfet transistörler vasıtasıyla selenoid bobinlere akımı iletmesi ve kesmesi, emme supabına kumanda etmesi şeklindedir. Egzoz supabına ise kam mili kumanda etmiştir.

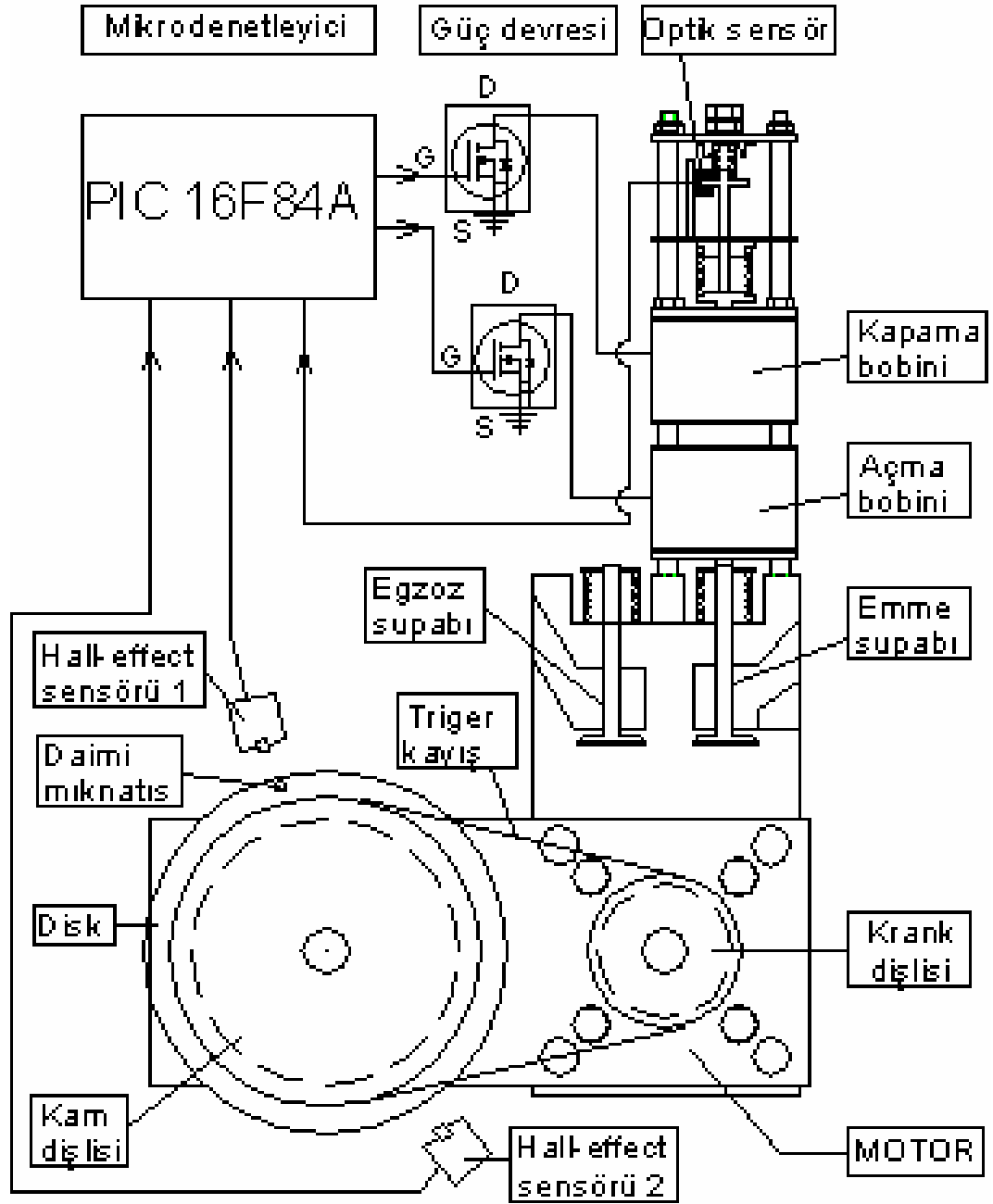
Elektronik devrede mikro denetleyicinin, emme supabı açma/kapama noktalarını Hall-effect sensörüyle 360°'lik periyotta algılayabilmesi için ek bir mekanizma tasarlanmıştır. Bu mekanizmada krank miline ayrı bir krank mili dişlisi, eklenmiştir. Bu dişliye bir triger kayış bağlanarak hareket kam mili dişlisine aktarılmıştır. Böylece 360° üzerinde dört zaman gerçekleşecektir. Kam mili dişlisine bağlanan bir disk üzerine bir daimi mıknatıs yerleştirilmiştir ve bu mıknatısın karşısına hall-effect sensörünün üzerine montajlanacağı kare şeklinde 2 mm kalınlığında ferromanyetik bir çelik saç yerleştirilmiştir. Hall-effect sensörü, bu saç üzerinde supap açma ve kapama noktalarında olmak üzere iki noktaya kanal açılarak yeri değiştirilebilir bir şekilde montajlanmıştır. Hall-effect sensörü, dönen disk üzerindeki mıknatısı 360 °'lik bir periyotta algılayabilecektir.

Mıknatıs Ü.Ö.N.'dan 10° KMA avansa alınarak disk üzerine yerleştirilmiştir. Bunun nedeni Hall-effect sensöründen sinyal alındıktan sonra supabın açılmaya ya da kapanmaya başlaması arasındaki gecikme 10° KMA olarak

tahmin edilmiştir. Böylece gecikme 10° KMA olduğu takdirde Hall-effect sensörünün mıknatıs karşısına yerleştirilen nokta supabın açılma ya da kapanmaya başladığı nokta olacaktır.

Bu iş için, krank miline ayrı bir Murat 131, 1600 motor krank mili dişlisi eklenmiştir. Ayrı bir Murat 131, 1600 motor kam mili dişlisi de dıştan triger kayışla krank miline ve içten rulmanla kademeli mile bağlanmıştır. Kademeli mil çelik levhaya sabitlenmiştir. Çelik levha motor bloğuna 4 adet çelik pim ve civatalarla tespit edilmiştir.

Bir alüminyum disk, kam mili dişlisine civata ile bağlanmıştır. Hall-effect daimi mıknatısının çapı 4 mm ve uzunluğu 12 mm'dir. Bu mıknatıs, alüminyum disk üzerine 10 KMA^o avansla ve 6 mm'lik kısmı dışarı çıkıntılı olarak montajlanmıştır. Çelik levhaya 2 mm kalınlığında ferromanyetik bir saç, 3 mm kalınlığında dört adet çelik lama ve civatalarla tespit edilmiştir. Hall-effect sensörleri ise ferromanyetik saç üzerine emme supabı açma/kapama açı değerlerine göre civata ile montajlanmıştır. Değişken supap zamanlama için hall-effect sensörünün yeri değiştirilebilir durumdadır.



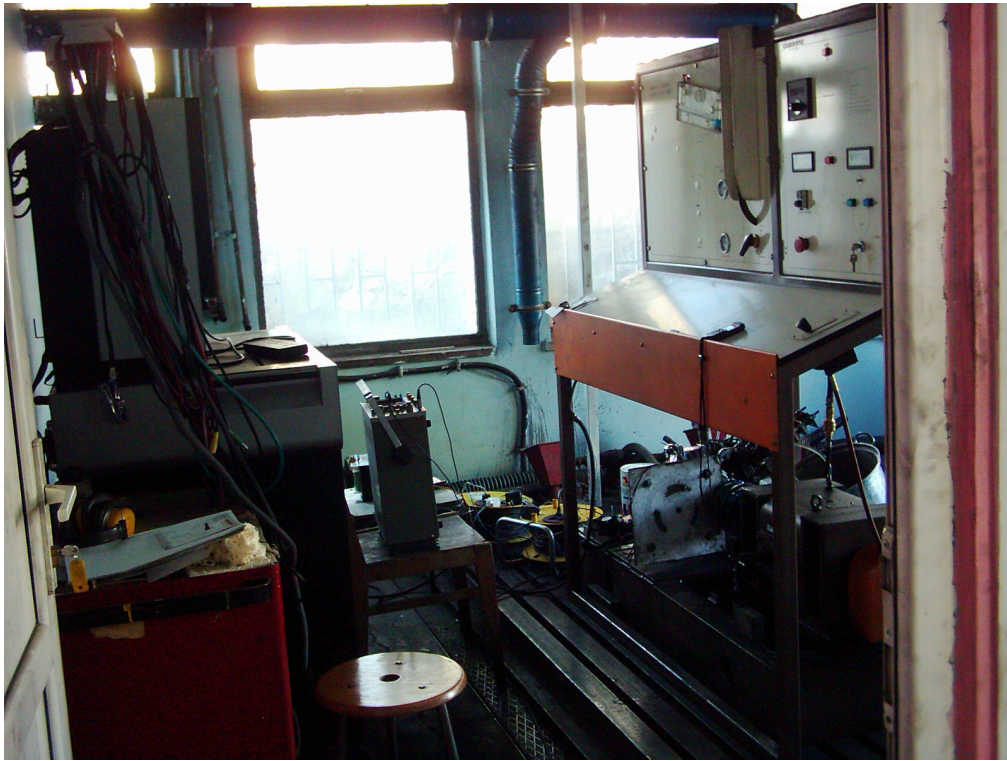
Şekil 5.11. Elektromanyetik kumandalı supap mekanizması deney düzeneği

6. MATERYAL VE METOT

6.1. Materyal

6.1.1. Deney yeri

Deneyler Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Ana Bilim Dalı, İçten yanmalı motorlar laboratuvarında yapılmıştır. Deney yerinin genel görünümü, dinamometre, motor, test cihazları v.b. Resim 6.1’de gösterilmiştir.

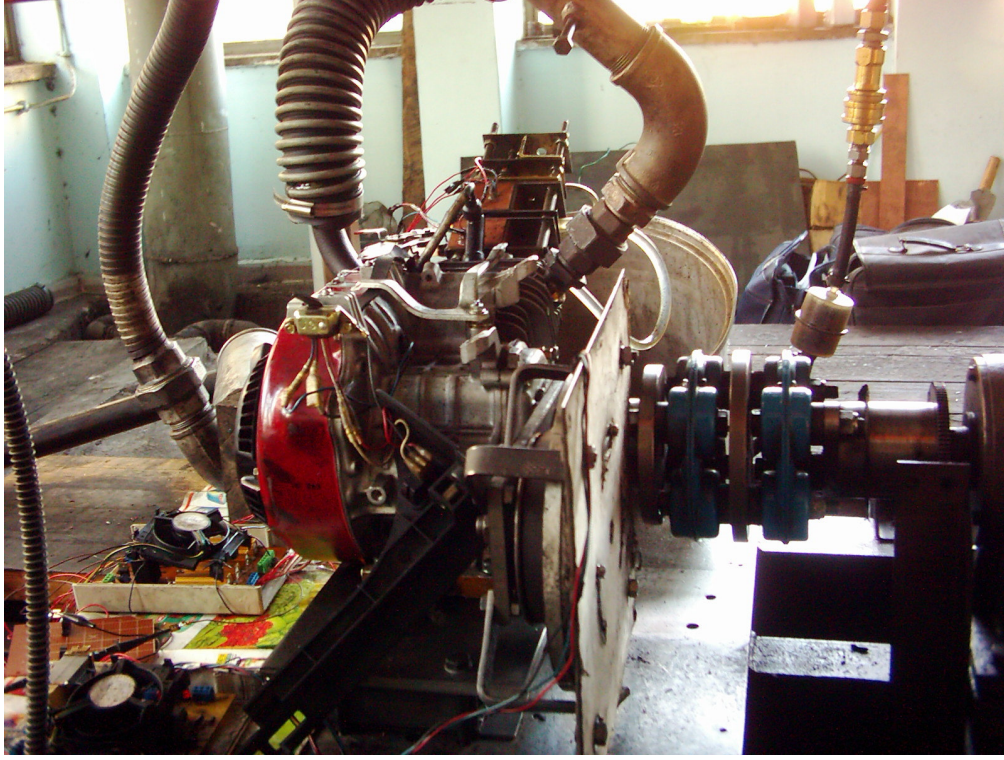


Resim 6.1 Deney yerinin genel görünümü

6.1.2. Deney motoru

Deneylerde tek silindirli, Briggs and Stratton-Vanguard marka benzinli bir motor kullanılmıştır. Resim 6.2’de elektromanyetik kumandalı supap

mekanizması motora bağlı ve motor da dinamometreye bağlı olarak gösterilmiştir. Çizelge 6.1’de deney motorunun teknik özellikleri verilmiştir.



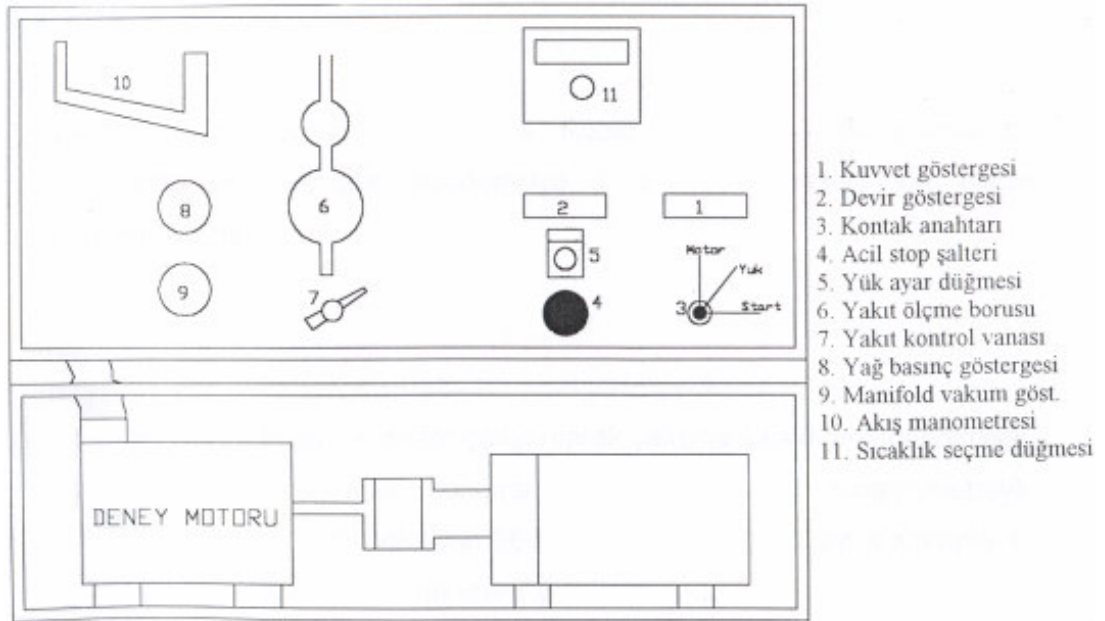
Resim 6.2. Dinamometreye bağlı elektromanyetik kumandalı supap mekanizmalı deney motoru

Çizelge 6.1 Deney motorunun teknik özellikleri [50]

Markası	Briggs and Stratton-Vanguard
Silindir sayısı	1
Piston kursu	50 mm
Silindir çapı	68 mm
Kurs hacmi	182 cm ³
Ateşleme	Magnetron-Elektronik
Ağırlık	19,5 kg
Emme açılma avansı	16° önce Ü.Ö.N
Emme kapama gecikmesi	44° sonra A.Ö.N.
Egzoz açılma avansı	45° önce A.Ö.N.
Egzoz kapama gecikmesi	15° sonra Ü.Ö.N.
Supap kalkma miktarı	6,5 mm

6.1.3. Dinamometre

Deneylerde Şekil 6.1’de Cussons P8160 marka elektrikli dinamometre kullanılmıştır.



Şekil 6.1 Cussons P8160 elektrikli dinamometre [50]

6.1.4. Motor analizörü

Deneyde Sun MEA-1500 SL motor analizörü, hava/yakıt oranının tespit edilmesinde kullanılmıştır; dijital göstergelidir (Resim 6.3).



Resim 6.3. Sun MEA 1500 SL motor analizörü

6.1.5. Kronometre

Deneyde yakıt sarfiyatı süresinin tespitinde Robic Sports Sc-700 marka bir kronometre kullanılmıştır. Kronometre 1 salise hassasiyetinde ölçüm yapabilmektedir.

6.1.6. Ampermetre

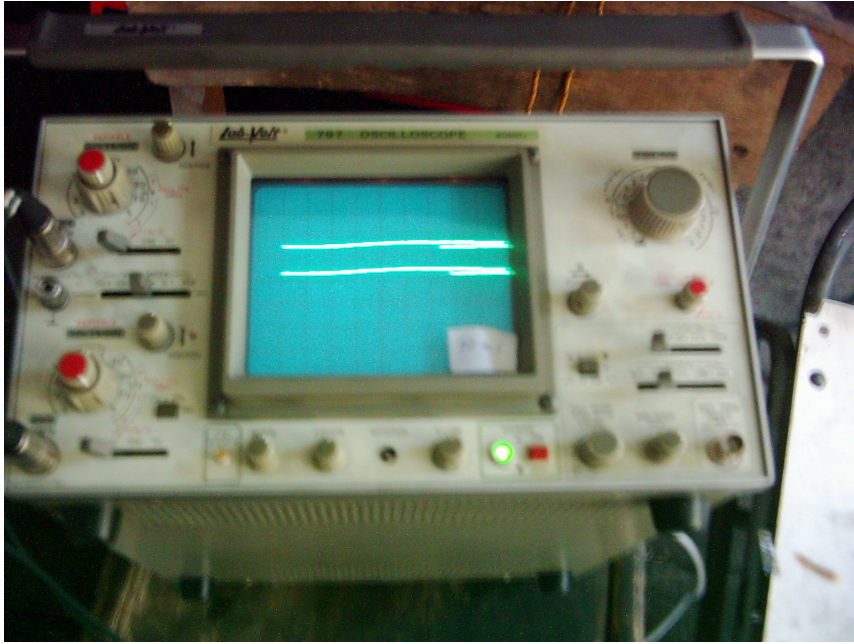
Deneyde 20 Amper akım kapasiteli analog ekrana sahip bir Ampermetre kullanılmıştır.

6.1.7. Termokupıl

Deneyde, bobinlerin etrafında dolaşan soğutma suyunun sıcaklığının ölçümünde bir termokupıl kullanılmıştır.

6.1.8. Osiloskop

Deneyde, Lab-Volt 797 Marka, 40 Mega Hertz frekans, çift kanal, geniş band alanı ve yüksek hassaslığa sahip bir osiloskop kullanılarak bobinlerin emme supabını açma/kapama zamanları ölçülmüştür (Resim 6.4).



Resim 6.4. 40 MHz osiloskop

6.2. Deney Metodu

Bütün ölçümler için önce, motor çalıştırılarak çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Gaz kelebeği tam açık konuma getirilerek, motor dinamometreyle yüklenmiştir. Motor 1800 d/d'dan 2800 d/d'ya kadar 200 d/d aralıklarla 5 değişik devirde çalıştırılarak deneyler yapılmıştır.

6.2.1. Motor efektif momenti ve yükü

Motor yukarıda belirtilen devirlerde yük altında çalışırken kuvvet değeri dinamometre göstergesinden okunmuştur. Her bir devir için göstergede

okunan kuvvet değeri, dinamometre moment kolu uzunluğu (0,25 m) ile çarpılarak o devirdeki motor efektif momentini bulunmuştur (Eş. 6.1).

$$M_e = F \times l \quad (6.1)$$

Örnek olarak, standart kam mili ile 2600 d/d'da yapılan deneyde göstergeden okunan değer 44,2 N'dur. (EK-7). Bu değeri Eş. 6.1'de yerine yazarsak,

$$M_e = 44,2 \times 0,25$$

$$M_e = 11,05 \text{ Nm}$$

olarak hesaplanır.

Motor efektif gücü Eş. 6.2'den faydalanılarak hesaplanır.

$$N_e = \frac{M_e \times n}{9549} \quad (6.2)$$

Örnek olarak, standart kam mili ile 2600 d/d'da yapılan deneyde hesaplanan moment değeri (11,05 Nm) Eş. 6.2'de yerine yazılırsa;

$$N_e = \frac{11,05 \times 2600}{9549}$$

$$N_e = 3,009 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

6.2.2. Yakıt tüketiminin ölçülmesi ve özgül yakıt tüketimi hesabı

Deneylerde yakıt olarak süper benzin kullanılmıştır. Deney koşullarında motorun Şekil 6.1'de gösterilen 6 no'lu yakıt ölçme borusundaki 30 ml yakıtı

ne kadar zamanda tükettiği kronometre ile ölçülmüş ve buradan yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

$$30 \text{ ml} = 0,03 \text{ lt}$$

Benzinin yoğunluğu 0,735 kg/lt. olduğuna göre,

$$0,03 \text{ lt. yakıt}; 0,735 \times 0,03 = 0,02205 \text{ kg eder}$$

2600 d/d için 30 ml yakıt tüketimi için geçen süre 1' 12" 36 (72,36 s) olarak ölçülmüştür. Buradan orantı ile,

$$0,02205 \text{ kg için} \quad 72,36 \text{ s ise}$$

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

buradan $B_y = 1,097 \text{ kg/h}$ olarak bulunur (EK-7).

Özgül yakıt tüketimi Eş. 6.3'ten faydalanılarak hesaplanır.

$$b_e = \frac{B_y}{N_e} \times 1000 \quad (6.3)$$

2600 d/d için yakıt tüketimi 1,097 kg/h ve güç 3,009 kW olduğuna göre buradan,

$$b_e = \frac{1,097}{3,009} \times 1000$$

$$b_e = 364,573 \text{ g / kWh}$$

olarak hesaplanır.

6.2.3. Hava tüketimi ve volümetrik verim

Hava tüketimi için önce motora uygun hava akış orifis çapı hesaplanmış ve Şekil 6.2'de gösterilen orifis kullanılmıştır. Orifis çapının hesaplanmasında Eş. 6.4 ve Eş. 6.5 kullanılmıştır. Eş. 6.4'den orifis çapı 18 mm olarak hesaplanmıştır.

$$d_o = [Q_{\max}]^{0.5} \quad (6.4)$$

$$Q_{\max} = Q_{\text{teorik}} = \frac{V_h \times n}{2} \quad (6.5)$$

Eş. 6.5'den, motorun tükettiği gerçek hava miktarı, $Q_{\max}$;

$$Q_{\max} = \frac{0,182 \times 3600}{2}$$

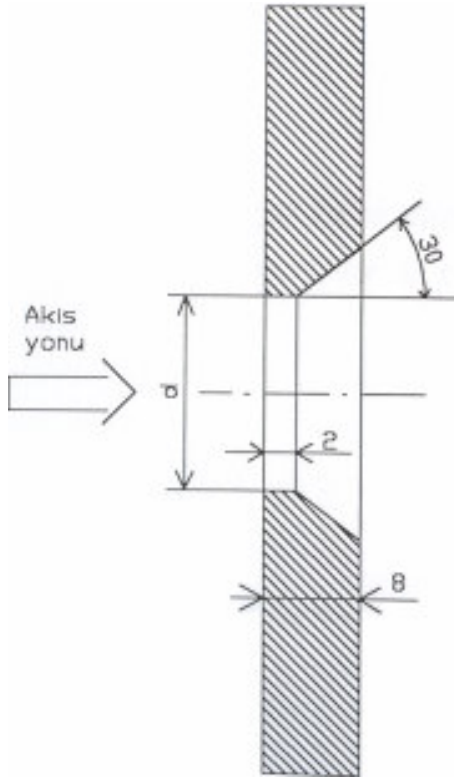
$$Q_{\max} = 337,6 \text{ lt / dak}$$

bulunur ve Eş. 6.4'den orifis çapı;

$$d_o = \sqrt{337,6}$$

$$d_o = 18,099 \text{ mm}$$

bulunur. Deneyde orifis çapı 16 mm olarak uygulanmıştır. Ölçümler Şekil 6.1'de 10 numara ile gösterilen manometreden 'mm H₂O sütunu' olarak alınmıştır. Alınan bu değerler Eş. 6.6'da yerine konularak lt/dak olarak her devir için motorun tükettiği gerçek hava miktarı hesaplanmıştır (EK-7)



Şekil 6.2. Hava akış orifisi [51]

$$Q_{gerçek} = 0,1123 \times d^2 \times \sqrt{h} \quad (6.6)$$

burada $Q_{gerçek}$, lt/dak olarak motorun tükettiği hava miktarı, d mm olarak orifis çapı ve h ise manometredeki mm su sütunu yüksekliğidir [51]. Örnek olarak EK-7’de standart kam mili ile 2600 d/d da yapılan deneyde hava tüketimi;

$$Q_{gerçek} = 0,1123 \times 16^2 \times \sqrt{22,5}$$

$$Q_{gerçek} = 145,174 \text{ lt / dak}$$

Deniz seviyesinde, standart atmosferik basınçta 15 °C’deki kuru havanın yoğunluğu 1,225 kg/m³ olduğuna göre [52], kg/h cinsinden hava tüketimi:

$$Q_{gerçek} = 145,174 \text{ lt/dak.} \times 60/1000 = 8,71044 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_{gerçek} = 10,670 \text{ kg/h}$$

olarak hesaplanır. Volumetrik verim ise her devir için gerçek hava tüketiminin, teorik olarak o devirde motorun tüketmesi gereken hava miktarına bölümü ile yüzde olarak hesaplanmıştır (Eş. 6.7).

$$\eta_v = \frac{Q_{gerçek}}{Q_{teorik}} \quad (6.7)$$

burada teorik hava tüketimi de Eş. 6.8 ile hesaplanır.

$$Q_{teorik} = V_h \times \frac{n}{2} \quad (6.8)$$

burada V_h dm³ olarak motorun kurs hacmi (0,182 dm³) ve n devir sayısıdır.

2600 d/d için motorun teorik hava tüketimi,

$$Q_{teorik} = 0,182 \times \frac{2600}{2}$$

$$Q_{teorik} = 236,6 \text{ lt / dak}$$

$$Q_{teorik} = 236,6 \text{ lt/dak} \times 60/1000 = 14,196 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_{teorik} = 17,3901 \text{ kg/h}$$

olarak bulunur. Buradan 2600 d/d da standart kam mili ile yapılan deneyde volumetrik verim,

$$\eta_v = \frac{10,670}{17,3901} \times 100$$

$$\eta_v = \%61,35$$

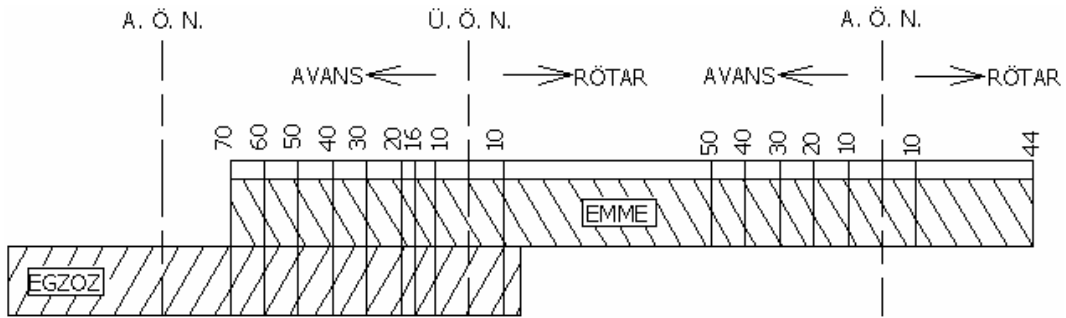
olarak hesaplanır.

6.2.4. Hava/yakıt oranı

Sun MEA-1500 SL model motor analizörü, ilk açılışta 15 dakikalık bir sürede kendini kalibre etmektedir. Ölçme işleminde motor analizörünün egzoz ölçme probu, motorun egzoz borusuna takılmıştır. Motor normal çalışma koşullarına getirildikten sonra verilen devir aralıklarında hava/yakıt oranı değerleri ölçülmüştür (EK-7-EK-9)

7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneyler, Ü.Ö.N. ve A.Ö.N esas alınarak tek ve çift sargılı elektromanyetik supap mekanizması (EMV) için 70° KMA avanstan 10° KMA rotara kadar 10° KMA aralıklarla 8 değişik emme supabı zamanlamasında yapılmıştır (Şekil 7.1). Deneylerde supapların kalkma miktarı (açılma miktarı) değiştirilmemiştir. Egzoz supabının açık/kapalı kalma periyodu değiştirilmezken emme supabınıninki değiştirilmiştir. Egzoz supabına kam mili kumanda ederken emme supabına elektromanyetik supap mekanizması yani mikro denetleyici kumandalı selenoid bobinler kumanda etmiştir.



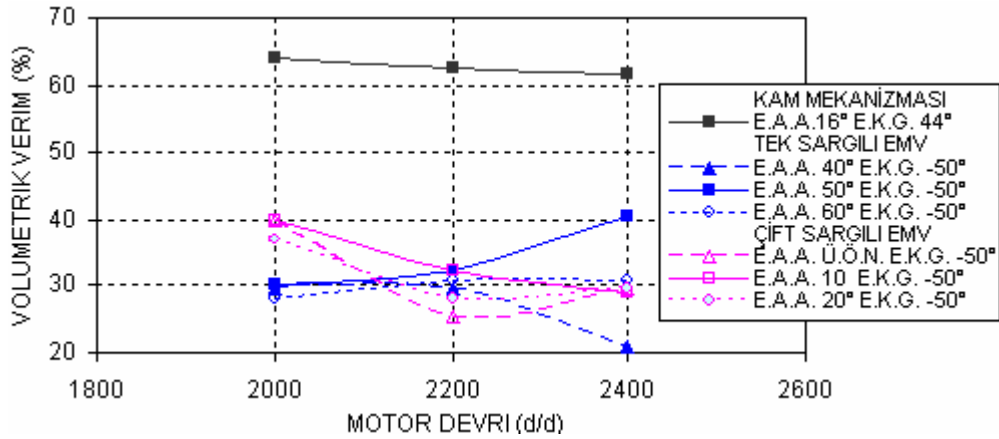
Şekil 7.1. Tek ve çift sargılı EMV ile emme supabı zamanlamasının değiştirilmesi

Deneylerde 2200 d/d motor hızı esas alınmıştır. Motor devri 2200 d/d'da en yüksek volumetrik verimin sağlandığı emme supap zamanlamaları, klasik kam mili mekanizması Em.A.A. 16° KMA ve Em.K.G. 44° KMA; tek sargılı EMV Em.A.A. 40°, 50°, 60° KMA ve Em.K.G. -50° KMA; çift sargılı EMV Em.A.A. Ü.Ö.N, 10°, 20° KMA ve Em.K.G. -50° KMA için performans analizi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Deney sonuçları Ek-7, 8 ve 9'da çizelgeler halinde verilmiştir.

7.1. Volumetrik Verim

Şekil 7.2'de 2200 devirde orijinal supap zamanlamasına göre, emme supabı açılıp kapanma zamanı tek ve çift sargılı EMV ile değiştirildiğinde klasik kam

mekanizmalı motora göre tek ve çift sargılı EMV'li motorun volumetrik verimi azalmaktadır. Yapılan deneyde, 2200 d/d'da klasik kamlı motorun volumetrik verimi, % 62,594 iken; tek sargılı EMV, Em.A.A. 40° KMA, Em.K.G. -50° KMA supap zamanlaması için % 29,476; Em.A.A. 50° KMA, Em.K.G. -50° KMA supap zamanlaması için % 32,156; Em.A.A. 60° KMA, Em.K.G. -50° KMA supap zamanlaması için % 30,816'dır. Çift sargılı EMV, Em.A.A. Ü.Ö.N., Em.K.G. -50° KMA supap zamanlaması için % 25,456; Em.A.A. 10° KMA, Em.K.G. -50° KMA supap zamanlaması için % 32,156; Em.A.A. 20° KMA, Em.K.G. -50° KMA supap zamanlaması için % 28,156'dır.



Şekil 7.2. Emme supabı zamanlamasının motor hızına bağlı olarak volumetrik verim üzerine etkileri

Verilerden görüldüğü gibi, tek sargılı EMV için 2200 d/d motor devrinde volumetrik verimin maksimum olduğu supap zamanlaması % 32,156 değeriyle Em.A.A. 50° KMA, Em.K.G. -50° KMA'dır ve klasik kam mekanizmasına göre % 49,2'lik bir kayıp olmaktadır. Çift sargılı EMV için 2200 d/d motor devrinde volumetrik verimin maksimum olduğu supap zamanlaması yine % 32,156 değeriyle Em.A.A. 10° KMA, Em.K.G. -50° KMA'dır ve klasik kam mekanizmasına göre % 49,2'lik bir kayıp olmaktadır. 2200 d/d motor devrinde çift sargılı EMV'nin volumetrik verimi tek sargılı EMV'nin verimi ile aynıdır.

Tek ve çift sargılı EMV'nin volumetrik verimi, klasik kamli mekanizmanın volumetrik veriminden düşüktür. Tek sargılı EMV'nin volumetrik veriminin düşük olmasının sebeplerinden birisi supapların açılma ve kapanma gecikmeleridir. Yani Hall-effect sensöründen emme supabı aç sinyali alındıktan sonra supabın açılması arasında bir süre geçmektedir.

Bu gecikmeler selenoid bobinin sarım sayısına bağlı olarak değişmektedir ve tek sargılı (840 sarım) EMV'de bu gecikme süreleri uzundur. Tek sargılı EMV'de Em.A.A, teorik çevrimin de gerisindedir. Emme supabının bu kadar rotarlı açılması pistonun aşağı doğru hareketi ile sağlanan vakumu azaltmaktadır ve silindirlere karışımın yeterince emilmesini olumsuz etkilemektedir. Bu da volumetrik verimi düşürmektedir. Bununla beraber manyetik sistemde emme supabının ani açılması nedeni ile havanın silindire alınabilmesine karşılık yakıt daha az alınabilmektedir. Tam gazda deney yapıldığı için yakıt miktarı arttırılamamıştır. Emme supabının elektronik olarak kontrolü sağlanamadığı için sıkıştırma sonunda emme supabının kapanma yüzeyine ve diskin karşı dayanma yüzeyine çarpıp zıplaması da silindirlere yeterince alınamayan karışımı daha da azaltmıştır. Bu da volumetrik verimin azalmasına neden olmuştur.

Bobinin endüktansı, sarım sayısının karesi ile doğru ve akım şiddeti ile ters orantılıdır. Sarım sayısının azaltılması akım artışını beraberinde getirmektedir. Akımı ise sarım yapılan tel çapı sınırlamaktadır. 0,55 mm çaplı bakır tel sürekli akım durumunda 1 A akım geçirmeye uygun iken kesikli akım durumunda 7,5 A akım geçirilmiştir. Akımın daha fazla arttırılması mümkün görünmemektedir.

Tek sargılı EMV'de emme supabının gecikme süresini azaltmak, emme supabının kontrol edilerek kapanma esnasında kapanma yüzeyine ve diskin karşı dayanma yüzeyine çarpıp zıplamasını önlemek, selenoid bobinin ısınmasını azaltmak için çift sargılı EMV tasarlanmıştır. Çift sargılı EMV'de marş selenoidinde olduğu gibi çift sargı kullanılmıştır. Çift sargılı EMV'de

çekici sargının sarım sayısı 340'tır ve uygulanan akımı 7,5 A ile sınırlandırmak için ek elektronik devreye 1 Ω 'luk seramik (taş) direnç seri olarak bağlanmıştır. Tutucu sargının sarım sayısı 1200 sarım ve sargılardan geçen akım 2 A olacak şekilde selenoid bobine sarım yapılmıştır. Motor dinamometre deneylerine başlamadan önce 36 V'luk gerilim altında 1,77 A akımın supabı kapalı tuttuğu tespit edilmiş olmasına rağmen 42 volt gerilim uygulanarak 2,26 A tutucu sargıya uygulanmıştır. Tek sargılı selenoid bobinin manyeto-motor kuvveti baz alınarak çift sargılı EMV tasarlanmıştır.

Mikro denetleyici emme supabını açma/kapatma anında her iki sargıya aynı anda akım göndermiş ve emme supabı karşı dayanma yüzeyine 0,5 mm kala çekici sargının akımını optik sensörden gelen sinyale göre kesmiştir. Emme supabını açık/kapalı tutma anında yalnız tutucu sargıya akım gönderilmiştir. Çift sargılı EMV'de açılma gecikmesi 2200 d/d'da 27° KMA'na azaltılmıştır. Ayrıca emme supabının kapanma esnasında kapanma yüzeyine ve diskin karşı dayanma yüzeyine çarpıp zıplaması, selenoid bobinin ısınması azaltılmıştır.

Ancak tutucu sargının emme supabına kapat sinyali gelmeden kapandığı ve manyeto-motor kuvvetinin emme supabını kapalı tutmaya yetmediği osiloskop ile tespit edilmiştir.

Emme supabı açılma gecikme süresi tek ve çift sargılı EMV'de emme supabının açılma süresini geciktirmiştir. Çizelge 7.1'den görüldüğü gibi klasik kamlı mekanizmada Em. A.A., Ü.Ö.N.'dan 16° KMA önce iken, tek sargılı EMV'de Em. A.A., Ü.Ö.N.'dan 96° KMA sonra ve çift sargılı EMV'de Em. A.A., Ü.Ö.N.'dan 17° KMA sonradır. Bu nedenle tek ve çift sargılı EMV supap mekanizmalarında Ü.Ö.N.dan sonra açılan supaplar karışımın silindirlere yeterince dolumunu engellemektedir. Özellikle yüksek devirlerde gecikme süresi daha da uzamaktadır (Tek sargı EMV 1800 d/d'da 135° KMA, 2200 d/d'da 166° KMA, 2600 d/d'da 196° KMA) ve volumetrik verim daha da

düşmektedir. Bu da çift sargılı EMV ve özellikle tek sargılı EMV'nin dezavantajıdır ve volumetrik verimi azaltmaktadır.

Emme supabı kapanma gecikme süresi tek ve çift sargılı EMV'de emme supabının kapanma süresini geciktirmiştir. Çizelge 7.1'den görüldüğü gibi klasik kamlı mekanizmada Em. K.G., A.Ö.N.'dan 44° KMA sonra iken, tek sargılı EMV'de Em. K.G., A.Ö.N.'dan 29° KMA sonra ve çift sargılı EMV'de Em. K.G, A.Ö.N.'dan -123° KMA sonradır ve karışım yeterince silindirlere alınamadan emme supabı kapanmıştır. Bu da çift sargılı EMV'nin dezavantajıdır ve volumetrik verimi azaltmaktadır.

Emme supabı açma/kapama gecikme süreleri emme supabının açık kalma süresini azaltmıştır. Çizelge 7.1'den görüldüğü gibi klasik kamlı mekanizmada Emme supabı 240° KMA açık kalırken, tek sargılı EMV ile 113° KMA ve çift sargılı EMV ile 40° KMA açık kalmaktadır. Bu da volumetrik verimin klasik kamlı mekanizma ile tek ve çift sargılı EMV'den daha yüksek çıkmasına neden olmuştur.

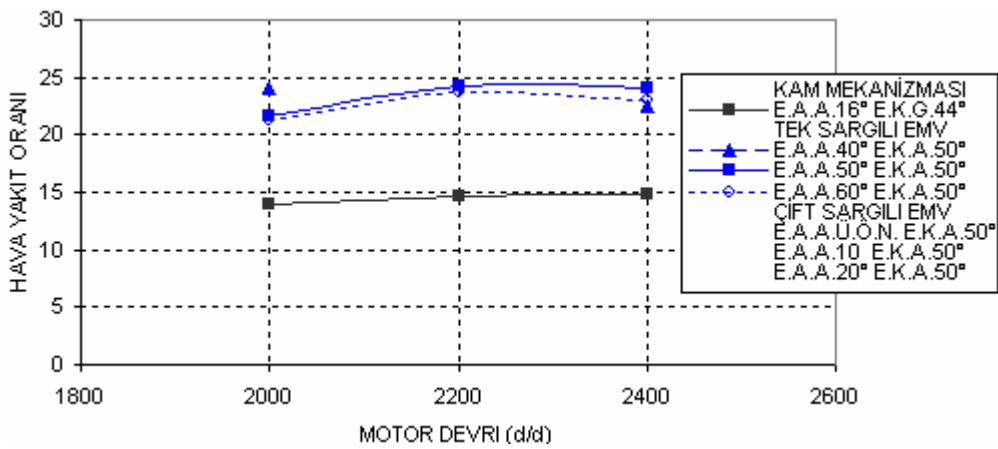
Çizelge 7.1. 2200 d/d Motor devrinde klasik kamlı mekanizma, tek ve çift sargılı EMV emme supap zamanlaması

Supap zamanlama	Kamlı mekanizma	Tek sargılı EMV	Çift sargılı EMV
Em. A.A (Ü.Ö.N.'dan)	16 KMA Ö.	96 KMA S.	17 KMA S.
Em. K.G (A.Ö.N.'dan)	44 KMA S.	29 KMA S.	123 KMA Ö.
Em. sup. açık kalma süresi	240 KMA	113 KMA	40 KMA

7.2. Hava Yakıt Oranı

Şekil 7.3'te görüldüğü gibi 2200 devirde klasik kamlı supap zamanlamasına göre, tek ve çift sargılı EMV'in kullanılmasıyla hava-yakıt oranı artmaktadır. Yapılan deneyde, 2200 d/d'da hava-yakıt oranı, klasik kam mekanizması ile

14,60 iken; tek sargılı EMV’de Em.A.A. 40° KMA, Em.K.G. -50° KMA için “Az Hava”; Em.A.A. 50° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 24,3; Em.A.A. 60° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 23,8’dir. Çift sargılı EMV için “Az Hava” şeklindedir. Motor analizör cihaz ekranında, hava/yakıt oranı için sayısal bir değer okunamamakta, “Az Hava” ifadesi okunmaktadır. Dolayısıyla hava-yakıt oranı için ‘Az hava’ ifadesi karışımın aşırı derecede fakir bir karışım olduğunu göstermektedir.

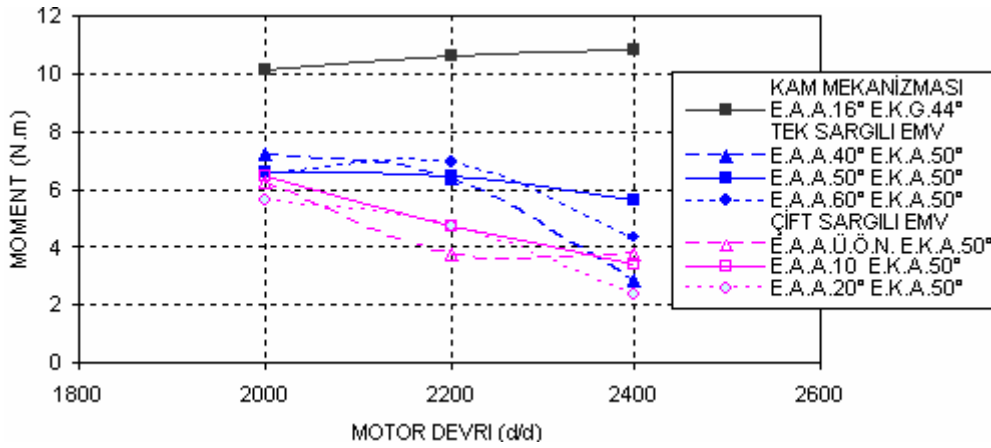


Şekil 7.3. Emme supabı zamanlamasının motor hızına bağlı olarak hava-yakıt oranı üzerine etkileri

Verilerden görüldüğü gibi tek sargılı EMV için 2200 d/d motor devrinde, supap zamanlaması Em.A.A. 50° KMA, Em.K.G. -50° KMA için hava/yakıt oranı 24,3/1’dir ve klasik kam mekanizmasına göre % 53,9’luk bir hava fazlalığı olmaktadır. Çift sargılı EMV için 2200 d/d motor devrinde hava yakıt oranı “Az Hava” şekliyle karışım çok fakir bir karışımdır. 2200 d/d motor devrinde tek ve çift sargılı EMV için Em.A.A arttırıldığı ya da azaltıldığında hava-yakıt oranı azalarak 14,7/1’e yaklaşmaktadır. Çift sargılı EMV’nin hava-yakıt oranı tek sargılı EMV’nin hava-yakıt oranından daha yüksektir. Klasik kamli mekanizmanın hava-yakıt oranı ise en düşüktür ve ideal hava-yakıt oranı 14,7/1, 2200-2400 d/d motor devri arasında yakalanmıştır.

7.3. Moment

Şekil 7.4'te görüldüğü gibi 2200 devirde orijinal supap zamanlamasına göre, emme supabı açılıp kapanma zamanı tek ve çift sargılı EMV ile değiştirildiğinde klasik kam miline göre moment azalmaktadır. Yapılan deneyde, 2200 d/d'da moment, klasik kam mekanizması ile 10,625 Nm iken; tek sargılı EMV, Em.A.A. 40° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 6,425 Nm; Em.A.A. 50° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 6,5 Nm; Em.A.A. 60° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 6,95 Nm'dir. Çift sargılı EMV, Em.A.A. Ü.Ö.N., Em.K.G. -50° KMA için 3,75 Nm; Em.A.A. 10° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 4,775 Nm; Em.A.A. 20° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 4,75 Nm'dir.



Şekil 7.4. Emme supabı zamanlamasının motor hızına bağlı olarak moment üzerine etkileri

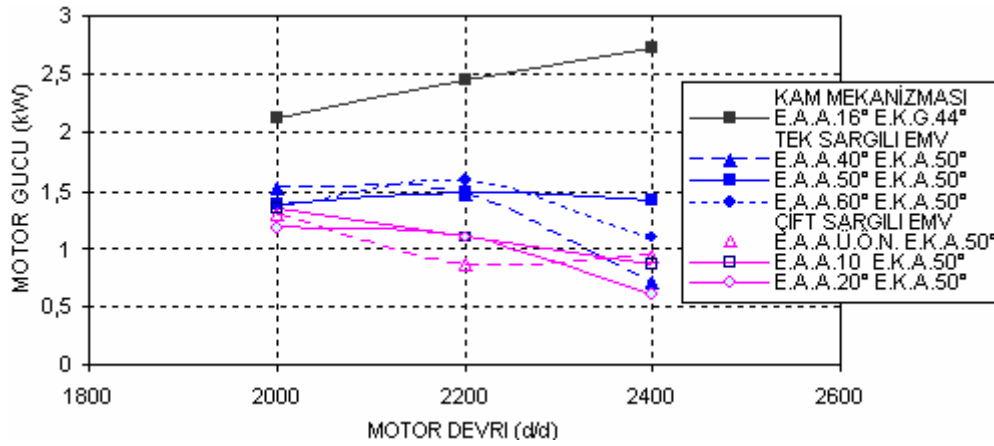
Verilerden görüldüğü gibi tek sargılı EMV için 2200 d/d motor devrinde momentin maksimum olduğu supap zamanlaması 6,95 Nm değeriyle Em.A.A. 60° KMA, Em.K.G. -50° KMA'dır ve klasik kam mekanizmasına göre % 34,6'lık bir kayıp olmaktadır. Çift sargılı EMV için 2200 d/d motor devrinde moment maksimum olduğu supap zamanlaması yine 4,775 Nm değeriyle Em.A.A. 10° KMA, Em.K.G. -50° KMA'dır ve klasik kam mekanizmasına göre % 55,06'lık bir kayıp olmaktadır. 2200 d/d motor devrinde tek sargılı EMV için Em.A.A. azaltıldığında moment azalmaktadır. Çift sargılı EMV için

Em.A.A azaltıldığında ya da arttırıldığında moment yine azalmaktadır. 2200 d/d motor devrinde tek sargılı EMV'nin momenti çift sargılı EMV'nin momentinden daha büyüktür. Klasik kamli mekanizmanın momenti ise en büyüktür.

7.4. Motor Gücü

Şekil 7.5'te görüldüğü gibi 2200 devirde orijinal supap zamanlamasına göre, emme supabı açılıp kapanma zamanı tek ve çift sargılı EMV ile değiştirildiğinde klasik kam miline göre motor gücü azalmaktadır. Yapılan deneyde, 2200 d/d'da motor gücü, klasik kam mekanizması ile 2,448 kW iken; tek sargılı EMV, Em.A.A. 40° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 1,48 kW; Em.A.A. 50° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 1,497 kW; Em.A.A. 60° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 1,601 kW'tır. Çift sargılı EMV, Em.A.A. Ü.Ö.N., Em.K.G. -50° KMA için 0,864 kW; Em.A.A. 10° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 1,100 kW; Em.A.A. 20° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 1,094 kW'tır.

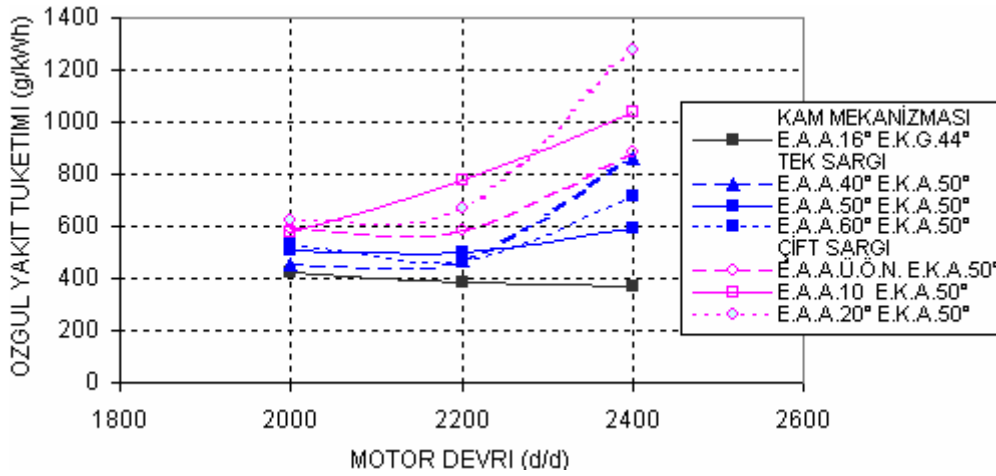
Verilerden görüldüğü gibi tek sargılı EMV için 2200 d/d motor devrinde motor gücünün maksimum olduğu supap zamanlaması 1,601 kW değeriyle Em.A.A. 60° KMA, Em.K.G. -50° KMA'dır. Klasik kam mekanizmasına göre % 34,6'lık bir kayıp olmaktadır. Çift sargılı EMV için 2200 d/d motor devrinde motor gücü maksimum olduğu supap zamanlaması yine 1,100 kW değeriyle Em.A.A. 10° KMA, Em.K.G. -50° KMA'dır; klasik kam mekanizmasına göre % 55,06'lık bir kayıp olmaktadır. 2200 d/d motor devrinde tek sargılı EMV için Em.A.A azaltıldığında motor gücü de azalmaktadır; çift sargılı EMV için Em.A.A azaltıldığında ya da arttırıldığında motor gücü yine azalmaktadır. 2200 d/d motor devrinde tek sargılı EMV'nin motor gücü çift sargılı EMV'nin motor gücünden daha büyüktür. Klasik kamli mekanizmanın motor gücü ise en büyüktür.



Şekil 7.5. Emme supabı zamanlamasının motor hızına bağlı olarak motor gücü üzerine etkileri

7. 5. Özgöl Yakıt Tüketimi

Şekil 7.6'da görüldüğü gibi 2200 devirde orijinal supap zamanlamasına göre, emme supabı açılıp kapanma zamanı tek ve çift sargılı EMV ile değiştirildiğinde klasik kam miline göre özgöl yakıt tüketimi artmaktadır. Yapılan deneyde, 2200 d/d'da özgöl yakıt tüketimi, klasik kam mekanizması ile 383,170 g/kWh iken; tek sargılı EMV, Em.A.A. 40° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 466,149 g/kWh; Em.A.A. 50° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 499,547 g/kWh; Em.A.A. 60° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 466,719 g/kWh'tir. Çift sargılı EMV, Em.A.A. Ü.Ö.N., Em.K.G. -50° KMA için 585,029 g/kWh; Em.A.A. 10° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 775,872 g/kWh; Em.A.A. 20° KMA, Em.K.G. -50° KMA için 670,759 g/kWh'tir.



Şekil 7.6. Emme supabı zamanlamasının motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi üzerine etkileri

Verilerden görüldüğü gibi tek sargılı EMV için 2200 d/d motor devrinde özgül yakıt tüketiminin minimum olduğu supap zamanlaması 466,149 g/kWh değeriyle Em.A.A. 40° KMA, Em.K.G. -50° KMA'dır ve klasik kam mekanizmasına göre % 21,65'lik bir artış olmaktadır. Çift sargılı EMV için 2200 d/d motor devrinde özgül yakıt tüketiminin minimum olduğu supap zamanlaması yine 585,029 g/kWh değeriyle Em.A.A. Ü.Ö.N, Em.K.G. -50° KMA'dır ve klasik kam mekanizmasına göre % 52,68'lik bir kayıp olmaktadır. 2200 d/d motor devrinde tek sargılı EMV için Em.A.A arttırıldığında özgül yakıt tüketimi artmaktadır; çift sargılı EMV için Em.A.A arttırıldığında özgül yakıt tüketimi artmaktadır. 2200 d/d motor devrinde tek sargılı EMV'nin özgül yakıt tüketimi çift sargılı EMV'nin özgül yakıt tüketiminden daha küçüktür. Klasik kamli mekanizmanın özgül yakıt tüketimi ise en küçüktür.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elektromanyetik kumandalı supap mekanizması tasarlanmış ve imal edilmiştir. Motor emme supabı açılma ve kapanma zamanları, elektromanyetik supap mekanizmasına kam milinden tamamen bağımsız kumanda edilerek belirlenmiştir. İmal edilen tek sargılı ve çift sargılı tahrik sistemi bobinleriyle, yalnız emme supabına kumanda edilerek uygulanabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Deney motorunda başka bir değişiklik yapılmamıştır. Yalnız emme supabı üzerindeki itici çubuk ve külbütör mekanizması yerinden çıkarılarak yerine tahrik sistemi yerleştirilmiştir. Egzoz supabına ise yine kam mili kumanda etmiştir. 12 Voltluk batarya yerine 42 Voltluk doğru akım güç kaynağı kullanılmıştır. Elektromanyetik kumandalı supap mekanizması mikro denetleyici kumandalı olarak tasarlanıp imal edilerek deneyler yapılmıştır.

Deneylerde elektronik devre ile ilgili olarak bir çok problemle karşılaşmış ve bu problemler deneyler esnasında giderilmiştir. Deneyler esnasında akımın iletilmesi ve kesilmesi anında akım değişimlerinden bir çok kez elektronik devredeki elemanlar (mikro denetleyici, transistör, hızlı diyot, direnç, regülatör, vb.) zarar görmüş, yanmış ve bozulmuştur. Akım değişimlerinden mikro denetleyici devrenin hasar görmemesi için elektronik devrede mikro denetleyici ünitesi ile mosfet transistörler tarafından selenoid bobinlerin sürüldüğü güç ünitesi arasına optokuplör eklenmiştir. Optokuplör ile, devre elemanları arasında bağlantı yalnızca ışıkla yapılır. Dolayısıyla da bağlantı elemanları oluşan yüksek EMK'lerden zarar görmez. Yüksek akımlarla bobinleri sürmek ve akımı kesmek için mosfet transistörler kullanılmıştır. Deneyler sırasında patlayan mosfet transistörler daha yüksek akım (33 A) ve gerilim (200 V) kapasiteli olanlarla değiştirilmiştir. Deneyler için 10 Adet selenoid bobin tasarımı, sarımı ve imali yapılmıştır. Mikro denetleyici kumandalı elektronik devre önce delikli pertinaks plaka üzerinde denendikten sonra baskı devre üzerine kurulmuştur. Deneyler sırasında akü şarj - deşarj problemi ile karşılaşmış ve bu problemin çözümü için 12-24-36-42-48 volt

kademeleri olan trafo sardırılmıştır. Isı problemi için selenoid bobinlerin çevresi bakır plakalarla kapatılarak bobinlerin su ile soğutulması sağlanmış, ısınan elektronik devredeki elemanların soğutulması için Intel Pentium 4 işlemci fanı kullanılmıştır.

Tek sargılı EMV'li motorda 2200 d/d'da en yüksek volumetrik verim, Em.A.A. 50° KMA, Em.K.G. -50° KMA ile sağlanmıştır ve klasik kam mekanizmasına göre %49,2'lik bir kayıp olmaktadır. Bunun nedeni emme supabının açıldığı/kapandığı KMA dereceleridir ve açık kalma süresidir. 2200 d/d'da 96° KMA Ü.Ö.N.'dan sonra açılan emme supabı, 113° KMA açık kalarak A.Ö.N.'dan 29° KMA sonra kapanmaktadır. 2200 d/d'da emme supabı açılma gecikmesi ile emme supabı Ü.Ö.N.'dan 96 ° KMA sonra açılmakta ve supabın açık kaldığı 113° KMA'nın olduğu bölge, A.Ö.N.'ya doğru kayarak piston hızı ve vakumun en yüksek olduğu bölgeden uzaklaşmaktadır. Dolayısıyla da volumetrik verim yüksek hızlarda azalmaktadır.

Çift sargılı EMV'li motorda 2200 d/d'da en yüksek volumetrik verimin sağlandığı supap zamanlaması Em.A.A. 10° KMA, Em.K.G. -50° KMA'nın olduğu zamanlamadır. Çift sargılı EMV'li motorda 2200 d/d'da en yüksek volumetrik verim, Em.A.A. 10° KMA, Em.K.G. -50° KMA ile sağlanmıştır ve klasik kam mekanizmasına göre %49,2'lik bir kayıp olmaktadır. Bunun nedeni emme supabının açıldığı/kapandığı KMA dereceleridir ve açık kalma süresidir. 2200 d/d'da 17° KMA Ü.Ö.N.'dan sonra açılan emme supabı, 40° KMA açık kalarak A.Ö.N.'dan -123° KMA sonra kapanmaktadır. 2200 d/d'da emme supabı açılma gecikmesi ile emme supabı Ü.Ö.N.'dan 17 ° KMA sonra açılmakta ve supabın açık kaldığı 40° KMA'nın olduğu bölge, Ü.Ö.N.'ya doğru kayarak piston hızı ve vakumun en yüksek olduğu bölgede supap kapanmaktadır. Dolayısıyla da volumetrik verim yüksek hızlarda azalmaktadır.

Hava/yakıt oranı 2200 d/d'da klasik kam mekanizması ile 14,7/1 iken tek sargılı EMV'de Em.A.A. 50° KMA, Em.K.G. -50° KMA'da 24,3/1 ve çift sargılı

EMV'de Em.A.A. 10° KMA, Em.K.G. -50° KMA'da cihaz ekranında 'Az Hava' şeklindedir.

Moment, 2200 d/d'da klasik kam mekanizması ile 10,625 Nm'dir. Tek sargılı EMV'de momentin maksimum olduğu supap zamanlaması Em.A.A. 60° KMA, Em.K.G. -50° KMA'da 6,95 Nm'dir ve klasik kam mekanizması'na göre %34,6 ve çift sargılı EMV'de momentin maksimum olduğu supap zamanlaması Em.A.A. 10° KMA, Em.K.G. -50° KMA'da 4,775 Nm'dir ve klasik kam mekanizması'na göre %55'lik bir kayıp olmaktadır.

Motor gücü, 2200 d/d'da klasik kam mekanizması ile 2,448 kW'tır. Tek sargılı EMV'de motor gücünün maksimum olduğu supap zamanlaması Em.A.A. 60° KMA, Em.K.G. -50° KMA'da 1,497 kW'tır ve klasik kam mekanizması'na göre %34,6 ve çift sargılı EMV'de motor gücünün maksimum olduğu supap zamanlaması Em.A.A. 10° KMA, Em.K.G. -50° KMA'da 1,100 kW'tır ve klasik kam mekanizması'na göre %55'lik bir kayıp olmaktadır.

Özgül yakıt tüketimi, 2200 d/d'da klasik kam mekanizması ile 383,170 g/kWh'tir. Tek sargılı EMV'de özgül yakıt tüketiminin minimum olduğu supap zamanlaması Em.A.A. 40° KMA, Em.K.G. -50° KMA'da 466,149 g/kWh'tir ve klasik kam mekanizması'na göre %21,65 ve çift sargılı EMV'de özgül yakıt tüketiminin minimum olduğu supap zamanlaması Em.A.A. Ü.Ö.N.° KMA, Em.K.G. -50° KMA'da 585,029 g/kWh'tir ve klasik kam mekanizması'na göre %52,68'lik bir kayıp olmaktadır.

Tek sargılı elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasındaki intikal süresinin azaltmak, diskin karşı dayanma yüzeyine ve emme supabının kapanma yüzeyine çarpıp zıplamasını önlemek ve emme supabının kontrol problemini çözmek için çift sargılı mekanizma geliştirilmiştir. Ancak çift sargılı mekanizma da tutucu sargının sarım sayısının fazlalığı (1200 sarım) nedeniyle supabın açık kalma süresinde azalmalar meydana gelmiştir. Tek sargılı EMV ve çift sargılı EMV'li mekanizmada supapların karşı dayanma

yüzeyine çarpma hızı ölçülememiştir. Ancak motor performans değerlerinden klasik kamli mekanizmadaki supapların karşı dayanma yüzeyine yumuşak iniş hızına ulaşamamış olduğu açıktır. Dolayısıyla teorikte düşünülen çözüm deneysel olarak istenen sonuçları vermemiştir.

Elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasının uygulanabilirliği ispatlanmıştır ancak problemleri vardır. Bu problemler ve çözüm önerileri aşağıda sıralanmıştır:

- Elektronik kontrol ile diskin ve supabın sıçramasına engel olunamaması nedeniyle elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasının yüksek hızlarda karışım oranının bozulduğu görülmüştür. Emme supabı açma ve özellikle kapama esnasında karşı dayanma yüzeyine çarpma, sıçrama ve sıkıştırma zamanı başlangıcında emme manifolduna karışımın geri kaçması problemi ve yüksek gürültü gelmektedir.
- Mikro denetleyici kumandasıyla akımın selenoid bobinlere sürekli olarak verilip kesilmesi ile akımın kontrolü sağlanabilir.
- Tek veya çift sargılı sistemde bobin sarım sayılarının optimizasyonu için Ansys gibi bilgisayar programlarında sonlu elemanlar yöntemiyle üç boyutlu model ile mekanik/dinamik analiz ve elektromanyetik analiz yapılması gerekmektedir. Bununla beraber ileri düzeyde elektronik devre ve mikro denetleyici programlama bilgi ve tecrübesine ihtiyaç vardır.
- Kütle salınımını azaltmak için araştırmalar hafif malzemeler üzerine doğru yöneltiler. Diskin çapı 14 mm'den supap çapı 6 mm'ye azaltılabilir, .
- Bobinin endüktansını azaltmak için bobinin sarım sayısı azaltılıp akım artırılabilir. Akım artışını bakır tel çapı ve elektronik devre elemanlarının akım ve gerilim kapasiteleri, özellikle endüksiyon gerilimleri sınırlamaktadır.

Tel çapını ise emme, egzoz supap eksenleri sınırlamaktadır. Emme, egzoz supap sapları silindir kapağına I tipi yerine V tipi tasarlanabilir.

- Değişken supap zamanlama için elektromanyetik kumandalı supap mekanizması motor devrinin, silindirlere alınan havanın ve yakıtın, emme manifold basıncının, silindir iç basıncının, soğutma suyu sıcaklığının, ateşleme avansının, taşıt egzozundan hava fazlalık katsayısının (λ) sensörlerle algılanması ve sensörlerden alınan bilgiye göre hava/yakıt oranını ayarlayan Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU) yakıt enjeksiyon sistemlerine daha uygun olabilir.
- Ayrıca bu sistem gaz yakıtlara daha uygundur, araştırmalar bu yöne doğru yöneltiler.

KAYNAKLAR

1. Shlesinger, B. Edward, "Buluş Nasıl Yapılır", Çeviri Editörü, Özgür ERGİN, . **Tübitak yayınları**, ISBN 975-403-063-4, Ankara, 11-16 (1998).
2. Çelik, M. B., Salman, M.S., Korkmaz, İ., Balcı, M., "Buji İle Ateşlemeli Değişken Sıkıştırılmalı Motorlar", **5. Yanma Sempozyumu**, Bursa, 148-161 (1996).
3. Aslan, R., Sürmen, A., Avcı, A., "Bir Dizel Motorunda Supap Zamanlamasının Volumetrik Etkilerinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi", **5. Yanma Sempozyumu**, Bursa, 220-230 (1996).
4. İnternet: Trevett, N.R., "X-by-Wire, New Technologies for 42 V Bus Automobile of the Future" <http://www.me.sc.edu/Research/AARG/honors-thesis.pdf> (2005).
5. Schechter, M. M., Levin, M. B., "Camless Engine", Ford Research Lab. **SAE Transactions Journal of Engines**, 960581, 105 (3): 622-635 (1996).
6. Gould, L.A., Richeson, W. E., Erickson, F. L., "Electronic Valve Timing", **Automotive Engineering**, 99 (4): 19-24 (1991).
7. Yenitepe, R., "Endüstriyel Robotların Tahrik Sistemlerinin Karşılaştırılması ve Tahrik Sistemi Seçim Kriterleri", **Makine Tek**, 15 (7): 40-45 (1996).
8. Pariouche, J., "The Camless Engine Makes a Revolution", **R&D** 15 (1): 60-61 (2000).
9. Holt, D., "Camless Engine", **Automotive Engineering International**, 108 (NOS. 1-3): 36 (2000).
10. Podnar, D.J., "Characteristics of a Small Engine Equipped with an Electromagnetic Valve Actuation System", **SAE Transactions Journal of Engines**, 981908, 107(3): 1852-1863 (1998).
11. İnternet: Wang, Y., Megli, T., and Haghgooie, M., Peterson, K.S. and Stefanopoulou, A.G., "Modeling and Control of Electromechanical Valve Actuator", SAE2002-01-1106 http://ghost.engin.umich.edu/SAE2002_01-1106.pdf (2002).
12. Bassi, A., Arcari, F., Perrone, F., "C.E.M.-The Alfa Romeo Engine Management System-Design Concepts-Trends for the Future", **SAE Transactions**, 850290, 94 (2): 2758-2768 (1985).

13. Butzman, S., Melbert, J. and Koch, A., "Sensorless Control of Electromagnetic Actuators for Variable Valve Train", **SAE Transactions Journal of Engines**, 2000-01-1225, 109 (3): 1425-1430 (2000).
14. Internet: Tai, C., Stubbs, A., Tsao, T.C., "Modeling and Controller Design of an Electromagnetic Engine Valve" http://legend.me.uiuc.edu/~astubbs-/acc_2001.pdf (2005).
15. Domanski, S.J., 2000, "Effects Contributing to the Temperature Rise of Electromagnetic Actuators", **SAE Transactions Journal of Engines**, 2000-01-0543, 109 (3): 595-602 (2000).
16. Ting, Y., "Advanced Designs for the Next Generation of Electromagnetic Actuators", Ph.D. Thesis, **The University of Texas**, Austin, 1-56 (1998).
17. Adams, W.T., "Control of a Solenoid Actuated Proportional Valve Using Pulse Width and Pulse Frequency Modulation", M.Sc. Thesis, **The University of Texas**, Arlington, 1-41 (1991).
18. Internet: "Camless Engine" <http://www.sae.org/automag/toptech/022001-/toptech5.htm> (2002).
19. Internet: "Electromechanical Valve Control" http://www.fev-et.com/03eng-/02ed/e_ed_vt.Html (2001).
20. Internet: Salber, W., Kemper, H., Staay, F., Esch, T., "The Electro-mechanical Valve Train – A System Module for Future Powertrain Concepts" <http://www.fev-et.com/Brochures/SonderdruckEschVentiltrieb-%20Teil%20III.pdf> (2002).
21. Internet: Boie, C., "EMV Actuation with Closed-Loop Control" http://www.emv_actuation_closed_loop_control.pdf (2002).
22. Tai, C., Tsao, T.C., "Quiet Seating Control Design of an Electromagnetic Engine Valve Actuator", **ASME International Mechanical Engineering Congress**, University of California, 1-8 (2001).
23. Seunghyun, P., Lee, J. And Yoo, J., "A Developing Process of Newly Developed Electromagnetic Valve Actuator- Effect of Design and Operating Parameters ", **SAE Transactions Journal of Engines**, 2002-01-2817, 111 (3): 2616-2625 (2002).
24. Uhlenbrock, R. and Melbert, J., "Smart Actuator for Sensorless Electromagnetic Variable Valve Actuation", **SAE Transactions Journal of Passenger Cars:-Electronic and Electrical Systems**, 2001-01-3278, 110 (7): 697-702 (2001).

25. İnternet: Chang, W.S., Parlikar, T.A., Seeman, M.D., Perreault, D.J., Kassakian, J.G., and Keim, T.A., "A New Electromagnetic Valve Actuator" <http://www.mit.edu/people/djperrea/Publications/Conference%20Papers> (2005).
26. İnternet: Boccaletti C., Fellice, P.D., Santini, E., "Dynamic Analysis of Electromechanical Valve Actuators by means of FEM Techniques" http://elettrica.ing.uniroma1.it/Staff/Chiara/EM_Valve_ICEM2004.pdf (2005).
27. Sadiku, M.N.O., "Elements of Electromagnets", **Sounders College Publishing**, ISBN 0-03-094947-5, Fort Worth, 279-374 (1994).
28. Onaran, K., "Malzeme Bilimi", **Bilim Teknik Basım Yayım Dağıtım**, ISBN 975-540-017-6, İstanbul, 141-148 (1997).
29. Önal, H., "Elektrotekniğe Giriş ve Elektromanyetizma", İ.T.Ü Kütüphanesi sayı 675. **Arı Kitabevi Matbaası**, İstanbul, 68-75, 84-91 (1966).
30. İda, N., "Electromagnetics And Calculation of Fields", **Springer-Verlag**, ISBN 0-387-94877-5, New York, 153-161 (1997).
31. Norton, R.L, "Machine Design: An Integrated Approach" , **Prentice Hall**, New Jersey, 808-811 (2000).
32. Servay, R.A., "Physics for Scientists and Engineers, with Modern Physics", **Sounders College Publishing**, Philadelphia, 360-370 (1992).
33. İnternet: Stubbs, A., "Modeling and Controller Design of an Electromagnetic Engine Valve" <http://legend.me.uiuc.edu/astubbs/Andys-Thesis.pdf> (2005).
34. Gürdal, O., "Elektromanyetik alan Teorisi", **Nobel Yayın Dağıtım**, ISBN 975-591-178-2, Ankara, 421-439 (2002).
35. Dalfes, M., "Elektroteknik, Doğru Akım ve Alternatif Akım Temel Kanunlar, Makineler, Problemler, Elektronik, Elektrik Teknolojisi", **Seç Yayın Dağıtım**, İstanbul, 60-64 (1993).
36. Güven, M.E., Martı, İ.B., Coşkun, İ., "Elektroteknik Cilt I ", **Tifdruk Matbaacılık Sanayi A.Ş.**, İstanbul, 126-127 (1982).
37. Anlaş, İ., Aslan, A., "Motor Ayarları", **Hilal Matbaacılık**, İstanbul, 35-37 (1980).

38. Gardner, N., "Yeni Başlayanlar için PIC Programlama El Kitabı", Editör: Elk.Müh. Gökhan DİNÇER, Çeviri Editörü: Cevren Yalçın, **Bileşim Yayıncılık A.Ş. Matbaası**, ISBN 975-6897-00-7, İstanbul, 2-11 (1998).
39. İnternet: "Microchip", <http://www.futurlec.com/Microchip/PIC16F84.shtml> (2002).
40. Önal, H., "Elektrik Mühendisliğinin Temelleri", İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi, **Bursa Üniversitesi basımevi**, Bursa, 154-163, 168-171 (1982).
41. İnternet: IRFP250B 200V N-Channel mosfet, <http://www.fairchildsemi.com-ds/IR-IRFP250B.pdf> (2005).
42. Aslan, R., Sürmen, A., "Otomotiv Elektroniği" **Aktüel Basım Yayın**, ISBN 975-8770-28-4, İstanbul, 56 (2004).
43. Yolaçan, F., "Ateşleme Sistemleri", **G.Ü.T.E.F. Yayınları**, Ankara, 185 (1998).
44. Ribbens, W., "Understanding Automotive Electronics", Sixth Edition, Ph.D., **Newnes**, ISBN 0-7506-7599-3, Amsterdam, 213-217 (2003).
45. İnternet: Solid State Hall Effect Sensors, http://documents.rs-components.com/rs-bin/RightSite.dll/getcontent/data.pdf?DMW_FORMA-T=pdf&DMW_DOCBASE=techlib&DMW_OBJECTID=0900766b8044522-5 (2001).
46. Lequesne, B., and Schroeder, T., "Magnetic Crankshaft and Camshaft Position Sensors with a Omplementary Geometry", **SAE Transactions Journal of Engines**, 980169, 107(3): 303-311 (1998).
47. Goodwin, W.C., Gilmore, J. ve Rustman, J.C., "Math Based Approach to Model Active Hall Effect Position Sensors", **SAE Transactions Journal of Engines**, 2000-01-0542, 109 (3): 588-594 (2000).
48. İnternet: "Application Note AN-3001 Optocoupler Input Drive Circuits", <http://www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-3001.pdf> (2002).
49. İnternet: Features of Photomicrosensors, http://www.omron.com/ecb/products/pdf/en-ph_micro_info.pdf (2005).
50. Çınar, C., "Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Kam Geometrisinin Performansa Etkileri Üzerine Bir Araştırma", Yüksek Lisans Tezi, **G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 43-46 (1998).

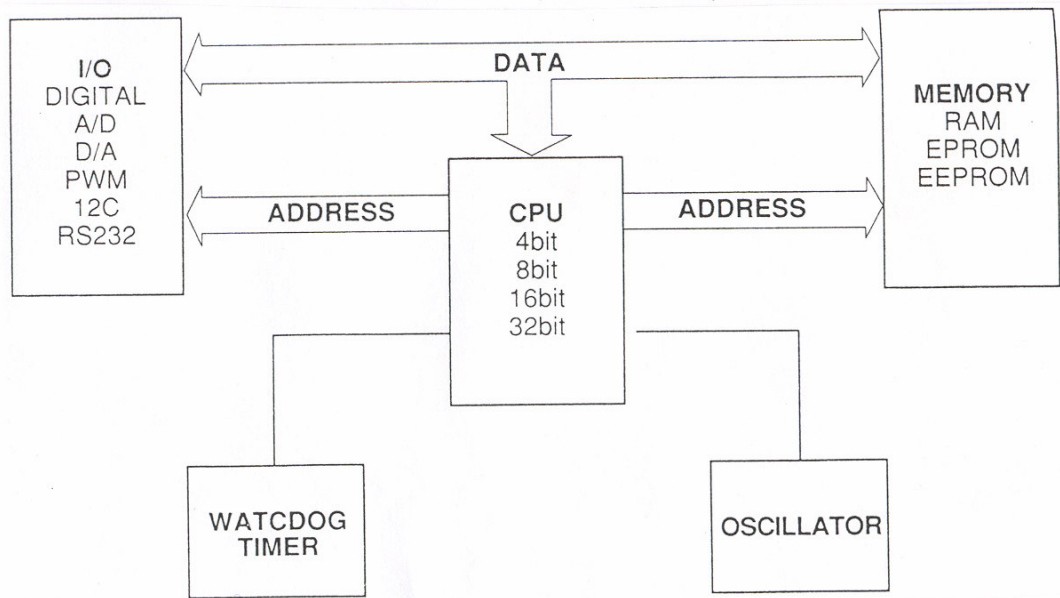
51. Akbaş, A, “Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Değişken Supap Açıklığının ve Supap Zamanlamasının Motor Performansına Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **G.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 74 (2000).
52. İnternet: Akgün, N., “Rüzgar Enerjisi Nereden Gelmektedir?” <http://www.-meteor.gov.tr/2003/arge/yenienerji/ruzgarnereden.pdf> (2005).

EKLER

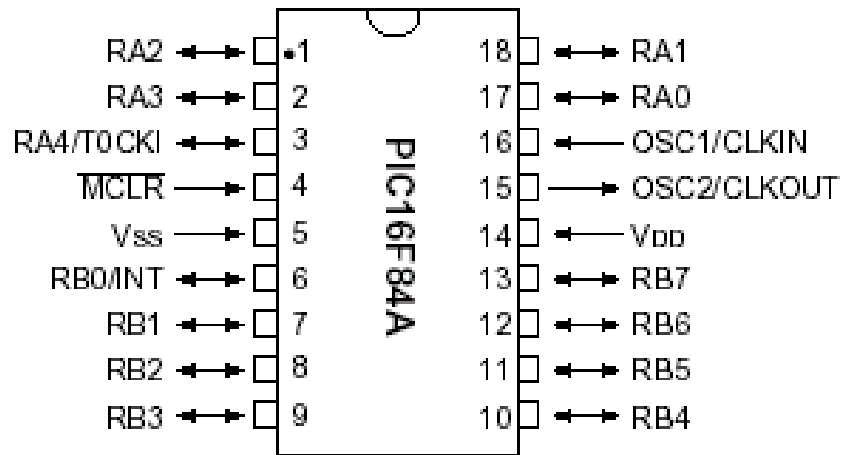
EK-1 Selenoid bobin tasarımı için tutucu sargı direnç ve akım tespit deney sonuçları

Kontak kapalı	Kontak açık	Sonuç
- $R_d=34,5 \Omega$, $R_k=0,7 \Omega$, $R_b=5,9 \Omega$, $E_b=32,7 \text{ V}$ iken $I_b=E_b/R_b)=32,7/ 5,9)=5,54 \text{ A}$	$E_b=6 \text{ V}$ iken $I_b=E_b/R_b)=6/ 5,9)=1,01 \text{ A}$	Tutucu sargı supabı kapalı tutamadı.
- $R_d=26,3 \Omega$, $R_k=0,7 \Omega$, $R_b=5,9 \Omega$, $E_b=34,5 \text{ V}$ iken $I_b=E_b/R_b)=34,5/ 5,9)=5,84 \text{ A}$	$E_b=7,3 \text{ V}$ iken $I_b=E_b/R_b)=7,3/ 5,9)=1,23 \text{ A}$	Tutucu sargı supabı kapalı tutamadı.
- $R_b=25,3 \Omega$, $R_k=0,7 \Omega$, $R_b=5,9 \Omega$, $E_b=33,7 \text{ V}$ iken $I_b=E_b/R_b)=33,7/ 5,9)=5,71 \text{ A}$	$E_b=7,3 \text{ V}$ iken $I_b=E_b/R_b)=7,3/ 5,9)=1,23 \text{ A}$	Tutucu sargı supabı kapalı tutamadı.
- $R_d=24,3 \Omega$, $R_k=0,7 \Omega$, $R_b=5,9 \Omega$, $E_b=35 \text{ V}$ iken $I_b=E_b/R_b)=35/ 5,9)=5,93 \text{ A}$	$E_b=7,9 \text{ V}$ iken $I_b=E_b/R_b)=7,9/ 5,9)=1,34 \text{ A}$	Tutucu sargı supabı kapalı tuttu ancak bobin ısınınca supabı kapalı tutamadı.
- $R_d=21,3 \Omega$, $R_k=0,7 \Omega$, $R_b=5,9 \Omega$, $E_b=33,5 \text{ V}$ iken $I_b=E_b/R_b)=33,5/ 5,9)=5,67 \text{ A}$	$E_b=8,4 \text{ V}$ iken $I_b=E_b/R_b)=8,4/ 5,9)=1,42 \text{ A}$	Tutucu sargı supabı kapalı tuttu.

EK-2 Tipik bir mikro denetleyici sistemi [38]



EK-3 Mikro denetleyici'nin Pin tablosu [39]



EK-4 Mikro denetleyici’de Pin tanımlama [39]

Pin Tanımlama	
Pin Numarası	Tanımlama
1	RA2 - Port A
2	RA3 - Port A
3	RA4/TOCK1 - Port A
4	MCLR - Master clear Giriş (active low)
5	Vss – Topraklama, Şasi
6	RB0/INT - Port B
7	RB1 – Port B
8	RB2 – Port B
9	RB3 – Port B
10	RB4 – Port B
11	RB5 – Port B
12	RB6 – Port B
13	RB7 – Port B
14	Vdd - Pozitif Güç Kaynağı
15	OSC2/CLKOUT - Osilatör Çıkışı
16	OSC1/CLKIN – Osilatör Girişi
17	RA0 – Port A
18	RA1 – Port A

EK-5 Mikro denetleyici'nin özellikleri [39]

- Yüksek performansa sahip RISC CPU
 - Öğrenmek için yalnız 35 tek kelime direktifi
 - Tüm direktifler program kolları hariç tek tur(cycle) 1µs'dir
 - Çalışma hızı: DC – 20MHz saat(clock) girişi
 - 1 k Bayt Flash Program Belleği
 - 68 Bayt RAM Veri Belleği ve 68 Bayt EEPROM Veri Belleği
 - İç-devre seri programlama
 - Kaynağı 4 farklı kesme(interrupt)
- Bilgisayarda bilginin verildiği veya alındığı kısmın özellikleri
 - Direk Led Sürücü için Yüksek akım kaynağı(sink/source)
 - 8 Bit programlanabilir ön skala (prescaler) ile 8 bit zamanlayıcı (timer / counter)
 - 16 bit zamanlayıcı (timer/counter)
 - Ayrı RC osilatör ile Watcdog Timer (WDT)
- Özel Mikro denetleyici Özellikleri
 - Power-On Reset
 - Power up Timer (PWRT) ve Osilatör Start-Up Timer (OST)
 - 1,000 silme/yazma turları(cycles) Attırılmış Flash Program belleği
 - 1,000 tipik silme/yazma turları(cycles) EEPROM veri belleği
 - Seçilebilir Osilatör seçenekleri
- CMOS Teknolojisi
 - Düşük güç, yüksek hız CMOS FLASH teknolojisi
 - Tam olarak (fully) statik tasarım
 - Düşük güç tüketimi
 - <2mA @ 5V, 4MHz
 - 15mA tipik@ 3V, 32kHz
 - <0.5µA tipik destek akımı
- I/O ve Paketleme
 - Bireysel yön kontrolü ile 13 I/O pin
 - 18-pin DIP

EK-6 Hall effect sisteminin özellikleri aşağıda sıralanmıştır [44]

- Güç kaynağı 4,5 – 24 V DC arasında bir gerilimle çalışır.
- Sistem daimi mıknatıs ile tamamlanır.
- Yüksek güvenilirlik vardır. Yani Hall-effect sensörü ile mıknatıs birbirine direkt temas etmediğinden kontaklama aşırıları yoktur, kontak sıçramaz; hareket eden parçalar yoktur.
- Küçük boyuttadır.
- Sürekli aynı genlikte çıkış verir. Yani manyetik alanın yarı iletkeni kesme hızı, gerilimi etkilemez.
- Tüm lojik (logic) devrelerle çıkış verme kabiliyetindedir.

EK-7 Motorun kam mekanizması kumandası ve orijinal supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Motor Devri (d/d)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600
Moment (Nxm)	9,750	10,125	10,625	10,825	11,050	11,125	10,950	10,325	10,200	9,625
Motor Gücü (kW)	1,838	2,121	2,448	2,721	3,009	3,262	3,440	3,460	3,632	3,629
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,820	0,896	0,938	1,010	1,097	1,159	1,284	1,360	1,429	1,363
Özgül Yakıt Tük.(gr/kWh)	446,137	422,442	383,170	371,187	364,563	355,303	373,255	393,063	393,447	375,585
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	111,344	116,778	125,313	134,844	145,174	154,817	165,149	176,049	186,313	184,082
Teorik Hava Tük. (kg/h)	163,800	182,000	200,200	218,400	236,600	254,800	273,000	291,200	309,400	327,600
Volumetrik Verim (%)	67,975	64,164	62,594	61,741	61,358	60,760	60,494	60,457	60,217	56,191
Hava-Yakıt Oranı	13,70	14,03	14,60	14,80	14,82	15,10	15,22	15,38	14,92	14,69

EK-8 Tek sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 8.1. Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	10°						10°					
	-40°						-30°					
Em.K.G. (A.Ö.N.'dan)	2600	2400	2200	2000	1800	2400	2400	2200	2000	1800	2400	2200
Motor Devri (d/d)	2,05	4,2	5,55	6	4,7	1,8	4,375	6,05	4,55	1,800	4,375	6,05
Moment (N*m)	0,5581736	1,05561	1,278668	1,256676	0,885957	0,452403	1,007959	1,267148	0,857681	0,506767	1,007959	1,267148
Motor Gücü (kW)	0,6019565	0,76489	0,699014	0,715651	0,483464	0,821739	0,730132	0,692066	0,506767	0,506767	0,730132	0,692066
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1078,4395	724,594	546,6734	569,4792	545,6974	1816,386	724,3672	546,1604	590,857	590,857	724,3672	546,1604
Özgül Yakıt Tük. (gr/kWh)	44,25877	63,0352	50,96464	54,98817	33,52937	63,03522	53,64699	53,64699	37,5529	37,5529	53,64699	53,64699
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	236,6	218,4	200,2	182	163,8	218,4	200,2	182	163,8	163,8	200,2	182
Teorik Hava Tük. (kg/h)	18,706158	28,8623	25,45687	30,21328	20,4697	28,86228	26,7967	29,47637	22,92607	22,92607	26,7967	29,47637
Volumetrik Verim (%)	Az Hava	24,6	24,9	23,3	24,9	Az Hava	22,4	22,8	23,5	23,5	22,4	22,8
Hava-Yakıt Oranı	16	19	20	20	20	20	21	21	21	21	21	21
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	15	19	21	22	23	23	24	24	25	25	24	24
Ortam Sıcaklığı (°C)												

EK-8 (Devam) Tek sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 8.2. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	10°			20°			20°		
	-20°			-20°			-30°		
Motor Devri (d/d)	2200	2000	1800	2200	2000	1800	2200	2000	1800
Moment (N*m)	3,375	4,9	5,45	4,325	4,825	5,1	2,625	6,475	5,15
Motor Gücü (kW)	0,777568332	1,026285	1,027333	0,996439	1,010577	1,174992	0,659755	1,356163	0,970782
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,706164932	0,669534	0,595365	0,719674	0,675115	0,706542	0,797308	0,658865	0,538644
Özgül Yakıt Tük.(gr/kWh)	908,1709004	652,3861	579,5249	1292,218	722,2452	668,0488	1208,491	601,3164	554,8559
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	48,28229489	50,96464	40,23525	47,74582	53,64699	50,96464	64,37639	52,30582	40,23525
Teorik Hava Tük. (kg/h)	200,2	182	163,8	200,2	182	163,8	218,4	200,2	163,8
Volumetrik Verim (%)	24,11703042	28,00255	24,56364	26,7967	28,00255	26,12678	29,47637	28,00255	24,56364
Hava-Yakıt Oranı	19,8	19,9	18,4	23,8	22,3	23,4	22,9	23,9	22,6
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	21	21	21	20	21	22	21	22	23
Ortam Sıcaklığı (°C)	24	24	25	24	24	25	24	25	26

EK-8 (Devam) Tek sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 8.3. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	20°						30°		
	-40°						-40°		
Motor Devri (d/d)	2600	2400	2200	2000	1800	2400	2200	2000	1800
Moment (N*m)	2,9	4	5,375	6,625	6,425	3,675	5,4	6,725	7,3
Motor Gücü (kW)	0,789611478	1,005341	1,2383496	1,38758	1,211122	0,923657	1,244109	1,408524	1,37606
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,793641272	0,808762	0,7259259	0,512129	0,486845	0,793007	0,631705	0,685374	0,591153
Özgül Yakıt Tük.(gr/kWh)	1005,103515	804,4656	586,20437	369,0808	401,9782	858,5514	507,7565	486,59	429,598
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	50,96464461	67,05874	53,646994	53,64699	40,23525	67,05874	48,28229	48,28229	48,28229
Teorik Hava Tük. (kg/h)	236,6	218,4	200,2	182	163,8	218,4	200,2	182	163,8
Volumetrik Verim (%)	21,5404246	30,70455	26,7967	29,47637	24,56364	30,70455	24,11703	26,52873	29,47637
Hava-Yakıt Oranı	23,3	23,6	23,7	23,9	Az Hava	22,5	22,8	23,7	23,4
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	20	21	22	22	23	22	23	23	23
Ortam Sıcaklığı (°C)	21	21	22	24	26	25	26	27	27

EK-8 (Devam) Tek sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 8.4. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	30°				30°	40°
Em.K.G. (A.Ö.N.'dan)	-30°				-20°	-20°
Motor Devri (d/d)	2400	2200	2000	1800	2200	2200
Moment (N*m)	2,725	5,2	5,7	4,25	3,75	3,925
Motor Gücü (kW)	0,68488847	1,1980312	1,193842	0,801131	0,863965	0,904283
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,83033473	0,6246459	0,672712	0,650976	0,642493	0,704035
Özgöl Yakıt Tük.(gr/kWh)	1212,36488	521,39367	563,4847	812,5711	743,6563	778,5564
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	69,7410926	52,305819	50,96464	38,89407	48,28229	50,96464
Teorik Hava Tük. (kg/h)	218,4	200,2	182	163,8	200,2	200,2
Volumetrik Verim (%)	31,9327347	26,126783	28,00255	23,74485	24,11703	25,45687
Hava-Yakıt Oranı	Az Hava	Az Hava	24,5	20,6	23,1	22,4
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	21	21	22	22	23	23
Ortam Sıcaklığı (°C)	22	23	25	26	26	26

EK-8 (Devam) Tek sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 8.5. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	40°						40°		
	-30°						-40°		
Motor Devri (d/d)	2400	2200	2000	1800	2400	2200	2000	1800	
Moment (N*m)	2,975	4,325	4,875	4,625	4,5	5,325	6,775	6,225	
Motor Gücü (kW)	0,7477223	0,996439	1,021049	0,871819	1,131008	1,22683	1,418997	1,173421	
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,8070354	0,614111	0,682193	0,671176	0,713208	0,621321	0,668407	0,602871	
Özgül Yakıt Tük.(gr/kWh)	1079,325	616,3055	668,1295	769,8572	630,5943	506,4444	471,0419	513,7718	
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	67,058743	48,28229	48,28229	37,5529	67,05874	48,28229	50,96464	45,59995	
Teorik Hava Tük. (kg/h)	218,4	200,2	182	163,8	218,4	200,2	182	163,8	
Volumetrik Verim (%)	30,704553	24,11703	26,52873	22,92607	30,70455	24,11703	28,00255	27,83879	
Hava-Yakıt Oranı	23,4	24,2	21,8	18,7	23,1	Az Hava	24,1	22,4	
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	22	23	23	24	23	23	23	24	
Ortam Sıcaklığı (°C)	26	26	27	27	27	27	27	28	

EK-8 (Devam) Tek sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 8.6. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	50°						50°			50°
Em.K.G. (A.Ö.N.'dan)	-40°						-30°			-20°
Motor Devri (d/d)	2600	2400	2200	2000	1800		2400	2200	2000	2400
Moment (N*m)	2,675	5,2	6,025	6,375	6,275		4,225	5,375	4,45	2,95
Motor Gücü (kW)	0,728349	1,306943	1,388103	1,335218	1,182846		1,061891	1,23835	0,932035	0,741439
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,875966	0,835227	0,703474	0,671346	0,62642		0,78883	0,698522	0,649804	0,778999
Özgül Yakıt Tük.(gr/kWh)	1202,674	639,0693	506,7878	502,799	529,5873		742,8542	564,0747	697,1881	1050,658
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	59,01169	69,74109	59,01169	48,28229	42,9176		64,37639	53,64699	42,9176	64,37639
Teorik Hava Tük. (kg/h)	236,6	218,4	200,2	182	163,8		218,4	200,2	182	218,4
Volumetrik Verim (%)	24,94154	31,93273	29,47637	26,52873	26,20122		29,47637	26,7967	23,5811	29,47637
Hava- Yakıt Oranı	23,9	24,4	Az Hava	23,3	20,7		23,1	24,1	21,1	22,8
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	22	23	24	24	24		24	24	24	24
Ortam Sıcaklığı (°C)	25	26	27	27	28		28	28	28	29

EK-8 (Devam) Tek sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 8.7. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	50°								40°			
	-50°								-50°			
Motor Devri (d/d)	2600	2400	2200	2000	1800	2400	2200	2000	1800	2000	1800	1800
Moment (N*m)	2,925	5,675	6,5	6,65	6,675	2,8	6,425	7,25	7,15	7,25	7,15	7,15
Motor Gücü (kW)	0,7964185	1,426327	1,497539	1,392816	1,258247	0,703739	1,48026	1,518484	1,347785	1,518484	1,347785	1,347785
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,9866998	0,841068	0,748092	0,710145	0,653333	0,604156	0,690021	0,691885	0,616209	0,691885	0,616209	0,616209
Özgü Yıkıt Tük.(gr/kWh)	1238,9213	589,6739	499,5473	509,8627	519,2409	858,4943	466,1485	455,6423	457,201	455,6423	457,201	457,201
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	72,423442	88,51754	64,37639	54,98817	45,59995	45,59995	59,01169	53,64699	45,59995	53,64699	45,59995	45,59995
Teorik Hava Tük. (kg/h)	236,6	218,4	200,2	182	163,8	218,4	200,2	182	163,8	200,2	163,8	163,8
Volumetrik Verim (%)	30,610077	40,53001	32,15604	30,21328	27,83879	20,8791	29,47637	29,47637	27,83879	29,47637	27,83879	27,83879
Hava-Yakıt Oranı	23,3	24,1	24,3	21,6	20,2	22,5	Az Hava	24	22,5	24	22,5	22,5
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	19	19	20	21	22	20	22	23	23	23	23	23
Ortam Sıcaklığı (°C)	17	18	20	24	24	25	25	25	26	25	26	26

EK-8 (Devam) Tek sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 8.8. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	30°						20°		
	-50°						-50°		
Motor Devri (d/d)	2400	2200	2000	1800	2400	2200	2000	1800	
Moment (N*m)	5,625	5,775	7,1	7,425	4,675	6,275	7,35	7,425	
Motor Gücü (kW)	1,4137606	1,330506	1,487067	1,399623	1,174992	1,445701	1,539428	1,399623	
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,7850079	0,612926	0,681607	0,584149	0,808021	0,72973	0,646786	0,577225	
Özgül Yakıt Tük.(gr/kWh)	555,26226	460,6712	458,357	417,3616	687,6822	504,7584	420,1467	412,4147	
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	68,399918	48,28229	52,30582	48,28229	67,05874	56,32934	50,96464	48,28229	
Teorik Hava Tük. (kg/h)	218,4	200,2	182	163,8	218,4	200,2	182	163,8	
Volumetrik Verim (%)	31,318644	24,11703	28,73946	29,47637	30,70455	28,13654	28,00255	29,47637	
Hava- Yakıt Oranı	23,5	24,4	23,6	24,6	23,2	24,7	Az Hava	Az Hava	
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	22	23	24	24	23	23	24	24	
Ortam Sıcaklığı (°C)	26	27	27	27	27	27	27	28	

EK-8 (Devam) Tek sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 8.9. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	10°						60°						60°	
	-50°						-50°						-40°	
Motor Devri (d/d)	2400	2200	2000	1800	1600	1400	2400	2200	2000	1800	1600	1400	2400	2200
Moment (N*m)	5,125	6,05	7,1	7,225	7,35	7,475	4,35	6,95	6,575	6,425	6,275	6,125	5,025	3,35
Motor Gücü (kW)	1,288093	1,393863	1,487067	1,361923	1,246779	1,131635	1,093308	1,601215	1,377108	1,211122	1,045036	0,878950	1,26296	0,7718
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,76533	0,721571	0,645523	0,593806	0,542089	0,490372	0,778923	0,747317	0,727256	0,681081	0,635806	0,590531	0,78176	0,83593
Özgül Yakıt Tük.(gr/kWh)	594,1572	517,6769	434,0917	436,0057	438,1197	440,2337	712,4456	466,7187	528,104	562,3557	618,991	675,682	1083,08	1083,08
Gerçek Hava Tük.(kg/h)	61,69404	53,64699	48,28229	48,28229	48,28229	48,28229	67,05874	61,69404	50,96464	42,9176	35,7701	28,6206	60,3529	50,9646
Teorik Hava Tük. (kg/h)	218,4	200,2	182	163,8	145,4	127,0	218,4	200,2	182	163,8	145,4	127,0	218,4	200,2
Volumetrik Verim (%)	28,24819	26,7967	26,52873	29,47637	30,38229	31,28891	30,70455	30,81621	28,00255	26,20122	23,6341	21,4568	27,6341	25,4568
Hava-Yakıt Oranı	23,6	24	Az Hava	24,4	25,4	26,4	23	23,8	21,2	20,2	19,2	18,2	22,6	20,5
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	23	24	24	24	24	24	21	22	23	23	23	23	23	23
Ortam Sıcaklığı (°C)	28	28	28	29	29	29	21	23	24	25	25	25	25	27

EK-8 (Devam) Tek sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 8.10. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	70°										50°			
	-50°										-60°			
	2800	2600	2400	2200	2000	1800	2400	2200	2000	1800	2400	2200	2000	1800
Motor Devri (d/d)	2,175	4,45	3,875	2,2	2,05	5,25	6,6	7,725	7,575	7,775				
Moment (N*m)	0,637731	1,2116	0,973924	0,506859	0,429364	0,989632	1,658812	1,779768	1,5865	1,4656				
Motor Gücü (kW)	0,9542012	0,9753	0,665772	0,693033	0,702291	0,692308	0,765477	0,744932	0,7736	0,6101				
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1496,1687	804,942	683,5975	1367,308	1635,654	699,5604	461,4611	418,556	487,603	416,248				
Özgül Yakıt Tük. (gr/kWh)	72,423442	64,3763	53,64699	40,23525	34,87055	34,87055	64,37639	64,37639	53,647	48,2823				
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	254,8	236,6	218,4	200,2	182	163,8	218,4	200,2	182	163,8				
Teorik Hava Tük. (kg/h)	28,423643	27,2089	24,56364	20,09753	19,15964	21,28849	29,47637	32,15604	29,4764	29,4764				
Volumetrik Verim (%)	Az Hava	23,4	21,8	22	21,4	19,6	24,8	25	22,4	22,5				
Hava-Yakıt Oranı	23	23	23	24	24	24	21	22	22	24				
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	27	27	27	28	28	29	21	22	22	26				
Ortam Sıcaklığı (°C)														

EK-8 (Devam) Tek sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 8.11. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	40°								30°			
	-60°								-60°			
	Em.K.G. (A.Ö.N.'dan)	2400	2200	2000	1800	2600	2400	2200	2000	1800		
Motor Devri (d/d)		3,15	6,225	7,775	7,675	3,525	5,4	6,55	7,475	7,55		
Moment (N*m)		0,791706	1,434182	1,628443	1,446748	0,959786	1,35721	1,509059	1,565609	1,423186		
Motor Gücü (kW)		0,606324	0,575593	0,672427	0,615826	0,854835	0,797228	0,747598	0,647683	0,57281		
Yakıt Tüketimi (kg/h)		765,8456	401,3388	412,9264	425,6623	890,6516	587,4021	495,4072	413,6938	402,4843		
Özgül Yakıt Tük.(gr/kWh)		50,96464	48,28229	53,64699	45,59995	56,32934	69,74109	57,67052	50,96464	48,28229		
Gerçek Hava Tük. (kg/h)		218,4	200,2	182	163,8	236,6	218,4	200,2	182	163,8		
Teorik Hava Tük. (kg/h)		23,33546	24,11703	29,47637	27,83879	23,80784	31,93273	28,80645	28,00255	29,47637		
Volumetrik Verim (%)		22	23,9	24	23,4	23	Az Hava	24,9	Az Hava	Az Hava		
Hava-Yakıt Oranı		22	22	24	24	21	22	23	24	24		
Soğutma Suyu Sıc.(°C)		26	26	27	27	25	25	26	26	28		
Ortam Sıcaklığı (°C)												

EK-8 (Devam) Tek sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 8.12. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	20°						10°					
	-60°						-60°					
Motor Devri (d/d)	2400	2200	2000	1800	2600	2400	2200	2000	1800	2600	2400	2200
Moment (N*m)	4,9	5,675	7,3	7,575	3,525	4,725	6,15	7,125	7,5	3,525	4,725	6,15
Motor Gücü (kW)	1,2315426	1,307467	1,528956	1,427898	0,959786	1,187559	1,416902	1,492303	1,413761	0,959786	1,187559	1,416902
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,8323372	0,730939	0,668351	0,594251	0,81091	0,839645	0,72513	0,660344	0,59932	0,81091	0,839645	0,72513
Özgül Yakıt Tük. (gr/kWh)	675,84932	559,05	437,1288	416,1716	844,8861	707,0341	511,7715	442,5003	423,9194	844,8861	707,0341	511,7715
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	71,082267	57,67052	53,64699	50,96464	50,96464	68,39992	53,64699	53,64699	48,28229	50,96464	68,39992	53,64699
Teorik Hava Tük. (kg/h)	218,4	200,2	182	163,8	236,6	218,4	200,2	182	163,8	236,6	218,4	200,2
Volumetrik Verim (%)	32,546826	28,80645	29,47637	31,11395	21,54042	31,31864	26,7967	29,47637	29,47637	21,54042	31,31864	26,7967
Hava-Yakıt Oranı	Az Hava	24,9	Az Hava	24,9	22,9	23,7	25	Az Hava	Az Hava	22,9	23,7	25
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	22	23	24	24	23	23	23	24	24	23	23	23
Ortam Sıcaklığı (°C)	23	23	23	24	24	23	23	23	24	24	23	23

EK-8 (Devam) Tek sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 8.13. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	20°						30°					
	-60°						-60°					
Motor Devri (d/d)	2600	2400	2200	2000	1800	1600	2600	2400	2200	2000	1800	1600
Moment (N*m)	3,4	5,125	6	6,75	7,2	7,6	2,8	4,725	6,125	6,625	2,6	2,6
Motor Gücü (kW)	0,925751	1,288093	1,382344	1,413761	1,35721	1,30176	0,762383	1,187559	1,411143	1,38758	0,490104	0,490104
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,566555	0,659796	0,69754	0,679042	0,579416	0,54016	0,446834	0,606602	0,588305	0,651992	0,38191	0,38191
Özgül Yakıt Tük. (gr/kWh)	611,9946	512,2266	504,6064	480,309	426,917	400,163	586,1009	510,7978	416,8998	469,8769	779,2434	779,2434
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	33,52937	56,32934	50,96464	52,30582	48,28229	45,59995	29,50585	50,96464	45,59995	50,96464	28,16467	28,16467
Teorik Hava Tük. (kg/h)	236,6	218,4	200,2	182	163,8	145,6	236,6	218,4	200,2	182	163,8	163,8
Volumetrik Verim (%)	14,17133	25,79182	25,45687	28,73946	29,47637	28,16467	12,47077	23,33546	22,7772	28,00255	17,19455	17,19455
Hava-Yakıt Oranı	Az Hava	24,2	24,1	24	24,5	24,5	Az Hava	Az Hava	Az Hava	24,2	Az Hava	Az Hava
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	24	23	23	24	24	24	23	23	23	23	24	24
Ortam Sıcaklığı (°C)	24	23	23	23	24	24	22	22	22	22	24	24

EK-8 (Devam) Tek sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 8.14. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	60°										70°				
	-60°										-60°				
Em.K.G. (A.Ö.N.'dan)															
Motor Devri (d/d)	2600	2400	2200	2000	1800	2600	2400	2200	2000	1800	2600	2400	2200	2000	1800
Moment (N*m)	3,275	5,5	7,375	7,275	7,325	3,9	3,3	7			6,225			6,225	5,325
Motor Gücü (kW)	0,8917164	1,382344	1,699131	1,52372	1,380773	1,061891	0,829406	1,612734			1,303801			1,303801	1,00377
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,8953305	0,809587	0,718241	0,677535	0,630851	0,92238	0,662273	0,737801			0,708434			0,708434	0,724138
Özgül Yakıt Tük.(gr/kWh)	1004,0529	585,6626	422,7109	444,6585	456,8826	868,6197	798,4901	457,4845			543,3601			543,3601	721,4182
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	64,376393	75,10579	61,69404	53,64699	41,57642	60,35287	53,64699	57,67052			48,28229			48,28229	40,23525
Teorik Hava Tük. (kg/h)	236,6	218,4	200,2	182	163,8	236,6	218,4	200,2			182			182	163,8
Volumetrik Verim (%)	27,208957	34,3891	30,81621	29,47637	25,38243	25,5084	24,56364	28,80645			26,52873			26,52873	24,56364
Hava-Yakıt Oranı	23,6	24,9	Az Hava	24	22,8	22,6	23	24,4			21			21	18,8
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	21	21	23	23	25	22	23	24			24			24	24
Ortam Sıcaklığı (°C)	22	23	25	25	27	26	26	26			27			27	27

EK-9 Çift sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 9.1. Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	40°						30°			20°		
Em.K.G. (A.Ö.N.'dan)	-50°						-50°			-50°		
Motor Devri (d/d)	2400	2200	2000	1800	1800	2000	2000	1800	2400	2200	2000	2000
Moment (N*m)	2,075	4,425	2,225	4,625	4,625	4,8	4,8	5,325	2,375	4,75	5,65	5,65
Motor Gücü (kW)	0,521521	1,019478	0,466017	0,871819	0,871819	1,005341	1,005341	1,00377	0,596921	1,094355	1,18337	1,18337
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,826617	0,766068	0,704973	0,728257	0,728257	0,692791	0,692791	0,618513	0,762976	0,734048	0,734796	0,734796
Özgül Yakıt												
Tük.(gr/kWh)	1585,013	751,4316	1512,762	835,3303	835,3303	689,1106	689,1106	616,1903	1278,185	670,7587	620,935	620,935
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	64,37639	56,32934	42,9176	37,5529	37,5529	67,05874	67,05874	45,59995	64,37639	56,32934	67,05874	67,05874
Teorik Hava Tük. (kg/h)	218,4	200,2	182	163,8	163,8	182	182	163,8	218,4	200,2	182	182
Volumetrik Verim (%)	29,47637	28,13654	23,5811	22,92607	22,92607	36,84546	36,84546	27,83879	29,47637	28,13654	36,84546	36,84546
Hava-Yakıt Oranı	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11
Ortam Sıcaklığı (°C)	14	15	17	17	17	15	15	16	17	17	17	17

EK-9 (Devam) Çift sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 9.2. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	20°				10°			
Em.K.G. (A.Ö.N.'dan)	-50°				-50°			
Motor Devri (d/d)	1800	2200	2000	1800	2400	2200	2000	1800
Moment (N*m)	6,45	3,7	1,1	5	3,4	4,775	6,475	6,975
Motor Gücü (kW)	1,215834	0,85245	0,230391	0,942507	0,85454	1,100115	1,356163	1,314797
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,690441	0,73835	0,556662	0,680789	0,887522	0,853548	0,780224	0,704098
Özgül Yakıt Tük.(gr/kWh)	567,8743	866,155	2416,166	722,3172	1038,597	775,8718	575,3174	535,5182
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	48,28229	56,3293	37,5529	42,9176	63,03522	64,37639	72,42344	56,32934
Teorik Hava Tük. (kg/h)	163,8	200,2	182	163,8	218,4	200,2	182	163,8
Volumetrik Verim (%)	29,47637	28,1365	20,63346	26,20122	28,86228	32,15604	39,7931	34,3891
Hava-Yakıt Oranı	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	11	11	11	11	7	8	8	8
Ortam Sıcaklığı (°C)	17	17	17	17	2	4	7	8

EK-9 (Devam) Çift sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 9.3. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	10°						10°		
Em.K.G. (A.Ö.N.'dan)	-40°						-30°		
Motor Devri (d/d)	2400	2200	2000	1800	2200	2000	2200	2000	1800
Moment (N*m)	1,575	4,925	5,825	6,575	3,025	3,025	3,025	3,025	5,5
Motor Gücü (kW)	0,395853	1,134674	1,220023	1,239397	0,696932	0,633574	0,633574	1,036758	
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,834262	0,792611	0,791741	0,680322	0,702664	0,720457	0,720457	0,623371	
Özgül Yakıt Tük.(gr/kWh)	2107,504	698,5365	648,9562	548,914	1008,226	1137,132	601,2692		
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	56,32934	59,01169	75,10579	50,96464	50,96464	61,69404	45,59995		
Teorik Hava Tük. (kg/h)	218,4	200,2	182	163,8	200,2	182	163,8		
Volumetrik Verim (%)	25,79182	29,47637	41,26692	31,11395	25,45687	33,89783	27,83879		
Hava-Yakıt Oranı	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	9	9	9	9	12	12	12	12	
Ortam Sıcaklığı (°C)	10	11	12	13	17	17	17	17	

EK-9 (Devam) Çift sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 9.4. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	10°				Ü.Ö.N.			
Em.K.G. (A.Ö.N.'dan)	-20°				-50°			
Motor Devri (d/d)	2000	1800	2400	2200	2000	1800		
Moment (N*m)	2,2	4,35	3,7	3,75	6,25	5,4		
Motor Gücü (kW)	0,460781	0,819981	0,92994	0,863965	1,309038	1,017908		
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,739382	0,646891	0,823102	0,505444	0,775498	0,568096		
Özgül Yakıt Tük.(gr/kWh)	1604,626	788,9097	885,1132	585,0286	592,4186	558,1013		
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	64,37639	45,59995	64,37639	50,96464	72,42344	45,59995		
Teorik Hava Tük. (kg/h)	182	163,8	218,4	200,2	182	163,8		
Volumetrik Verim (%)	35,37164	27,83879	29,47637	25,45687	39,7931	27,83879		
Hava-Yakıt Oranı	19,9	18,4	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava		
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	12	12	9	9	9	10		
Ortam Sıcaklığı (°C)	17	17	12	12	12	12		

EK-9 (Devam) Çift sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 9.5. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	Ü.Ö.N.						Ü.Ö.N.		
Em.K.G. (A.Ö.N.'dan)	-40°						-30°		
Motor Devri (d/d)	2400	2200	2000	1800	2200	2000	1800	2000	1800
Moment (N*m)	1,55	2,95	5,6	2,65	2,55	4,675	4,975	3,575	4,4
Motor Gücü (kW)	0,38957	0,679652	1,172898	0,499529	0,587496	0,97916	0,937795	0,74877	0,829406
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,809752	0,70466	0,759835	0,388946	0,760855	0,738419	0,575843	0,780147	0,676842
Özgü Yakıt Tük.(gr/kWh)	2078,581	1036,795	647,8275	778,626	1295,081	754,1347	614,0399	1041,906	816,0558
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	59,01169	56,32934	69,74109	34,87055	59,01169	72,42344	50,96464	72,42344	45,59995
Teorik Hava Tük. (kg/h)	218,4	200,2	182	163,8	200,2	182	163,8	182	163,8
Volumetrik Verim (%)	27,02001	28,13654	38,31928	21,28849	29,47637	39,7931	31,11395	39,7931	27,83879
Hava-Yakıt Oranı	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava
Soğutma Suyu Sic.(°C)	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Ortam Sıcaklığı (°C)	12	12	13	13	12	12	12	12	12

EK-9 (Devam) Çift sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 9.6. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	-10°						-10°					
	-50°						-40°					
	2400	2200	2000	1800	2400	2000	2400	2200	2000	1800	2400	2000
Motor Devri (d/d)	4,3	4,775	6	6,1	2,225	3,975	5,225	6,375	1,201697	0,697662	580,5644	50,96464
Moment (N*m)	1,080741	1,100115	1,256676	1,149859	0,559221	0,915803	1,094355	1,201697	0,697662	580,5644	50,96464	163,8
Motor Gücü (kW)	0,841425	0,761074	0,743955	0,598552	0,844109	0,796029	0,818519	0,697662	580,5644	50,96464	163,8	31,11395
Yakıt Tüketimi (kg/h)	778,5624	691,8128	592,0022	520,5442	1509,437	869,2144	747,9465	580,5644	50,96464	163,8	31,11395	Az Hava
Özgül Yakıt Tük.(gr/kWh)	61,69404	56,32934	69,74109	45,59995	56,32934	56,32934	67,05874	50,96464	163,8	31,11395	Az Hava	Az Hava
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	218,4	200,2	182	163,8	218,4	200,2	182	163,8	31,11395	Az Hava	Az Hava	Az Hava
Teorik Hava Tük. (kg/h)	28,24819	28,13654	38,31928	27,83879	25,79182	28,13654	36,84546	31,11395	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava
Hava-Yakıt Oranı	20,8	22,3	22,1	23,6	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava
Soğutma Suyu Sic.(°C)	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Ortam Sıcaklığı (°C)	11	11	12	13	12	12	12	12	12	12	12	12

EK-9 (Devam) Çift sargı E.M.V. supap zamanlaması ile elde edilen deney sonuçları

Çizelge 9.7. (Devam) Deney sonuçları

Em.A.A. (Ü.Ö.N.'dan)	-10°			-10°			-10°		
Em.K.G. (A.Ö.N.'dan)	-30°			-20°			-10°		
Motor Devri (d/d)	2200	2000	1800	2000	1800	2000	2000	1800	1800
Moment (N*m)	1,825	4,8	5,85	2,525	4,575	1,775	1,775	2,825	2,825
Motor Gücü (kW)	0,420463	1,005341	1,102733	0,528851	0,862394	0,371767	0,371767	0,532516	0,532516
Yakıt Tüketimi (kg/h)	0,776029	0,760054	0,670552	0,799315	0,701981	0,772254	0,772254	0,701113	0,701113
Özgül Yakıt Tük.(gr/kWh)	1845,654	756,0158	608,0822	1511,418	813,991	2077,255	2077,255	1316,603	1316,603
Gerçek Hava Tük. (kg/h)	53,64699	72,42344	50,96464	69,74109	50,96464	59,01169	59,01169	48,28229	48,28229
Teorik Hava Tük. (kg/h)	200,2	182	163,8	182	163,8	182	182	163,8	163,8
Volumetrik Verim (%)	26,7967	39,7931	31,11395	38,31928	31,11395	32,42401	32,42401	29,47637	29,47637
Hava-Yakıt Oranı	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava	Az Hava
Soğutma Suyu Sıc.(°C)	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Ortam Sıcaklığı (°C)	10	10	12	10	10	9	9	9	9

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SAĞIROĞLU, Selami
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 22.03.1969 Amasya
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 05053201632
 Faks : -
 e-mail : selamisagiroglu@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Eğitimi Bölümü	1996
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Eğitimi Bölümü	1993
Lise	İstanbul Motor Teknik Lisesi	1989

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1993-2002	Dumlupınar Üniversitesi	Araştırma Gör.
2002-2006	Zonguldak Karaelmas Üniv.	Öğretim Gör.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Satranç, Masa tenisi, Bilgisayar teknolojileri, Futbol, Voleybol, Kitap okuma,
Müzik dinleme